


CIDADE, ARQUITETURA E TECNOLOGIAS DIGITAIS

Maria das Graças B. Gondim dos Santos Pereira
Natalie Johanna Groetelaars (Organizadoras)

RECORTES EM UMA HISTÓRIA — 30 ANOS DO LCAD



EDUFBA



Este livro constitui-se em uma coletânea de 16 capítulos publicados por pesquisadores do Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD) da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia (FAUFBA) entre os anos 2016 e 2022, permitindo trazer um recorte das principais áreas de atuação do Laboratório.

Esta publicação é comemorativa dos 30 anos do LCAD e do persistente exercício de acompanhar as atualizações e disseminar o conhecimento nesse período. Conhecimento que por situar-se na fronteira da inovação tecnológica aplicada à representação espacial no campo da Arquitetura e Urbanismo exigiu permanente comprometimento e desenvolvimento de habilidades, lembrada na Parte 1 do livro. Os capítulos das Partes 2, 3, 4 e 5 demonstram que as pesquisas não se limitam ao conhecimento e ao desenvolvimento de habilidades técnicas, mas problematizam os efeitos da impregnação da transformação digital na cidade e na região, na produção da Arquitetura, na representação, gerenciamento e visualização de informações relativas às edificações e centros urbanos, e na documentação do patrimônio. Com o exercício de descrever uma visão de futuro para o LCAD, na parte final, o leitor vai encontrar reflexões sobre os impactos da transformação digital em curso.



CIDADE, ARQUITETURA E TECNOLOGIAS DIGITAIS

RECORTES EM UMA HISTÓRIA — 30 ANOS DO LCAD



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

REITOR

Paulo Cesar Miguez de Oliveira

VICE-REITOR

Penildon Silva Filho



EDITORA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

DIRETORA

Susane Santos Barros

CONSELHO EDITORIAL

TITULARES

Angelo Szaniecki Perret Serpa
Caiuby Alves da Costa
Cleise Furtado Mendes
Evelina de Carvalho Sá Hoisel
George Mascarenhas de Oliveira
Mônica de Oliveira Nunes de Torrenté
Monica Neves Aguiar da Silva

SUPLENTES

José Amarante Santos Sobrinho
Paola Berenstein Jacques
Rafael Moreira Siqueira
Lorene Pinto
Lúcia Matos
Lynn Alves

APOIO:

Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura
e Urbanismo (PPGAU/UFBA)
Proap/Capes





CIDADE, ARQUITETURA E TECNOLOGIAS DIGITAIS

Maria das Graças B. Gondim dos Santos Pereira
Natalie Johanna Groetelaars (Organizadoras)

RECORTES EM UMA HISTÓRIA – 30 ANOS DO LCAD

Salvador • Edufba | PPG-AU FAUFBA • 2025

2025, autores.

Direitos para esta edição cedidos à EDUFBA.

Feito o Depósito Legal.

Grafia atualizada conforme o Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa de 1990, em vigor no Brasil desde 2009.

COORDENAÇÃO EDITORIAL
Cristovão Mascarenhas

CAPA E PROJETO GRÁFICO
Amanda Fahel Reis

COORDENAÇÃO GRÁFICA
Edson Nascimento Sales

REVISÃO
Equipe Discovery

COORDENAÇÃO DE PRODUÇÃO
Gabriela Nascimento

NORMALIZAÇÃO
Kimberly Kienas

ASSISTENTE EDITORIAL
Bianca Rodrigues de Oliveira

SISTEMA DE BIBLIOTECAS - SIBI/UFBA

Cidade, arquitetura e tecnologias digitais: recortes em uma história – 30 anos do
LCAD / Maria das Graças Borja Gondim dos Santos Pereira, Natalie Johanna
Groetelaars, organizadoras. – Salvador : EDUFBA / PPG-AU FAUFBA, 2025.
431 p. ; PDF [33,7 MB]

Contém biografia.

Modo de acesso: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/40545>

ISBN: 978-65-5630-733-6

1. Arquitetura e tecnologia. 2. Arquitetura - Inovações tecnológicas.
3. Urbanização. 4. Planejamento urbano. I. Santos Pereira, Maria das Graças Borja
Gondim dos. II. Groetelaars, Natalie Johanna. III. Universidade Federal da Bahia. Facul-
dade de Arquitetura. Laboratório de Estudos Avançados em Cidade, Arquitetura e
Tecnologias Digitais.

CDU 72.02

Elaborada por Selma Matos
CRB-5: BA-001001

EDITORA FILIADA À:



EDUFBA
Rua Barão de Jeremoabo, s/n Campus de Ondina
Salvador - Bahia CEP 40170-115 Tel.: (71) 3283-6164
www.edufba.ufba.br
edufba@ufba.br



DEDICATÓRIA

Os 30 anos da fundação do Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD) da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia (FAUFBA) representam um longo período de atuação dedicada ao objetivo maior de oferecer suporte à qualificação de pesquisadores, profissionais e estudantes da UFBA, através de suas ações ligadas ao ensino, à pesquisa e à extensão.

Aos que participaram do trabalho realizado e àqueles que honrarão e manterão esse compromisso no futuro, dedicamos esta publicação.



AGRADECIMENTOS

Aos professores Arivaldo Leão de Amorim e Gilberto Corso Pereira que, em longa parceria, desde a idealização e implementação deste Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD) em 1992, mantiveram em curso as iniciativas que trouxeram o LCAD ao reconhecimento nacional e internacional, no qual hoje se situa.

A todos os pesquisadores, mestrandos e doutorandos que, com entusiasmo e compromisso, desenvolveram temas de dissertações e teses que foram delineando uma área de conhecimento diversa, mas aderente ao eixo norteador do laboratório: as tecnologias digitais para representação e intervenção no espaço arquitetônico e geográfico, tanto como habilidades e competências na sua aplicação, quanto como reflexão crítica aos efeitos inerentes dos processos de incorporação de novos métodos e técnicas no campo da Arquitetura e da Cidade.

Aos colegas e parceiros de outras instituições que mantiveram a motivação para a continuada atualização e partilha de conhecimentos que proporcionaram saltos na atuação do laboratório: as redes de pesquisa (Rede BIM – Brasil, Observatório das Metrópoles), as parcerias nacionais, como a Universidade de São Paulo (USP), Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM), Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Universidade Federal do Ceará (UFC), Universidade de Brasília (UnB), Universidade Federal do Pará (UFPA), Universidade Federal do Paraná (UFPR), Universidade Federal Fluminense (UFF), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Universidade Federal de Pelotas (UFPel), além de parcerias internacionais, a exemplo de Karlsruhe Institute of Technology, na Alemanha, Politechnika Wroclawska, na Polônia, Università Politecnica delle Marche e Politecnico di Torino, estas duas últimas localizadas na Itália.



SUMÁRIO

12 PREFÁCIO

Antônio Heliodório Sampaio

17 APRESENTAÇÃO

*Maria das Graças Borja Gondim dos Santos Pereira
Natalie Johanna Groetelaars*

20 PARTE 1 – LCAD/UFBA: UMA INTRODUÇÃO

21 CAPÍTULO 1 – 30 ANOS DO LCAD: AÇÕES DE PESQUISA, ENSINO, EXTENSÃO E PARCERIAS

*Arivaldo Leão de Amorim
Gilberto Corso Pereira*

43 PARTE 2 – CIDADE E TECNOLOGIAS DIGITAIS

47 CAPÍTULO 2 – URBANIZAÇÃO DISPERSA: TECIDO URBANO NA EXPANSÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE SALVADOR (RMS) – FENÔMENO DE EXCLUSÃO OU NOVO PADRÃO DE ORDENAMENTO TERRITORIAL?

*Maria das Graças Borja Gondim dos Santos Pereira
Gilberto Corso Pereira*

68 **CAPÍTULO 3 – SALVADOR: TRANSFORMAÇÕES DE UMA METRÓPOLE DA PERIFERIA**

Inaiá Maria Moreira de Carvalho

Gilberto Corso Pereira

100 **CAPÍTULO 4 – MAPEAMENTO DE COALIZÕES ENVOLVIDAS NO DESENVOLVIMENTO URBANO: ABORDAGEM EXPERIMENTAL ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE ANÁLISE DE REDES**

Gilberto Corso Pereira

Maina Pirajá Silva

122 **CAPÍTULO 5 – EXPANSÃO METROPOLITANA DISPERSA, EFEITOS SOCIOESPACIAIS E DIRETRIZES PARA O PLANEJAMENTO E GESTÃO: CENÁRIO 2030**

Maria das Graças Borja Gondim dos Santos Pereira

Gilberto Corso Pereira

150 **PARTE 3 – ARQUITETURA E TECNOLOGIAS DIGITAIS**

154 **CAPÍTULO 6 – CONSTRUTIBILIDADE DE FORMAS ARQUITETÔNICAS COMPLEXAS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA**

Bruno Leão de Brito

Felipe Tavares da Silva

Érica de Sousa Checcucci

182 **CAPÍTULO 7 – ATELIÊ DIGITAL INTEGRADO: SEGUNDO ANO DA EXPERIÊNCIA DE ENSINO DE PROJETO ARQUITETÔNICO MEDIADO POR COMPUTADOR**

Sergio Dias Maciel

Arivaldo Leão de Amorim

Érica de Sousa Checcucci

Kyane Bomfim Santos

211 **CAPÍTULO 8 – EXPERIMENTAÇÃO COM UM ALGORITMO
GENERATIVO DE PAINEL VAZADO: REPRESENTAÇÃO
MATERIAL E IMATERIAL NA BUSCA DE FLEXIBILIDADE**

Fernando Ferraz Ribeiro

Kyane Bomfim Santos

Marina Moreira Santos Pereira

Larissa Gonçalves Maia da Silva

Julia Cruz Gaspari Veras

Marcelo Filgueiras Bastos

224 **CAPÍTULO 9 – REFLEXÃO SOBRE OS PARÂMETROS
URBANÍSTICOS DE SALVADOR E O USO DE ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA**

Andrea Verri Bastian

247 **PARTE 4 - TECNOLOGIAS DIGITAIS APLICADAS AO
CONTEXTO URBANO**

250 **CAPÍTULO 10 – REDES URBANAS DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA VOLUNTÁRIA COMO FERRAMENTA PARA
INTELIGÊNCIA COLETIVA**

Pablo Vieira Florentino

Gilberto Corso Pereira

270 **CAPÍTULO 11 – ESTABELECENDO REQUISITOS PARA A
MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CIDADE (CIM)**

Arivaldo Leão de Amorim

288 **CAPÍTULO 12 – MODELAGEM GEOMÉTRICA DE CIDADES A
PARTIR DE NUVENS DE PONTOS**

Natalie Johanna Groetelaars

Adaildes Moreira do Nascimento

Arivaldo Leão de Amorim

309 CAPÍTULO 13 – SITUAÇÕES DE RISCO E AÇÕES DE RESILIÊNCIA NA CIDADE DE SALVADOR, BAHIA: UMA ANÁLISE SOBRE DESABAMENTOS DE IMÓVEIS, DESLIZAMENTOS DE TERRA E ALAGAMENTOS

Erika do Carmo Cerqueira

Juliet Oliveira Santana

Gilberto Corso Pereira

321 PARTE 5 – TECNOLOGIAS DIGITAIS APLICADAS AO PATRIMÔNIO

324 CAPÍTULO 14 – RECONSTRUÇÃO DIGITAL DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO PARA AMBIENTES VIRTUAIS INTERATIVOS 3D: ESTUDO DE MÉTODOS PARA MODELAGEM GEOMÉTRICA DE EDIFICAÇÕES EXISTENTES

Gabriela Linhares da Silva

Natalie Johanna Groetelaars

349 CAPÍTULO 15 – MODELAGEM GEOMÉTRICA DO MUSEU ANITA GARIBALDI A PARTIR DE PRODUTOS FOTOGRAMÉTRICOS

Gabriela Linhares da Silva

Natalie Johanna Groetelaars

364 CAPÍTULO 16 – RECONSTRUÇÃO DIGITAL: A MATERIALIZAÇÃO EM MEIO DIGITAL DA HERANÇA CULTURAL

Fabiano Mikalauskas de Souza Nogueira

Arivaldo Leão de Amorim

378 CAPÍTULO 17 – REALIDADE AUMENTADA E SÍTIOS HISTÓRICOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Bruna Costacurta Nascimento

Lorena Claudia de Souza Moreira

392 PARTE FINAL – CONCLUSIVA

393 CAPÍTULO 18 – TRANSFORMAÇÕES DIGITAIS NA ARQUITETURA E URBANISMO: UM FUTURO PLAUSÍVEL

Arivaldo Leão de Amorim

Gilberto Corso Pereira

407 CAPÍTULO 19 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Maria das Graças Borja Gondim dos Santos Pereira

Natalie Johanna Groetelaars

411 APÊNDICE A – CRONOLOGIA DAS DISSERTAÇÕES E TESES ORIENTADAS

420 SOBRE OS AUTORES

PREFÁCIO

Prefaciando um livro denso, a exemplo de uma coletânea, demarcando a trajetória do grupo de pesquisadores do Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD) é simultaneamente um prazer e um desafio. Prazer pela distinção de ter sido escolhido pelos autores para a honrosa tarefa, mesmo sabendo do desafio em uma área de conhecimento que só tangencia a prática teórica do escriba. Portanto, inexiste a possibilidade, a partir apenas desse prefácio, de um mergulho nos conteúdos de cada capítulo ou parte do livro comemorativo dos 30 anos do LCAD, melhor exposto na “Apresentação” que sintetiza o pensamento dos autores. Esse prefácio feito por quem atua distante da área tecnológica se limita a instigar os leitores, pontuando uma percepção de quem testemunha a trajetória do LCAD sem ser um “pesquisador de ofício”, termo usado para definir aquele profissional que vive da e para a pesquisa. Aliás, a ideia de dedicação plena à pesquisa nos remete ao velho mote – ainda atual – da crítica ácida feita aos professores que ensinam o que não pesquisam ou que pesquisam o que não ensinam. Não é o caso do grupo que integra o LCAD.

Somos testemunhas de que ensino e pesquisa andam juntos em laboratórios como o do LCAD da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia (FAUFBA), mesmo acompanhando as atividades à distância: primeiro, como professor e colega de maioria dos autores; segundo, observando desde a sua fundação o labor certo, continuado, no qual gerações se sucedem sob a liderança dos colegas Arivaldo Leão de Amorim e Gilberto Corso Pereira, a quem rendo um voto de louvor. Labor que, por um lado, qualifica a formação dos integrantes do grupo e, por outro lado, dissemina o conhecimento

auferido nas atividades em salas de aulas, orientações de teses, dissertações, seminários, encontros e publicações várias. Eis o papel de qualquer laboratório numa universidade.

Nossa visão de universidade se acomoda na forma de pensá-la como um espaço plural, num microuniverso abrigando múltiplas atividades e saberes nos campos do ensino, pesquisa e extensão: um “universo da diversidade”. Diversidade que inclui várias áreas de conhecimento – teóricas e práticas –, essenciais à vida humana na terra. Ciências, Artes, Humanidades requerem tecnologias como eixos vinculantes do labor coletivo nos quais transitam professores, pesquisadores, alunos e funcionários no dia a dia acadêmico. O mundo das tecnologias digitais, de certa forma, perpassa ou permite perpassar todas as esferas dos saberes e fazeres da nossa atividade profissional. Facilita a vida em comum, para além das salas de aula, dos auditórios e de um currículo formal, requerendo pesquisadores em tempo integral dedicados à tarefa de aprofundar o conhecimento sobre as tecnologias e sua aplicação. Isso envolve reflexão crítica sobre “possibilidades e limites” nas práticas, continuamente expandidas em novas descobertas.

O currículo formal universitário contemporâneo requer cada vez mais atividade extracurricular, encontrando em laboratórios como o LCAD um apoio essencial no aprimoramento das atividades da graduação e da pós-graduação. As tecnologias digitais na Arquitetura e no Urbanismo nos remete ao pensamento do colega Nuno Portas quando disse num debate que participamos na Universidade de Brasília (UnB) nos anos 1970: “[...] o que difere a Arquitetura e o Urbanismo das demais áreas de conhecimento é a proposta”. Complementando, para propor uma intervenção consistente no espaço/tempo, é preciso conhecer a realidade, significando vasculhar o passado, o presente... para se projetarem cenários futuros outros (utópicos e/ou pragmáticos). Sendo de uma geração anterior à das tecnologias digitais, presenciamos a passagem acelerada para um mundo tecnológico que tem permitido avanços inquestionáveis no campo operativo do Projeto e do Planejamento, especialmente em Arquitetura e Urbanismo, com vários procedimentos técnicos palpáveis. Um aprimoramento constatável seja nas formas de apreensão da realidade, seja na montagem de bancos de dados, acessíveis, democratizando o acesso às informações. Nesse sentido, ampliaram-se as possibilidades de levantamentos rigorosos no resgate histórico de exemplares edifícios, sítios e conjuntos históricos, plasmando num espaço virtual o passado e o presente, imprescindíveis

para a memória urbana bem como eventuais alternativas de futuro (projeto, plano, gestão etc.).

O título é revelador, *Cidade, Arquitetura e Tecnologias Digitais: recortes em uma história – 30 anos do LCAD*, espelhando uma realidade em grande parte pouco divulgada no ensino e na pesquisa sobre a produção dos laboratórios no interior das escolas de arquitetura, em nível local, nordestino e nacional. A pesquisa (local) divulgada em encontros, seminários e eventos nacionais em geral ainda alcança timidamente a realidade do cotidiano no ensino de graduação e, em muitos casos, pela preferência dada a autores do eixo centro-sul, que concentra grande parte da produção nacional sobre Arquitetura e Urbanismo. Daí a importância do livro que registra os 30 anos do pioneiro LCAD.

O livro traz à tona um conjunto de artigos instigantes tanto para quem é da área como para aqueles que, como nós, são apenas beneficiários das novas ferramentas no ofício da profissão. Tendo sido desenhista profissional, copista e desenvolvedor de projetos, graduado em Arquitetura e pós-graduado em Geografia, Arquitetura e Urbanismo (no século passado), quando toda expressão/representação gráfica ainda era feita à mão, podemos atestar que a evolução das tecnologias digitais nas três últimas décadas ajudou a transformar a visão de mundo desse escriba numa dimensão outra, na qual a "realidade virtual" fica entranhada de tal modo à prática que fica difícil separar o ato de projetar sem recorrer às ferramentas da era digital. Isso permite acessar muito do que precisamos para conhecer e imaginar como era o passado, entender melhor o presente, projetar futuros. Tudo isso feito sem esquecer que ainda é o filtro da crítica o componente essencial para evitar a imaginação ir divagando numa ilusão propiciada pelo fetiche do mundo virtual, substituindo o fetiche do traço, do desenho – tão caro a nós arquitetos.

Só recentemente as pesquisas nos programas de pós-graduação na região passam a ser divulgadas, num esforço embrionário, crescente, para se entender a historiografia da Arquitetura e do Urbanismo no Nordeste, acrescentando à historiografia outros matizes do ensino superior no Brasil. No bojo desse esforço é que emerge o trabalho do LCAD, ao lado de outros grupos de pesquisa, essenciais ao nosso Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPG-AU) da FAUFBA, rompendo uma lacuna sobre a disseminação do efetivamente pesquisado, cuja relevância ainda é desconhecida por muitos. As tecnologias digitais como objeto de estudo sistemático elevarão inevitavelmente o debate a partir das falas postas no livro, contribuindo para ampliar o

nosso repertório sobre métodos, metodologias, teorias e seus desdobramentos na Arquitetura e Urbanismo. Publicar o que é feito na academia afasta o velho preconceito de que inexistia uma produção local relevante. Os textos ora divulgados na coletânea demarcam o LCAD como um laboratório de referência, úteis para alunos e profissionais de Arquitetura e Urbanismo, deslocando o nosso olhar para além do eixo centro-sul ou do além mar. Os levantamentos de exemplares inéditos de arquitetura antiga e moderna, sobretudo aquela do patrimônio existente na Bahia, contribuem para o conhecimento e fortalecem a cultura, dando um conteúdo social ao uso das tecnologias digitais, inclusive na aplicação cada vez mais forte das ferramentas disponíveis na pesquisa aplicada ao Planejamento Urbano e Regional.

Este breve prefácio propõe aos leitores uma reflexão ampla sobre o uso das tecnologias digitais. Para tanto, replicamos a fala do professor Edgar Graeff expressa na abertura de um texto do professor Ari Antonio da Rocha¹ (1982, p. 2) – *Considerações sobre o habitat tropical* – quando afirma:

Ainda hoje, permanecemos meio de costas para nossa própria cultura, a macaquear o ecletismo e os estilos de uma nova academia – moderna ou modernista agora – instalada na Europa e nos Estados Unidos, países já construídos, onde nossos colegas de ofício tentam vencer o tédio do amargo ‘far niente’ inventando novas embalagens para velhos e esgotados conteúdos.

Nesse sentido, cabe repetir que não é o uso das tecnologias digitais que propicia a “mesmice esterilizante” na Arquitetura e Urbanismo corrente, apontada por Graeff, mas o fato de os profissionais, cooptados pelo mercado, atrelarem seus planos e projetos aos interesses pragmáticos de uma sociedade de consumo dirigido pelo *marketing*. Aí a forma-moda na concepção dos espaços se sobrepõe ao que deveria ser a cidade num país subdesenvolvido, periférico, imbricado no sistema-mundo em transformação. Então, o domínio da tecnologia digital pode ser ampliado no sentido libertador, essencial para a superação da dependência cultural e tecnológica em curso. Dependência que levou vários intelectuais como Celso Furtado, Paulo Freire, Anísio Teixeira – entre outros notáveis – à luta propositiva no campo da economia e no campo da educação respectivamente, apontando rumos cuja base é descolonizar o

1 ROCHA, A. A. da. *Considerações sobre o Habitat Tropical*. Natal: UFRN, 1982.

pensamento com ações agora estendida às tecnologias digitais no ensino, na pesquisa e na extensão numa universidade pública, voltada para o social. Significa pensar/atuar a contrapelo da lógica na economia de mercado, elevando o domínio tecnológico ao patamar necessário para uma superação do subdesenvolvimento que, na Arquitetura e no Urbanismo, se inicia por construir pontes entre o saber e o fazer, através de operadores críticos.

O livro feito pelo LCAD instiga qualquer leitor atento, na medida em que são feitas revisões bibliográficas sobre temas específicos, passando por estudos de caso com aplicações dos procedimentos técnicos existentes até alcançar as provocações sobre um “futuro plausível” no uso das tecnologias digitais na Arquitetura e no Urbanismo. Amplia o debate sobre tecnologias digitais, a percepção e a apreensão do espaço na arquitetura, no fenômeno urbano, na cidade, enquanto objetos de pesquisa acadêmica. Leiam, reflitam.

Antônio Heliodório Sampaio

Professor titular da FAUFBA (aposentado)

Agosto de 2022

APRESENTAÇÃO

Esta coletânea traz um recorte da produção acadêmica do grupo de pesquisadores do Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD), vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPG-AU) e integrante da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia (FAUFBA).

O laboratório, fundado em 1992¹, pelos professores Arivaldo Leão de Amorim e Gilberto Corso Pereira, líderes acadêmicos nos 30 anos de existência do LCAD, perpassou todas as fases de desenvolvimento das tecnologias digitais aplicadas à representação espacial em Arquitetura e Urbanismo – desde as representações 2D às 3D e desde o geoprocessamento à proliferação das ferramentas que viabilizaram tanto a incorporação de novos procedimentos, projetuais e construtivos, quanto de soluções mais complexas e da amplificação da capacidade de processamento de dados e informações.

A continuada renovação dos sistemas de representação, o Sistema de Informações Geográficas, a Modelagem da Informação da Cidade – da sigla em inglês, *City Information Modeling* (CIM) –, a Modelagem da Informação da Construção – da sigla em inglês, *Building Information Modeling* (BIM) –, os sistemas de captura por varredura a *laser* e restituição fotogramétrica, as novas formas de visualização e interação com os modelos geométricos (3D) através da realidade virtual

1 Embora o LCAD tenha entrado em funcionamento em janeiro de 1992, o trabalho foi iniciado bem antes. A ideia da sua criação foi de 1989, com a redação do seu projeto e, na sequência, com trâmite deste nas diversas instâncias da Faculdade de Arquitetura e da UFBA, bem como a redação e a aprovação do seu regulamento. Em novembro de 1991, é realizado o I Simpósio em Computação Gráfica Aplicada à Arquitetura, Engenharia e áreas afins.

e aumentada, as ferramentas para processamento e análise de imagens, a diversidade de aplicações possíveis com o *big data* e múltiplos recursos de tecnologias digitais na leitura e análise de dados, no planejamento e desenvolvimento de projetos arquitetônicos e urbanísticos, constituem-se em importantes meios para a formação dos discentes da FAUFBA visando ao enfrentamento das questões arquitetônicas, urbanísticas e ambientais contemporâneas.

O atual desafio está no acompanhamento da transformação digital, que insere todos num ambiente digital ubíquo e irreversível, o qual ganha protagonismo na estruturação do modo de vida contemporâneo. A sociedade, nesta terceira década do século XXI, já reflete a dependência nas tecnologias digitais no modo preponderantemente urbano, concentrado ou disperso. Esse é considerado um estágio preliminar ante a expansão do alcance das tecnologias 5G que, em curto tempo, estão se tornando realidade.

O objetivo do LCAD é ser um centro de estudos e pesquisas em tecnologias digitais para a representação e intervenção nos espaços arquitetônico, urbano e geográfico, bem como para promoção e apoio de cursos, eventos e pesquisas, de modo a permitir a formação e a qualificação de pesquisadores, profissionais e estudantes da UFBA e de instituições parceiras na utilização ou investigação dessas tecnologias nas áreas de análise, planejamento e projeto arquitetônico e urbano. Esse grande objetivo constitui-se no liame que atrela os conteúdos às áreas de interesse e de atuação do Laboratório, das quais esta publicação é representativa.

O campo de conhecimento privilegiado no LCAD compreende a cidade e a arquitetura em todas as suas complexidades, trabalhado com forte incorporação de tecnologias digitais como meio de representação e, sobretudo, de produção de conhecimento novo sobre um objeto cada vez mais complexo – a cidade, o território e a produção arquitetônica – que é estratégico no atual contexto.

Este livro está organizado em seis partes. A Parte 1 aborda o histórico do LCAD, suas principais ações de pesquisa, ensino, extensão e parcerias ao longo dos seus 30 anos de existência. As Partes 2, 3, 4 e 5 correspondem às grandes áreas de atuação do laboratório: cidade e tecnologias digitais; Arquitetura e tecnologias digitais; tecnologias digitais aplicadas ao contexto urbano; e tecnologias digitais aplicadas ao patrimônio. Cada parte foi composta por textos recentes, publicados por pesquisadores vinculados ao Laboratório, entre 2016 e 2022. Finalmente, fecha-se a coletânea com um capítulo especial “transformações digitais na Arquitetura e Urbanismo: um futuro plausível”, seguido

das considerações finais das organizadoras deste livro. Acrescenta-se a isso o Apêndice A, que traz a relação – organizada em ordem cronológica – das dissertações e teses orientadas por pesquisadores do LCAD ao longo desses 30 anos e que permite dar ao leitor uma visão dos trabalhos e temas desenvolvidos pelos mestrands e doutorandos no período.

Maria das Graças Borja Gondim dos Santos Pereira

Natalie Johanna Groetelaars

Organizadoras

PARTE 1

LCAD/UFBA: UMA INTRODUÇÃO

CAPÍTULO 1

30 ANOS DO LCAD

Ações de pesquisa, ensino, extensão e parcerias

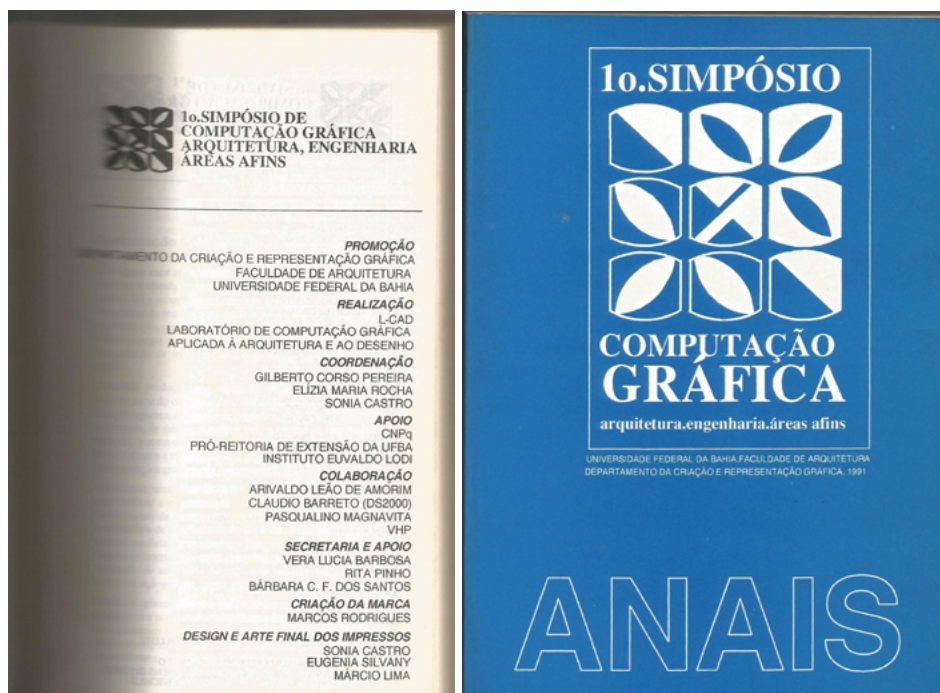
*Arivaldo Leão de Amorim
Gilberto Corso Pereira*

O Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD), hoje um centro de estudos, pesquisa, ensino e extensão, foi concebido em fins de 1989, a partir de um projeto desenvolvido pelo professor Gilberto Corso Pereira e pelo professor Arivaldo Leão de Amorim, então em São Paulo, afastado para sua pós-graduação na Universidade de São Paulo (USP). Em 1990, foi apresentado ao Departamento da Criação e Representação Gráfica da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia (FAUFBA) o projeto de criação de um núcleo de estudos que seria responsável pela introdução de uma nova área no Departamento. O projeto foi aprovado, bem como a realização de um evento técnico-científico nacional nesta que era, nesse momento, uma nova área de conhecimento.

O Laboratório foi efetivamente implantado em janeiro de 1992 com o nome de Laboratório de Computação Gráfica Aplicada à Arquitetura e ao Desenho. No Departamento, contou com a adesão de alguns colegas como

Elizia Rocha, Geraldo Araújo e Sônia Castro. Desde então, o local divide suas atividades entre pesquisa, extensão e ensino – primeiramente de graduação, posteriormente de pós-graduação.

FIGURA 1 – Anais do 1º Simpósio em Computação Gráfica Aplicada à Arquitetura, Engenharia e Áreas Afins, 1991



Fonte: elaborada pelos autores.

Em novembro de 1991, marcando o início da operação do LCAD, foi organizado o projeto e realizado o primeiro evento nacional a tratar das aplicações de Computação Gráfica em Arquitetura, Engenharia e áreas afins. Este era, de fato, o nome do evento: 1o. Simpósio de Computação Gráfica em Arquitetura, Engenharia e Áreas Afins. A qualificação de “primeiro” já trazia a intenção de realizar um novo evento. No texto de apresentação dos anais do evento, Pereira (1991, p. 2) declarava que:

O papel da Universidade neste contexto, passa tanto pela pesquisa do uso da informática na Arquitetura, Engenharia, Design ou Artes, quanto pelo ensino [...] bem como pelo trabalho de extensão, ou seja, pela difusão destas tecnologias entre a comunidade técnica [...].

O simpósio (Figura 1), que se caracterizou como uma atividade de disseminação de tecnologia, se estruturou de modo a criar condições para o entrosamento entre os diversos setores envolvidos com a área de Computação Gráfica e suas aplicações em Arquitetura, Engenharia e atividades afins: técnicos, pesquisadores, usuários e potenciais usuários e provedores de tecnologia (hardware e software).

Nesse simpósio, realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), foi apresentada a proposta de trabalho do Laboratório. A proposta explicitava o objetivo principal do LCAD como sendo o de “introduzir as técnicas de computação gráfica aplicada, *Computer Aided Design* (CAD), *Geographic Information System* (GIS), *Digital Terrain Model* (DTM) etc. nos cursos da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia e capacitá-la a médio prazo como centro de pesquisas e difusão destas tecnologias a nível nacional” (Pereira; Amorim, 1991).

Nos primeiros momentos, as atividades do laboratório dividiam-se em ensino – a oferta de disciplinas optativas para o curso de Arquitetura e Urbanismo e para cursos de Engenharia – e extensão – a oferta de cursos de atualização profissional para a comunidade técnica, predominantemente arquitetos e engenheiros.

Além dessas atividades, o LCAD realizou mais dois eventos nacionais: o 2º Simpósio de Computação Gráfica em Arquitetura, Engenharia e Áreas Afins em 1993 e o último deles em 1995, este voltado ao ensino (Seminário Nacional, 1996; Simpósio de Computação [...], 1991, 1994).

Nesse ponto, é importante salientar que o LCAD foi um dos primeiros laboratórios implantados nas escolas brasileiras de Arquitetura e o de objetivos mais arrojados. Em dezembro de 1994, o Ministério da Educação (MEC) publicou a Portaria nº 1.770 que introduz a Informática Aplicada como matéria obrigatória nos cursos de Arquitetura. Nessa fase, o LCAD já estava consolidado, bem como sua competência reconhecida nacionalmente, podendo liderar com desembaraço a implantação da nova matéria que, na verdade, já era oferecida na FAUFBA como optativa desde 1992.

A realização de eventos de abrangência nacional revelou-se uma estratégia correta, pois o intercâmbio com pesquisadores de diversas áreas presentes no país – que trabalhavam em áreas afins aos nossos interesses de estudo e pesquisa – se converteu em redes pessoais e institucionais que até hoje propiciam resultados.

Os primeiros anos do LCAD foram marcados por uma intensa agenda de atividades de extensão, destacando-se a oferta de vários cursos, mas também de convênios com organizações públicas. Essas atividades atendiam a uma demanda da comunidade técnica – arquitetos, engenheiros, projetistas – por formação e conhecimento, bem como eram uma forma de financiar as atividades do grupo

que necessitava de equipamentos e software, num contexto de recursos limitados como o que a UFBA vivia naquela época. O Laboratório se tornou uma referência em Salvador para os que buscavam conhecer as possibilidades de aplicações e usos de tecnologias gráficas digitais nas áreas de projeto e planejamento.

Depois da organização do primeiro simpósio voltado à Computação Gráfica em Arquitetura e Urbanismo, o LCAD foi contatado pela Companhia de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Salvador (Conder). Na época, essa companhia era uma organização estatal de planejamento metropolitano, interessada em usar tecnologias de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) no seu Sistema de Informações Metropolitanas que estava para ser implementado.

Um sistema de informações pode ser sintetizado como um sistema projetado para entrada, armazenagem, manutenção e processamento de dados e para a saída de dados na forma de informação. O sistema pode ser visto como uma maneira de integrar e organizar os dados e acrescentar significado a estes, transformando-os em informação útil para um determinado objetivo. Um SIG serve a necessidades específicas nas quais a questão espacial é central no processo de análise, interpretação e uso das informações.

As técnicas de representação seguiram o desenvolvimento tecnológico. O desenvolvimento de sistemas CAD, cuja sigla em português significa Projeto Assistido por Computador, permitiu a construção digital de representações geométricas extremamente complexas, embora no primeiro momento as aplicações voltadas para projeto reproduziam as representações bidimensionais utilizadas desde a Revolução Industrial. O computador era usado como uma máquina de desenho poderosa ou, num termo datado e muito usado na época, como uma “prancheta eletrônica”.

Os SIG pareciam trazer um avanço nas representações do mundo, pois as suas ferramentas permitiram que, além de uma representação geométrica do mundo baseada na utilização de elementos geométricos simples (pontos, linhas e polígonos usados na cartografia tradicional), atributos não gráficos fossem adicionados a esses elementos, vinculando o simbólico à representação geométrica. A Geografia poderia, então, ser representada por um banco de dados que contém dados sobre a geometria dos objetos representados e seus muitos atributos possíveis.

Em 1993, foi estabelecido um convênio entre a Conder e a UFBA, tendo o LCAD como executor. Através de uma pequena equipe, começamos a elaborar o projeto conceitual do sistema de informações metropolitanas. O professor José Alberto Quintanilha da USP, que havia participado do simpósio de 1991 com uma conferência sobre SIG, atuou como consultor externo ao Laboratório, trazendo uma bagagem que ainda não tínhamos e consolidando uma parceria que se mantém até hoje.

O avanço em diversas áreas tecnológicas no final do século XX – a exemplo de computação gráfica, banco de dados, sensoriamento remoto, fotogrametria –, sendo uma grande parte delas discutida nos simpósios de 1991 e 1993, possibilitou o surgimento da área de conhecimento interdisciplinar conhecida como Geoprocessamento. Esta, por sua vez, passou a influenciar as atividades nas quais a análise e o entendimento do espaço têm um papel preponderante.

O projeto do Sistema de Informações Metropolitanos elaborado para a Conder foi extremamente inovador para a época (Pereira; Amorim; Quintanilha, 1994), teve diversos desdobramentos acadêmicos – trabalhos apresentados, eventos, publicações, cursos etc. – num entrelaçamento de pesquisa e extensão, além de ser uma das razões que motivou o professor Gilberto Corso a desenvolver uma pesquisa de doutorado que investigasse as possibilidades de uso de tecnologias de Geoprocessamento em projeto e planejamento urbano, aproximando-o ao campo da Geografia Urbana.

Um SIG voltado ao Urbanismo pode oferecer uma representação da cidade ou de seus aspectos – isso parecia um mote importante para uma investigação que poderia ser desenvolvida em um doutorado.

Em 1994, o laboratório estava consolidado, com oferta de disciplinas no curso de graduação. A demanda por cursos de atualização profissional em ferramentas CAD já não era forte, pois o mercado já supria isso. A experiência com as tecnologias de Geoprocessamento abria uma nova possibilidade e um novo campo de estudo. O termo “geoprocessamento” traz implícito a noção de que, através do processamento de dados geográficos, se obtém informação. É composto por duas palavras – geo + processamento – que traduzem a ideia de chegar à informação pelo processamento de dados geográficos. Assim, Geoprocessamento pode ser considerado como um conjunto de tecnologias, métodos e processos para o processamento digital de dados geográficos e a obtenção de informação geográfica.

Nesse período, os cursos de pós-graduação no país em Arquitetura e Urbanismo eram poucos e fortemente orientados para as áreas de teoria e história da Arquitetura e Urbanismo. A tese de doutorado de Gilberto Corso discutiu as bases conceituais que devem embasar o projeto de um SIG para planejamento urbano. O texto apresentou exemplos de visualização cartográfica da cidade de Salvador, produzidas por meio das técnicas discutidas e da base de dados formada durante a pesquisa. A cartografia foi elaborada a partir dos objetivos do projeto, ou seja, analisar o espaço intraurbano de Salvador do ponto de vista do planejamento urbano.

Os resultados da tese levaram a investigações sobre as possibilidades de transformações de dados em informações para compreender e caracterizar as cidades. A defesa da tese aconteceu em outubro de 1999. Um desdobramento natural foram projetos de pesquisa ancorados na demanda de transformarem dados em informação geográfica que foram desenvolvidos a partir de 2000. Nesse período, podemos destacar os seguintes projetos: Visualização e Representação do Espaço (Vire); Visualização de Informações Urbanas (VIU); e Rede Baiana de Tecnologias de Informação Espacial (Rebate). Estes foram projetos que resultaram numa produção acadêmica rica.

Os primeiros partiram dos resultados da tese de doutorado que produziu uma grande quantidade de cartografia temática sobre Salvador para investigar as possibilidades de transformar aquela cartografia em informação visual digital. O Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (Pibic) da UFBA financiou diversos bolsistas que participaram deste e de outros projetos. Muitos dos bolsistas seguiram estudos na pós-graduação e na docência.

Um dos objetivos centrais dessas investigações era transformar um conjunto de dados sobre o espaço urbano que começavam a se tornar disponíveis na época – cartografia digital, dados demográficos, imagens de sensoramento remoto – em informação visual e manejada de forma interativa pelo pesquisador sem que este precisasse ser um especialista em geotecnologias. Os resultados mais notáveis foram duas versões do Atlas Digital Salvador – uma aplicação computacional que permitia aos usuários estruturarem de forma interativa as informações que lhes interessavam, além de diversos *papers* apresentados em eventos nacionais e internacionais.

O segundo projeto – Rebate – partiu da constatação que, embora já existissem no final dos anos 1990 tecnologias amplamente acessíveis para o tratamento de dados espaciais e análise de informações geográficas, a maior parte dos projetos de Geoprocessamento tinha como dificuldade inicial o acesso aos dados, que eram, em função dos altos custos envolvidos, produzidos por organizações públicas. Outras dificuldades comuns nos projetos baianos, além da falta de dados ou da falta de acesso aos dados, eram a falta de conhecimento que desse suporte à implantação de metodologias de planejamento e gestão e a ausência de capacitação das equipes técnicas.

Nesse contexto, a Universidade poderia desempenhar um papel relevante e esta foi a motivação para a elaboração do projeto Rebate, que tinha na sua primeira etapa as seguintes metas: qualificar pessoal nas organizações parceiras; fazer um inventário das ações, usuários, bases de dados e recursos envolvidos com

Geoprocessamento na Bahia e disseminar publicamente as informações geográficas existentes; e propor padrões para intercâmbio de dados entre as organizações. O projeto foi desenhado para viabilizar a constituição de uma rede interinstitucional dedicada à pesquisa e ao intercâmbio de informações, aproveitando um edital aberto em 1997 para o financiamento da constituição de redes de pesquisa.

O projeto foi elaborado em resposta ao edital do Centro de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico e da Financiadora de Estudos e Projetos (CADCT-Finep), Edital nº 01/97, redigido pelos autores deste texto, Arivaldo Leão de Amorim e Gilberto Corso Pereira. Foi entregue ao CADCT¹ para avaliação em março de 1998. O projeto, após sua aprovação pela Finep e pelo CADCT, buscou constituir um espaço de articulação de instituições públicas e privadas com a UFBA, através do LCAD, para pesquisas e atividades de difusão tecnológica.

O projeto gerou diversos produtos acadêmicos – livros, artigos, participação em eventos nacionais e internacionais, cursos de extensão, cursos de pós-graduação lato sensu –, destacando-se aqui uma das primeiras publicações em um periódico internacional em 1999 (Figura 2). O texto apresentou o projeto e suas motivações, a partir de uma análise do contexto nacional do uso e aplicações de geoprocessamento no Brasil e de suas consequências para o desenvolvimento de projetos (Pereira, 1999).

FIGURA 2 – “GIS Projects in Brazil: Present Situation, Difficulties and Trends”, 1999



Fonte: elaborada pelos autores.

1 Organização que antecedeu a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (Fapesb).

No período, além do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPG-AU), o LCAD colaborava com o Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana nos anos de 2000 e 2001, oferecendo a disciplina Geoprocessamento Aplicado (cujo código é ENG540), bem como com o Mestrado em Geografia, oferecendo em 2001 a disciplina Sistema de Informações Geográficas.

É importante ressaltar que também nessa época foram criados pelo LCAD cursos de pós-graduação *stricto sensu*, como a especialização em Geoprocessamento, com a primeira turma em 1996, além da especialização de Projeto Auxiliado por Computador, este em 1999.

O projeto Rebate iniciou em 1999 e teve a sua segunda etapa iniciada em 2000, então apoiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (Fapesb) e pela Finep. O projeto “Visualização de Informações Urbanas” com apoio do Pibic tem sequência até o ano de 2004, investigando diversas formas de visualização de informações. Essas pesquisas chegaram a resultados que foram apresentados durante o ano de 2002, em diversos eventos internacionais, tais como: Urban Data Management Symposium (UDMS); Conference on Education in Computer Aided Architectural Design in Europe (eCAADe), Global Spatial Data Infrastructure Conference (GSDI-6) (Pereira, 2002a, 2002b; Pereira; Rocha, 2002b, 2002c).

Os resultados do projeto Rebate, por sua vez, foram sintetizados em dois livros que foram publicados em 2002 e 2003, com a colaboração da então representante da Companhia de Processamento de Dados do Estado da Bahia (Prodeb), Maria Célia Rocha, parceria que viria a se repetir em outros momentos (Pereira; Rocha, 2002a, 2003).

O primeiro livro – Dados geográficos: aspectos e perspectivas – apresentou o resultado da primeira etapa do projeto e trazia uma ampla discussão sobre dados geográficos, examinados tanto a partir do contexto local quanto de uma visão externa, debatendo questões como demanda, oferta, intercâmbio, qualidade e políticas públicas de acesso e documentação. Os resultados da pesquisa na primeira fase mostraram a necessidade de o Estado “[...] estabelecer condições ambientais mais propícias à difusão e uso das geotecnologias entre instituições privadas e governamentais, através da organização de uma Infraestrutura de Dados Espaciais capaz de garantir a difusão e o acesso a essa informação” (Pereira; Rocha; Carvalho, 2002, p. 28).

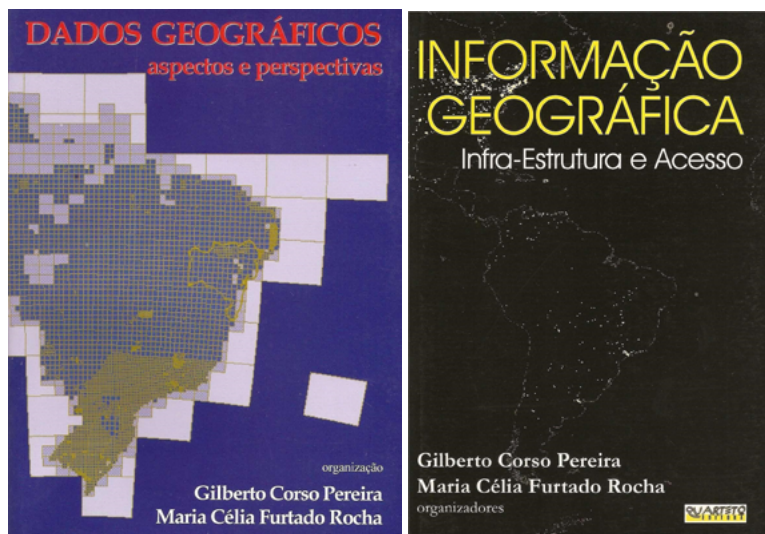
Essa necessidade justificou uma segunda etapa do projeto, que propôs o desenho institucional do que chamamos em 2000 de Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE). A palavra “infraestrutura” foi usada nesse contexto para promover o conceito de um ambiente confiável de suporte, buscando uma analogia

com redes de transporte, energia ou telecomunicações – nesse caso, facilita o acesso e o intercâmbio de dados e informação geográfica entre usuários e produtores de dados espaciais. Além disso, foi usada a tradução do conceito internacional *Spatial Data Infrastructure* (SDI) que estava se afirmando no mundo, embora na época fosse praticamente desconhecido no país.

A pesquisa traçou um diagnóstico da capacitação das organizações estaduais para o uso das geotecnologias e as dificuldades de acesso à informação geográfica por elas produzidas. Com base nisso e no conhecimento das experiências mundial e nacional em termos da estruturação desse tipo de organização em rede, a Rebate apresentou um modelo de IDE capaz de articular as organizações públicas e privadas no estado da Bahia.

O segundo livro – Informação Geográfica: infra-estrutura e acesso – apresentou os resultados da segunda etapa do projeto, trazendo, entre outras coisas, uma discussão de modelos e cenários para a sustentação e difusão de informação geográfica no estado e um panorama mundial e nacional das IDE em diversos contextos. Além dos produtos acadêmicos desse projeto, podemos destacar a influência na formulação de políticas públicas, como o Decreto Estadual nº 8.292, de 14 de agosto de 2002. Inspirado na recomendação feita pela rede para constituição de uma IDE baiana, o decreto define as competências, os procedimentos e as diretrizes para organização, manutenção e compartilhamento da IDE no estado (Pereira; Rocha; Pimentel, 2005).

FIGURA 3 – Livros resultantes do projeto Rebate, 2002 e 2003



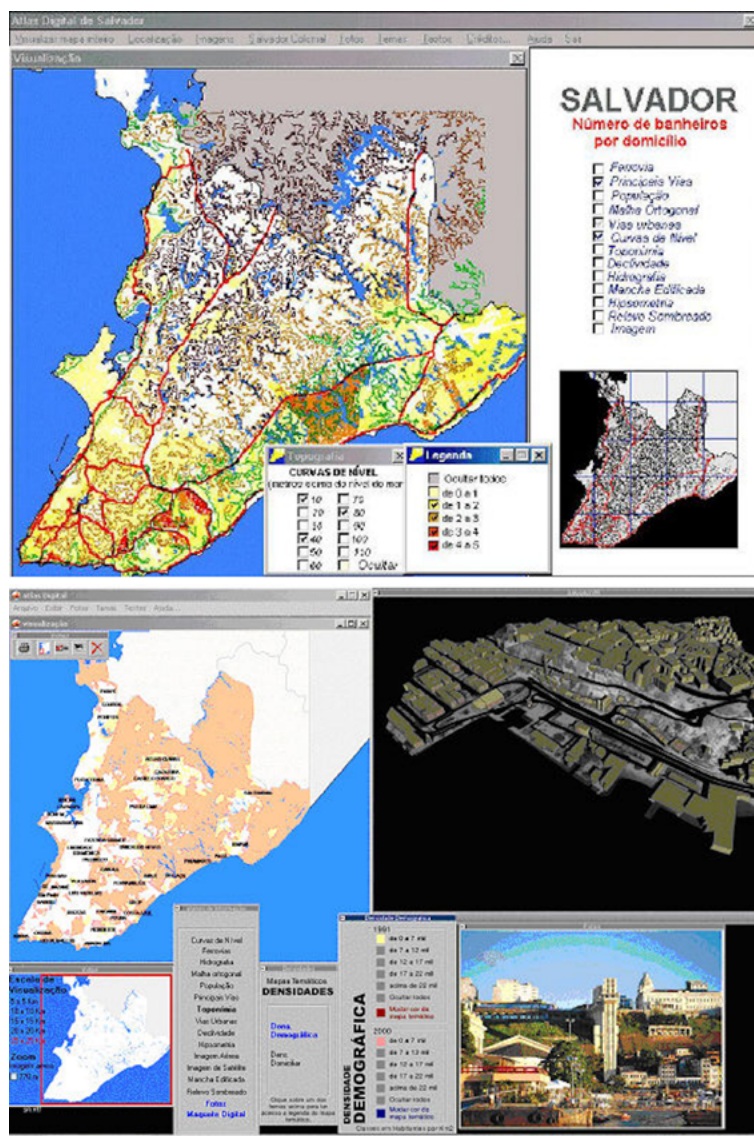
Fonte: elaborada pelos autores.

Na pós-graduação, o então Mestrado em Arquitetura e Urbanismo (MAU) se transformou no PPG-AU a partir da criação do doutorado em 1999. Nesse momento, as linhas de pesquisa foram reestruturadas e criamos a linha de pesquisa em Linguagem, Informação e Representação do Espaço que passou a ser apoiada pelo LCAD. Posteriormente, em 2003, a partir da integração de pesquisador do Laboratório a uma rede de pesquisa de estudos metropolitanos, passamos a participar também da linha de pesquisa Processos Urbanos Contemporâneos e, a partir de 2002, a oferecer a disciplina Geoprocessamento e Urbanismo no PPG-AU.

Desde 2000, pesquisas no âmbito do LCAD trabalhavam com análises de Salvador e sua região metropolitana. A produção de material cartográfico e visual para esses estudos serviu de base para as duas versões do Atlas Digital Salvador, apresentadas na Figura 4. A segunda versão incluiu uma atualização com os resultados do censo de 2000 e foi finalizada em 2006.

Outra frente de trabalho que se abre é a participação em redes cooperativas de pesquisa como a do Observatório das Metrôpoles. Esse observatório é um grupo que funciona em rede, reunindo instituições e pesquisadores dos campos universitário, governamental e não governamental, podendo ser caracterizado como um programa pluri-institucional e pluridisciplinar (Geografia, Planejamento Urbano, Ciências Sociais, Economia) que procura aliar suas atividades de pesquisa e ensino com a missão social de realizar e promover atividades que possam influenciar as decisões dos atores que atuam no campo da política pública, tanto na esfera do governo, como da sociedade civil. Trata-se de uma rede composta por pesquisadores de programas de pós-graduação que atuam na área de estudos urbanos regionais. Essa rede, que se consolidou posteriormente como INCT, se associou não apenas por afinidade temática, mas também por afinidade na concepção de planejamento urbano, enquanto prática científica visando à geração de conhecimento para a sociedade.

FIGURA 4 – Versão 1 e 2 do Atlas Digital Salvador, 2001 e 2006



Fonte: elaborada pelos autores.

Em 2002, o observatório que havia iniciado um programa de estudos comparativos das metrópoles brasileiras em 1997, nas metrópoles de Rio de Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte, estava expandindo a rede e entrou em contato com pesquisadores de Salvador que passaram a integrar a rede do Observatório. Em 2004, Gilberto Corso elaborou junto com Inaiá Carvalho o projeto “Metrópole e Desigualdades Socioespaciais: Projeto Salvador” que

foi submetido ao edital do Programa de Núcleos de Excelência (Pronex), com registro no CNPq e apoio da Fapesb, e foi aprovado para financiamento com duração prevista de três anos (2004-2006). A equipe coordenadora era constituída pelos mesmos pesquisadores do início, em 2002, provenientes e líderes de três diferentes núcleos da UFBA: Inaiá Maria Moreira de Carvalho, do Centro de Estudos e Pesquisas em Humanidades (CRH); Gilberto Corso Pereira, do LCAD/FAUFBA; Angela Maria Gordilho Souza, do Laboratório de Habitação e Cidade (LabHabitat) da FAUFBA. Esse projeto consolidou a nossa inserção na rede de pesquisa do Observatório das Metrópoles (OM), da qual o Laboratório faz parte até hoje como integrante do Núcleo Salvador OM. Ainda em 2004, a professora Angela Gordilho sai da equipe para assumir a Secretaria de Habitação no governo municipal de Salvador.

O projeto visou à incorporação do estudo sobre Salvador em uma rede nacional ampla, viabilizou análises comparativas e confronto de experiências, tendo como resultado: um enriquecimento mútuo dos pesquisadores, com transferências cruzadas de competência e uma melhor compreensão das tendências comuns e das diferenças entre as diversas metrópoles brasileiras, seja em razão dos diferentes pontos de partida e trajetórias específicas de cada cidade, seja devido aos efeitos particulares das conjunturas locais.

Esse projeto se configurou como uma ação multidisciplinar e interinstitucional articulada não somente na UFBA, mas externamente à Universidade, integrando-se a uma rede nacional que envolve instituições de pesquisa de todo o Brasil. Desse modo, contribuiu para subsidiar ações de planejamento e gestão dos espaços intraurbanos da região metropolitana de Salvador, possibilitando a formulação de políticas públicas mais eficazes no combate das desigualdades sociais e da exclusão pela espacialização da distribuição da riqueza e da pobreza urbana, colocando em contexto geográfico as desigualdades sociais, as composições ocupacionais, as dinâmicas demográficas e as condições de vida da população urbana em Salvador e sua região metropolitana.

A produção acadêmica resultante desses estudos é bastante robusta, destacando-se o livro *Como Anda Salvador* que teve duas edições pela Editora da UFBA (Edufba) e uma terceira pela editora Letra Capital (Pereira; Carvalho, 2006, 2008, 2009). O livro, na sua segunda edição da Edufba, que foi atualizada e ampliada em relação à edição de 2006, encontra-se disponível no formato *e-book* no portal SciELO² e no repositório institucional da UFBA.

2 Ver em: <http://books.scielo.org/id/36d>.

FIGURA 5 – Edições do livro *Como Anda Salvador*, 2006, 2008 e 2009

Fonte: elaborada pelos autores.

Esse livro se tornou uma referência para os estudos sobre Salvador e sua região metropolitana devido à sua abrangência e ao seu caráter interdisciplinar. A região metropolitana de Salvador é analisada em diversos aspectos – econômicos, demográficos, sociais, do ambiente construído, violência urbana –, todos relacionados e ilustrados por uma cartografia e um conjunto de indicadores que traçam um retrato claro da metrópole no início do século XXI.

Outro trabalho relevante nesse período é o Projeto Vazios Urbanos (Figura 6). Esse projeto teve como objetivo o levantamento e o mapeamento dos vazios urbanos com potencial de implantação de empreendimentos habitacionais de interesse social do município de Salvador e da situação fundiária das Áreas de Especial Interesse Social (AEIS) e dos vazios urbanos. Foi um projeto de pesquisa e extensão desenvolvido por solicitação da Secretaria de Habitação da Prefeitura Municipal de Salvador. O início do projeto foi em janeiro de 2006, com uma segunda etapa iniciada em 2008, que atualizou as informações do projeto quando se tornou disponível um novo conjunto de imagens aéreas de Salvador.

FIGURA 6 – Apresentação dos resultados do projeto Vazios Urbanos

Diário Oficial do Município Página 02

Ocupação urbana de Salvador chegou ao limite

Vazios urbanos disponíveis para habitação de interesse social não suprem a demanda habitacional de Salvador

Quinze por cento dos espaços de Salvador são destinados à habitação em geral e menos da metade deste percentual está disponível para ocupação de empreendimentos habitacionais de interesse social. Este é o resultado do Levantamento e Mapeamento dos Vazios Urbanos com Potencial de Implantação de Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social, elaborado pelo Laboratório de Computação Gráfica de Arquitetura e Desenho (LCAD), da Universidade Federal da Bahia (UFBA).

Encomendado pela Secretaria Municipal da Habitação (Sehab), por meio de convênio firmado com a UFBA, o levantamento foi apresentado na tarde de ontem, no auditório da Secretaria Municipal da

Administração (Sead), a 40 técnicos vinculados às áreas de Planejamento, Urbanismo e Habitação da Prefeitura e do Estado. O estudo faz parte de um conjunto de ações voltadas ao desenvolvimento de uma Política Habitacional de Interesse Social do Município, financiado pelo Ministério das Cidades, por meio do Subprograma de Desenvolvimento Institucional do Programa Habitar Brasil/BID.

“O estudo demonstra o crescimento da cidade, nos últimos 50 anos, e revela que os vazios urbanos disponíveis para habitação de interesse social não dão para suprir a demanda habitacional”, salientou a secretária municipal da Habitação, Ângela Gordilho, mostrando preocupação com o déficit habitacional de Salvador, que gira em torno de 100 mil casas.

A secretária aponta três propostas que devem ser consideradas no planejamento da Política Habitacional de Interesse Social do Município e que estão sendo analisadas na Sehab. Estabelecimento de critérios e controles de verticalização da área ocupada nas Zonas de Es-

pecial Interesse Social (Zeis), verificação da possibilidade do uso de imóveis ociosos e construção de um Planejamento Regional visando à descentralização de Salvador, no conjunto da Região Metropolitana. “Salvador esgotou sua capacidade de ocupação. É preciso pensar em política de descentralização, firmando parcerias com os municípios vizinhos”, finalizou.

O levantamento foi elaborado em um período de sete meses e consta de quatro relatórios e um caderno de Vazios, com mapas e informações especificadas de cada área. “O trabalho se constitui em uma base de dados que poderá ser operada pela Prefeitura para simulações, atualizações e previsões”, acrescentou o professor Gilberto Corso, coordenador do estudo.



Ângela Gordilho apresentou o resultado do estudo ontem no auditório da Sead

Fonte: elaborada pelos autores.

A terra urbana constitui-se em instrumento de fundamental importância para implantação de novos projetos de habitação popular, visando tanto à redução do déficit habitacional para essa faixa de renda, quanto à implantação de programas de relocação de assentamentos e apoio aos desabrigados. Nesse sentido, para que a administração pública possa criar alternativas adequadas de acesso a terras urbanas em condições propícias à realização ou ao fomento de empreendimentos habitacionais, é necessário que os setores de planejamento e gestão habitacional municipal disponham de informações detalhadas acerca dos vazios urbanos disponíveis no espaço do município.

O projeto teve como objetivo estruturar uma base de dados contendo o mapeamento das terras urbanas desocupadas e ociosas do município, visando dar suporte técnico ao desenvolvimento de projetos habitacionais. Isso torna mais ágil a confecção de um “banco de projetos” e, consequentemente, o processo de captação de recursos disponibilizados pelo governo federal para implementação de projetos de habitação de interesse social.

Além de mapear as áreas desocupadas – “vazios urbanos” –, o objetivo central incluiu a qualificação dessas áreas e a sua hierarquização, ou seja, a classificação dentre o conjunto das áreas identificadas, das mais adequadas para

desenvolvimento de projeto de habitação de interesse social. Isso foi feito com o suporte de SIG, análise e interpretação de imagens e técnicas de análise espacial. O resultado final foi uma base de dados que retrata o conjunto de áreas, com a descrição de suas características – física, ambiental, urbanas – hierarquizadas.

Como em momentos anteriores, um trabalho desenvolvido por “encomenda” da administração pública se tornou um campo de pesquisa e experimentação. O método usado no projeto para classificação das glebas foi semelhante ao que foi apresentado por Ian McHarg no seu livro seminal *Design with Nature*, de 1969. Claro que aqui usamos tecnologias digitais para processar uma massa de dados bastante grande. Esse projeto que teve duas etapas, com a segunda iniciando em 2008, teve como resultado diversos produtos acadêmicos – artigos, capítulos de livros, eventos (Pereira, 2011; Pereira, 2012).

É importante também registrar a realização, nesse período, de projeto com o Instituto de Tecnologia de Karlsruhe (KIT)³ no período de 2009 a 2013. O LCAD estabeleceu um projeto de intercâmbio com o Instituto de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (IPF)⁴ do KIT. O projeto de pesquisa e colaboração acadêmica “Patrimônio Arquitetônico, Documentação e Tecnologias Digitais” havia sido em resposta a um edital da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e do Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico (DAAD)⁵ em 2008, por meio do Programa Brasil Alemanha (Probral), e aprovado para início em março de 2009. Esse projeto representou um esforço do LCAD na absorção de tecnologias de última geração aplicadas à documentação arquitetônica e de sítios urbanos. Esse projeto é desenvolvido em parceria com o IPF da Universidade de Karlsruhe, na Alemanha, conceituado centro de pesquisa nessa área.

Além da formação de recursos humanos, o projeto previu a aquisição de dados com tecnologias digitais de última geração e o desenvolvimento de metodologia eficiente e de baixo custo para a documentação do vasto patrimônio arquitetônico brasileiro. Num segundo momento, realizamos a difusão desses trabalhos através da organização de seminário e cursos, além da formação de uma rede de universidades que atuam na documentação do patrimônio arquitetônico brasileiro no sentido do emprego de metodologias mais

3 Na língua inglesa, refere-se à Karlsruhe Institute of Technology (KIT).

4 Na língua alemã, refere-se à Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung (IPF).

5 Na língua alemã, refere-se à Deutscher Akademischer Austauschdienst (DAAD).

eficientes para a aquisição, o tratamento, o armazenamento e a divulgação dos dados levantados. O projeto foi coordenado pelo professor Arivaldo Leão de Amorim e previu missões de estudo e trabalho dos estudantes e pesquisadores de ambas as instituições.

A presença na Europa permitiu uma boa interação com os pesquisadores do KIT, bem como de outras universidades europeias, tais como HafenCity University Hamburg, University College of London, Politecnico di Milano, University of Cagliari, University of Basilicata, TU Delft – OTB Research Institute for the Built Environment. Esses contatos ocorreram em reuniões quando da visita de pesquisadores ao KIT durante eventos técnico-científicos ou em reuniões nas universidades, abrindo possibilidades para futuros projetos colaborativos.

O resultado geral foi uma produção acadêmica que se expressou na forma de artigos publicados em periódicos internacionais, capítulos de livros publicados na Europa, apresentações em eventos científicos internacionais, participação em comitê científico de eventos internacionais. Além da produção científica, foram lançadas bases para projetos de cooperação futuros com grupos de pesquisa europeus, contribuindo para ampliar a internacionalização dos programas de pós-graduação dos quais os pesquisadores do LCAD participam.

Essa cooperação com pesquisadores e núcleos do KIT possibilitou, em 2018, uma nova parceria com o KIT em um novo projeto: “Estabelecendo requisitos para a Modelagem da Informação da Cidade (CIM)”. O CIM⁶ constitui um novo paradigma que busca fazer frente às demandas geradas pela crescente complexidade urbana. Para isso, emprega tecnologias, sistemas, ferramentas, modelos e padrões que têm sido propostos e implementados e que visam contribuir para a redução dos custos associados às cidades e para a melhoria da qualidade de vida para todos os cidadãos. Assim, esse projeto consiste no estudo de aspectos teóricos-conceituais e realização de procedimentos práticos-experimentais, visando ao estabelecimento de requisitos para implementação de uma plataforma CIM adequada à realidade brasileira. Iniciado em 2018, esse projeto de pesquisa foi financiado pela Capes e pelo DAAD, tendo duração de quatro anos, bem como foi desenvolvido pela UFBA em parceria com o KIT, na Alemanha, através dos seus centros de pesquisas LCAD, Geodetic Institute (GIK) e IPF (citado anteriormente). O projeto foi coordenado pelo professor Arivaldo Leão de Amorim e previu missões de estudo e trabalho dos

6 Na língua inglesa, refere-se à *City Information Modeling* (CIM).

estudantes e pesquisadores de ambas as instituições, mas o advento da pandemia da covid-19 no início de 2020 obrigou a interrupção das missões.

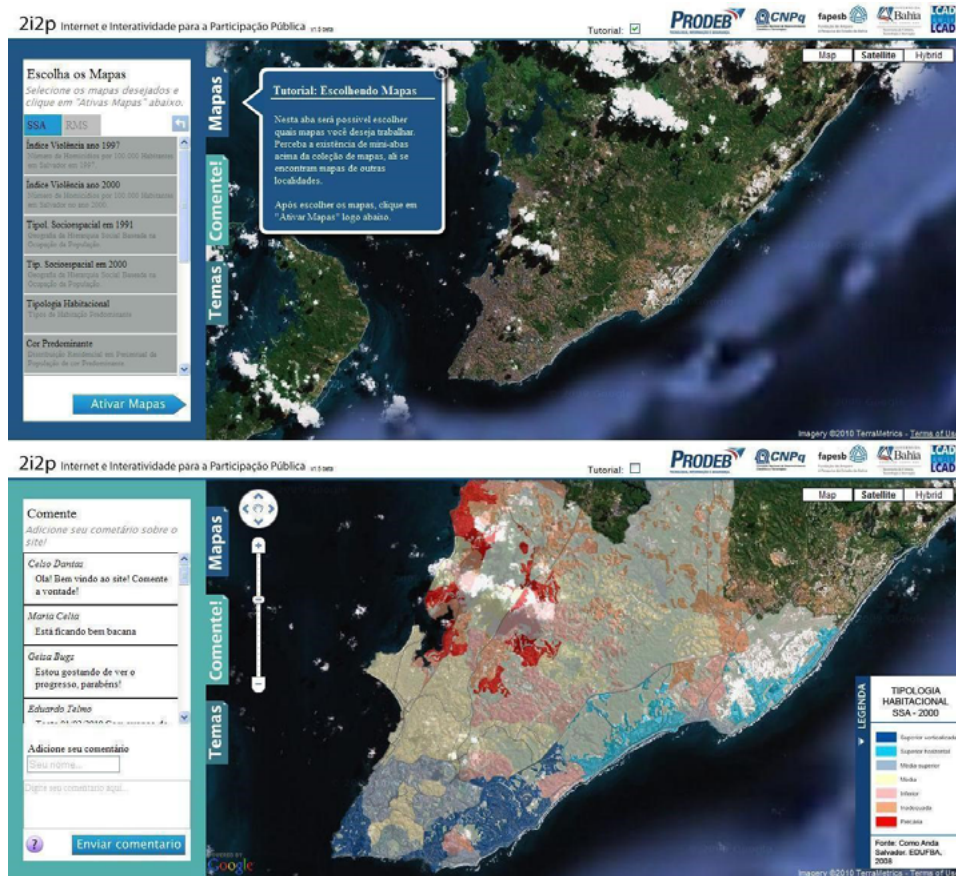
Dentre outros projetos que podem ser mencionados, temos o projeto “2i2p – Internet e interatividade para a participação pública”. Esse foi um projeto de pesquisa realizado através de parceria entre Prodeb e o LCAD/FAUFBA, com apoio da Fapesb/CNPq, no âmbito do Edital Bahia Inovação nº 002/2008, na modalidade Pesquisador na Empresa.

Nesse projeto, algumas ideias desenvolvidas nos projetos de visualização de informação geográfica que resultaram nos Atlas Digitais foram retomadas, agora com a possibilidade de acrescentar interatividade através do uso da internet. Alguns temas tratados no projeto, a exemplo de questões de usabilidade, simplificação da linguagem e muitos outros aspectos de projeto de sítios Web. Com relação à informação geográfica, consideramos que, mais do que prover instrumentos e ferramentas digitais de representação do espaço para viabilizar a participação pública num processo de planejamento urbano, seria importante a disponibilização de recursos e informações de forma interativa e numa rede aberta – possibilidade essa que a internet, com as aplicações hoje chamadas de Web 2.0, torna viável a baixo custo.

Outro resultado do Projeto 2i2p (Figura 7) foi uma atividade de extensão, a organização e coordenação do Colóquio Internacional Democracia e Interfaces Digitais para a Participação Pública. Esse evento foi promovido pelo LCAD e pelo PPG-AU/UFBA, com apoio da Capes e do Instituto Cultural Brasil-Alemanha (ICBA), em setembro de 2010. Resultados desse colóquio foram publicados como um número especial dos cadernos do PPG-AU. Outros produtos incluíram a participação em eventos como o XIV Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional (Anpur), o XIV Enanpur.

Uma outra área de pesquisa também significativa é a relacionada com o Núcleo Salvador do Observatório das Metrôpoles que realizou, desde 2004, um conjunto de estudos sobre as condições econômicas, populacionais, sociais e urbanas da metrópole baiana. Uma grande parte destes estudos foram publicados nas edições já citadas do livro *Como Anda Salvador*, hoje esgotado. Em 2011, elaboramos um novo projeto em resposta ao Edital Pronex, apoiado por CNPq/Fapesb, com os mesmos pesquisadores do projeto de 2004, agora ampliado por pesquisadores da Universidade Católica do Salvador (UCSal) como Sylvio Bandeira, Barbara-Christine, Silvana Carvalho e Nelson Baltrusis.

FIGURA 7 – Site experimental 2i2p, 2010



Fonte: elaborada pelos autores.

Dentre os eventos de relevo promovidos e organizados pelo LCAD, deve-se mencionar o Seminário Nacional Documentação do Patrimônio Arquitetônico (ArqDoc 2010), promovido pelo LCAD/FAUFBA com apoio da Capes e do CNPq. Tal evento aconteceu em Salvador, no ano de 2010. Além disso, deve-se citar a participação do pesquisador Gilberto Corso, em novembro de 2012 em Fortaleza, no XVI Congresso da Sociedade Iberoamericana de Gráfica Digital (Sigradi 2012). Ele participou como *keynote speaker* convidado, com a apresentação da conferência Informação Geográfica: Cidade, Cultura e Tecnologia. Além dele, houve a participação do pesquisador Arivaldo Leão de Amorim no Congresso Científico Internacional CAAD Futures, realizado no Museu de Arte de São Paulo (MASP) em 2015, como *keynote speaker* convidado com a conferência CAAD History in Brazil. Esses eventos registram o reconhecimento do laboratório como um centro difusor de estudos e de seus pesquisadores como referências para a área.

Os projetos em andamento recentes englobam uma variedade de temáticas, como podemos ver na lista a seguir que registra os projetos em andamento em 2020:

- Densidade e tecido urbano: parâmetro urbanístico chave e elemento sensor da organização territorial metropolitana;
- Documentação arquitetônica e de sítios urbanos;
- Estabelecendo requisitos para a Modelagem da Informação da Cidade (CIM);
- Planificação de formas arquitetônicas complexas: investigações para fabricação digital de maquetes;
- Programa permanente de documentação do patrimônio arquitetônico do estado da Bahia com tecnologias digitais;
- Projeto Salvador: visões de futuro;
- Representações da cidade contemporânea;
- Uso da realidade aumentada no manual do proprietário da edificação;
- Visualização de centros históricos em realidade aumentada;
- Visualização urbana em realidade aumentada no âmbito da Modelagem da Informação da Cidade;
- Técnicas de baixo custo para documentação arquitetônica e urbana.

A diversidade de temas enfrentados pelos pesquisadores do laboratório atualmente, que se expressa na Figura 8, foi o motivo central para a alteração do nome do laboratório para Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais, mantendo a sua sigla original – LCAD.

Tanto o Laboratório quanto as redes de pesquisa das quais participa sempre tiveram um enfoque interdisciplinar evidente, algo que consideramos imprescindível para se enfrentarem os desafios que a produção do conhecimento coloca para a academia no século XXI.

FIGURA 8 – Nuvem de palavras formada a partir dos títulos das pesquisas em andamento, 2020



Fonte: elaborada pelos autores.

REFERÊNCIAS

- PEREIRA, G. C.; AMORIM, A. L. Proposta de trabalho do laboratório de computação gráfica aplicada a arquitetura e ao desenho. *In: SIMPÓSIO DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA EM ARQUITETURA, ENGENHARIA E ÁREAS AFINS*, 1., 1991, Salvador. *Anais [...]*. Salvador: FAUFBA, 1991.
- PEREIRA, G. C.; AMORIM, A. L.; QUINTANILHA, J. A. Projeto SIM - informatização do sistema de informações metropolitanas. *In: SIMPÓSIO DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA EM ARQUITETURA, ENGENHARIA E ÁREAS AFINS*, 2., 1994, Salvador. *Anais [...]*. Salvador: UFBA, 1994. p. 149-157.
- PEREIRA, G. C. Apresentação. *In: SIMPÓSIO DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA EM ARQUITETURA, ENGENHARIA E ÁREAS AFINS*, 1., 1991, Salvador. *Anais [...]*. Salvador: FAUFBA, 1991.

- PEREIRA, G. C.; CARVALHO, I. M. M. (org.). *Como anda Salvador e sua Região Metropolitana*. 2. ed. Salvador: Edufba, 2008.
- PEREIRA, G. C.; CARVALHO, I. M. M. (org.). *Como anda Salvador e sua Região Metropolitana*. Salvador: Edufba, 2006.
- PEREIRA, G. C.; CARVALHO, I. M. M. (org.). *Como anda Salvador*. Rio de Janeiro: Observatório das Metrópoles, 2009. Esta edição foi realizada pelo Observatório das Metrópoles e embora distribuída em 2009, o conteúdo é o mesmo da 1ª edição de 2006.
- PEREIRA, G. C. City model and representation: Salvador 3D. In: URBAN DATA MANAGEMENT SYMPOSIUM, 23rd., 2002, Prague. *Proceedings* [...]. Prague: UDMS, 2002a.
- PEREIRA, G. C. Desenho, ensino e novas tecnologias. *Educação Gráfica*, Bauru, n. 4, p. 9-22, 2000.
- PEREIRA, G. C. GIS projects in Brazil. *GIM International*, Vuurtorenweg, v. 13, n. 9, p. 37-39, 1999.
- PEREIRA, G. C. Interactive urban representation. In: CONFERENCE ON EDUCATION IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE, 20th., 2002, Warsaw. *Proceedings* [...]. Warsaw: Faculty of Architecture, Warsaw University of Technology, 2002b.
- PEREIRA, G. C. I vuoti urbani: analisi e classificazione del territorio urbano a Salvador (Bahia). In: MAGONI, M. (org.). *Cooperare attraverso l'Atlantico: analisi, strategie e progetti per la riqualificazione dei margini urbani nei paesi latini europei e americani*. Milano: Libreria CLUP, 2012. v. 1, p. 145-154.
- PEREIRA, G. C.; ROCHA, M. C. F.; CARVALHO, S. S. Infra-estrutura de dados espaciais: o caso baiano. In: PEREIRA, G. C.; ROCHA, M. C. F. (org.). *Dados geográficos: aspectos e perspectivas*. Salvador: Quarteto, 2002. p. 13-30.
- PEREIRA, G. C.; ROCHA, M. C. F. (org.). *Dados geográficos: aspectos e perspectivas*. Salvador: Quarteto, 2002a.
- PEREIRA, G. C.; ROCHA, M. C. F. (org.). *Informação geográfica: infra-estrutura e acesso*. Salvador: Quarteto, 2003.
- PEREIRA, G. C.; ROCHA, M. C. F.; PIMENTEL, R. SEI em Rede. *Bahia Análise & Dados*, Salvador, v. 15, p. 187-197, set./dez. 2005.
- PEREIRA, G. C.; ROCHA, M. C. F. Spatial Data Infrastructure: a Brazilian case. In: URBAN DATA MANAGEMENT SYMPOSIUM, 23rd., 2002, Prague. *Proceedings* [...]. Prague: UDMS, 2002b.
- PEREIRA, G. C.; ROCHA, M. C. F. Spatial Data Infrastructure in Brazil – the REBATE project. In: GSDI - GLOBAL SPATIAL DATA INFRASTRUCTURE CONFERENCE, 6., 2002, Budapest. *Proceedings* [...]. Budapest: [s. n.], 2002c.

PEREIRA, G. C. Urban voids: mapping and classification of urban land in Salvador, Bahia. *In: EUROPEAN COLLOQUIUM ON QUANTITATIVE AND THEORETICAL GEOGRAPHY*, 17., 2011, Athens. *Proceedings* [...]. Athens: Greek Society for Demographic Studies, 2011. v. 1.

SEMINÁRIO NACIONAL – A INFORMÁTICA NO ENSINO DE ARQUITETURA, 1., 1996, Salvador. *Anais* [...]. Salvador: LCAD/UFBA, 1996.

SIMPÓSIO DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA EM ARQUITETURA, ENGENHARIA E ÁREAS AFINS, 1., 1991, Salvador. *Anais* [...]. Salvador: FAUFBA, 1991.

SIMPÓSIO DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA EM ARQUITETURA, ENGENHARIA E ÁREAS AFINS, 2., 1994, Salvador. *Anais* [...]. Salvador: LCAD/UFBA, 1994.

PARTE 2

CIDADE E TECNOLOGIAS DIGITAIS

O campo de pesquisa e estudos sobre cidade mostra-se fértil e tende a crescer em tamanho e complexidade na proporção em que surgem os problemas decorrentes do convergente e contínuo aumento da urbanização em escala mundial, aliados às questões da globalização. Transformações oriundas da crise sanitária, da pandemia da covid-19, da inflexão política e econômica ultraliberal, da revolução tecnológica, das mudanças climáticas, dentre outras, rebatem-se no campo da Arquitetura e Urbanismo, trazendo grandes impactos ainda a serem percebidos e aquilatados.

Posições teóricas diametralmente opostas incitam a reflexões sobre o futuro das cidades. Simultaneamente, o desenvolvimento das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) tende a desencadear grandes transformações no padrão de organização das concentrações urbanas e das atividades econômicas. A crescente complexidade urbana requer o uso mais intenso de recursos tecnológicos para suprir as diferentes demandas no planejamento, no projeto, na construção, na operação, na manutenção e no gerenciamento dos ativos urbanos. Dentre as tecnologias digitais e as suas aplicações que podem auxiliar, melhorar os serviços e reduzir os custos

operacionais envolvidos nas diferentes atividades, destacam-se: Sistema de Informações Geográficas (GIS)¹, Modelagem da Informação da Cidade (CIM)², *Big Data*, Internet das Coisas (IoT)³, dentre várias outras.

Essas transformações são convergentes com o recorte dos interesses já estabelecidos para o Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD). Os processos urbanos em curso são os seguintes: da cidade-região a tecidos urbanos dispersos; sustentabilidade *versus* densidade; conceituações disciplinares a atualizações conceituais de construções interdisciplinares e ecocêntricas; a cidade dos fluxos e das relações às escalas urbana, metropolitana e regional. A diversidade de visões sobre a cidade e sobre as ocupações urbanas e outras reflexões requer uma leitura compreensiva e integrada das diversas dimensões: econômica, tecnológica, social, cultural, territorial, espacial, ambiental, ecológica, institucional, política e internacional. As tecnologias digitais apresentam-se como recurso viabilizador e otimizador dessa integração de campos de saberes, envolvendo a complexidade do fenômeno urbano – em franca transição.

Esta Parte 2 reúne quatro capítulos resultantes de pesquisas que buscam compreender tanto os processos urbanos contemporâneos nas cidades e na Região Metropolitana de Salvador, quanto oportunizam a análise crítica – limites e potencialidades – sobre a aplicação de metodologias de pesquisa baseadas nas técnicas de Geoprocessamento, de leitura de imagens, processamento e integração de grande quantidade dados e outras tecnologias de representação espacial.

O capítulo 2 deste livro – que integra a Parte 2 como primeiro texto –, escrito por Maria das Graças Borja Gondim dos Santos Pereira e Gilberto Corso Pereira, foi apresentado em 2018 e publicado nos Anais do Congresso Observatório das Metrôpoles 20 anos (2019). Traz a reflexão sobre o modo disperso da urbanização da metrópole de Salvador e analisa esse fenômeno no contexto das grandes transformações ocorridas desde as décadas finais do século XX – em escalas regional e intraurbana. Do estudo do tecido das áreas urbanizadas acrescidas entre 1991-2010, emergem dados que justificam retomar a questão trazida por Marcuse e Van Kempen (2000) relativa à pertinência de

1 Na língua inglesa, refere-se a *Geographic Information System* (GIS).

2 Na língua inglesa, refere-se a *City Information Modeling* (CIM).

3 Na língua inglesa, refere-se a *Internet of Things* (IoT).

reconhecimento de uma nova ordem urbana, um padrão contemporâneo da expansão das metrópoles, tendo as tecnologias digitais como um forte indutor da reorganização espacial. A discussão é tensionada a partir dos parâmetros socioeconômicos, urbanísticos e ambientais que afloram dos estudos do tecido urbano, na especificidade de uma metrópole periférica nordestina.

O segundo texto da Parte 2 – correspondente ao terceiro capítulo do livro –, de Inaiá Maria Moreira de Carvalho e Gilberto Corso Pereira, refere-se a um capítulo publicado em 2018 no livro *Metrópoles brasileiras: síntese da transformação na ordem urbana 1980 a 2010*. O trabalho analisa a cidade e sua trajetória ante as transformações contemporâneas do capitalismo, com a globalização, a reestruturação produtiva, a financeirização da riqueza que, em função de fluxos mundializados, revitalizam o papel dos grandes centros com mudanças significativas na sua ordem social e urbana. Dialoga com a posição de importantes autores sobre os efeitos dessas mudanças, disputas e conflitos, além de trazer à tona o papel dos grandes centros urbanos na absorção do capital: as metrópoles como protagonistas centrais do processo de crescimento em escala mundial. No novo ciclo de desenvolvimento nacional, focaliza as transformações na estrutura social e urbana de Salvador e conclui com as interpretações dos autores sobre as especificidades locais, considerando o caráter periférico da metrópole de Salvador na economia brasileira.

O texto seguinte – que corresponde ao capítulo 4 do livro –, de Gilberto Corso Pereira e Maina Pirajá Silva, também foi publicado em 2019 nos Anais do Congresso Observatório das Metrópoles 20 anos. Traz uma aplicação experimental da técnica de análise de redes, com o objetivo de mapear e caracterizar coalizões de poder. As coalizões, via de regra informais e efêmeras que se formam entre agentes no processo de planejamento e gestão do espaço urbano e metropolitano, visam manter e ampliar uma agenda de investimentos públicos, dirigindo-os a uma agenda particular, de crescimento econômico privado, com influência nos rumos do desenvolvimento urbano na metrópole. As técnicas de análise de redes são aplicadas em dois casos diversos, mas complementares: as parcerias público-privadas nos processos de gestão pública na Região Metropolitana de Salvador (RMS) e o financiamento de campanhas eleitorais na RMS, possibilitando inferências de uma cartografia dessas relações.

O último texto – capítulo 5 deste livro –, de Maria das Graças Borja Gondim dos Santos Pereira e Gilberto Corso Pereira, integra o *e-book* intitulado *Espaços Metropolitanos: processos, configurações, metodologias e perspectivas*

emergentes, organizado pelo Observatório das Metrópoles (2021). A obra trata das mudanças significativas, registradas desde a virada do século XX para o XXI, resultantes da reestruturação produtiva, flexibilização da acumulação do capital e das relações de produção, aceleradas pela intensificação do uso de TIC. Essas transformações e suas correspondentes expressões espaciais justificam a elaboração de um cenário futuro, com objetivo de compreender, com base em estudos recentes, o direcionamento projetável do cenário tendencial em 2030, insumo ao planejamento e gestão, focando especificamente nos efeitos socioespaciais.

CAPÍTULO 2

URBANIZAÇÃO DISPERSA

Tecido urbano na expansão da região metropolitana de Salvador (RMS) – Fenômeno de exclusão ou novo padrão de ordenamento territorial?¹

Maria das Graças Borja Gondim dos Santos Pereira

Gilberto Corso Pereira

INTRODUÇÃO

Salvador, historicamente cotejada nas políticas públicas nacionais desde a sua fundação, assim se manteve no desenvolvimentismo e no regime de acumulação flexível e globalização da economia. Políticas públicas que, consubstanciadas no planejamento e, principalmente, nas ações efetivas de gestão a nível estadual, estabeleceram os principais condicionantes, fortemente influenciando a formação da atual espacialidade metropolitana. No desenvolvimentismo, foram estabelecidos os seguintes marcos: a política de “desconcentração concentrada” idealizada pela Comissão de Planejamento Econômico e pelo Plano de Desenvolvimento Econômico e Social (CPE/Plandeb) para o desenvolvimento industrial;

1 Originalmente publicado em: Santos Pereira e Pereira (2019).

a decisão locacional dos distritos industriais; a decisão política da localização do complexo petroquímico; a acessibilidade direcionada às concentrações industriais, que definem um sistema rodoviário estrutural, embrionário do que viria a se constituir nos vetores de expansão metropolitanos propriamente ditos; e a urbanização concentrada na capital – progressivamente mais densa – por substituição do tecido urbano por meio da verticalização e subdivisão de glebas em lotes. Esses grandes marcos da estrutura da espacialidade metropolitana vão lastrear, no período seguinte, os novos processos de expansão metropolitanos.

O alto grau de concentração econômica, setorial e espacial na Região Metropolitana de Salvador (RMS) no período de acumulação flexível, a globalização da economia e todo o esforço das políticas públicas refletido nas ações efetivas de gestão direcionaram à inserção no circuito global. A política de incentivos fiscais para atração de investimentos, a dotação de infraestrutura, o suporte necessário à viabilização dos empreendimentos e até mesmo capital de giro foram medidas adotadas, expondo o grande protagonismo do capital internacional no direcionamento dos processos econômicos e, consequentemente, urbanos e metropolitanos. Sob a nova conjuntura, do período acumulação flexível, os objetivos se adequam: no setor industrial, focalizam-se a diversificação da composição e o fomento à industrialização, atraindo qualquer unidade industrial, sem requisitos; no setor serviços, majorados nesse período em decorrência da inserção global, da reestruturação produtiva – especialmente a terceirização –, do suporte ao incremento da corrente do comércio internacional e dos serviços especializados do setor turismo, que se tornou atividade econômica prioritária; da indústria cultural, de entretenimento e de lazer; e nas demais estruturas de serviços relacionados às atividades de saúde, educação, abastecimento e outros âmbitos que compõem a vida urbana.

Objetivo

Os estudos estão focados no processo de expansão metropolitano e no modo de organização territorial no contexto das grandes transformações ocorridas desde as décadas finais do século XX, nas escalas regional e intraurbana. A aproximação e o reconhecimento das características do tecido urbano produzido revelam informações não detectadas nas análises da urbanização dispersa recorrentes, que focalizam predominantemente a circunstância e a disposição das manchas urbanas. Do estudo do tecido das áreas urbanizadas acrescidas entre 1991 e 2010 realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), emergem dados que justificam retomar a questão trazida por Marcuse

e Van Kempen (2000) relativa à pertinência de reconhecimento de uma nova ordem urbana – um padrão contemporâneo da expansão das metrópoles. A discussão é tensionada a partir dos parâmetros socioeconômicos, urbanísticos e ambientais que afloram dos estudos do tecido urbano, na especificidade de uma metrópole periférica nordestina – objetivo central deste texto.

Metodologia

Com base em referências bibliográficas e documentais, o sistema teórico explicativo bem como o contexto socioeconômico e ambiental, a gestão e os efeitos territoriais foram compostos. Destaca-se como referencial a conceituação de “urbanização dispersa” de Reis Filho (2006), traduzida em dois modelos teóricos de interpretação do fenômeno: o primeiro, centrado em estudos quantitativos e demográficos que tendem a valorizar as mudanças tecnológicas como fatores determinantes da pulverização de população e atividades sobre o território; o segundo, mais politizado, entende a dispersão urbana como efeito da nova forma de operação do capitalismo.

A leitura do fenômeno na RMS inicia com a identificação, a quantificação e o georreferenciamento das áreas urbanizadas acrescidas e das áreas isoladas nos Censos Demográficos de 1991-2000 e 2000-2010, realizados pelo IBGE, apropriado por década e por vetor de expansão. Vale-se de imagens aéreas (Google Maps, Google Earth, Google Hybrid) e imagens do Google Street View. Em cada setor censitário, foram demarcadas as áreas efetivamente ocupadas – Áreas de Ocupação Homogênea – e delimitado um polígono de estudo do tecido para caracterização quali-quantitativa do padrão da urbanização, utilizando-se da metodologia baseada em aproximação sucessiva de imagens do objeto de estudo: a vizinhança, o entorno e o detalhe do tecido urbano disperso (Campoli; MacLean, 2007). Com imagens ortogonais, foi possível caracterizar o tecido urbano com a extração dos parâmetros urbanísticos, tomando como base a metodologia *Space-matrix*, proposta por Berghauser Pont e Haupt (2009).

Cotejando o segundo modelo interpretativo de Reis Filho – que entende a dispersão urbana como efeito da nova forma de operação do capitalismo –, a pesquisa busca conhecer os setores econômicos que ancoram o processo da expansão metropolitana na virada do século XXI e que demandam novos espaços e novas infraestruturas, além de conexões com a produção de áreas urbanizadas dispersas na RMS: a indústria, o turismo, lazer e, por decorrência da dinamização dessas atividades, o mercado imobiliário.

Primeiramente, a indústria, visto que esse setor marca a periodização de transformações nas cidades e regiões. Tal setor aparece no desenvolvimentismo como condicionador da metropolização das cidades brasileiras; e no atual período de acumulação flexível e globalização da economia, aparece como fator influente dado às transformações na estrutura produtiva industrial, multiplicada em termos de estruturas técnicas e tecnológicas, administrativas e de serviços, que ampliam a demanda do suporte urbano. O turismo emerge como forte segmento do setor terciário devido à peculiaridade de ser consumidor de espaço e estruturador da organização territorial, sendo um setor apreciado na relação que desenvolve com o território metropolitano. Já o mercado imobiliário – estreitamente ligado à indústria da construção civil – ativa suas estruturas para capturar os resultados da dinamização da economia em novas bases, adequando a produção do tecido urbano formal aos novos nexos da acumulação flexível, da globalização e da expansão do mercado informal.

Hipótese

Presumidamente, considerou-se que os novos padrões de tecido urbano representariam diversificadas tipologias de fracionamento da terra, novos arranjos urbanísticos e novas formas de organização do mercado imobiliário – empreendimentos de múltiplos usos. Além disso, representariam novos padrões de projeto, novas formas de conjuntos urbanísticos, novas modalidades de gestão do espaço com formas condominiais diversas e complexas, a exemplo de loteamentos fechados, condomínios horizontais para residências e fábricas. Foi considerado também que projetos de desenvolvimento urbano deveriam ocorrer mais fortemente, supondo-se que seria encontrada a reprodução do padrão urbano de fracionamento e da densificação num universo rural.

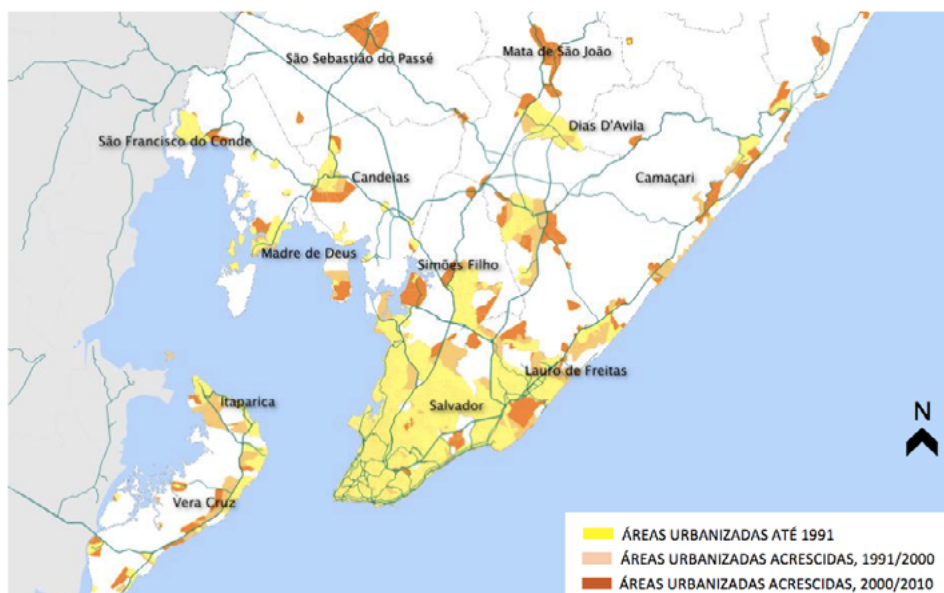
PESQUISA

Áreas urbanizadas acrescidas

Com os resultados dos levantamentos das áreas urbanizadas acrescidas, apura-se expressiva produção de novos tecidos urbanos na RMS. Considerando-se apenas as áreas com densidade superior a 250 hab/km² (2,5 hab/ha), totalizam um acréscimo equivalente a 303 km², área equivalente ao território

continental do município da sede metropolitana, conforme representada na Figura 1. Tal crescimento ocorre com produção proporcional em ambas as décadas.

FIGURA 1 – Áreas urbanizadas existentes até 1991 e áreas urbanizadas acrescidas, 1991 a 2010



Fonte: adaptada de IBGE, IBGE (1991, 2001, 2011).

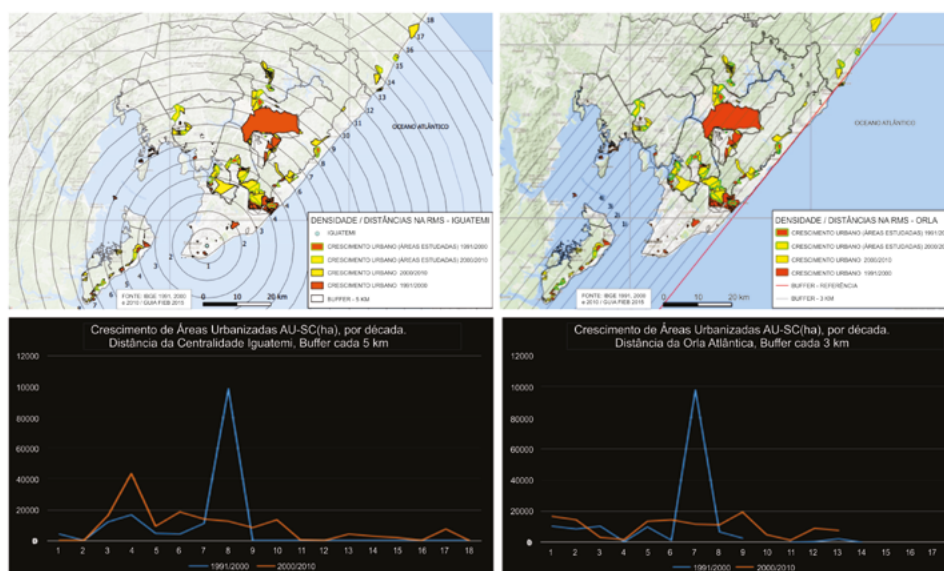
Analisadas do ponto de vista da geolocalização, as áreas acrescidas estão situadas: nos contornos das sedes municipais regionais; imantadas aos eixos viários que estruturam os vetores de expansão; desconectadas, como áreas isoladas. A partir do traçado de *buffers*², análises de duas situações explicitam o crescimento do tecido urbano no espaço metropolitano: *buffers* circulares a partir da centralidade do Iguatemi, a cada 5 km; e em linhas paralelas à orla atlântica, a cada 3 km. Na Figura 2, cartogramas e gráficos respectivos evidenciam a maior produção concentrada à distância de 35 e 40 km da centralidade do Iguatemi (1991/2000) e entre 5 e 15 km (2000/2010), mas estendendo-se até 90 km de distância. Em relação à orla atlântica, distâncias de 15 a 20 km (1991/2000) e predominância do intervalo de 15 e 30 km (2000/2010), adentrando até 42 km da orla.

2 Recurso metodológico utilizado por Jiao (2015).

A primeira análise dos setores censitários expôs a condição dispersa da ocupação, tendo sido apropriada ocupação média efetiva de 27% e 18% para setores urbanizados acrescidos nas décadas 1991-2000 e 2000-2010, respectivamente. Destacar a área homogênea de ocupação nos setores censitários possibilitou apropriação mais acurada dos dados socioeconômicos, espaciais e de infraestrutura.

Buscando o contexto da dinâmica da economia e a relação com a produção dos novos tecidos, os setores econômicos de destaque na RMS foram analisados: a indústria, o turismo e o setor imobiliário.

FIGURA 2 – Urbanização dispersa, *buffers* Iguatemi e Orla, 1991/2000 e 2000/2010



Fonte: elaborado pelos autores.

A indústria na expansão metropolitana e o tecido urbano

Os três grandes marcos da indústria da RMS implantados no desenvolvimento foram: em 1954, a Refinaria Landulpho Alves; em 1967, o Centro Industrial de Aratu (CIA); em 1974, o Complexo Petroquímico de Camaçari (Copec). No período de acumulação flexível e globalização, os efeitos multiplicadores

dessa estrutura industrial implantada e os novos investimentos industriais³, as dinâmicas próprias da pequena indústria urbana, os investimentos estatais e privados em outras áreas da economia, com expansão de serviços pessoais, impulsionaram o varejo, os *shopping centers*, além de explicarem o ritmo de urbanização e o avanço da terceirização na RMS (Carvalho; Pereira, 2008).

A repercussão na dinâmica metropolitana revela-se na taxa de crescimento populacional: Salvador cresceu a uma taxa de 9,6%, enquanto os demais municípios, a uma taxa de 36,7%⁴, entre 2000-2010. Dinamização que se reflete na participação do Produto Interno Bruto (PIB) baiano e no direcionamento do mercado imobiliário. Outros fatores importantes são: a política de contratação regional da indústria automobilística, 90% do quadro, e a proporção de emprego direto/indireto de 1/10 da indústria horizontalizada⁵.

Grande salto no número de indústrias, a partir dos anos 1990, evidencia tanto o crescimento da indústria quanto a concentração de novos setores urbanizados, formando um arco entre Lauro de Freitas e Simões Filho no limite norte de Salvador, representado nas Figuras 3 e 4.

O crescimento industrial nas décadas 1991-2000 e 2000-2010 mostra-se concentrado em Salvador e em clusters que correspondem aos distritos industriais, em volume tal que encobre toda a representação da indústria mapeada até 1991, e está aderente à concentração de novas áreas urbanas produzidas no período. Na direção do Litoral Norte, tanto a política industrial de Lauro de Freitas quanto as novas unidades industriais do município de Camaçari são implantadas na proximidade do litoral, num mesmo padrão de distribuição espacial que as ocupações urbanas incrementadas nesse vetor entre 1991 e 2010.

A indústria na RMS oferta 190 mil empregos (FIEB, 2015), sendo preponderante a indústria da construção civil, seguida da petroquímica e de plásticos,

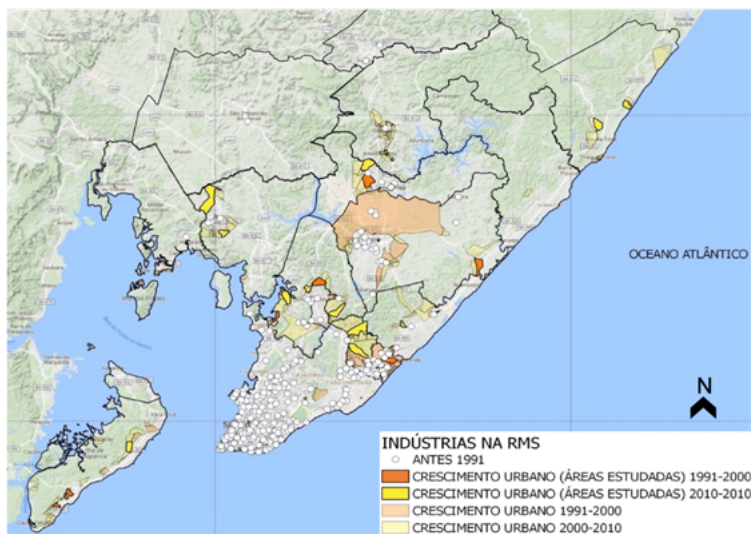
3 Em 2001, o Copec incorpora uma unidade de metalurgia do cobre e indústrias complementares, foi instalado o parque automobilístico (projeto Amazon da Ford) e o complexo passa a ser identificado como Centro Industrial de Camaçari, integrando três complexos: o petroquímico, o metalúrgico do cobre e o automobilístico (Spinola, 2001).

4 Dados IBGE. Os percentuais desconsideram a população dos municípios novos agregados à RMS neste intervalo.

5 Na indústria automobilística, traduz-se num incremento de 80 mil empregos totais.

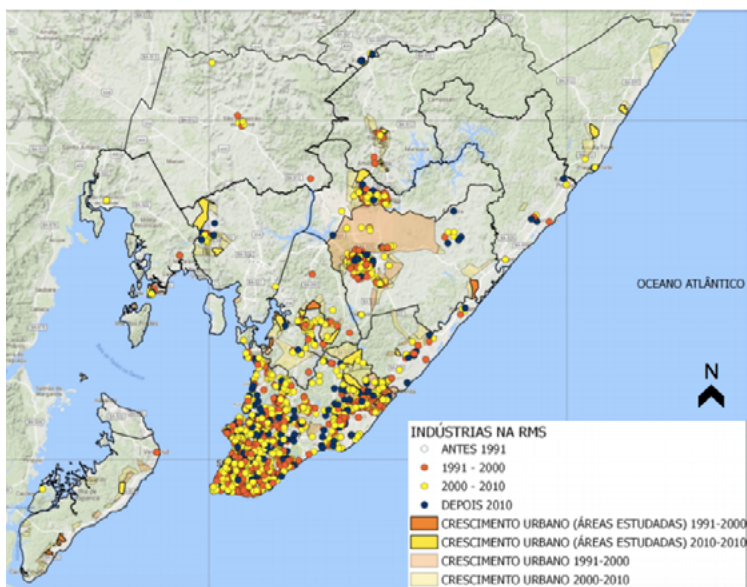
além de alimentos e bebidas, conforme dados da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), representados na Figura 5.

FIGURA 3 – Indústria na RMS, antes de 1991



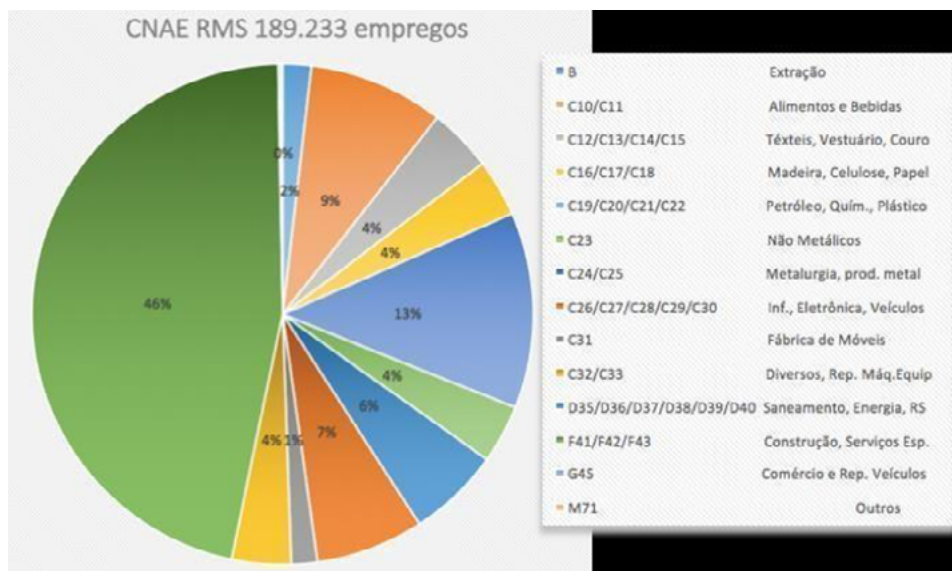
Fonte: adaptada de FIEB (2015).

FIGURA 4 – Indústria na RMS, antes 1991, 1991/2000, 2000/2010, depois 2010



Fonte: adaptada de FIEB (2015).

FIGURA 5 – Categorização por CNAE da RMS



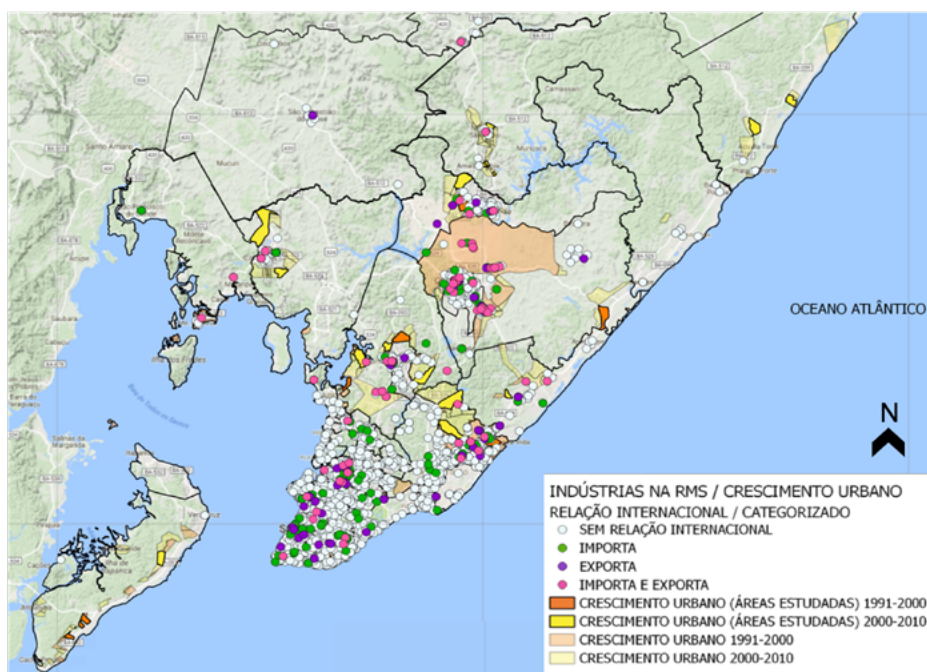
Fonte: adaptada de CNAE e LCAD.

A distribuição do emprego industrial, em tese, constitui-se em fator de atração para movimentos populacionais e para oportunidades de negócios nos municípios metropolitanos. A taxa do incremento do emprego agregado à indústria – emprego total e emprego por indústria com relação internacional –, na última década, foi de 1,12 em Salvador, enquanto para os demais municípios foi de 2,20, embora Salvador tenha se mantido na liderança da oferta do emprego industrial até 2015.

O incremento do emprego da indústria com relação internacional – importação e exportação – em números absolutos é pequeno, mas relativos, sinalizam forte mudança. Comparando o incremento do emprego na indústria com relação internacional quanto à sua concentração, temos que: o incremento nos municípios metropolitanos, na década de 1991/2000 foi de 67,2%, enquanto em Salvador correspondeu a 32,80%; na década de 2000/2010 foi de 76,7%, e em Salvador correspondeu a 23,30% (Figura 6).

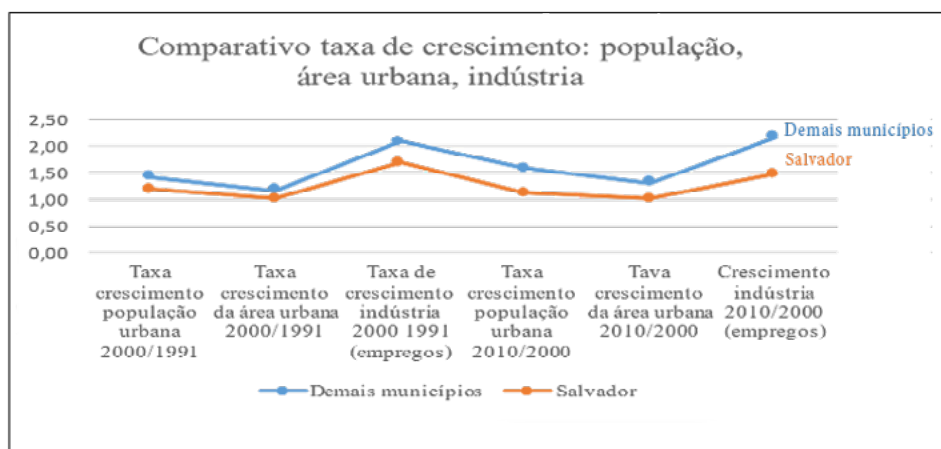
Comparando as taxas de crescimento da indústria, das áreas urbanas e das populações, relacionando Salvador com o conjunto dos demais municípios, de acordo com a Figura 7, temos que o ritmo de crescimento é maior no espaço regional do que na capital, crescente e acentuado na última década.

FIGURA 6 – Indústria na RMS, com relação internacional categorizado e crescimento urbano



Fonte: adaptada de FIEB (2015).

FIGURA 7 – Comparativo das taxas de crescimento: população, área urbana, indústria



Fonte: adaptada de IBGE (1991, 2001, 2011) e FIEB (2015).

As inferências possíveis a partir desses dados permitem caracterizar um movimento sincrônico de crescimento das três variáveis. O ambiente de dinamização da economia acaba por influir na atração de população e se reflete também no incremento da infraestrutura urbana, apesar de que a absorção

dessa população, por muitos estudos (Carvalho; Pereira, 2014; Franco, 2008), não corresponde em empregabilidade e tampouco há impregnação direta e proporcional do investimento da indústria nos territórios em que se implantam.

O turismo na expansão metropolitana e o tecido urbano

O setor turismo, institucionalizado e estruturado com políticas públicas definidas desde os anos 1960, ganhou destaque como importante setor econômico. O produto turístico da RMS compõe-se, principalmente, pela própria sede metropolitana. Relaciona-se aos seguintes aspectos: ao turismo cultural e de eventos; à ocupação tradicional das ilhas, principalmente Itaparica, voltada para o turismo de segunda residência e veraneio (as ilhas carecem de maior integração para configurar um vetor de desenvolvimento metropolitano); e à ocupação da porção litorânea norte, um espaço conquistado para o turismo a partir dos anos 1990.

Concentrando-se na direção litorânea norte metropolitana, esse espaço, entre 1991 e 2010, foi privilegiado no planejamento do desenvolvimento do turismo⁶. De acordo com a lógica de integração mundial dos mercados, ao Estado coube a especialização do território, adequando-o às expectativas do capital internacional: realização da infraestrutura viária, saneamento, urbanização, ações de capacitação e esforço mercadológico.

Seguiu-se o modelo rodoviarista para um território de relações rurais, pequenas localidades esparsas e ocupações rarefeitas, que dizem respeito a pequenas vilas de pescadores na orla e pequenos agrupamentos residenciais ligados à atividade rural nos espaços interioranos. Realizou-se, assim, a Rodovia BA-099, Linha Verde, no início dos anos 1990, inserindo-se como eixo reestruturador da ocupação na porção litorânea norte da região metropolitana.

Esse eixo viário promove, desde Salvador, a segmentação socioespacial e territorial ao longo de todo o litoral. Além disso, constitui-se como divisor para a funcionalização do espaço, a ocupação do solo e a valoração da terra, orientando apropriações distintas – pela população, pelos setores econômicos, especialmente pelo turismo, e, em decorrência, pelo mercado imobiliário, sendo este tributário de investimentos em gradações também diferentes.

A dinamização dos investimentos decorrente da implantação de infraestrutura do Litoral Norte caracterizou dois momentos: entre 1993-1998, primeira etapa de transformações, quando os meios de hospedagem cresceram 2,6 vezes

6 Programa de Desenvolvimento do Turismo do Nordeste (Prodetur-NE).

(CONDER, 2001); na segunda etapa, correspondente aos anos de 2001-2006, marcada pela aceleração do investimento estrangeiro, a oferta de leitos cresceu 54,5%, totalizando 12.998 leitos, sendo o destino turístico ampliado para além dos limites metropolitanos. Nessa segunda etapa, foram registradas – entre intenções de projeto e planejamento – 19,4 mil Unidades Habitacionais Hoteleiras (UHH) (44.620 leitos), conforme dados da Superintendência de Investimentos em Zonas Turísticas da Secretaria de Turismo do Estado da Bahia (Suinvest/Setur) (2007) – todas as unidades com previsão de inauguração entre 2008 e 2012.

O ano de pico do investimento estrangeiro foi 2006, momento em que se observam a quebra de expectativa e a reversão do desempenho do destino turístico Litoral Norte – Zona Turística Costa dos Coqueiros. Entre 2007 e 2016, enquanto Salvador cresceu a oferta hoteleira em 3.429 UHH, o Litoral Norte produziu 1.065 UHH, segundo dados da Suinvest/Setur. Devido à crise internacional de 2008, no período de 2011 a 2016, na RMS foram inauguradas 2.863 UHH, mas não houve empreendimento estrangeiro nesse intervalo.

O turismo e o lazer, analisados em termos da potência das transformações conduzidas, caracterizaram um processo de transformação radical, imerso em contradições, como setores estruturadores e consumidores de território, ao mesmo tempo que são indutores de processos ambientais degenerativos.

Desdobramentos no setor imobiliário e o tecido urbano

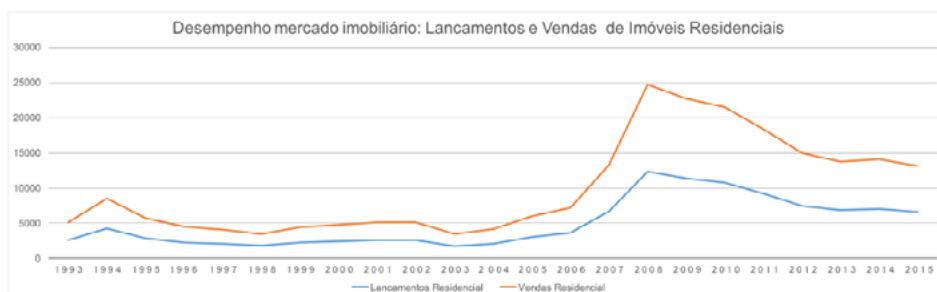
Os movimentos populacionais de deslocamento para as capitais no desenvolvimentismo, assim como a dinâmica populacional com a redistribuição produtiva da indústria no período de acumulação flexível, não foram determinantes exclusivos das transformações urbanas. Outros fatores, como aspectos culturais, são fortemente influentes na reorganização do território (Ojima, 2008).

A dinamização do setor imobiliário, nas primeiras décadas do século XXI, é atribuída frequentemente à ascensão econômica de uma parcela da população, antes impossibilitada para contratação de financiamento habitacional. Localmente, outros fatores concorreram: parcerias dos agentes locais com grandes empresas do mercado internacional, nacional do eixo Sul-Sudeste e da Região Nordeste; interesse de investidores oriundos do Sul-Sudeste nos baixos custos de produção local relativos aos praticados naquela região; expansão da indústria com produção reorganizada; forte aporte de capital internacional na indústria e no turismo, alimentando a relação oportunista do setor. Como o *boom* imobiliário acontece simultaneamente em outras metrópoles brasileiras, argumentos mais gerais têm sua pertinência:

a retomada do crescimento da economia brasileira, a ampliação da renda e do emprego e a redução das taxas de juros e das facilidades de financiamento.

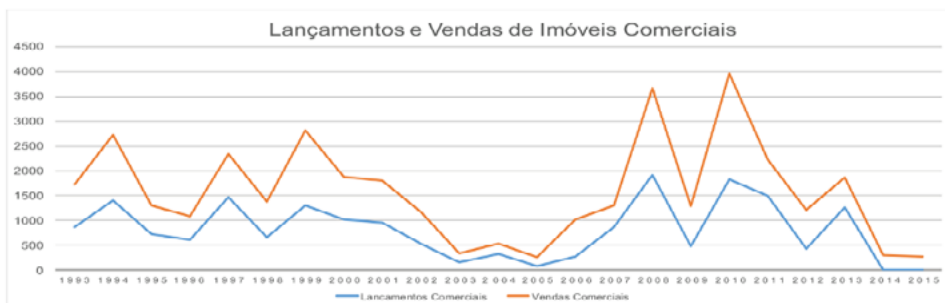
As Figuras 8 e 9 evidenciam as variações do contexto socioeconômico: duas inflexões do comportamento respectivamente nos anos de 1994 e 2008, bem como queda vertiginosa dos lançamentos em 2012, com mínimo em 2013; o segmento de imóveis comerciais demonstra maior sensibilidade para as alterações conjunturais, com outros períodos de oscilação entre 1997 e 1999, seguido de declínio entre 2003 e 2005, além de ascensão com máxima em 2008, seguido de queda abrupta, de outro pico em 2010 e de declínio até o mais baixo nível a partir de 2014. Pode-se, por esses dados, afirmar que os anos 2013 e 2015 corresponderam ao período de maior impacto da crise no mercado imobiliário.

FIGURA 8 – Desempenho do mercado imobiliário: Imóveis Residenciais, 1993 a 2015



Fonte: ADEMI (2015).

FIGURA 9 – Desempenho do mercado imobiliário: Imóveis Comerciais, 1993 a 2015



Fonte: ADEMI (2015).

Um conjunto de iniciativas favorece a produção de tecido esparso, cada vez mais distanciados da sede metropolitana, à qual ficam reservados os serviços de ponta que requerem grandes concentrações. Com histórica atuação na praça de Salvador, o setor imobiliário passa incluir no seu campo de interesse

as cidades de Feira de Santana, Lauro de Freitas, Camaçari, Alagoinhas e outras (Associação de Dirigentes de Empresas do Mercado Imobiliário da Bahia, 2009). Os loteamentos Terras Alphaville I, II e III – destinados às classes média alta e alta – contradizem o argumento de que apenas os pobres buscavam residir fora da capital e atraem outros empreendimentos que usufruem dos efeitos dessas realizações. Atualmente, parte das ocupações litorâneas – estas originadas como segunda residência ou não – foi incorporada ao tecido urbano consolidado, e muitas, de alto padrão, localizam-se dispersas no espaço metropolitano. Além disso, os bairros novos⁷ – em implantação no entorno de Camaçari – testemunham o fortalecimento das centralidades metropolitanas.

As sedes dos municípios metropolitanos, melhor equipadas, destacadamente Lauro de Freitas, Camaçari e Simões Filho, conformam uma nucleação avançada ao norte, deslocando o vértice da península de Salvador para uma nova centralidade metropolitana. Além de uma constatação geográfica, o grave entrave no acesso a Salvador (Avenida Luís Viana Filho – Paralela ou BR-324) empurra as atividades para o espaço metropolitano.

Complementam o rol de fatores que vem rebocando a produção de novos tecidos urbanos para o território periurbano metropolitano: a convergência da ampliação continuada do emprego; a relativa redução do valor da terra e dos custos de produção habitacional; a consolidação do apoio urbano com serviços cada vez mais completos; as oportunidades de vivenciar ambientes mais naturais; e a liberalidade do território que as Tecnologias da Informação e Comunicações (TIC) oferecem. A baixa capacidade da capital para a dinamização regional, apesar da grande polaridade que exerce como mercado e como concentração de serviços, não refreia as produções espontâneas ou empresariais no espaço metropolitano.

Processo recente do setor imobiliário explicita nova onda da produção imobiliária na RMS. Os loteamentos implantados nos anos 1960, 1970 e 1980, com forte motivação para o lazer e com proximidade da natureza – a exemplo de chácaras, com áreas entre 2 a 8 mil m² –, são objeto de reloteamento, atualizando para um padrão de moradia citadino. Esse padrão de moradia se apresenta das seguintes maneiras: na forma de villages em lotes de chácaras; parcelamento com subdivisão de lotes; outros formatos de complexa engenharia imobiliária de subloteamentos; ocupações pluridomiciliares, empreendimentos imobiliários ou programas habitacionais populares estatais, como Minha Casa, Minha Vida. Morar

7 Empreendimentos: Vívêa Nova Camaçari e Reserva Camassarys.

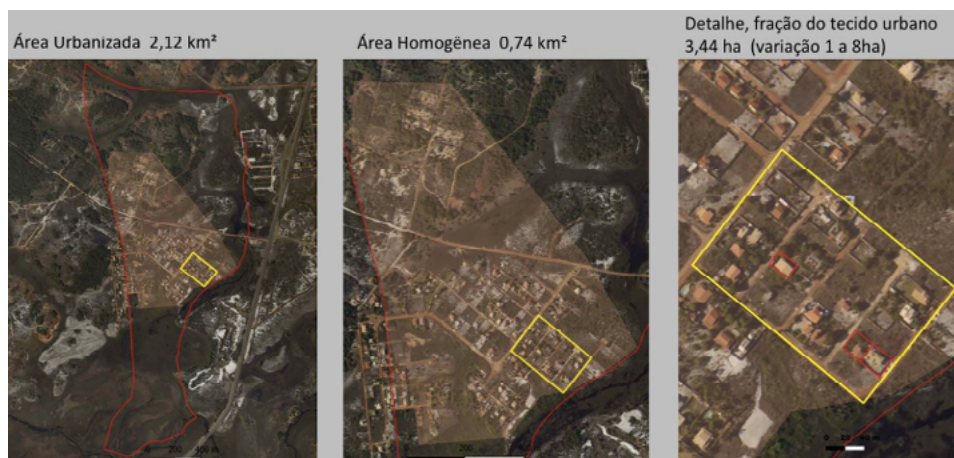
nos espaços periurbanos metropolitanos não significa a busca do espaço idealizado da vida alternativa, mas o avanço de padrões citadinos em relação a formas anteriores de ocupação do espaço metropolitano, urbano e rural.

O tecido metropolitano acrescido nas décadas 1991-2000 e 2000-2010

As áreas urbanizadas acrescidas nas décadas estudadas, quanto à relação com o tecido urbano preexistente correspondem: a ocupações na fronteira do tecido urbano; ocupações que se desenvolvem ao longo de viário conector entre duas concentrações urbanas; ou, são áreas isoladas, acessíveis por única via e circundada por espaço não ocupado.

A análise quali-quantitativa do tecido urbano, por aproximação sucessiva de imagens aéreas, apontou tanto parâmetros do tecido quanto o comprometimento ambiental da estrutura urbana efetivada, exemplificado pelas imagens do setor censitário a seguir (Figura 10).

FIGURA 10 – Imagens de aproximação sucessiva: Setor censitário e tecido urbano



Fonte: elaborada pelos autores com base em imagens do Google Maps (2017).

A metodologia colocou em evidência o objeto da pesquisa – urbanização dispersa –, revelando a baixíssima ocupação dos setores censitários, além de permitir uma leitura mais acurada dos dados. Submetendo os dados à “arrogância das médias”, as áreas acrescidas estudadas apresentam o seguinte o perfil socioeconômico, de acordo com a Tabela 1, a seguir.

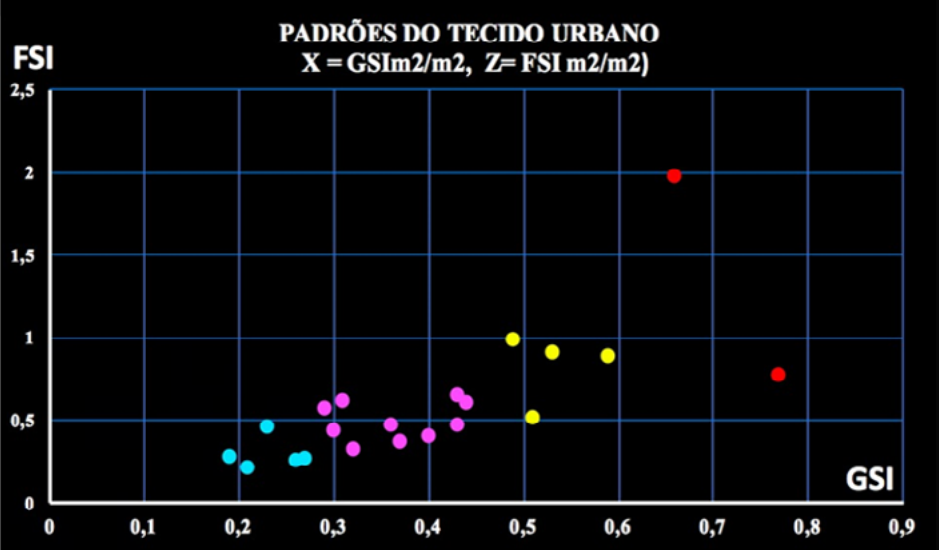
TABELA 1 – Média do perfil socioeconômico das áreas acrescidas 1991/2010

Dado	Unid.	Item
39	%	população sem renda
40	%	desempregados
55	%	recebem entre 1 a 5 salários mínimos
6%	%	recebem de 5 a 10 salários mínimos
38	%	dos responsáveis pelas famílias não têm instrução formal ou têm o nível básico incompleto
8	anos	média de escolaridade

Fonte: elaborada pelos autores.

A maioria das áreas urbanizadas estudadas se enquadra no padrão de ocupações precárias: ruas sem pavimento nem calçadas são predominantes, drenagem em 38% dos casos, dispõem de infraestrutura básica de energia e abastecimento de água, coleta de lixo semanal, bem como esgotamento sanitário lançado a céu aberto para aproximadamente 50% das moradias e, em menor número, soluções com fossas, sendo as ligações à rede pública exceções. Verificam-se ausência de equipamentos públicos e acesso a transporte público a distâncias aproximadas de 5 km. Registraram-se baixa ocorrência de praças – sem equipamentos –, eventuais campos de futebol no entorno e praia à distância média de 13 km. Quanto às habitações, é dominante o padrão unidomiciliar.

FIGURA 11 – Padrões do tecido urbano na RMS, 1991/200 e 2000/2010, Spacematrix



Fonte: elaborada pelos autores.

Os parâmetros urbanísticos foram apropriados e tratados utilizando-se da metodologia *Spacematrix* (Berghauser Pont; Haupt, 2009), sendo assim possível categorizar três padrões de tecido urbano e dois pontos atípicos, como representado pela Figura 11.

Os indicadores principais e derivados⁸ da metodologia *Spacematrix* conferem clareza na determinação dos tipos, conforme Tabela 2.

TABELA 2 – *Spacematrix*, Tipologia do tecido urbano na RMS, 1991/2010

TIPO 01	FSI	GSI	N	OSR	H	DENS. HAB.
Intervalo	0,21-0,46	0,19-0,27	0,01-0,003	1,68-3,65	1-2	2-37
Média	0,296	0,232	0,018	2,746	1,6	20,63
TIPO 02	FSI	GSI	N	OSR	H	DENS. HAB.
Intervalo	0,32-0,65	0,29-0,44	0,01-0,03	0,87-2,12	1-2	11-45

8 Indicadores principais do tecido: área construída (FSI); área Ocupada (GSI); densidade da rede viária (N). Os indicadores derivados do tecido urbano: espaço aberto (OSR) e altura (H).

TIPO 02	FSI	GSI	N	OSR	H	DENS. HAB.
Média	0,487	0,365	0,022	1,34	1,4	28,71
TIPO 03	FSI	GSI	N	OSR	H	DENS. HAB.
Intervalo	0,51-0,98	0,49-0,59	0,02-0,04	0,04-0,96	1-2	17-73
Média	0,82	0,53	0,0275	0,6175	1,75	46,37
ATÍPICOS	FSI	GSI	N	OSR	H	DENS. HAB.
Intervalo	0,77-1,98	0,66-0,77	0,02-0,03	0,17-0,29	1-2	17-23
Média	1,375	0,715	0,025	0,23	2	19,80

Fonte: elaborada pelos autores.

Os tipos se diferenciam pelas densidades de diferentes entidades com relação à área da gleba, caracterizando a espacialidade que os singulariza: área construída, área ocupada, área do sistema viário, área de espaços abertos e altura.

CONCLUSÕES

Os estudos, orientados para o conhecimento do modo de organização territorial na metrópole de Salvador, perscrutando a relação da ocorrência das novas áreas urbanizadas com a dinâmica da economia regional, não apartam os dois modelos teóricos explicativos de Reis Filho (2006): tanto a influência das TIC quanto os efeitos da nova forma de operação do capitalismo estão fortemente imbricados e, em conjunção, são concorrentes na explicação do modo disperso de organização do território metropolitano. Registre-se que, singularmente, o início do movimento de expansão foi condição definida ainda no desenvolvimentismo, com a localização dos distritos industriais e influenciado pelas transformações culturais que alimentaram o mercado imobiliário nos anos 1980. No atual período, as sinalizações dos setores econômicos, indústria (volume de empregos agregados), turismo (produção UHH) e imobiliário (novas tipologias e empreendimentos) são fortes indicativos de uma dinamização regional maior, menos subordinada a Salvador. As evidências favorecem a interpretação de que o conjunto dos demais municípios da RMS se encontra

sob força de expansão própria, um processo de reestruturação que tende a não retroalimentar crescimento na cidade de Salvador, e sim expandir as áreas periurbanas metropolitanas.

As hipóteses colocadas se confirmam quanto à diversidade de tipologias de fracionamento e à produção de novas modalidades de uso do espaço metropolitano. Os dados relativos aos tipos de tecido urbano estudados confirmam o padrão citadino das ocupações, a exemplo das densidades populacionais que apresentam média para os setores censitários de 788 habitantes/km² e da área de ocupação efetiva com densidades médias de 4.950 habitantes/km² num universo rural.

Aflora como discrepante que as áreas urbanizadas estudadas não caracterizem ocupações vinculadas a empreendimentos seja da indústria, do turismo e lazer. O baixo padrão socioeconômico das ocupações permite inferir que concentram populações que não tiveram condição de inserção econômica (40% desempregados) ou por baixa qualificação educacional (oito anos de escolaridade) ou por comporem a massa que se mobiliza pela idealização de uma empregabilidade que não se concretiza.

Entrevistas realizadas apontaram percentual de mobilização em função de residir na proximidade do emprego, mas, marcadamente, na ponderação ressaltam os vínculos de parentesco e pertencimento, significando o retorno ao abrigo, principalmente de avós, o que sugere o efeito das aposentadorias rurais considerando o alto nível de desemprego que se atinge nesse momento.

Como os fatores econômicos são determinantes de grande impacto, o valor da terra em Salvador, com área de transição rural/urbana esgotada e altíssima densidade urbana, força a população de baixa renda a continuar buscando abrigo no espaço periurbano metropolitano, como uma extensão do território intraurbano onde talvez desejasse preferencialmente se acomodar.

A produção de áreas urbanizadas pulverizadas no território metropolitano e todo o contexto socioeconômico e de desenvolvimento de TIC – componentes que condicionam o modo disperso como um padrão que se generaliza – corroboram a tese de Marcuse e Van Kemp (2000). O diferencial encontrado, quando se adentra a escala do tecido e quando se analisam as condições da sede metropolitana que impõe o movimento de migrações intrarregionais, nos autoriza a concluir pela diferenciação desse processo na RMS. A metrópole duplamente periférica acusa ser o fenômeno da urbanização dispersa de natureza diversa do que tem se revelado em outras cidades da Região Sul-Sudeste.

Na produção de áreas urbanizadas dispersas, agrega-se um fator que decorre não da dinâmica da economia, mas do resíduo do sistema produtivo capitalista: a geração de subdesenvolvimento estrutural que lhe é intrínseca (Oliveira, 1972).

O fenômeno da urbanização dispersa amplifica a diversidade de suas expressões na revelação das áreas precárias produzidas pela condição de exclusão socioeconômica e territorial das populações, ao menos nessa região metropolitana nordestina.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO DE DIRIGENTES DE EMPRESAS DO MERCADO IMOBILIÁRIO DA BAHIA. *Evolução mercado imobiliário 1993 a 2015: lançamentos e vendas*. Salvador: ADEMI, 2015. Documento de acompanhamento interno, não publicado.
- ASSOCIAÇÃO DE DIRIGENTES DE EMPRESAS DO MERCADO IMOBILIÁRIO DA BAHIA. *Planilha Lançamentos*. Salvador: ADEMI, 2009. Documento interno de acompanhamento de desempenho do Mercado Imobiliário, não publicado.
- BERGHAUSER PONT, M. Y.; HAUPT, P. A. *Space, density and urban form*. Netherlands: [s. n.], 2009.
- CAMPOLI, J.; MACLEAN, A. S. *Visualizing density*. Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy, 2007.
- CARVALHO, I. M. M.; PEREIRA, G. C. (org.). *Como anda Salvador e sua Região Metropolitana*. 2. ed. Salvador: Edufba, 2008.
- CARVALHO, I. M. M. PEREIRA, G. C. (org.). *Salvador: transformações na ordem urbana: metrópoles: território, coesão social e governança democrática*. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2014.
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO URBANO DO ESTADO DA BAHIA. *Programa de Desenvolvimento Sustentável para a Área de Proteção Ambiental do Litoral Norte da Bahia*: PRODESU: Relatório Síntese. Salvador: CONDER, 2001.
- FIEB. *Guia industrial do Estado da Bahia*: 2015. Salvador: IBGE, 2015.
- FRANCO, A. *Globalização e Fiesta na Bahia: impactos e tendências da implantação da indústria automobilística na Região Metropolitana de Salvador*. 2008. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008.
- IBGE. *Base de informações por setor censitário: censo demográfico 2000: resultados do universo*. Rio de Janeiro: IBGE, 2002.

IBGE. *Censo demográfico 1991: agregado por setores: resultados do universo: Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 1991.

IBGE. Centro de Documentação e Disseminação de Informações. *Base de informações do Censo Demográfico 2010: resultados do universo por setor censitário*. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

JIAO, L. Urban land density function: a new method to characterize urban expansion. *Landscape and Urban Planning*, [s. l.], v. 139, p. 26-39, 2015.

MARCUSE, P., VAN KEMPEN, R. (ed.). *Globalizing cities: a new spatial order?* Oxford, UK: Blackwell Publishers, 2000.

OJIMA, R. Novos contornos do crescimento urbano brasileiro? O conceito de urban sprawl e os desafios para o planejamento regional e ambiental. *GEOgraphia*, Rio de Janeiro, v. 10, n. 19, p. 45-59, 2008.

OLIVEIRA, F. de. A economia brasileira: crítica à razão dualista. Estudos *CEBRAP*, São Paulo, v. 2, p. 4-82, out. 1972.

REIS FILHO, N. G. *Notas sobre urbanização dispersa e novas formas de tecido urbano*. São Paulo: Via das Artes, 2006.

SANTOS PEREIRA, M. G. B. G.; PEREIRA, G. C. Urbanização dispersa: tecido urbano na expansão metropolitana de Salvador - RMS. Fenômeno de exclusão ou novo padrão de ordenamento territorial? In: CONGRESSO OBSERVATÓRIO DAS METRÓPOLES 20 ANOS, 1., 2018, Rio de Janeiro. *Anais [...]*. Rio de Janeiro: UFRJ, 2018.

SPINOLA, N. A implantação de distritos industriais como política de fomento ao desenvolvimento industrial: o caso da Bahia. *Revista de Desenvolvimento Econômico*, [s. l.], v. 3, n. 4, p. 28-48, jul. 2001.

CAPÍTULO 3

SALVADOR

Transformações de uma metrópole da periferia¹

*Inaiá Maria Moreira de Carvalho
Gilberto Corso Pereira*

INTRODUÇÃO

Este trabalho se insere nos debates do Observatório das Metrópoles sobre a dinâmica contemporânea das metrópoles brasileiras, analisando a trajetória daquela que foi a primeira capital do país e hoje é seu terceiro maior centro urbano, a cidade de Salvador.

Dando início à referida análise, vale lembrar que as transformações contemporâneas do capitalismo, com a globalização, a reestruturação produtiva, a financeirização da riqueza e a conformação de uma nova geografia e de uma arquitetura produtiva que tece redes e nós em função de fluxos mundializados têm contribuído para revitalizar o papel e a relevância desses grandes centros e provocado mudanças significativas na sua ordem social e urbana. Colocadas no

1 Originalmente publicado em: Carvalho e Pereira (2018).

centro da agenda da pesquisa urbana, essas mudanças têm suscitado debates e controvérsias entre os estudiosos e pesquisadores.

Como se sabe, esses debates foram iniciados sob a influência de autores como Friedman (1986) e, principalmente, Sassen (1991, 2010) que analisa o surgimento e as mudanças ocorridas nas denominadas “cidades globais” com a hipótese básica da existência de vínculos estruturais e necessários entre a globalização e a intensificação da dualização social nessas cidades. Com a segmentação do mercado de trabalho, as transformações assinaladas teriam produzido uma nova estrutura social, marcada pela polarização entre categorias superiores e inferiores da hierarquia social e pela concentração da renda, assim como pela redução das camadas médias e pela dualização do espaço urbano.

Mas estudos como os efetuados por autores como Preteicelle (2003, 2006), Marcuse e Kempen (2000), Gonzalez (2010), Ciccollela (2014), Mattos (2010, 2014) e Ribeiro (2013) sobre a realidade de metrópoles da Europa e da América Latina não confirmam a substituição da estrutura de classes da sociedade industrial por uma polarização entre os mais ricos e os mais pobres, nem a dualização do espaço urbano. Tais estudos evidenciam, antes, uma certa estabilidade das estruturas sociais e urbanas, ao lado de algumas transformações similares, mas com modalidades e alcance específicos em cada cidade. Afinal, essas estruturas se conformaram historicamente, e sua dinâmica não pode ser dissociada do padrão de desenvolvimento e da conformação de cada sociedade, das suas condições de articulação à economia globalizada, da estrutura e relações de poder e das disputas e conflitos sociais em torno da apropriação do solo urbano. Tais disputas e conflitos vêm se intensificando na fase atual do capitalismo, com a urbanização desempenhando um papel crucial na absorção do capital em escala cada vez mais ampla, colocando as metrópoles como protagonistas centrais do processo de crescimento em escala mundial, como bases e elos através dos quais se materializam amplos processos de acumulação.

Por isso, no caso das metrópoles brasileiras, há que se considerar, entre outros aspectos,

- como a industrialização e o desenvolvimento do país levaram a uma divisão inter-regional do trabalho que implicou em uma significativa diferenciação econômica e política do espaço nacional, criando uma rede urbana marcada pela diferenciação conforme a posição que a região ocupa no processo de acumulação e valorização do capital;

- como a acumulação urbana foi central na constituição de um bloco de poder fundado na articulação entre o Estado, os capitais nacionais e os capitais internacionais através do que Lessa e Dain (1984) denominam de “sagrada aliança”, bem como na formação de um vigoroso circuito de acumulação urbana. Congregando grandes proprietários imobiliários, empreiteiros de obras públicas, construtoras residenciais e concessionárias de serviços públicos, esse circuito passou a abrigar e a favorecer interesses nacionais dominantes que haviam sido deslocados pelas grandes indústrias estrangeiras, transformando-se em uma fonte básica de riqueza e de poder para os seus integrantes;
- que o crescimento urbano brasileiro não foi acompanhado por políticas de regulação do uso do solo e de provisão de moradia, por isso os salários dos trabalhadores não cobrem plenamente os seus custos de reprodução – entre eles habitação – e eles sempre estiveram sujeitos à “espoliação urbana” (Kowarick, 1979), tendo que prover a sua moradia fundamentalmente através da autoconstrução em áreas precárias, desvalorizadas, desequipadas e segregadas;
- como o avanço do capital e das forças do mercado vêm interferindo mais recentemente sobre o desenvolvimento dessas cidades, recorrendo, fragmentando e redesenhando seus territórios, além de direcionar suas transformações.

No que tange às transformações mencionadas, pesquisas efetuadas tanto no Brasil quanto em outras metrópoles da América Latina têm evidenciado que a abertura à reestruturação produtiva, o avanço do capital financeiro e a influência das ideias neoliberais têm levado a mudanças similares sobre a sua estrutura social, como uma certa desindustrialização, um crescimento e diversificação das atividades terciárias, uma flexibilização do mercado de trabalho e um aumento das desigualdades, mas sem conduzir a uma polarização.

No que se refere à estrutura urbana, essas pesquisas têm destacado alguns aspectos: a expansão das metrópoles para a borda e o periurbano; o surgimento de novas centralidades, o descenso demográfico e a própria deterioração de antigas áreas centrais; a edificação de equipamentos de grande impacto na estruturação do espaço urbano, como *shopping centers*, grandes hospitais, complexos empresariais e centros de convenções; a difusão de novos padrões habitacionais, com inversões imobiliárias destinadas aos grupos de alta e

média renda, bem como a proliferação de condomínios verticais e horizontais fechados e protegidos por dispositivos explícitos de separação física e simbólica, a exemplo de cercas, muros e sofisticados aparatos de segurança. Tais dispositivos ampliam progressivamente a autosegregação dos mais ricos, a fragmentação e as desigualdades urbanas. Outros estudos também destacam o abandono, por parte do Estado, de boa parte de suas funções tradicionais de planejamento e gestão urbana e metropolitana, funções essas que estão sendo transferidas para atores privados, o que leva a uma afirmação crescente da lógica do capital imobiliário na produção e reprodução dessas cidades, com impactos decisivos sobre a estrutura urbana e a vida da sua população.

Sobre essa última mudança, é preciso reconhecer que nas sociedades capitalistas a interferência do capital imobiliário sobre o desenvolvimento urbano não constitui propriamente uma novidade. Como bem ressaltam Logan e Molotch (1987), nessas sociedades a produção do espaço urbano envolve um conflito entre o seu valor de uso e o seu valor de troca, trazendo a seguinte oposição: de um lado, os moradores da cidade, interessados sobretudo na defesa da sua qualidade de vida; de outro, uma coalizão de interesses econômicos comandada pelo capital imobiliário que busca um maior retorno financeiro e uma ampliação dos seus lucros, com a transformação da cidade em uma espécie de “máquina de crescimento”.

Porém, com as transformações econômicas e sociais contemporâneas, o poder dessa coalizão e o conflito de interesses em torno do processo de desenvolvimento urbano também se modificaram e ampliaram, segundo diversos estudiosos e a própria observação empírica mais imediata têm deixado patente (Duhau, 2005; Harvey, 2014; Mattos, 2010, 2014; Ribeiro, 2015; Ribeiro; Ribeiro, 2013). Devido ao avanço da globalização, da financeirização da riqueza e da aceleração dos fluxos de capital associados às políticas de liberalização econômica, assim como à queda da rentabilidade da “economia real”, parte significativa do excedente busca destinos alternativos, aumentando a importância dos recursos orientados para o setor imobiliário e os serviços urbanos. No caso do Brasil, esses fenômenos e a fusão entre o capital imobiliário nacional e internacional reconfiguraram essa coalizão e a “sagrada aliança”, que agora se expande inclusive para a área da habitação de interesse social, construindo grandes conjuntos de microunidades nas periferias da cidade. Uma vez que o lucro se coloca como o critério básico das decisões sobre as

intervenções na cidade, elas são realizadas independentemente de qualquer projeto urbano integrado, aumentando o seu impacto socioterritorial.

Por outro lado, novos espaços e infraestrutura passaram a ser demandados para abrigar as novas atividades hegemônicas (como os serviços financeiros, de consultoria, informática ou assessoria), bem como para o turismo, a moradia, o consumo e o lazer das camadas de alta e média renda. Estes e outros fenômenos têm demandado a ampliação e a reconfiguração da malha urbana e estimulado as atividades imobiliárias. A isso, soma-se a difusão de um novo enfoque de governança que se rege pelos princípios de subsidiariedade estatal, pela ênfase nos mecanismos de mercado e pela busca de competitividade urbana, deixando em plano bastante secundário o acesso mais justo aos fundos públicos, à redistribuição de renda e à proteção ambiental.

Sob a influência do ideário neoliberal, de agências multilaterais e de alguns consultores internacionais, a governança em várias cidades do Brasil e da América Latina vem assumindo um novo significado, com o abandono da matriz de planejamento racionalista e funcionalista e a adoção do chamado “empreendedorismo urbano”. Discutida por autores como Harvey (2008), Vainer (2002), Maricato (2002), Gonzalez (2010) e Mattos (2010), essa governança se inspira em conceitos e técnicas oriundas do planejamento empresarial. Ela compreende a cidade principalmente como sujeito ou ator econômico e vê como eixo central da questão urbana a busca de uma competitividade orientada para atrair os capitais que circulam no espaço sem fronteiras do mundo globalizado, de forma a ampliar os investimentos e as fontes geradoras de empregos.

Para o alcance desse objetivo, competiria aos governantes locais utilizarem estratégias de marketing para a promoção e “venda” da imagem da sua cidade, considerando expectativas e demandas do mercado em suas decisões e ações, além de criarem um ambiente favorável e atrativo para os negócios. Como bem ressalta Mattos (2010), essas orientações favorecem especialmente os capitais imobiliários, com os quais os governos locais – pressionados, muitas vezes, pela crise fiscal e pelas demandas de crescimento econômico e criação de empregos – tendem a negociar as condições para a sua maior expansão. Com isso, a coalizão de interesses comandada pelos referidos capitais adquire um novo poder e protagonismo, viabilizado inclusive pelo seu atual porte e perfil, pela sua maior capacidade de intervenção no espaço urbano e pelo grau de liberdade de que passou a desfrutar a partir dos discursos e das orientações do “empreendedorismo urbano”.

O conjunto de fenômenos assinalados interfere na dinâmica e na ordem social e urbana das grandes cidades, mas seus impactos não deixam de ser mediados pela história e características de cada uma, envolvendo fatores como geografia, base produtiva, regulação urbana e posição na rede nacional de cidades. Afinal, como bem assinala Preteicelle (2003), a conformação de cada cidade é, inevitavelmente, uma herança histórica dos movimentos da economia e da sociedade a longo prazo, cristalizada tanto nas estruturas materiais do espaço construído quanto nas formas sociais de sua valorização simbólica e sua apropriação. É a partir desses pressupostos que será efetuado o estudo do caso de Salvador e de sua região metropolitana.

A CIDADE E SUA TRAJETÓRIA

Fundada no início do Período Colonial com funções político-administrativas e mercantis, Salvador sediou o Governo-Geral do Brasil até 1763, sendo a mais importante cidade do país. Mas, com a transferência da capital para o Rio de Janeiro, o declínio da economia agroexportadora local, o processo de industrialização do país, o avanço da divisão inter-regional do trabalho, a constituição de um mercado nacional unificado e a concentração das atividades industriais na Região Centro-Sul, Salvador foi afetada negativamente e experimentou uma longa estagnação econômica, populacional e urbana até a década de 1950. No início dessa década, sua população era inferior a 300 mil habitantes, com a maioria deles amargando uma situação de vulnerabilidade e pobreza, associada à dimensão e às condições da precariedade ocupacional.

Ao longo da década de 1940, porém, a cidade já experimentava uma certa expansão populacional e urbana (com a chegada de migrantes atingidos pela crise da agropecuária estadual) e a ocorrência de algumas grandes ocupações coletivas de terra, a exemplo da Corta Braço, que veio a constituir o atual bairro popular Liberdade. A partir dos anos 1950, em razão da descoberta e exploração de petróleo em municípios vizinhos – que hoje integram a sua região metropolitana –, Salvador começou a superar a longa estagnação e o atraso econômico. Mudou o seu padrão de inserção na divisão inter-regional de trabalho e passou a acompanhar o desenvolvimento, a industrialização e o avanço da urbanização do país, embora com um agravamento local das perversões sociais que caracterizaram nacionalmente esses processos.

Ainda que não chegasse a produzir uma diversificação mais ampla da estrutura produtiva da região, os investimentos na produção e no refino de petróleo dinamizaram sua economia, levando ao surgimento de algumas indústrias complementares a essas atividades e à expansão da construção civil, do comércio e da prestação de serviços. Na década de 1960, a região recebeu investimentos industriais incentivados associados a políticas de desenvolvimento regional. Além disso, dos anos 1970 a 1980, os esforços do governo federal para complementar a matriz industrial brasileira através da produção de insumos básicos e bens intermediários, somados à disponibilidade de matérias-primas e a projetos e pressões de forças locais, levaram à implantação de um grande polo petroquímico e de um complexo de transformação de cobre.

Apesar dos seus reduzidos vínculos com a economia estadual e local, esses investimentos tiveram um impacto extraordinário sobre a velha capital. Direta ou indiretamente, o avanço industrial estimulou o surgimento de novas atividades e a expansão e modernização de outras. A administração pública ganhou maior peso, o varejo acelerou sua modernização, a construção civil foi dinamizada e os serviços de consumo intermediário ou final (como engenharia, transportes, comunicações) experimentaram um significativo desenvolvimento, ampliando e diversificando as oportunidades de emprego e o leque e a massa de salários, com impactos bastante significativos sobre a estrutura social.

A população cresceu bastante, tanto em termos vegetativos como pela intensidade das migrações, chegando a 655.735 habitantes em 1960, 1.007.195 em 1970, 1.506.860 em 1980 e 2.075.273 em 1991, conforme Souza (2008). As classes médias se ampliaram e se diversificaram com o aumento da demanda de técnicos e profissionais como engenheiros, administradores, economistas, advogados, contadores, professores e profissionais de saúde, tanto em decorrência dos investimentos privados quanto do novo protagonismo e do crescimento do aparato estatal. O emprego na indústria de transformação se expandiu, principalmente a partir da implementação do complexo petroquímico, levando à emergência de um operariado industrial moderno, com qualificação, salários e benefícios bem mais elevados que a média local. A construção civil foi dinamizada pela implantação das indústrias e por uma intensa renovação da cidade, criando vários novos postos de trabalho. Além disso, as demandas das empresas e a expansão da massa salarial e do consumo ampliaram as oportunidades para a prestação de serviços de um modo mais geral. Com todos esses movimentos, até a década de 1980, Salvador experimentou

uma criação bastante dinâmica de empregos, ampliando, diversificando e modernizando o seu mercado de trabalho.

Mas o perfil da nova indústria – orientada para a produção de bens intermediários e centrada em grandes plantas automatizadas de produção contínua –, a exiguidade do mercado consumidor regional – pouco atrativo para investimentos com maior capacidade de absorção de mão de obra, como a indústria de bens de consumo final – e a centralização espacial e empresarial mantiveram a parcela de trabalhadores ocupados por esse setor bem mais reduzida do que em outras metrópoles brasileiras. Além disso, as transformações assinaladas incidiram sobre um mercado de trabalho marcado por uma super oferta de mão de obra de baixa qualificação, reforçada pela atração de intensos fluxos migratórios para Salvador e para os municípios de sua região metropolitana, onde se passou a concentrar a riqueza, e pela vinculação de uma grande parcela da força de trabalho a ocupações precárias e de baixa remuneração. Por isso, mesmo na fase de maior crescimento econômico – entre 1970 e 1985, quando Salvador se colocou entre as metrópoles mais dinâmicas do Brasil –, persistiram os problemas ocupacionais e a pobreza de amplos segmentos da sua população, que se agravaram com a crise e as transformações nacionais dos anos 1990, como será visto em páginas posteriores deste trabalho (Carvalho; Borges, 2014).

Como seria de esperar, os fenômenos mencionados também se refletiram sobre a sua estrutura urbana. Conforme ressaltam Carvalho e Pereira (2008), na época em que a expansão e modernização da velha capital foram desencadeadas, o que se tinha era uma região urbana pobre e incipiente, polarizada por uma cidade há muito estagnada, que exigia uma transformação. Esta se deu de forma bastante rápida e abrupta entre os anos 1960 e 1970, com a realização de grandes obras que acompanharam e anteciparam os vetores da expansão urbana e uma intensa ocupação informal de famílias de baixa renda na periferia. Nessa fase, comprometida com uma modernização excludente e com os interesses do capital imobiliário, a Prefeitura de Salvador – que detinha a maioria das terras do município – transferiu sua propriedade para algumas (poucas) famílias através da Lei de Reforma Urbana de 1968². Com a abertura das “avenidas de vale”, extirpou do tecido urbano mais valorizado um conjunto significativo de assentamentos de baixa renda localizados na Orla Marítima, que havia sido reservada para as camadas mais afluentes

2 Verdade ou lenda, consta que o anúncio de venda das terras públicas teria sido publicado no Diário Oficial do Município na véspera do Natal, levando a um conhecimento bastante restrito e seletivo dos possíveis interessados na sua aquisição.

e para o turismo. Além disso, a prefeitura tomou outras iniciativas que, juntamente ao capital imobiliário, interferiram decisivamente nos padrões de ocupação e nos novos rumos de desenvolvimento da cidade (Brandão, 1981; Souza, 2008).

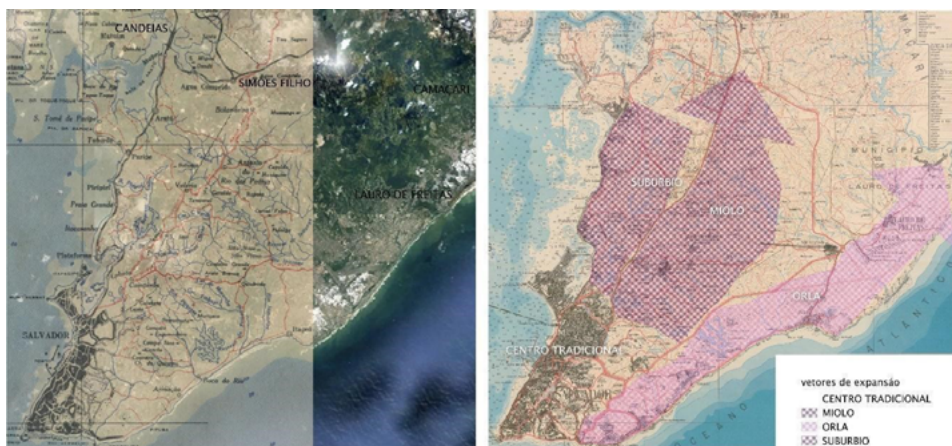
Essas intervenções, associadas à realização de investimentos imobiliários e em infraestrutura viária, pesados e seletivos, resultaram na conformação de um espaço urbano extremamente desigual e segregado. Nele, partindo do centro tradicional (na década de 1980, já bastante esvaziado de suas funções e onde ainda hoje subsistem alguns enclaves e bairros populares mais antigos), se configuraram três vetores de expansão bastante diferenciados: a Orla Marítima Norte, o “Miolo” e o Subúrbio Ferroviário, no litoral da Baía de Todos os Santos.

O primeiro representa a área nobre da cidade, local privilegiado de moradia, serviços e lazer, onde se concentram a riqueza, os investimentos públicos, os equipamentos e serviços urbanos, os pontos de atração turística, os interesses do capital imobiliário e as oportunidades de trabalho e de obtenção de renda. O segundo, localizado no centro geográfico do município, até então um grande vazio, adquiriu acessibilidade e começou a ser ocupado com investimentos estatais em infraestrutura e a implantação de conjuntos habitacionais para a classe média baixa. Como grande parte da área foi considerada como “não edificável” devido à sua enorme declividade, sua expansão foi continuada por loteamentos populares e sucessivas “invasões”³, com uma disponibilidade de equipamentos e serviços bastante reduzida. Já o Subúrbio Ferroviário teve sua ocupação impulsionada inicialmente pela implantação de uma linha férrea em 1860, constituindo, a partir dos anos 1940, a localização de muitos loteamentos populares que foram ampliados nas décadas seguintes, com suas áreas livres também invadidas. Transformou-se em uma das áreas mais carentes e problemáticas da cidade, sendo marcada pela precariedade habitacional, pelas deficiências de infraestrutura, equipamentos e serviços e, mais recentemente, por altos índices de violência. A Figura 1 mostra a extensão de Salvador

3 Assim passaram a ser designadas as áreas de habitação popular que se formaram ou cresceram por uma “ocupação espontânea”, direta e sobretudo de forma coletiva, iniciada por famílias sem recursos e sem moradia, à revelia de proprietários fundiários, portanto sem consentimento, intermediação ou comercialização (Souza, 2008). A carência de renda e de políticas orientadas para atender às suas necessidades de moradia levou a numerosa população pobre de Salvador a recorrer principalmente a esse procedimento e à autoconstrução, com o objetivo de resolver seus problemas habitacionais.

na metade do século passado (imagem à esquerda) e sua expansão a partir dos anos 1970 (imagem à direita).

FIGURA 1 – Crescimento de Salvador dos anos 1950 a 1970, Vetores de Expansão de Salvador – anos 1970



Fonte: elaborada pelos autores, com base em Pereira (2014).

A nova dinâmica econômica e urbana de Salvador incrementou a ocupação da Orla Atlântica na direção norte, inclusive com a implantação de diversos condomínios horizontais fechados para as camadas de média e alta renda, enquanto a população de baixa renda era remetida às periferias distantes e desequipadas do Miolo, do Subúrbio e dos limites da cidade. Como foi visto, favorecido pelo contexto da ditadura, o governo municipal contribuiu de forma relevante para essa periferização, extirpando do tecido urbano mais valorizado um conjunto significativo de assentamentos da população de baixa renda (que ocupava tradicionalmente os fundos até então inacessíveis dos numerosos vales da cidade) e erradicando várias “invasões” populares localizadas na Orla Atlântica.

No início da década de 1990, a apropriação do espaço urbano apresentava a conformação identificada por Carvalho e Pereira (2008) com base nos

Como se sabe, é nessa fase desenvolvimentista, entre 1960 e 1980, que se conforma a Região Metropolitana de Salvador (RMS), institucionalizada pelo governo federal em 1973, principalmente em decorrência da importância do Polo Petroquímico de Camaçari para o governo militar da ocasião. Ampliada no decorrer dos anos, inicialmente essa região reunia pequenos municípios tradicionalmente dedicados a uma agropecuária de baixa produtividade ou ao veraneio dos moradores da capital baiana, onde vieram a se instalar as atividades de exploração do petróleo e os novos investimentos industriais, como Candeias, São Francisco do Conde, Simões Filho, Camaçari, Dias d'Ávila – locais em que se expandiram grandes investimentos turísticos, principalmente após a abertura de uma rodovia litorânea que liga Salvador à fronteira de Sergipe.

Em decorrência desses investimentos, alguns municípios da RMS atraíram significativos contingentes de migrantes de baixa renda (notadamente na fase de construção das unidades industriais), experimentando um relativo crescimento populacional. No entanto, a mão de obra industrial foi recrutada basicamente em Salvador, que manteve a sua macrocefalia, concentrando 80% da população da RMS no ano 2000, de acordo com os dados do Censo Demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Já os demais municípios conservaram uma população e uma estrutura ocupacional pouco diversificada, com numerosos residentes nas áreas rurais, e suas áreas urbanas podendo ser classificadas como de base popular ou popular inferior. O município de Lauro de Freitas foi uma exceção. Vizinho e depois conurbado com Salvador, Lauro de Freitas passou a sediar numerosos loteamentos e condomínios fechados de alto padrão na sua orla, atraindo empresários, dirigentes e profissionais de nível superior, entre outras categorias de média e alta renda, que trabalham principalmente no polo ou na própria cidade de Salvador.

A metrópole no novo ciclo de desenvolvimento nacional

Com as transformações assinaladas, Salvador e sua região metropolitana chegaram à última década do século XX com uma outra estrutura urbana, uma população de mais de 2 milhões de habitantes e um outro padrão de inserção na economia nacional.

Na referida década, porém, as condições do Brasil já haviam mudado substancialmente, com o esgotamento do padrão de desenvolvimento ancorado na industrialização substitutiva de importações, o agravamento da crise

econômica, a aceleração do processo inflacionário e a adoção das políticas de abertura e ajuste recomendada pelas agências multilaterais. Essas mudanças, associadas a uma inserção passiva e subordinada do país na dinâmica de uma economia mundializada sob a hegemonia do capital financeiro, deixaram o Brasil mais exposto à instabilidade, aos ataques especulativos e às crises econômicas internacionais. Além disso, levaram a uma desaceleração da produção, a uma tendência à desindustrialização e a um período de crescimento econômico bastante modesto, assim como a uma verdadeira desestruturação do mercado de trabalho. E, como seria de esperar, isso se refletiu de forma bastante intensa e adversa sobre as regiões metropolitanas, especialmente em casos como o de Salvador.

Como ressalta Almeida (2008), apesar de a RMS ter passado a sediar o principal polo industrial do Nordeste, não se formou aí um setor industrial com movimento próprio, diversificado e integrado, capaz de alterar a distribuição do emprego em favor do setor secundário, elevar significativamente o nível de renda local e redefinir o papel e os métodos de produção da agricultura regional. O desenvolvimento da agroindústria e da produção industrial de bens finais foi limitado: a nova indústria era basicamente produtora de insumos e divisas, sustentando-se nas exportações intrarregionais e internacionais de produtos intermediários petroquímicos. Sua evolução estava subordinada à dinâmica da acumulação do grande capital financeiro e industrial concentrado no polo econômico do país, pois a nova indústria não eliminou o atraso relativo da economia regional, apenas o repôs num patamar mais elevado – tampouco criou a massa de empregos prometida.

Assim, o esgotamento do antigo modelo desenvolvimentista, a abertura, a reestruturação da economia brasileira e a nova orientação neoliberal do Estado (com o abandono das políticas industriais e de desenvolvimento regional) tiveram um impacto bastante adverso sobre a estrutura produtiva local, afetando a dinâmica econômica e, especialmente, o nível e as condições de emprego. Não é por acaso que, segundo IBGE, o crescimento médio do Produto Interno Bruto (PIB) que teria alcançado 9,1% ao ano entre 1970 e 1975, 11,3% entre 1975 e 1980, 3,3% entre 1980 e 1985 e 5,7% entre 1985 e 1990 na capital baiana, caiu para 1% entre 1990 e 1996. Diante disso, também não é por acaso que a precariedade ocupacional tenha ampliado, a remuneração dos trabalhadores reduzido e as taxas de emprego elevado a níveis inusitados. Ainda conforme Almeida (2008), é emblemática a redução da mão de obra

direta empregada pelo Polo Petroquímico de Camaçari para cerca de um terço do máximo alcançado na década de 1980, com larga utilização do trabalho terceirizado e temporário, que também avançou na indústria metal-mecânica e em alguns importantes ramos da economia metropolitana, como os serviços financeiros e de utilidade pública, destruindo empregos de maior qualidade.

Dados do Censo de 2000, realizado pelo IBGE, relativos à distribuição das pessoas ocupadas nos municípios que compõem a RMS deixam patente que a proporção de pessoas que dispunha de um trabalho regulado e protegido – na condição de empregado com carteira assinada, militar ou funcionário público – não ia além de 53,8 em Salvador e que esse número era ainda mais desfavorável nos municípios menos urbanizados e desenvolvidos da região, como São Sebastião do Passé, Mata de São João, Itaparica e Vera Cruz. As taxas de desemprego atingiam quase um quarto da população economicamente ativa na capital e na média da região, elevando-se ainda mais em alguns municípios. Além disso, os níveis de pobreza e de indigência atingiam, respectivamente, 30,7% e 23,1% em Salvador e 46% e 23,1% na média do conjunto dos municípios (IBGE, 2000). No entanto, entre 2004 e 2005, a economia brasileira entrou em novo ciclo, com uma evolução positiva associada a uma conjuntura internacional que lhe foi bastante favorável, ao aumento das exportações, a mudanças na política econômica e a medidas como a retomada dos investimentos públicos, a expansão do crédito e a valorização do salário mínimo. O crescimento econômico se acelerou por meio de uma evolução da criação e formalização do emprego, bem como de uma melhoria das condições de renda da população – isso se refletiu nas condições das áreas metropolitanas.

Nesse novo contexto, a economia de Salvador e de sua região metropolitana recuperou um certo dinamismo, ainda que sua base produtiva não chegasse a ser fundamentalmente alterada, consolidando sua condição de metrópole terciária, expandindo sua função de centro comercial e de serviços e de polo econômico e turístico baiano, ampliando suas conexões com o Centro-Sul e o exterior e persistindo como um importante nó logístico na circulação de mercadorias e pessoas entre as Regiões Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil. A dimensão populacional, a concentração de metade do PIB estadual na RMS, a melhoria das remunerações e o consequente aumento da demanda estimularam o crescimento dos serviços públicos, dos serviços de apoio à produção e, especialmente, dos serviços pessoais. O incremento de investimentos governamentais em infraestrutura e de investimentos privados em grandes

resorts, complexos hoteleiros e outros equipamentos alavancou o turismo, especialmente em municípios como Camaçari e Mata de São João. Mas o terciário avançado vem perdendo espaço devido à transferência do centro decisório das grandes empresas baianas para a metrópole paulista e à tendência para concentração dos serviços mais especializados naquela região, com reflexos significativos e adversos na estrutura do mercado de trabalho e nos padrões de remuneração que prevalecem na metrópole baiana (Porto, 2013).

A produção industrial também se expandiu, embora permaneça relativamente mais limitada do que em outras regiões e concentrada em termos espaciais e setoriais. Apostando na concessão de incentivos fiscais, o governo estadual conseguiu atrair novos empreendimentos industriais para o polo de Camaçari, com destaque para o Complexo Industrial Ford Nordeste, implantado em 2001, compreendendo, além da montadora, várias empresas sistemistas e um terminal portuário exclusivo, construído na Baía de Aratu para o escoamento da produção no país e para consumidores das Américas do Sul e do Norte, além da importação de veículos. Além disso, com a retomada do desenvolvimento econômico, a ampliação do emprego, a redução das taxas de juros e as novas facilidades de financiamento habitacional, após quase duas décadas de estagnação, o mercado imobiliário baiano voltou a crescer. Tanto a construção civil como as atividades a ela articuladas passaram a registrar um grande dinamismo, ampliando a sua relevância notadamente no que tange ao emprego da mão de obra de menor qualificação (Pereira, 2014).

Entretanto, com a relativa persistência da estrutura produtiva da RMS, foram mantidas a concentração da riqueza, a especialização e a diferenciação entre os municípios que a compõem. Em 2010, Salvador continuava como um grande centro de serviços, responsável por 48,6% do PIB da região; Camaçari, São Francisco do Conde, Candeias e Simões Filho – municípios de base industrial – detinham conjuntamente outros 41,1%. Lauro de Freitas, sexto município em termos de riqueza, além de conurbado com Salvador, tem sido beneficiado pela ocupação de sua faixa litorânea por uma população de maior renda e pela expansão de um comércio e de serviços mais qualificados. Os demais municípios continuaram com economias incipientes, ancorados basicamente na presença de instituições públicas e em um comércio e serviços de menor expressão, embora Madre de Deus sedie o terminal marítimo da Petrobrás, Pojuca tenha umas poucas indústrias e Mata de São João venha experimentando um crescimento do turismo, com a expansão de grandes complexos hoteleiros e loteamentos na orla desse município e no extenso litoral de Camaçari (Bahia, 2011).

Ainda assim, o mercado de trabalho se recuperou, as taxas de desemprego caíram, o peso dos trabalhadores por conta própria e em condições vulneráveis decresceu e a remuneração dos trabalhadores, em geral, experimentou uma certa recuperação. Mas, uma vez que os movimentos assinalados não chegaram a alterar mais radicalmente a estrutura produtiva e o panorama ocupacional metropolitano, as referidas taxas ainda representam quase o dobro da média nacional. A maioria dos ocupados se encontra vinculada a atividades que não se destacam pela geração de postos de maior qualidade, como o comércio, os serviços tradicionais e a construção civil. A precariedade ocupacional se mantém bastante expressiva e tanto a capital baiana como os municípios da sua região metropolitana continuam se caracterizando como espaços de baixas remunerações. Em Salvador, 79% dos ocupados recebiam até três salários mínimos e apenas 11,3% mais de cinco salários no trabalho principal, conforme dados do Censo de 2010. Para o conjunto da RMS, esses números eram de 80,1% e 10,1%, respectivamente⁵.

Além disso, apesar das transformações assinaladas, registra-se uma persistência básica da sua estrutura social. Enquanto as metrópoles do polo dinâmico nacional se caracterizam pelo maior peso das categorias ocupacionais superiores e do operariado industrial, a marca básica de Salvador e de sua região continua sendo a proporção de ocupados na prestação de serviços de pouca ou nenhuma qualificação e da grande massa marginalizada, constituída pela maioria dos trabalhadores por conta própria, pelos assalariados precários e pelos desempregados.

TABELA 1 – Estrutura Social de Salvador e da RMS 2000 e 2010

Categorias sócio-ocupacionais	2000		2010	
	Salvador	RMS	Salvador	RMS
Grandes empregadores e dirigentes	1,2	1,0	1,5	1,4
Profissionais de nível superior	7,2	6,3	11,1	9,7
Pequenos empregadores	2,5	2,4	1,2	1,2

5 Vale ressaltar também que os moradores em uma condição de indigência (9,5%), pobreza (19,3%) e sem rendimentos (4,7%) representam 33,5% da população de Salvador. No conjunto da região metropolitana, esses números se elevam para 11%, 20,6%, 4,7% e 36,3%, respectivamente (IBGE, 2010).

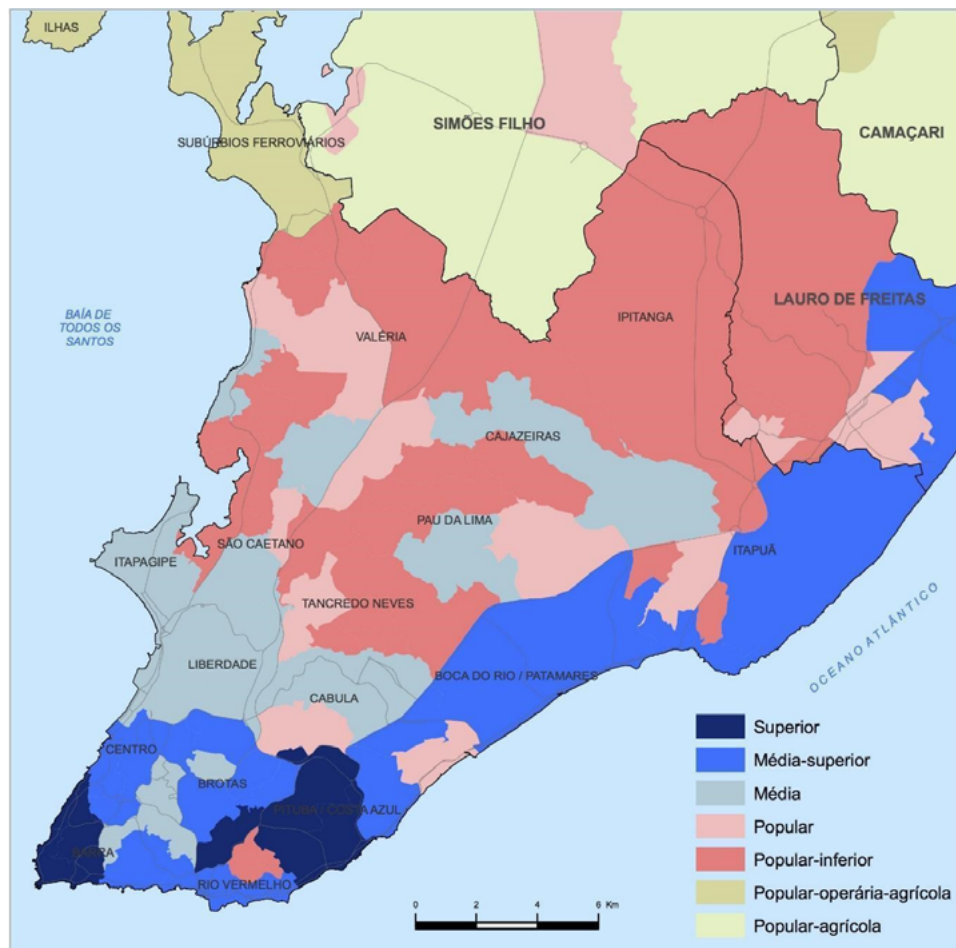
Categorias sócio-ocupacionais	2000		2010	
	Salvador	RMS	Salvador	RMS
Trabalhadores em ocupações médias	29,5	28,1	29,6	27,3
Trabalhadores do secundário	17,5	19,5	18,2	20,7
Trabalhadores do terciário especializado	21,8	21,5	20,1	20,3
Trabalhadores terciário não especializado	19,7	19,9	17,7	17,8
Trabalhadores agrícolas	0,4	1,1	0,6	1,6

Fonte: IBGE. Censos Demográficos de 2000 e 2010.

O grupo dos grandes dirigentes e empregadores se mantém reduzido. O contingente de profissionais de nível superior tem crescido, mas sem alcançar o peso conquistado em metrópoles mais desenvolvidas. A frequência dos pequenos empregadores se reduziu no fim do período analisado, e os trabalhadores em ocupações médias (de escritório, supervisão, saúde, educação e segurança ou atividades técnicas, artísticas e similares) mantiveram basicamente a sua participação. Os trabalhadores do setor secundário experimentaram uma certa queda na década de 1990, marcada pela crise e pela reestruturação produtiva⁶, e depois uma leve recuperação, associada sobretudo ao grande incremento da produção imobiliária e ao peso dos ocupados na construção civil nos últimos anos. Como a economia de Salvador persiste ancorada em atividades terciárias, mais de um terço da sua população ocupada se vincula à prestação de serviços sem uma maior especialização, sendo digna de nota a significativa frequência dos ocupados no serviço doméstico, pequeno comércio, realização de biscates e outras atividades de reduzida produtividade e remuneração.

6 Como em outras áreas do país, as transformações associadas à abertura e à reestruturação produtiva implicaram uma rápida introdução de novas tecnologias e novos padrões organizacionais. Empresas e outras organizações modificaram bastante suas estruturas e processos, enxugaram seus quadros, eliminaram departamentos e recorreram intensamente à terceirização, precarizando um grande volume de postos de trabalho.

FIGURA 3 – Tipologia Socioespacial, Salvador – 2000



Fonte: elaborada pelos autores com base em IBGE (2010) e Carvalho e Pereira (2014).

No entanto, se a estrutura social vem sendo marcada pela persistência, o mesmo não se pode dizer da estrutura urbana. Como o território guarda uma herança e uma inércia histórica (a Figura 3 deixa isso patente), a conformação básica e o macro padrão de segregação vêm se mantendo em Salvador, mas com mudanças que não são desprezíveis. Destacam-se, entre essas mudanças, o esvaziamento e a deterioração do antigo centro e a consolidação do novo centro, a edificação de maiores e modernos *shopping centers*, centros de negócios e serviços e de convenções, além da difusão de novos padrões habitacionais e inversões imobiliárias para os grupos de mais alta renda. Conforme constatado por Carvalho e Pereira (2008), as áreas classificadas anteriormente como superiores permaneceram como tal, com o acréscimo de mais

uma delas, confirmando a tendência a um maior isolamento e à segregação das elites, apontada por autores como Preteicelle (2003, 2006), bem como a uma crescente verticalização. Os demais espaços experimentaram uma evolução mais complexa. Alguns parecem ter atraído moradores de melhor nível social, enquanto outros experimentaram uma evolução negativa, associada inclusive ao aumento da vulnerabilidade ocupacional e do desemprego que marcaram a década de 1990 e os primeiros anos do século XXI.

Na sua primeira década e nos anos mais recentes, observa-se igualmente a permanência básica da estrutura urbana e do macro padrão de segregação conformado historicamente, como seria de esperar, mas com um aumento da fragmentação e das desigualdades espaciais e uma afirmação crescente da lógica do capital na produção e reprodução da cidade. Deixando patente a importância dos atores e as decisões políticas locais sobre os rumos do desenvolvimento urbano, essa afirmação foi potencializada por uma estreita articulação dos interesses imobiliários com a prefeitura local, embalada pelo discurso do empreendedorismo e da competitividade urbana. Operando como facilitadora dos referidos interesses, a prefeitura elaborou e enviou para aprovação da câmara um novo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) em 2004, alterando e flexibilizando normas, modificando os parâmetros construtivos e elevando o gabarito na “área nobre” da cidade. Bastante questionado, esse plano foi aprovado na calada da noite, com muitas e suspeitas emendas, tornando-se objeto de uma ação direta de inconstitucionalidade por parte do Ministério Público, em razão de, dentre outros aspectos, desrespeitar as disposições do Estatuto da Cidade. No entanto, o Ministério Público só ganhou essa ação quatro anos depois e, em 2008, outro plano já havia sido aprovado, com as mesmas orientações do anterior. Além disso, o alcaide tomou várias outras iniciativas e institucionalizou alguns outros mecanismos que favoreceram a coalizão de empresas e interesses imobiliários e, como o segundo Plano Diretor também foi contestado judicialmente, conseguiu mudar a Lei de Ocupação e Uso do Solo (Louos) com as mesmas intenções⁷.

7 Entre outros aspectos, essa mudança reduziu a representatividade e os poderes do Conselho Municipal do Meio Ambiente e do Conselho da Cidade, ampliou bastante o gabarito da orla e permitiu a construção de elevados edifícios e hotéis nesse valorizado espaço urbano, mesmo às custas do sombreamento das praias e de uma redução da aeração da cidade, a pretexto de que isso era indispensável para que Salvador sediasse os jogos da Copa. Tanto o PDDU de 2008 quanto a Louos foram judicialmente anulados, estando sendo discutidas suas novas versões em 2015, agora em uma outra gestão municipal.

Ademais, no início de 2010, a prefeitura lançou, com grande publicidade, um conjunto de projetos alinhavados frouxamente pelo denominado planejamento estratégico, “doado” por um grupo de empresas do setor imobiliário à cidade, que, com um pretencioso título de Salvador Capital Mundial, propunha um amplo conjunto de intervenções para direcionar seu desenvolvimento, com singelas declarações do alcaide de que:

Recentemente apresentamos a empresários, à imprensa e à sociedade o *masterplan* intitulado Salvador Capital Mundial, um plano completo de reconfiguração urbana para Salvador com 22 projetos estruturantes, incluindo novas avenidas, viadutos, requalificação da Orla Marítima, da Cidade Baixa e Península Itapagipana, elaborados por um grupo de arquitetos e urbanistas [...] um projeto que a Prefeitura de Salvador não teria como encomendar e pagar a famosos escritórios de planejamento urbano (Salvador, [20--?]).

Tais projetos não formavam um corpo coerente, tampouco integravam um plano único, sendo a expressão de interesses pontuais e direcionados para áreas da cidade sobrevalorizadas e saturadas ou para áreas do centro tradicional com menor valorização do solo e onde, como forma de viabilizar um processo de gentrificação, o projeto justificaria a desapropriação dos imóveis. Nem o detalhamento das propostas nem a identificação dos seus financiadores foram divulgados, com as propostas circulando na forma de vistosas publicações elaboradas por agências de publicidade. Mas, apesar da tentativa de manipulação da opinião pública, a “doação” em apreço teve uma repercussão bastante negativa, e os referidos projetos não chegaram a ser implementados. Como seria de esperar, essa espécie de “terceirização” do planejamento e da gestão da cidade – feita através da transferência das atribuições de controle do uso e da ocupação do solo e da formulação de política, planos e projetos de desenvolvimento urbano da esfera pública para a esfera privada – teve impactos decisivos nas transformações da estrutura urbana e na conformação atual do polo metropolitano.

Mais uma vez, a identificação dessas transformações e a reconfiguração mais recente da estrutura urbana de Salvador e da sua RMS foram realizadas a partir dos dados do Censo de 2010, com a utilização da metodologia desenvolvida pelo Observatório das Metrópoles e utilizada sobre a base de dados dos censos anteriores, que supõe a elaboração de uma tipologia socioespacial. Contudo, a construção dessa tipologia enfrentou dificuldades e apresentou limitações em decorrência de alguns fatores. O primeiro deles decorreu de mudanças nos processos de amostragem e de definição das áreas de ponderação para a RMS em

2010, que levou a um menor número de áreas nesse ano do que em 2000, resultando em uma malha espacial diversa (tanto em aspectos geométricos⁸ quanto na escala de abrangência) e impossibilitando uma comparação termo a termo, como foi feita em 1991 e 2000 (Carvalho, Pereira, 2008). O segundo problema foi a inclusão em uma mesma área de ponderação de setores censitários ocupados por populações muito diversas em termos sociais.

Como a alteração da escala tem efeitos diretos sobre os resultados das análises quantitativas, a mudança da geometria e da escala das áreas e, sobretudo, a “mistura” que ocorreu em algumas delas inviabilizaram tanto uma classificação mais refinada delas quanto uma comparação mais precisa das diferenças entre 2000 e 2010. Mesmo com as restrições assinaladas, porém, a metodologia do Observatório das Metrópoles e a tipologia construída a partir dela permitiram que fossem identificadas as principais características e a dinâmica recente da estrutura urbana de Salvador, apresentada na Figura 4.

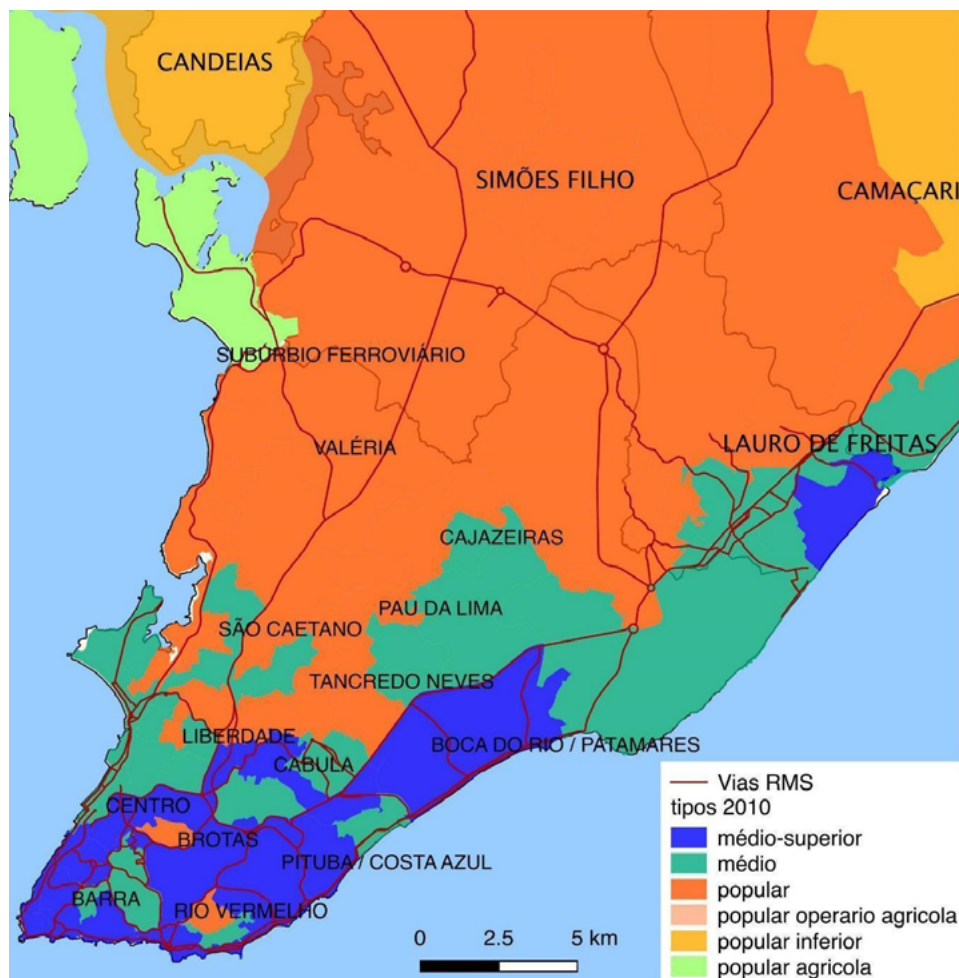
Os bairros da Orla Marítima continuam se destacando como espaços privilegiados das camadas de alta renda (sendo classificados como áreas de tipo médio superior). A dinâmica recente da expansão urbana, com uma implantação crescente de condomínios horizontais e verticais, reforça a tendência para fragmentação social e espacial. Embora o processo de segregação socioespacial retratado pelos dados dos censos não apresente mudanças dramáticas, persistindo as diferenças espaciais, funcionais e sociais já existentes, pode-se notar um aumento dos enclaves estratificados por renda, com a presença dos referidos condomínios ocupando áreas da metrópole em localizações nem sempre centrais, mas ainda assim impermeáveis à circulação de não moradores. Segundo apontam Marcuse e Kempen (2000), a diferenciação dos espaços está aumentando com novas formas, padrões e artefatos físicos.

Essa diferenciação fica pouco transparente na cartografia baseada nos dados da amostra do Censo de 2010, que tem como recorte geográfico as áreas de ponderação, mas pode ser melhor percebida quando usadas variáveis associadas aos setores censitários, que permitem uma escala de análise mais detalhada. Usando dados de renda e de cor da população moradora, pode-se perceber certas variações que não aparecem a partir das áreas de ponderação. Em Itapuã, por exemplo,

8 Por exemplo, na área denominada como Itapuã, o Censo do IBGE, em 2000, considerou a existência de quatro áreas, uma delas o Bairro da Paz, caracterizada pela precariedade social e pobreza dos seus moradores, que levou o Plano Diretor do Município a defini-la como zona especial de interesse social. No Censo de 2010, as quatro áreas foram “misturadas” em um único agrupamento de setores censitários, que aparece como do tipo “médio”.

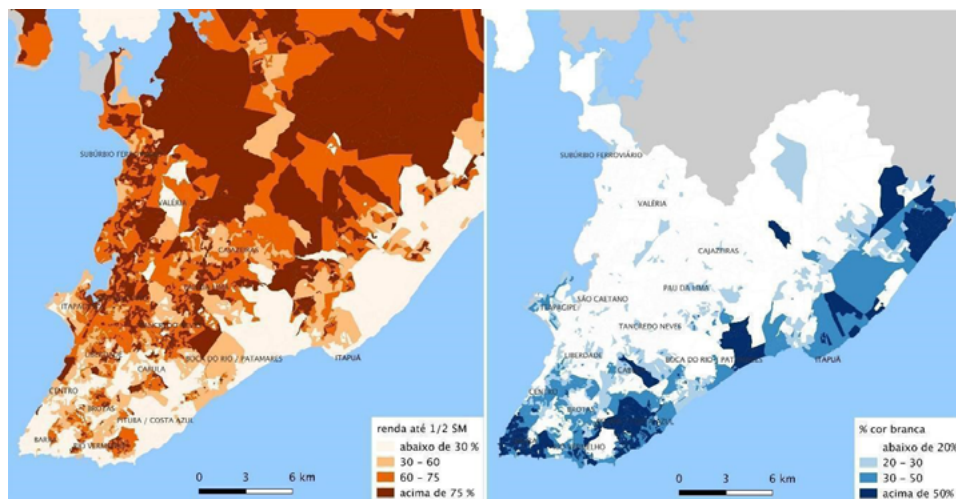
a Figura 5 deixa evidente a heterogeneidade daquele espaço, que abriga setores com mais de 75% dos domicílios com renda domiciliar per capita inferior a meio salário mínimo (imagem à esquerda na Figura 5). A espacialização dos dados relativos à composição social dos moradores também mostra a configuração de territórios “brancos” e mais afluentes em áreas como Barra, Pituba, Patamares, uma parte de Itapuã (imagem à direita na Figura 5) e, mais ao norte, em Lauro de Freitas (no Condomínio Villas do Atlântico), onde a concentração desse segmento chega a 50%. Sem mudanças mais significativas na composição social da sua população, os demais municípios da RMS persistiram basicamente como espaços ocupados pelas camadas populares e por trabalhadores rurais.

FIGURA 4 – Tipologia Socioespacial, Salvador – 2010



Fonte: elaborada pelos autores.

FIGURA 5 – Percentual de domicílios com renda domiciliar *per capita* inferior a meio salário mínimo e percentual de domicílios ocupados por brancos



Fonte: IBGE, Censo Demográfico 2010.

Essas variações confirmam a persistência das características e diferenças básicas entre os grandes vetores de expansão da cidade, ou seja, o centro antigo, o Miolo, o Subúrbio Ferroviário e a Orla Atlântica, classificados por Carvalho e Pereira (2008) como a cidade tradicional, a cidade precária e a cidade moderna. Na cidade tradicional, que abrange o velho centro, bairros tradicionais do tipo médio e bairros populares mais antigos e consolidados, tendo uma composição social mais diversificada, já se nota uma tendência à gentrificação de algumas áreas no entorno do centro histórico expandido. Essas áreas passaram a despertar a cobiça do capital imobiliário devido à sua localização e à disponibilidade de infraestrutura, como ocorre no bairro Dois de Julho, onde o poder público começou a atuar para garantir a apropriação pelo capital privado de parte do tecido urbano edificado e infraestrutura, conforme foi constatado pelo estudo de Mourad (2011).

Na cidade precária, as mudanças mais recentes estão se dando principalmente no espaço do Miolo, com a constituição de algumas pequenas “ilhas” de renda média, além da disputa dos espaços urbanos ainda existentes naquela área pelo capital imobiliário em prol de uma produção habitacional empresarial, que vem ampliando, para além da Orla Atlântica, a localização de seus empreendimentos, tipicamente condomínios residenciais fechados (verticais e horizontais) voltados às camadas médias da população (Pereira, 2014). A valorização fundiária está sendo induzida por ações do Estado sob a forma de grandes obras viárias e projetos de transporte público, que conflitam com

projetos de vias voltadas para o transporte individual – automóvel – administrados privadamente.

A referida disputa levou os empreendimentos do Programa Minha Casa, Minha Vida (que inicialmente aí se localizaram) a buscarem terras mais baratas fora do município de Salvador, reforçando o movimento de dispersão urbana periférica baseada na construção de assentamentos residenciais homogêneos em áreas precárias ou até não urbanizadas da região metropolitana. Trata-se de um processo que amplifica a segregação socioespacial, aglomerando a população de baixa renda em espaços periféricos e homogêneos, distantes dos centros de serviços e consumo e das oportunidades de trabalho e obtenção de renda.

Na cidade moderna, porém, localizada basicamente na Orla Atlântica, é onde se concentram as áreas classificadas como do tipo médio e superior, os moradores de mais alta renda, a disponibilidade de infraestrutura, as oportunidades de trabalho e os interesses do capital imobiliário – local em que ocorreram as maiores transformações. Como já foi visto, com a recuperação econômica, a expansão do crédito e outros incentivos na década passada (2010), o capital imobiliário passou a operar a “máquina de crescimento” a todo vapor, ocupando as poucas áreas ainda livres e disponíveis na orla, mas apostando sobretudo em uma elevação da rentabilidade de suas inversões pela intensificação do uso do solo, o que desencadeou uma nova onda de reconstrução de áreas consolidadas e bem localizadas na estrutura urbana, com uma intensa verticalização e diversificação populacional.

Para viabilizar essa onda de reconstrução, tornou-se necessário modificar os regulamentos e códigos sobre o uso do solo e as edificações, o que passou a ser buscado pela coalizão de interesses imobiliários em uma estreita e explícita articulação com o executivo local, embalada e justificada com o discurso do empreendedorismo e da competitividade urbana. Como foi visto, essa articulação levou à concepção e à aprovação de um novo PDDU que alterava e flexibilizava as normas anteriores quanto ao uso e à ocupação do solo. Sem apresentar estudos técnicos que justificassem as mudanças ou, ao menos, avaliassem seus impactos sociais, ambientais e urbanos, esse plano tinha como eixo central o incremento dos parâmetros urbanísticos de aproveitamento do solo, aumentando a intensidade da ocupação por zona e permitindo uma elevação do gabarito na área nobre da cidade, como ressaltam as análises de Carvalho e Pereira (2014).

ALGUMAS OBSERVAÇÕES FINAIS

Em síntese, analisando-se a evolução de Salvador ao longo das três décadas, observa-se uma permanência básica da sua estrutura social e urbana, com algumas mudanças que refletem tanto as transformações ocorridas com a reestruturação produtiva e a abertura do Brasil ao processo de globalização quanto a formação e as especificidades locais. Como foi visto, a metrópole manteve o seu padrão de inserção e o seu caráter periférico na economia brasileira, consolidando suas funções terciárias e persistindo como o grande polo estadual de comércio e serviços e um importante centro turístico nacional.

Sua região metropolitana continuou articulada à matriz industrial brasileira basicamente com uma produção especializada nos setores químico, petroquímico e metalúrgico, suprindo de produtos intermediários as indústrias de bens finais do Centro-Sul e, mais recentemente, montando automóveis que são exportados principalmente para a América do Sul. O peso da construção civil na economia e no mercado local de trabalho também é bastante significativo. Destaca-se que o crescimento do terciário manteve o seu caráter desigual e combinado, com o avanço tanto de atividades financeiras, jurídicas, publicitárias, de consultoria, informática, engenharia, turismo e lazer, como dos serviços de consumo pessoal e cotidiano e do comércio informal. Com a globalização, esse comércio inclui agora manufaturados da China e de outros países, de procedência legal ou ilegal, articulando-se com as redes internacionais do crime organizado.

Embora seja afetada pelas variações conjunturais da dinâmica econômica nacional, a estrutura ocupacional e social de Salvador mantém os traços característicos das grandes capitais pouco industrializadas e desenvolvidas do país, cuja marca básica é a grande dimensão do excedente de mão de obra, que subsiste através da prestação de serviços precários e mal remunerados ou como desempregados. Em um país desigual como o Brasil, o contraste entre a riqueza de uma pequena minoria e a carência de renda de uma grande parcela da população não constitui uma novidade, nem levou a uma polarização. Se as mudanças na estrutura urbana foram significativas, elas, porém, não chegaram a ser radicais.

Os grupos de maior renda continuam se concentrando na Orla Atlântica, e os pobres nas áreas mais distantes e menos equipadas. O modelo centro-periferia (caracterizado pela distância geográfica e social entre as classes) e o macro padrão de segregação ainda organizam o espaço urbano, apesar do

surgimento de novas configurações espaciais, como os condomínios fechados construídos em áreas distantes do núcleo da cidade. Vazios urbanos remanescentes têm sido ocupados principalmente por esses tipos de condomínio, a fim de atender à demanda dos grupos de alta e média renda, com a expansão de enclaves fortificados e orientados para a homogeneidade social. Alguns deles concentram mais de mil unidades residenciais e conjugam, no seu espaço, dimensões de vida urbana como moradia, trabalho, consumo e lazer.

Com o crescimento do poder e das intervenções do capital imobiliário, a cidade tem sido objeto de um processo de renovação e verticalização, principalmente nos espaços de tipo superior e médio superior da Orla Atlântica, nem sempre com uma disponibilidade adequada de infraestrutura, serviços e condições de mobilidade. A relativa escassez e a elevação do preço do solo urbano têm afetado os mecanismos tradicionais de acesso à habitação por parte das classes populares e levado à verticalização de alguns dos seus assentamentos, ampliando a sua elevadíssima densidade. Entre as mudanças observadas, também se inclui a difusão de equipamentos de grande impacto no espaço urbano, com padrões definidos mundialmente, os denominados “artefatos da globalização”.

A análise das tendências socioeconômicas da RMS (Pereira *et al.*, 2015) indica que Salvador continuará com sua economia ancorada nas atividades terciárias, com ênfase na administração pública, no varejo e nos serviços de caráter pessoal. O setor imobiliário desempenhará um papel de protagonista no direcionamento do desenvolvimento urbano. O baixo dinamismo da economia de Salvador torna a produção da cidade o grande motor da economia municipal, reforçando o papel das “máquinas de crescimento urbano” que direcionam seu poder de pressão na remoção dos entraves à mercantilização da terra urbana. O crescimento atual se baseia na expansão e reconfiguração do território, por meio do abandono de áreas mais antigas como o centro tradicional e da concentração em “novas” áreas, expandindo, sempre que possível, a fronteira do crescimento com tipologias diferenciadas conforme as possibilidades, disponibilidades, acessibilidades e flexibilidades da legislação urbanística.

O protagonismo do capital imobiliário levará a um aumento da pressão pela flexibilização de uso e ocupação das áreas urbanas centrais. Isso se dá num contexto em que as instâncias de governo – municipais, estaduais e federais – estão deixando de exercer parte das funções de planejamento e gestão urbana. Com o avanço da mercantilização, esses fenômenos têm levado a um redesenho da cidade orientado para os setores mais solventes e para o

turismo, com o abandono e/ou a decadência dos espaços públicos tradicionais e uma privatização crescente dos espaços, equipamentos e serviços urbanos.

São emblemáticos, nesse sentido, os casos da Linha Viva, uma via privada e pedagiada, sem a circulação de transportes públicos, que cortará bairros populares consolidados para garantir espaços aos automóveis. Além da Linha Viva, destaca-se a implosão do antigo Estádio da Fonte Nova, integrante de uma vila olímpica que foi transformada em uma sofisticada arena multiuso através de uma parceria público-privada, segundo o modelo internacional exigido pela Federação Internacional de Futebol Associado (FIFA) para os jogos da Copa do Mundo de 2014. Conforme analisado por Souza (2014), nos termos dessa parceria, embora essa arena permaneça como um equipamento de propriedade pública, o local, após a copa, passou a ser gerido por um consórcio de empresas privadas como um grande *shopping* esportivo, orientado para um patamar de consumo mais seletivo e elevado, incluindo espaços para shows, hotel, museu, restaurante e centro de convenções, entre outros atributos a serem comercializados.

Como se vê, no seu conjunto, as mudanças e os processos observados vêm reproduzindo e reforçando os padrões de segregação e segmentação, como também as desigualdades que se conformaram historicamente nessa capital e na sua região metropolitana. A produção capitalista e empresarial da habitação é segmentada em termos sociais e espaciais, orientando-se basicamente para as camadas de maior renda. Nos antigos bairros de classe alta e média, passou-se à produção atual de megacondomínios verticais e horizontais, com seus aparatos de separação e distanciamento, os quais, além de propiciarem uma homogeneidade social, impedem a porosidade urbana e asseguram que qualquer mistura social só poderá acontecer fora de suas fronteiras.

Persiste a defasagem na oferta de moradias e nos investimentos destinados à regularização e à qualificação das áreas de ocupação popular, além de a produção da habitação social promovida pelo Estado ser claramente excludente. Nos anos recentes, os conjuntos habitacionais do Programa Minha Casa, Minha Vida reforçam o padrão de periferização que tem marcado a referida produção, orientando-se para a produção de residências sem uma melhor integração à cidade e promovendo a segregação dos grupos de menor renda em áreas distantes e excluídas da diversidade e das oportunidades de vida urbana, com todos os efeitos negativos dessa exclusão.

As formas recentes de produção da moradia e do espaço urbano em Salvador mostram uma ampliação da fragmentação socioespacial da metrópole, agora se expressando na forma de enclaves de diversas naturezas que caracterizam o atual espaço construído. Dispositivos físicos – muros, guaritas, câmeras de segurança, controle de acesso – presentes nos condomínios já eram bastante comuns. A novidade é o seu porte atual, com alguns deles chegando a ter um conjunto de torres com mais de mil unidades domiciliares em um espaço fechado. Os condomínios horizontais, que ocupam grande parte da Orla Atlântica de Salvador e de sua região metropolitana, também podem ser considerados como enclaves, onde vive uma população de renda alta e média, com os mesmos dispositivos citados para garantir a separação de seu espaço interno do restante do tecido urbano. Embora não tenham a mesma configuração social desses enclaves, os conjuntos habitacionais do Programa Minha Casa, Minha Vida são também áreas homogêneas em termos sociais e do ambiente construído, mas, nesse caso, são implantados em áreas periurbanas da região metropolitana.

A síntese desse conjunto de condições é uma metrópole configurada como um arquipélago de enclaves socioespaciais de diversas naturezas – grandes condomínios horizontais fechados, conjuntos habitacionais de baixa renda, assentamentos residenciais populares e precários –, em que o uso do solo tende a uma pouca diversificação. Nas áreas urbanas centrais, a mancha urbana é contínua, mas se mostra segmentada em setores bem definidos, onde existem mais serviços, infraestrutura, equipamentos culturais, centros de consumo e amenidades que caracterizam uma cidade moderna, com sua expansão nessas áreas de forma predominantemente vertical e baseada na privatização e mercantilização de espaços e equipamentos.

Os impactos adversos dessa conformação são amplificados pela falta de uma melhor acessibilidade urbana de amplos setores da população, já marginalizados social e geograficamente. A precária mobilidade urbana de Salvador penaliza todos os moradores, mas o faz especialmente para aqueles mais pobres e residentes em áreas periféricas, pois, enquanto os domicílios que são ponto de partida das viagens se dispersam espacialmente, a distribuição dos serviços e das oportunidades de trabalho está cada vez mais concentrada, obrigando a maioria da população a realizar longos deslocamentos em um sistema de transportes públicos de baixa qualidade, com todos os custos decorrentes desse fato.

A ausência de uma instância de governança metropolitana contribui para agravar o contexto, em razão da inexistência de um plano de ordenamento territorial que coordene políticas de habitação, meio ambiente e transporte. Com uma menor presença do poder público no planejamento e na gestão territorial, a coordenação será feita pelo mercado, o que levará à manutenção e à ampliação de processos em curso atualmente, por exemplo: expansão urbana dispersa nas franjas da metrópole; ampliação da atual segregação socioespacial pelas restrições de acesso aos espaços metropolitanos; implantação de enclaves residenciais monofuncionais – condomínios fechados e conjuntos habitacionais de grandes dimensões; construção de habitações sociais em áreas periurbanas e periféricas, desconectadas das áreas urbanizadas; pressão sobre os mananciais; deterioração do patrimônio edificado do Centro Histórico; verticalização e adensamento de áreas da Orla Atlântica sem alternativas adequadas de transporte coletivo e sem diversificação do uso do solo.

Ademais, a expansão de Salvador nos anos mais recentes tem contribuído para a degradação do meio ambiente, com a destruição de diversas áreas verdes, o aterramento de nascentes e lagoas, a criação de obstáculos à circulação dos ventos, a elevação da temperatura e agressões à paisagem e ao patrimônio histórico-cultural. Nesse processo de reestruturação, em que a metrópole vem sendo objeto de um movimento crescente de privatização seletiva, comercialização e exclusividade no uso e consumo do espaço urbano, fica patente que, nas condições assinaladas, ela continua mantendo um dinamismo de tendências cada vez mais excludentes e corporativas e, como tal, menos cidadãs.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, P. H. A economia de Salvador e a formação de sua Região Metropolitana. In: CARVALHO, I. M. M.; PEREIRA, G. C. (org.). *Como anda Salvador e sua região metropolitana*. 2. ed. Salvador: Edufba, 2008. p. 13-52.
- BOURDIEU, Pierre. *O poder simbólico*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1989.
- BRANDÃO, M. D. A. O último dia da criação: mercado, propriedade e uso do solo em Salvador. In: VALLADARES, L. P. (org.). *Habitação em questão*. 2. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 1981. p. 125-142.
- CARVALHO, I. M. M.; BORGES, Â. M. C. A Região Metropolitana de Salvador na transição econômica: estrutura produtiva e mercado de trabalho. In: CARVALHO, I. M. M.; PEREIRA, G. C. (ed.). *Mudanças na ordem urbana da Região Metropolitana de Salvador, 1980-2010*. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2014. p. 77-108.

CARVALHO, I. M. M.; PEREIRA, G. C. A cidade como negócio. *EURE: revista latinoamericana de estudios urbano regionales*, Santiago, v. 39, n. 118, p. 5-26, set. 2013.

CARVALHO, I. M. M.; PEREIRA, G. C. Estrutura social e organização social do território na Região Metropolitana de Salvador. In: CARVALHO, I. M. M.; PEREIRA, G. C. (ed.). *Mudanças na ordem urbana da Região Metropolitana de Salvador, 1980-2010*. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2014. p. 109-140.

CARVALHO, I. M. M.; PEREIRA, G. C. (org.). *Como anda Salvador e sua Região Metropolitana*. 2. ed. Salvador: Edufba, 2008.

CARVALHO, I. M. M.; PEREIRA, G. C. Salvador: transformações de uma metrópole da periferia. In: RIBEIRO, L. C. Q.; RIBEIRO, M. G. (ed.). *Metrópoles brasileiras: síntese da transformação na ordem urbana 1980 a 2010*. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2018. p. 141-169.

CICCOLLELA, P. *Metrópoles latinoamericanas: mas alla de la globalizacion*. Quito: OLACCHI, 2014.

DUHAU, E. As novas formas de divisão social do espaço nas metrópoles latinoamericanas: uma visão a partir da cidade do México. *Caderno CRH*, Salvador, v. 18, n. 45, p. 355-376, 2005.

FRIEDMANN, J. The world city hypothesis. *Development and change*, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 69-83, Jan. 1986.

GONZALEZ, L. M. C. América Latina: metropolis em mutación? In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE LA RED DE INVESTIGADORES EM GLOBALIZACIÓN Y TERRITORIO, 11., 2010, Mendoza. *Apresentação [...]*. Mendoza: Universidade Nacional de Cuyo, 2010.

HARVEY, D. *Cidades rebeldes: do direito à cidade à revolução urbana*. São Paulo: Martins Fontes, 2014.

HARVEY, D. Do administrativismo ao empreendedorismo urbano: a transformação da governança urbana no capitalismo tardio. In: HARVEY, D. *A produção capitalista do espaço*. São Paulo: Annablume, 2005. p. 163-190.

IBGE. *Censo Demográfico: notas metodológicas*. Brasília, DF: IBGE, 2010.

KOWARICK, L. *A espoliação urbana*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1979.

LESSA, C.; DAIN, S. Capitalismo associado: algumas referências para o tema Estado e desenvolvimento. In: BELUZZO, L. G. M.; COUTINHO, R. (org.). *Desenvolvimento capitalista no Brasil: ensaios sobre a crise*. São Paulo: Unicamp, 1983. p. 214-228.

LOGAN, J. R.; MOLOTCH, H. L. *Urban fortunes: the political economy of place*. Berkeley: California Press, 1987.

MARCUSE, P.; VAN KEMPEN, R. (ed.). *Globalizing cities: a new spatial order?* Oxford: Blackwell Publishers, 2000.

MARICATO, E. As idéias fora do lugar e o lugar fora das idéias: planejamento urbano no Brasil. In: ARANTES, O.; VAINER, C.; MARICATO, E. *A cidade do pensamento único: desmanchando consensos*. 3. ed. Petrópolis: Vozes, 2002. p. 121-192.

MARICATO, E. *O impasse da política urbana no Brasil*. Petrópolis: Vozes, 2011.

MATTOS, C. A. *Globalización y metamorfosis urbana en América Latina*. Quito: OLACCHI, 2010.

MATTOS, C. A. Gobernanza neoliberal, financiarización y metamorfosis urbana en el siglo XXI. In: SEMINÁRIO DA RED IBEROAMERICANA DE INVESTIGADORES SOBRE GLOBALIZACIÓN Y TERRITÓRIO, 13., 2014, Salvador. *Apresentação [...]*. Salvador: [s. n.], 2014.

MOLLENKOPF, J. H.; CASTELLS, M. (ed.). *Dual city: restructuring New York*. New York: Russel Sage Foundation, 1992.

MOURAD, L. N. *O processo de gentrificação do Centro Antigo de Salvador 2000 a 2010*. 2011. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

PEREIRA, G. C. et al. Formas de provisão de moradia em Salvador e Região Metropolitana. In: CARVALHO, I. M. M.; PEREIRA, G. C. (ed.). *Mudanças na ordem urbana da Região Metropolitana de Salvador, 1980-2010*. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2014.

PEREIRA, G. C.; SILVA, S. B. M.; CARVALHO, I. M. M. (ed.). *Salvador no Século XXI: transformações demográficas, sociais, urbanas e metropolitanas – cenários e desafios*. Rio de Janeiro: Letra capital, 2017.

PRETEICELLE, E. A evolução da segregação social e das desigualdades urbanas: o caso da metrópole parisiense nas últimas décadas. *Caderno CRH*, Salvador, v. 16, n. 38, p. 27-48, jan.-jun. 2003.

PRETEICELLE, E. La segregation sociale a-t-elle augmenté?: La métropole parisiene entre polarization et mixité. *Sociétés Contemporaines*, Paris, n. 62, 2006.

RIBEIRO, L. C. Q.; RIBEIRO, M. G. *Análise social do território: fundamentos teóricos e metodológicos*. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2013. Disponível em: https://www.observatoriodasmetrolopes.net.br/wp-content/uploads/2013/07/ebook_analise_territorio.pdf. Acesso em: 20 dez. 2023.

RIBEIRO, L. C. Q. *Transformações da ordem urbana nas Metrôpoles: bases para uma síntese comparativa*. Rio de Janeiro: Observatório das Metrôpoles, 2015.

SALVADOR (BA). Prefeitura. João Henrique defende Capital Mundial - Tela de Notícias. *Tela de Notícias*, Salvador, [20-?]. Disponível em: <http://www.teiadenoticias.com.br/noticia/cidade/jo-ohenrique-defende-capital-mundial>. Acesso em: 20 maio 2011.

SASSEN, S. *Sociologia da Globalização*. Porto Alegre: Artmed, 2010.

SASSEN, S. *The global city*. New York: Princeton University Press, 1991.

SOUZA, Â. G. Cidade seletiva e exclusividade urbana: megaeventos, grandes projetos e Copa 2014 em Salvador. In: CARVALHO, I. M. M.; SILVA, S. B. M.; PEREIRA, G. C.; SOUZA, Â. G. *Metrópoles na atualidade brasileira*. Salvador: Edufba, 2014.

SOUZA, Â. G. *Limites do habitar: segregação e exclusão na configuração urbana contemporânea de Salvador e perspectivas no final do século XX*. 2. ed. Salvador: Edufba, 2008.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA. *Metrópole baiana: dinâmica econômica e socioespacial recente*. Salvador: SEI, 2012.

VAINER, C. Pátria, empresa e mercadoria: notas sobre a estratégia discursiva do Planejamento Estratégico Urbano. In: ARANTES, O.; VAINER, C.; MARICATO, E. *A cidade do pensamento único: desmanchando consensos*. 3. ed. Petrópolis: Vozes, 2002. p. 75-104.

CAPÍTULO 4

MAPEAMENTO DE COALIZÕES ENVOLVIDAS NO DESENVOLVIMENTO URBANO

Abordagem experimental através de técnicas
de análise de redes¹

*Gilberto Corso Pereira
Maina Pirajá Silva*

INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é testar a possibilidade de, através do uso de técnicas de análise de redes, mapear e caracterizar coalizões de poder que se formam entre agentes no processo de planejamento e gestão do espaço urbano e metropolitano.

Como um dos problemas a serem enfrentados pela tentativa de operacionalização da teoria de regimes urbanos, pode ser considerado o mapeamento

1 Originalmente publicado em: Pereira e Silva (2019).

de coalizões que são – via de regra – informais. Diante disso, consideramos que a análise, a partir das redes que se formam entre agentes e entre agentes e projetos, pode evidenciar – ou pelo menos possibilitar – inferências que permitam realizar uma cartografia dessas coalizões. Essas coalizões são arranjos de poder, na maioria das vezes informais, e que podem ser efêmeros ou não. Elas visam manter e ampliar uma agenda de investimentos públicos, dirigindo-os a uma agenda particular, de crescimento econômico privado (Ribeiro, 2017).

Nesse sentido, o problema que se pretende abordar é: como identificar as coalizões urbanas que atuam no desenvolvimento urbano na metrópole? Assim, a escala de análise é o espaço metropolitano, e o trabalho pretende avaliar a possibilidade de uso de técnicas de análise de redes através de dois casos diversos, mas complementares enquanto leitura das relações de poder, que se estabelecem nas relações entre agentes públicos e privados.

O primeiro caso analisará as Parcerias Público-Privadas (PPPs) que se estabeleceram nos processos de gestão pública na Região Metropolitana de Salvador (RMS). O segundo caso analisará o financiamento de campanhas eleitorais na RMS.

METODOLOGIA E PRESSUPOSTOS CONCEITUAIS

O conceito de rede pode trazer alguns problemas, haja vista que o termo adquiriu uma grande propagação em diversas áreas do conhecimento, conforme estudos de Coelho Neto (2012) ou Dempwolf e Lyles (2012). Em Ciências Sociais, rede seria o conjunto de relações sociais entre um conjunto de atores e entre os próprios atores. A Matemática trata redes através da teoria dos grafos, com os elementos representados por vértices (ou nós) e as relações (ou conexões) mapeadas por arestas. No caso desta pesquisa, consideramos redes numa perspectiva analítica, como um conjunto de elementos (no nosso caso, agentes ou projetos) interligados por um conjunto de relações.

Na pesquisa, trabalhamos com alguns conjuntos de dados diversos que podem ser representados como redes. Um dos conjuntos de dados considera as redes formadas em torno de PPPs, enquanto um segundo conjunto de dados examina as relações entre doadores e candidatos nas eleições municipais.

PPPs de saúde

No caso das PPPs, temos como ponto de partida a constatação de que agentes privados estão implementando atividades que, por muito tempo, eram

consideradas necessariamente públicas. Para isso, o Estado está modificando o seu aparato regulatório, criando instâncias para abrigar a financeirização com menores barreiras à ação do capital e abrindo, portanto, concessões cada vez maiores para grupos rentistas (Molotch, 1976), com destaque para as novas institucionalidades de gestão compartilhada – as PPPs.

Na RMS, por exemplo, existem nove PPPs (em estudo, licitação e execução) estabelecidas pelo governo do estado. Oito delas foram propostas nos governos do Partido dos Trabalhadores (PT), com os ex-governadores Jaques Wagner e Rui Costa. As despesas com essas concessões já somam aos cofres públicos quase R\$ 800 milhões por ano.

Dessas concessões, destacam-se as PPPs de saúde: Hospital do Subúrbio (primeira PPP de saúde do Brasil), Instituto Couto Maia e Diagnóstico por Imagem, criadas entre os anos de 2010 e 2015. Elas reúnem diversos agentes públicos e privados interligados por um conjunto de relações, em uma rede composta por fios e nós conectados simultaneamente.

Por conseguinte, na tentativa de analisar o desenho organizacional desse sistema na RMS, esta pesquisa criou um mapa de rede de coalizões. Para sua execução, foram realizados os seguintes passos:

1. Revisão bibliográfica, documental e observações *in loco*;
2. Levantamento dos agentes públicos e privados com influência direta e indireta na modelagem dos projetos dessas PPPs;
3. Levantamento dos agentes públicos com influência direta e indireta nos mecanismos de garantias e fluxo de pagamentos das contraprestações mensais;
4. Levantamento dos agentes privados com influência direta e indireta nos consórcios dessas parcerias;
5. Identificação das principais ações e articulações que esses agentes empregam na rede e verificação da organização destes no sistema.

Para a confecção do mapa de rede, foi utilizado o Programa R que é um software para computação estatística e gráfica, bem como o programa CorelDRAW que é um software de *design* gráfico, que foi aplicado para aperfeiçoar o *layout* do mapa.

Com a rede de coalizões montada, foram empregadas cores para os diferentes grupos de agentes. O grau de importância desses agentes públicos e privados foi destacado a partir de uma hierarquia de tamanho de círculos e classificados de 1 a 5. Quanto maior o círculo e menor o número, mais

importante é o agente dentro desse sistema. O mapa de rede de coalizões poderá ser observado na seção intitulada “Discussão de resultados”.

Financiamento de campanhas eleitorais municipais

O segundo conjunto de dados trabalhou com aqueles presentes no Tribunal Superior Eleitoral (TSE), referentes às eleições municipais de 2008, 2010 e 2012. Os dados extraídos são relativos ao financiamento de campanhas e permitem estabelecer relações entre doadores e candidatos. Importante ressaltar que, naquele momento, o financiamento empresarial de campanha era permitido pela legislação eleitoral vigente e o estabelecimento das redes entre doadores e candidatos permite visualizar vínculos e relações – estes principalmente entre empresas e candidatos.

Em 2015, o Supremo Tribunal Federal (STF) proibiu doações de pessoas jurídicas – empresas e corporações – a campanhas políticas. Essa proibição foi mantida na reforma política de 2017 que aprovou novas regras para o financiamento de campanhas eleitorais e criou um fundo eleitoral com recursos públicos. Até então, as corporações poderiam doar legalmente recursos aos candidatos que escolhessem apoiar. Esses recursos precisavam ser declarados ao TSE e constituem dados de acesso público.

Consideramos que, embora grande parte do financiamento de campanhas fosse praticado sem contabilidade oficial – procedimento que se convencionou chamar de “caixa 2” –, o financiamento registrado no TSE expressa uma intenção das empresas ou corporações de explicitarem as relações entre elas e os candidatos. No caso das eleições municipais, consideramos ser uma forma de estabelecer ou consolidar vínculos com a administração pública e garantir possibilidade de interlocução em assuntos de interesse corporativo conjunturais. Ressalta-se que é a administração pública municipal que detém o controle do uso e ocupação do solo urbano, incluindo a possibilidade de alterar zoneamentos de uso, limitações de verticalização, taxas de ocupação dos terrenos, definir projetos de infraestrutura etc. Assim, para diversos grupos empresariais, o acesso às autoridades municipais – no caso de Salvador, estaduais também – se torna um ativo extremamente relevante.

Com raras exceções, um tema que gera consenso entre as elites locais é a meta de crescimento urbano. Assim, perseguir o crescimento da cidade cria consenso nos diversos grupos da elite, não importando o quanto tenham interesses contraditórios em outros tópicos. Esta é a hipótese de Logan e Molotch

(1987): o consenso como base que permite o estabelecimento das “máquinas de crescimento”.

O estabelecimento de uma máquina de crescimento se baseia em duas pré-condições: a mercantilização do solo urbano (bem como edifícios e infraestrutura) e o poder das elites locais em ordenarem e controlarem o uso e a ocupação do solo, o que torna o lugar parte central da economia política.

A mercantilização do solo pode ter nuances. No caso mais extremo, pode-se vender, comprar e alugar propriedades sem qualquer tipo de restrição. Em Salvador, as bases iniciais para essa mercantilização podem ser datadas nas décadas de 1960 e 1970, quando, em duas grandes ações, o poder público municipal forma, de fato, um mercado imobiliário até então virtualmente inexistente. A primeira ação é a privatização do espaço urbano. O poder público, que detinha a maior parte das terras do município, transfere as propriedades para o setor privado. O segundo passo foi permitir o uso urbano de terras então inacessíveis, o que foi feito com a abertura das avenidas de vale articuladas como um sistema viário que é complementado, posteriormente, pela implantação da Avenida Paralela, o que consolida a frente de expansão do submercado imobiliário superior no vetor Orla Atlântica (Pereira, 2014).

O intervalo temporal adotado na pesquisa é o período de 2008 a 2018, embora ações dos agentes públicos na direção de ampliar o processo de mercantilização do solo urbano podem ser registradas há mais de 50 anos, visto que a Salvador, administrada pelo prefeito ACM Neto, teve sua estrutura urbana consolidada pelas ações de ACM avô nos anos 1960, responsável pela abertura das citadas avenidas de vale.

Considera-se que a produção do espaço é resultado das ações de agentes sociais concretos, com estratégias, práticas e contradições. A noção de agente aqui é a empregada por Corrêa (2012). Como ponto de partida, consideramos que as relações entre instâncias de governo e mercado (corporações, empresas, profissionais, proprietários de imóveis etc.) se organizam a partir de interesses mútuos e agendas de cooperação diversas.

Stone (1989) considera que as coalizões nem sempre são formais, o que coloca o problema de como as coalizões informais poderiam ser identificadas. O pressuposto que adotamos é de que as coalizões podem ser caracterizadas como redes que expõem relações entre agentes e projetos – agentes são aqueles que executarão ações no processo de produção da cidade no sentido da sua transformação; e projetos são empreendimentos de maior ou menor porte que possibilitam a acumulação de capital e a transformação do espaço e do valor de

troca do solo urbano. A localização dos projetos a serem implementados e das terras a serem beneficiadas por eles é fundamental para o processo de acumulação, tornando importante, no nosso ponto de vista, entender a localização dos projetos também a partir da terra urbana, da sua situação fundiária e do papel dos proprietários de terrenos e imóveis urbanos nas coalizões pró-crescimento.

Consideramos coalizões, no escopo deste texto, como arranjos temporários (ou não) de poder composto por diferentes agentes (públicos e privados) que se mobilizam para influenciar a agenda de transformações que implicam no crescimento das cidades.

Por se tratar de um trabalho em andamento, os resultados são parciais. A análise das redes derivadas dos dados eleitorais permitirá estabelecer nexos entre os processos decisórios no estabelecimento das prioridades no processo de implantação dos projetos urbanos e empreendimentos de alto impacto e grande potencial de acumulação e de transformação territorial. A análise explicitará, por exemplo, as articulações entre os empreendedores imobiliários e as administrações municipais, o que já foi apresentado por Pereira (2014), embora sem discussão ampla dos métodos e procedimentos utilizados. Resultados parciais indicam a formação de arranjos diferenciados em torno dos diferentes candidatos que podem ser analisados à luz da conjuntura político-econômica vigente nos recortes temporais de análise – 2008 a 2012 – e seus reflexos na configuração da metrópole atual.

No caso do financiamento público de campanhas eleitorais, o fluxo do trabalho até o momento em que se encontra a pesquisa foi o seguinte:

1. estabelecer critérios para importação e organização dos dados;
2. construir o banco de dados;
3. visualizar as redes formadas;
4. analisar os resultados.

A fonte de dados foi o TSE, que forneceu os dados compilados, processados pela Organização Não Governamental (ONG) Transparência Brasil² e publicados no projeto Às Claras³. Esses dados foram organizados em tabelas

2 Ver em: www.transparencia.org.br.

3 O site www.asclaras.org.br era um banco de dados *on-line* com dados do financiamento eleitoral das eleições entre 2002 e 2012. Projeto desativado da ONG Transparência Brasil. <https://www.transparencia.org.br/projetos>.

que expressam as relações que se estabelecem entre doadores e candidatos. Depois de tratados, foram importados em software de análise e visualização de redes. Resultados parciais são apresentados e discutidos nas seções intituladas “O financiamento de campanhas eleitorais” e “Discussão de resultados”.

O CASO DAS PPPS DE SAÚDE

Na investigação dos agentes públicos e privados que envolvem as PPPs de saúde na RMS, foram identificados seis grupos:

1. Conjunto de agentes públicos que estruturam e coordenam a modelagem dos projetos, bem como controlam as PPPs

A estruturação do projeto de cada PPP de saúde contou com o Conselho Gestor do Programa de PPP do Estado da Bahia e a Secretaria Executiva do Programa de PPP. Assim, foi constituído um grupo executivo intersetorial. Os grupos são coordenados sobretudo pela Secretaria de Saúde do Estado da Bahia (Sesab) e pela Secretaria da Fazenda (Sefaz). Além disso, é composto ainda pela Secretaria da Administração do Estado da Bahia (Saeb), pela Secretaria do Planejamento (Seplan), pela Procuradoria-Geral do Estado (PGE) e pela Casa Civil.

1. Agentes que fazem parte da estruturação dos projetos pelo Brazil PSP Development Program

Para a modelagem dos projetos de PPPs do Hospital do Subúrbio e de Diagnóstico por Imagem, o governo do estado firmou convênio de consultoria com o Brazil PSP Development Program, composto pelo International Finance Corporation (IFC), Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES) e o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID). O programa visa destinar recursos financeiros e técnicos à estruturação de projetos de infraestrutura na modalidade de concessões públicas e de PPPs no Brasil e em outros países da América do Sul (BNDES, 2018).

Após as licitações dos projetos às concessionárias Prodal Saúde do Hospital do Subúrbio e RBD Imagem da Diagnóstico por Imagem tiveram que reembolsar a Brazil PSP Development Program o valor de US\$ 1 milhão e 2,3 milhões de dólares, respectivamente, pelas modelagens dos projetos.

1. Agentes que configuram o mecanismo de garantia de pagamento e o Fundo Garantidor Baiano de PPPs

O estado da Bahia tem um Programa de PPPs, criado por meio da Lei nº 9.290, de 27 de dezembro de 2004. Essa lei é semelhante à Lei Federal nº 11.079, de 30 de dezembro de 2004, mas diferencia-se ao propor mecanismos próprios de garantias de pagamentos das contraprestações pecuniárias às concessionárias. Os agentes envolvidos nesse mecanismo são: o Banco do Brasil (agente de pagamento); a Agência de Fomento do Estado da Bahia S.A. (Desenbahia) – instituição financeira controlada, direta ou indiretamente, pelo estado da Bahia; as concessionárias (Prodal Saúde, Couto Maia Construções e Serviços Não Clínicos S/A e RBD Imagem).

Além disso, o governo instituiu um Fundo Garantidor Baiano de Parcerias (FGBP), por meio da Lei Estadual nº 12.610/2012, que tem o objetivo de prestar garantias de pagamento de obrigações pecuniárias tomadas pela administração direta ou indireta do governo, a partir das PPPs (Desenbahia, 2015). O governo ainda integralizou cotas de garantia no valor de R\$ 250 milhões. O FGBP tem natureza privada e patrimônio próprio. É administrado, gerido e representado pela Desenbahia. O Banco do Brasil novamente é o agente de pagamento e de administração de contas do FGBP, e a Empresa Baiana de Ativos (Bahiainveste) assessora a Desenbahia.

1. Agentes que compõem a PPP do Hospital do Subúrbio

O Hospital do Subúrbio, de perfil de média e alta complexidade, localizado no bairro de Periperi, em Salvador, começou a ser construído em 2008 pela MRM Construtora. Contudo, para a gestão, operação e aparelhamento do hospital, o governo do estado escolheu o tipo de projeto de PPP.

O projeto executivo foi criado pela empresa privada Globo Engenharia e Arquitetura e sua estruturação foi realizada pelo Brazil PSP Development Program. Diversos outros agentes foram contratados para elaborar relatórios técnicos: Prof. Dr. Gilson Calemam (metas quantitativas e indicadores de desempenho), Cosmos Engenharia e Planejamento (plano de recuperação de áreas degradadas), Planos Engenharia (estudo de impacto de vizinhança) e Urbe Planejamento (estudo de acessibilidade).

Com o projeto pronto e aprovado pelo, na época, governador Jaques Wagner, foi aberta consulta pública e, logo após, a contratação da BM&FBovespa para o

leilão. O IFC, o Banco do Nordeste Brasil S/A (BNB) e o BNDES divulgaram carta de manifestação de interesse (carta conforto) em prestar apoio financeiro ao consorciado vencedor da licitação.

O consórcio Prodal Saúde foi o vencedor da licitação. O contrato de concessão, do tipo administrativo, foi assinado em maio de 2010. O hospital iniciou atendimento em setembro do mesmo ano.

A concessionária Prodal Saúde é composta pelo Grupo Promédica (participação de 70%), responsável pela parte assistencial, administrativa e de contratação de pessoal, e pela Vivante (participação de 30%), antiga Dalkia do Brasil, responsável pela operação das instalações e da parte tecnológica do hospital. A Dalkia do Brasil, segundo Carrera (2014), foi apresentada ao Grupo Promédica pela Siemens (empresa alemã). O interesse da Siemens era fornecer alguns equipamentos ao hospital.

O Grupo Promédica é a maior empresa de saúde do estado, tem como principais sócios José Oliveira e Tereza Valente, que são sócios de diversas empresas no estado, sobretudo ligadas ao setor de saúde, como o Hospital Jorge Valente, Hospital da Cidade, o laboratório DataLab e a operadora de planos de saúde. Já a Vivante, que comprou a Dalkia do Brasil em 2013, é uma empresa criada pelos fundos de investimentos Axxon (do Brasil) e Marceau Finance (de capital francês) e por investidores minoritários.

A fiscalização contratual dessa concessão conta com o auxílio de verificador independente, executada pela empresa Accenture do Brasil Ltda. A modalidade do contrato é do tipo “bata branca”, ou seja, a concessionária é responsável tanto pela gestão predial e aparelhamento quanto pelo atendimento médico. O prazo de concessão é de dez anos e com contraprestação mensal atualmente de quase R\$ 17 milhões.

1. Agentes que compõem a PPP Instituto Couto Maia

O Instituto Couto Maia (Icom), inaugurado no mês de julho de 2018, é especializado em doenças infecciosas e parasitárias. Foi construído onde ficava o Hospital Dom Rodrigo de Menezes (HDRM), antigo leprosário, no bairro de Cajazeiras, em Salvador. A antiga unidade, o Hospital Especializado Couto Maia (HECM), situada em Monte Serrat, encerrou suas atividades. Assim, o novo hospital Icom é o resultado da fusão dessas duas unidades hospitalares (HDRM e HECM).

Para essa PPP, não foi utilizada consultoria do Brazil PSP Development Program. Foi criado o grupo executivo intersetorial, que teve consultoria

econômica por meio da Organização Pan-Americana da Saúde (Opas). Esse projeto de PPP foi realizado na gestão do ex-governador Jaques Wagner.

O vencedor da licitação para prestação de serviços não assistenciais da unidade hospitalar foi a concessionária Couto Maia Construções e Serviços Não Clínicos S/A, formada pela MRM Construtora Ltda. e a SM Assessoria Empresarial e Gestão Hospitalar Ltda. O contrato de concessão, assinado em maio de 2013, é do tipo administrativo e na modalidade “bata cinza”, isto é, a concessionária é responsável pela gestão predial, administrativa, mas com a assistência médica hospitalar a cargo do Estado.

Diferentemente do Hospital do Subúrbio, no Icom a concessionária construiu o hospital. A vigência do contrato de concessão é de 21 anos e 4 meses, sendo 1 ano e 4 meses de investimentos e realização de atividades pré-operacionais e 20 anos de operação. A contraprestação mensal atualmente é de um pouco mais de R\$ 3 milhões. A fiscalização contratual conta, assim como a PPP do Hospital do Subúrbio, com o auxílio de verificador independente, executada pela empresa Accenture do Brasil Ltda.

A MRM Construtora, empresa que compõe a concessionária e construiu o Hospital do Subúrbio, é especializada sobretudo em construção de equipamentos públicos e de infraestrutura e saneamento. Pertence à família baiana do ex-deputado federal Félix Mendonça, tendo entre os sócios os irmãos Félix Mendonça Júnior, atual deputado federal e ex-presidente do Partido Democrático Trabalhista (PDT) na Bahia, e Andrea Mendonça, ex-vereadora e atual secretária de Relações Institucionais de Salvador.

No período de construção do hospital, as obras ficaram paralisadas por meses por falta de financiamento que deveria ser repassado pela Desenhahia. A PGE chegou a avaliar qual medida judicial tomar. Coincidentemente, nesse período, o PDT rompeu com o governo do estado. Não conseguindo o financiamento, a MRM Construtora abriu mão do contrato de concessão. Assim, a composição societária da parceria foi modificada em 2016. A MRM Construtora cedeu a totalidade de suas ações à Metro Engenharia e Consultoria Ltda.

A Metro Engenharia apresenta, em seu *site*, um portfólio vasto de atividades, tendo entre seus maiores clientes o governo do estado e as prefeituras, dentre elas as de municípios da RMS: Salvador, Lauro de Freitas, Madre de Deus e São Francisco do Conde. A empresa é administrada por Mauro Prates, primo do presidente da Câmara Municipal de Salvador e vereador Léo Prates, filado ao Democratas (DEM), no biênio 2017-2018. Já a SM Assessoria Empresarial e

Gestão Hospitalar Ltda. tem longa trajetória de serviços de apoio técnico-gerencial em hospitais públicos no estado da Bahia.

1. Agentes que compõem a PPP Diagnóstico por Imagem

A terceira PPP de saúde na RMS é a Diagnóstico por Imagem. A concessão foi estruturada já na gestão do ex-governador do estado, Rui Costa. Houve novamente acordo de cooperação técnica entre o governo e o Brazil PSP Development Program na realização de estudos técnicos para a modelagem do projeto de concessão, que utilizou consultoria da empresa espanhola Antares Consulting e da empresa Manesco Advogados.

A concessão administrativa foi vencida, em fevereiro de 2015, pela concessionária Rede Brasileira de Diagnóstico S.A. (RBD Imagem), composta pelas empresas Centro de Imagem e Diagnóstico S.A. (Alliar), com participação de 50,1%, Fundação Instituto de Pesquisa e Estudos de Diagnóstico por Imagem (Fidi), com 30%, e a holandesa Philips Medical Systems Ltda., com 19,9% de participação.

O contrato, de quase R\$ 1 bilhão, prevê, por conta do parceiro privado, a realização da gestão e operação de 11 unidades de bioimagem (contando com a exclusão provisória do Icom) em hospitais públicos do estado da Bahia. Há também uma central remota em Salvador que emite laudos às unidades e funciona 24 horas por dia, todos os dias da semana. A concessão foi financiada pelo IFC.

Dessas 11 unidades hospitalares, sete estão em municípios da RMS (cinco em Salvador, uma unidade em Lauro de Freitas e outra em Camaçari). Os exames realizados são do tipo raio-X, mamografia, tomografia computadorizada e ressonância magnética.

O prazo de concessão é de 11 anos e 6 meses. Como ocorre nas outras parcerias, a remuneração da concessionária responsável, a RBD Imagem, é realizada a partir da contraprestação pública mensal, com valor de mais de R\$ 8 milhões. A fiscalização contratual conta, assim como nas outras duas parcerias, com o auxílio da Accenture do Brasil Ltda.

Sobre as empresas que compõem o consórcio, a Alliar (antiga Axial)⁴ é a terceira maior companhia em Medicina Diagnóstica do Brasil, atrás apenas da Dasa e Fleury, e é controlada pelo fundo de investimento Pátria (*private equity*). A Alliar possui unidades espalhadas em 44 cidades em dez estados brasileiros. A empresa, desde 2010, vem realizando fusões com várias compa-

4 Atualmente, no site da organização, o nome consta como Allianza: <https://homol.alliar.com/>.

nhas regionais: Cedimagem, Plani, Diimagem, CDB, CDI, Clínica Sabedotti, Clínica São Judas Tadeu, CSD, Ecoclínica, Multilab, Multiscan, Nuclear, Sonimed Diagnósticos, Uni Imagem, Unic e a Delfin (Alliança, [2018]; Scherer, 2016).

A Delfin, que era baiana, passou a ser acionista da RDB Imagem. Em março de 2018, a empresa adquiriu 30% do capital social da Prodal Saúde, no valor de R\$ 5.387.730,00. A outra empresa que compõe o consórcio, a Fidi, é especialista na gestão de diagnósticos por imagens para o Sistema Único de Saúde (SUS). Possui 75 unidades espalhadas pelo país, principalmente em São Paulo. Já a Philips (*healthcare*), multinacional holandesa, destaca-se por sua tecnologia empregada em equipamentos voltados à saúde em todo o mundo.

O FINANCIAMENTO DE CAMPANHAS ELEITORAIS

Os dados do TSE registram todas as doações registradas para candidatos aos diversos cargos e para comitês e diretórios de partidos políticos. A Tabela 1 mostra os dez maiores doadores nas eleições municipais de 2008 e 2012 em Salvador.

Para o estabelecimento das redes, considerou-se como nós da rede tanto os doadores quanto os candidatos e os comitês/diretórios. Na terminologia de análise de redes, estas podem ser caracterizadas como redes de dois modos por terem dois tipos de nós diversos. As relações entre os nós das redes são estabelecidas pelas doações a candidatos ou a comitês/diretórios. Essas conexões são direcionais na medida em que o fluxo, que aqui representa o volume de recursos aportado, sempre parte do doador para o candidato ou comitê/diretório.

A Tabela 1 mostra que houve um incremento bastante significativo do volume de recursos quando comparamos os dois momentos, 2008 e 2012, principalmente nas doações diretas a candidatos, o que pode ser explicado por uma conjuntura política mais tolerante a essa prática. A doação direta torna mais explícita a relação entre as corporações e o candidato apoiado.

Além das eleições municipais, também foram analisados os dados das eleições estaduais de 2010. As redes revelam conjuntos heterogêneos de doadores com grande participação de corporações vinculadas a atividades imobiliárias, fornecedores de serviços aos governos, indústria e finanças, além de, significativamente em menor escala, doadores entre pessoas físicas. Algumas possíveis inferências serão exploradas um pouco na seção seguinte.

TABELA 1 – Maiores doadores a campanhas municipais em Salvador, 2008 e 2012

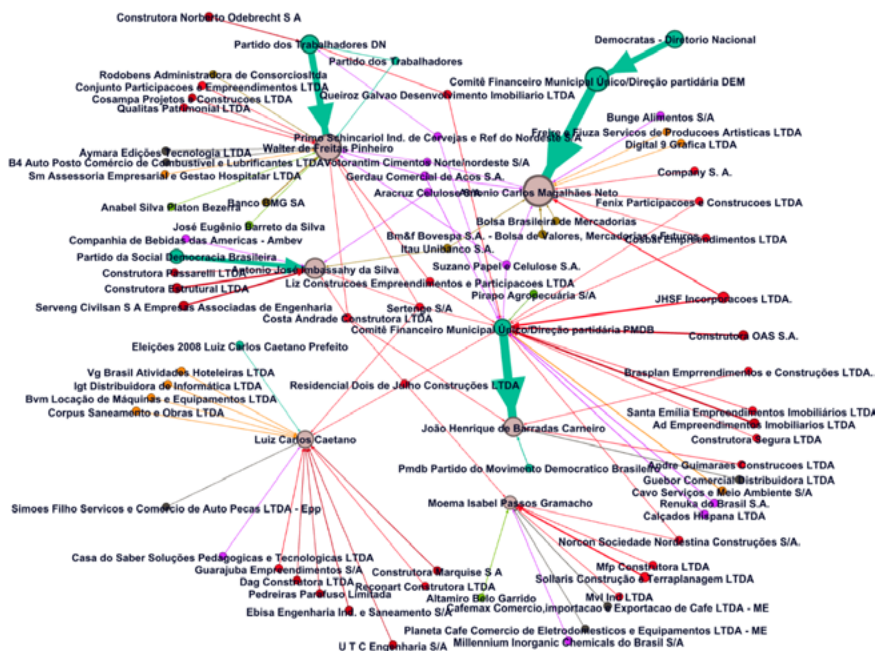
	2008		2012	
	NOME	DOAÇÕES	NOME	DDOAÇÕES
DOAÇÕES A CANDIDATOS	SERVENG CIVILSAN S A EMPRESAS ASSOCIADAS DE ENGENHARIA	R\$ 500.000,00	CONSTRUTORA OAS S.A.	R\$ 1.550.000,00
	CONSTRUTORA ESTRUTURAL LTDA	R\$ 500.000,00	U T C ENGENHARIA S/A	R\$ 1.300.000,00
	JHSF INCORPORACOES LTDA.	R\$ 300.000,00	CERVEJARIA PETROPOLIS S/A	R\$ 1.000.000,00
	GERDAU COMERCIAL DE ACOS S.A.	R\$ 200.000,00	SUZANO PAPEL E CELULOSE S.A.	R\$ 402.259,52
	BANCO BMG SA	R\$ 200.000,00	SALVADOR SHOPPING S/A	R\$ 360.000,00
	BM&F BOVESPA S.A. - BOLSA DE VALORES, MERCADORIAS E FUTUROS	R\$ 150.000,00	CONSTRUTORA ANDRADE MENDONCA LTDA	R\$ 300.000,00
	SUZANO PAPEL E CELULOSE S.A.	R\$ 144.620,09	FIBRIA CELULOSE S/A	R\$ 280.000,00
	ARACRUZ CELULOSE S.A.	R\$ 120.000,00	COMPANHIA METALURGICA PRADA	R\$ 250.000,00
	COSTA ANDRADE CONSTRUTORA LTDA	R\$ 115.000,00	ITAU UNIBANCO S.A.	R\$ 250.000,00
	ITAU UNIBANCO S.A.	R\$ 100.000,00	SALVADOR NORTE SHOPPING S.A.	R\$ 240.000,00

	2008		2012	
	NOME	DOAÇÕES	NOME	DDOAÇÕES
DOAÇÕES A COMITÊS E DIRETÓRIOS	JHSF INCORPORACOES LTDA	R\$ 550.000,00	ACO - ATIVOS CENTRO OESTE LTDA	R\$ 200.000,00
	AD EMPREENDIMENTOS IMOBILIARIOS LTDA	R\$ 500.000,00	SUZANO PAPEL E CELULOSE S.A	R\$ 100.000,00
	CONSTRUTORA OAS S.A.	R\$ 500.000,00	IMAPI INDUSTRIA & COMERCIO LTDA	R\$ 50.000,00
	QUEIROZ GALVAO DESENVOLVIMENTO IMOBILIARIO LTDA.	R\$ 200.000,00	DELFIN GONZALEZ MIRANDA	R\$ 30.000,00
	CONSTRUTORA NORBERTO ODEBRECHT S A	R\$ 200.000,00	BRASKEM S/A	R\$ 20.000,00
	CAVO SERVICOS E MEIO AMBIENTE S/A	R\$ 200.000,00	ANTONIO JOSE PINHEIRO RIVAS	R\$ 10.000,00
	RENUKA DO BRASIL S.A.	R\$ 150.000,00	BAHIANA DISTRIBUIDORA DE GAS LTDA	R\$ 10.000,00
	CALÇADOS HISPANA LTDA	R\$ 150.000,00	TUERTE AMARAL ROLIM	R\$ 8.000,00
	SANTA EMILIA EMPREENDIMENTOS IMOBILIARIOS LTDA	R\$ 100.000,00	ROBERTO DE SANTANA GUTIERREZ	R\$ 6.700,00
	GERDAU COMERCIAL DE ACOS S.A.	R\$ 100.000,00	ARMANDO RAMOS TRIPODI	R\$ 5.000,00

Fonte: dados TSE, compilação e publicação: projeto Às Claras.

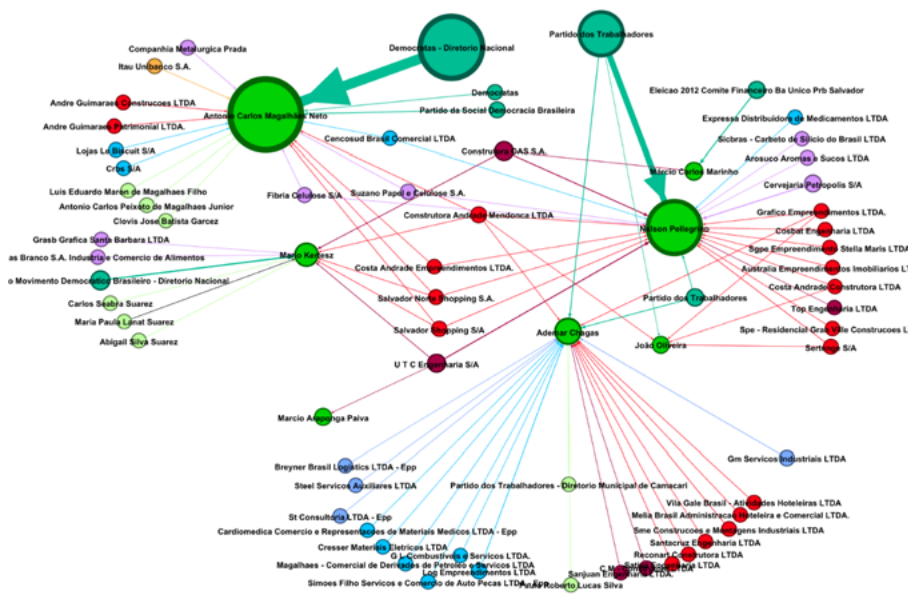
As Figuras 1 e 2 mostram as redes formadas pelos doadores e receptores de recursos nas eleições municipais para as prefeituras da RMS, considerando somente doadores que desembolsaram acima de R\$ 50.000,00 e os candidatos do primeiro turno das eleições.

FIGURA 1 – Rede de doadores – candidatos, comitês e partidos, eleição 2008



Fonte: elaborada pelos autores com base em dados do TSE.

FIGURA 2 – Rede de doadores – candidatos, comitês e partidos, eleição 2012



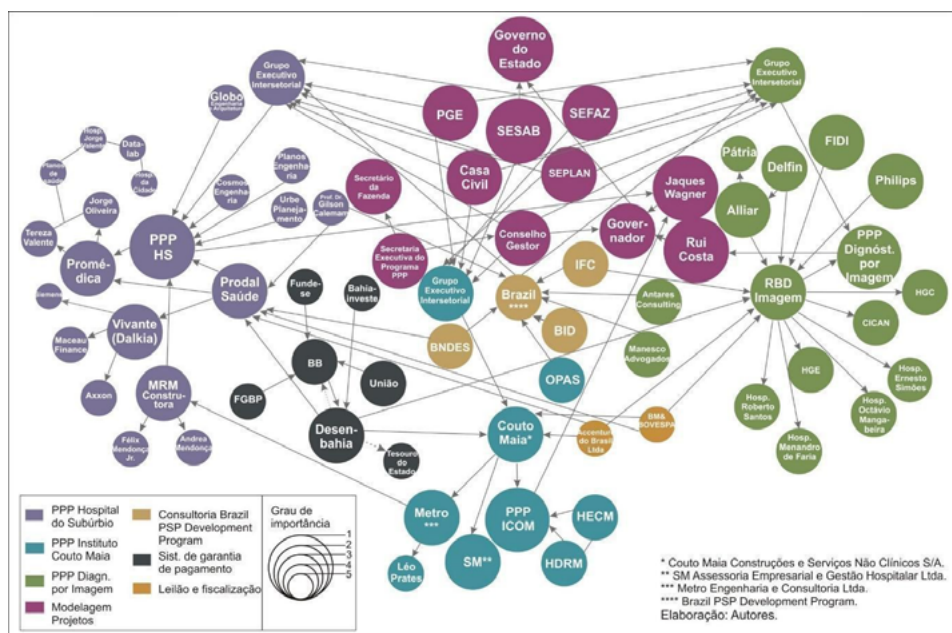
Fonte: elaborada pelos autores com base em dados do TSE.

Nota-se que os grandes doadores – nesse caso, de modo geral, são corporações de expressão nacional – aparecem nas três eleições, e que os destinatários de seus recursos podem ser de partidos políticos diversos. Alguns doadores estabelecem relações com mais de um receptor. Nas Figuras 1 e 2, os doadores são relacionados diretamente a atividades imobiliárias ou de construção civil, a exemplo de incorporadores ou grandes empreiteiras – são os nós representados em vermelho.

DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Como mencionado anteriormente, as interações entre os agentes públicos e privados, que envolvem os projetos de PPPs de saúde detalhadas na pesquisa, resultaram em um mapa de rede de coalizões (Figura 3). Ressalta-se que os resultados ainda são parciais e partem de uma abordagem experimental de técnicas de análise de rede, com estudos ainda em andamento.

FIGURA 3 – Mapa de rede de agentes públicos e privados que envolve as PPPs de saúde na RMS



Fonte: elaborada pelos autores.

Dessa forma, em análise da referida Figura 3 e dessas relações entre os diferentes agentes que abarcam as PPPs, pôde-se inferir que essa rede possui uma estrutura formal de coalizões de poder dinâmica, temporária (por contrato), mutável à possível nova configuração e tem escala de atuação predominantemente local e metropolitana, com exceção da rede de agentes da PPP Diagnóstico por Imagem que tem escala de atuação estadual, já que opera em três municípios da RMS e em mais quatro municípios do estado distribuídos regionalmente.

Essa rede de coalizões foi formada em menos de dez anos, mas fará a gestão compartilhada por mais quase duas décadas, como na PPP do Instituto Couto Maia. Se as concessões forem prorrogadas, o tempo será ainda maior. No entanto, a pesquisa não pôde afirmar que essa rede compõe um sistema hegemônico.

Por outro lado, pode-se afirmar que alguns agentes que estão presentes (individualmente) exercem dominância no território local, regional, estadual e nacional, por exemplo: a MRM Construtora, que há muitos anos age no território metropolitano e baiano, atuando em diversas atividades, assim como a Metro Engenharia e o Grupo Promédica. Essas empresas são formadas por empresários locais e pela elite política baiana. Além disso, tem-se a Alliar, que atua nacionalmente e com crescimento estratégico de expansão massiva.

Considerando a hierarquia de importância desses agentes na rede das PPPs de saúde, destacam-se os agentes que abarcam o Governo do Estado da Bahia, com destaque para os governadores que atuaram nos acordos das PPPs e a Sesab, que é a coordenadora. Em seguida, o Conselho Gestor, a Secretaria Executiva do Programa, os grupos executivos intersetoriais, a Desenhavia, as concessionárias e as empresas que as compõem atualmente – Promédica, Vivante, Metro Engenharia, SM Assessoria, Alliar, Fidi e Philips (agentes privados) –, bem como a MRM Construtora, integrante da PPP do Icom e foi quem construiu o Hospital do Subúrbio. Seguindo a hierarquia, são destacados também as empresas de consultoria (IFC, BNDES e BID), os hospitais da RMS que são contemplados pela parceria de Diagnóstico por Imagem e aqueles da fusão do Icom, além de outros agentes dispersos.

Na pesquisa, observou-se ainda que esse tipo de parceria trouxe maiores responsabilidades para o setor público. Também é necessário advertir para os impactos da construção desses arranjos no sistema de governança da metrópole e que os agentes envolvidos nessa parceria vêm acumulando muita influência e poder decisório.

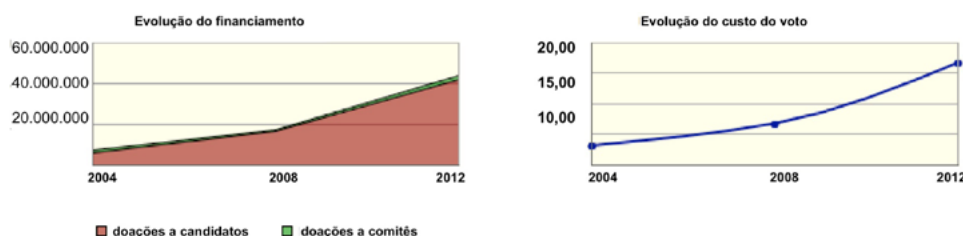
É relevante ainda ressaltar que nos contratos das três PPPs foram incluídos termos aditivos. Denúncias de irregularidades também já foram relatadas. A administração do Hospital do Subúrbio, por exemplo, foi denunciada em

2015 pelo Sindicato dos Médicos do Estado da Bahia, por aplicar diretrizes mercantilistas na seleção de pacientes, empregando uma política para contenção de gastos e maximização dos ganhos auferidos com o contrato (Sindimed, 2015). Em 2017, irregularidades foram constatadas pelo Ministério Público de Contas do Estado da Bahia (MPC-BA) em auditoria de acompanhamento do contrato de concessão da PPP de Diagnóstico por Imagem. Os resultados identificaram descumprimento do cronograma de implantação, na quantidade inferior de realização de exames previstos nas metas, atraso em obras imprescindíveis, irregularidades nos seguros e garantias, na revisão econômico-financeira do contrato e deficiências na Fiscalização da Concessão (Bahia, 2017).

No caso dos dados do TSE, é possível explicitar as relações entre agentes vinculados ao mercado imobiliário e candidatos a assumirem o poder público municipal. Essas relações serão exploradas no desenvolvimento da pesquisa a partir das redes formadas entre agentes e projetos urbanos e metropolitanos de impacto territorial.

A Figura 4 mostra evolução do financiamento nas eleições municipais de Salvador entre 2004 e 2012. Fica evidente o crescimento constante, com destaque para o incremento do volume arrecadado a partir de 2008. Esse padrão foi semelhante em todo o país e sugere uma busca de maior influência por parte das corporações nas decisões políticas administrativas locais.

FIGURA 4 – Evolução do financiamento das campanhas eleitorais municipais



Fonte: dados TSE, compilação e disponibilização: projeto Às Claras.

A Tabela 2 traz dados que exemplificam a participação de corporações nas eleições municipais. Ela mostra as doações da corporação JHSF⁵, com sedes em São Paulo e Nova Iorque, nas eleições de 2008. Em setembro de 2008, a empresa lançou em Salvador o empreendimento Horto Bela Vista, anunciado

5 A JHSF é líder no setor imobiliário de alta renda no Brasil, com expressiva atuação nos mercados de incorporações residenciais e comerciais, desenvolvimento e administração de *shopping centers*, hotéis de alto padrão e aeroporto executivo internacional (JHSF, 2019).

à época como um conjunto contendo três edifícios comerciais, um colégio e 19 torres residenciais (com um total de 2.904 unidades habitacionais), um shopping em área de cerca 340 mil m², com investimentos de R\$1,2 bilhão em custo estimado, dos quais 30 milhões de reais seriam usados em intervenções no sistema viário do entorno, com a construção de uma passarela subterrânea, duas pontes e uma via marginal (Almeida, 2014).

TABELA 2 – Doações da corporação JHSF nas eleições municipais de 2008 no país

CARGO	SITUAÇÃO	VALORES	NOME	ESTADO	PARTIDO	NUM	MUNICÍPIO
PREFEITO	NÃO ELEITO	R\$ 600.000,00	ANTONIO CARLOS PEIXOTO DE MAGALHÃES NETO	BA	DEM	25	SALVADOR
PREFEITO	ELEITO	R\$ 500.000,00	GILBERTO KASSAB	SP	DEM	25	SÃO PAULO
PREFEITO	ELEITO	R\$ 400.000,00	JOÃO HENRIQUE DE BARRADAS CARNEIRO	BA	PMDB	15	SALVADOR
PREFEITO	NÃO ELEITO	R\$ 200.000,00	GERALDO JOSE RODRIGUES ALCKMIN FILHO	SP	PSDB	45	SÃO PAULO
PREFEITO	NÃO ELEITO	R\$ 150.000,00	MARTA TERESA SUPPLY	SP	PT	13	SÃO PAULO
VEREADOR	ELEITO	R\$ 80.000,00	JOSÉ POLICE NETO	SP	PSDB	45000	SÃO PAULO
VEREADOR	ELEITO	R\$ 60.000,00	JOSE ROBERTO NAZELLO DE ALVARENGA TRIPOLI	SP	PV	43666	SÃO PAULO
VEREADOR	ELEITO	R\$ 40.000,00	MARA CRISTINA GABRILLI	SP	PSDB	45177	SÃO PAULO
VEREADOR	ELEITO	R\$ 20.000,00	EVERALDO BISPO	BA	PMDB	15123	SALVADOR
VEREADOR	SUPLENTE	R\$ 20.000,00	NABIL GEORGES BONDUKI	SP	PT	13633	SÃO PAULO
VEREADOR	SUPLENTE	R\$ 20.000,00	JOÃO CARLOS CAMISA NOVA	SP	PV	43999	SÃO PAULO

Fonte: dados TSE, compilação e disponibilização: projeto Às Claras.

O projeto previa a conexão com uma futura estação de metrô, projeto que, na época, era liderado pelo governo municipal. O sucesso do empreendimento dependia de pesados investimentos para criação de acessibilidade. Ele ocupou um dos últimos grandes vazios urbanos em Salvador, em área afastada da Orla Atlântica, que são os espaços que vinham sendo destinados às camadas de renda maior até então e que constituíam aquilo que Carvalho e Pereira (2008) denominavam de cidade moderna.

As conclusões preliminares, dado que se trata de um trabalho em andamento, apontam para a validade da abordagem. O desenvolvimento da pesquisa explorará as conexões entre agentes públicos e privados, no segundo caso especialmente empresas vinculadas ao capital imobiliário, proprietários de terras e prestadores de serviços especializados (por exemplo, consultorias em Arquitetura, Engenharia, Transportes) em projetos urbanos de grande impacto territorial a partir de vínculos explicitados por esses conjuntos de dados.

REFERÊNCIAS

ALLIANÇA. Institucional. *Alliança*, São Paulo, [2018]. Disponível em: <https://homol.alliar.com/institucional/>. Acesso em: 29 fev. 2024.

ALMEIDA, R. C. *Megaempreendimentos imobiliários residenciais em Salvador/BA: produção e consumo da habitação e do espaço urbano*. 2014. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

BAHIA. Lei nº 12.610, de 27 de dezembro de 2012. Autoriza o Poder Executivo a criar o Fundo Garantidor Baiano de Parcerias - FGBP, altera as Leis nº 9.290, de 27 de dezembro de 2004, e nº 7.599, de 07 de fevereiro de 2000, e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado da Bahia*: seção 1, Salvador, ano 97, n. 21030, p. 8-10, 28 dez. 2012.

BAHIA. *Lei nº 9.290, de 27 de dezembro de 2004*. Institui o Programa de Parcerias Público-Privadas do Estado da Bahia - PPP Bahia e dá outras providências. Salvador: Governo do Estado da Bahia, 27 dez. 2004. Disponível em: <http://www.legislabahia.ba.gov.br/documentos/lei-no-9290-de-27-de-dezembro-de-2004>. Acesso em: 21 dez. 2023.

BAHIA. Ministério Público de Contas do Estado da Bahia. *Parecer nº 000462/2017*. Salvador: MPC/BA, 6 jul. 2017. Disponível em: https://www.tce.ba.gov.br/images/parecer_mp_9043_2016.pdf. Acesso em: 21 dez. 2023.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (Brasil). BNDES, IFC e BID criam fundo para financiar a modelagem de projetos de infraestrutura no Brasil. *BNDES*, Rio de Janeiro, 11 out. 2007. Disponível em: [https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/20071019_not244_07#:~:text=O%20programa%2C%20denominado%20Brasil%20PSP,\(US%24%201%20milh%C3%A3o\).](https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/20071019_not244_07#:~:text=O%20programa%2C%20denominado%20Brasil%20PSP,(US%24%201%20milh%C3%A3o).) Acesso em: 21 dez. 2023.

BRASIL. Lei nº 11.079, de 30 de dezembro de 2004. Institui normas gerais para licitação e contratação de parceria público-privada no âmbito da administração pública. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, ano 141, n. 252, p. 6-8, 31 dez. 2004.

CARRERA, M. B. M. *Parceria público-privada (PPP): análise do mérito de projetos do setor saúde no Brasil*. 2014. Tese (Doutorado em Administração de empresas) – Escola de Administração de Empresas, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2014.

CARVALHO, I.; PEREIRA, G. C. As “cidades” de Salvador. In: CARVALHO, I.; PEREIRA, G. C. (org.). *Como anda Salvador: e sua Região Metropolitana*. 2. ed. Salvador: Edufba, 2008. p. 81-211.

COELHO NETO, A. S. Da amplitude de usos e significações do conceito de rede na ciência contemporânea. *Revista Espaço Acadêmico*, [s. l.], ano 11, n. 131, p. 181-189, abr. 2012.

CORRÊA, R. L. Sobre agentes sociais, escala e produção do espaço: um texto para discussão. In: CARLOS, A. F. A.; SOUZA, M. J. L.; SPOSITO, M. E. B. (org.). *A produção do espaço urbano: agentes e processos, escalas e desafios*. São Paulo: Contexto, 2012. p. 41-52.

DEMPWOLF, C. S.; LYLES, L. W. The uses of social network analysis in planning: a review of the literature. *Journal of Planning Literature*, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 3-21, Feb. 2012.

DESENBÁHIA. Fundo Garantidor Baiano de Parcerias – FGBP: relatório de administração – 2018. *Desenbahia*, Salvador, 2018. Disponível em: <https://www.desenbahia.ba.gov.br/wp-content/uploads/2020/11/5d2eaca7316d48efbbce8b1e53c05b6e.pdf>. Acesso em: 29 fev. 2024.

JHSF. A empresa. *JHSF*, São Paulo, 2019. Disponível em: <https://jhsf.com.br/a-empresa/>. Acesso em: 5 fev. 2024.

LOGAN, J. R.; MOLOTCH, H. L. *Urban fortunes: the political economy of place*. Berkeley: University of California Press, 1987.

MARQUES, E. De volta aos capitais para melhor entender as políticas urbanas. *Novos Estudos CEBRAP*, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 15-33, jul. 2016.

MOLOTCH, H. L. The city as a growth machine: toward a political economy of place. *American Journal of Sociology*, Chicago, v. 82, n. 2, p. 309-332, Sept. 1976.

PEREIRA, G. C. Organização social do território e formas de provisão de moradia. *In*: CARVALHO, I.; PEREIRA, G. C. (ed.). *Salvador: transformações na ordem urbana*. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2014.

PEREIRA, G. C.; SILVA, M. P. Mapeamento das coalizões envolvidas no desenvolvimento urbano: abordagem experimental através de técnicas de análise de redes. *In*: CONGRESSO OBSERVATÓRIO DAS METRÓPOLES 20 ANOS, 1., 2018, Rio de Janeiro. *Anais [...]*. Rio de Janeiro: IPPUR-UFRJ, 2019.

RIBEIRO, L. C. Q. *As metrópoles e o direito à cidade na inflexão ultraliberal da ordem urbana brasileira*. Rio de Janeiro: IPPUR/UFRJ, 2017. Texto para discussão interna – INCT Observatório das Metrópoles.

SCHERER, A. O fundo Pátria vai se entender com seus 70 sócios na Alliar? *Revista Exame*, São Paulo, mar. 2016. Disponível em: <https://exame.com/revista-exame/o-fundo-patriavai-se-entender-com-seus-70-socios-na-alliar/>. Acesso em: 11 set. 2018.

SINDIMED. Em nome do lucro, hospital do subúrbio nega atendimento. *Sindimed*, Salvador, 2015. Disponível em: <https://sindimed-ba.org.br/em-nome-do-lucro-hospital-do-suburbionega-atendimento>. Acesso em: 29 fev. 2024.

STONE, C. N. *Regime politics: governing Atlanta*. Lawrence: University of Kansas Press, 1989.

CAPÍTULO 5

EXPANSÃO METROPOLITANA DISPERSA, EFEITOS SOCIOESPACIAIS E DIRETRIZES PARA O PLANEJAMENTO E GESTÃO

Cenário 2030¹

*Maria das Graças Borja Gondim dos Santos Pereira
Gilberto Corso Pereira*

INTRODUÇÃO

Pensar o padrão da organização socioespacial para o horizonte 2030 pressupõe a compreensão dos fatores dos quais a organização socioespacial é reflexiva. No atual momento, esse desafio ganha complexidade em função das

1 Originalmente publicado em: Santos Pereira e Pereira (2021).

crises sanitária, política, socioeconômica, ambiental e climática instaladas e, por fazer projeções simultaneamente ao transcurso de fenômenos ainda não controlados, coloca o planejamento e a gestão em suspensão ante o grau de disrupção nunca antes experimentado.

Considerando que é da essência do planejamento e da gestão a concepção antecipada de políticas, planos e estratégias, e objetivando servir de base para o planejamento e a elaboração de uma possível agenda para mudanças, o cenário tendencial apresentado descreve um processo de prolongamento da situação atual, ilustra as consequências passíveis de despontar para a metrópole, não havendo correções de rumo. A condição de excepcionalidade do momento nos impele ao enfrentamento da construção desse cenário de curto prazo, neste ambiente de grandes incertezas, cientes de que as projeções serão objeto de depurações sucessivas.

Fundamentado em estudos e levantamentos que bem caracterizam os processos urbanos em curso na Região Metropolitana de Salvador (RMS) nas últimas décadas (2000-2010), estes constituem o capital disponível, uma linha de base que afiança as projeções para o exercício de elaboração do cenário 2030, elaborado no âmbito dos estudos do projeto “Salvador: visões de futuro”, consultoria prestada à Fundação Mário Leal Ferreira (FMLF), por meio da Fundação Escola Politécnica (FEP) (2019-2020), ressaltando que as considerações não adentram na seara especulativa.

ENQUADRAMENTO TEÓRICO

O suporte teórico que apoia a elaboração do cenário tem lastro nas contribuições relativas à organização e complexidade (Morin, 2007), à hipótese pós-metropolitana (Soja, 2000) e à estrutura de evolução das transformações metropolitanas (Richardson; Chang-Hee, 2004).

Organização e complexidade

A composição do cenário considera o suporte teórico de Morin quando revela a natureza da organização nos sistemas e expõe as funções de uma estrutura organizacional complexa, assim como os pontos sensíveis à desestruturação da relativa estabilidade, solidariedade e solidez que a organização confere ao sistema.

Desse modo, perceber o cenário corresponde à detecção das condições que, com diferentes intensidades, têm o potencial de desconsertar a organização

socioespacial da metrópole no presente e a faz mover em dada direção. Ou seja, cidade, metrópole e região como sistema, organizado de inter-relações entre elementos, ações ou indivíduos, compreendendo organização como

[...] o agenciamento de relações entre componentes ou indivíduos que produz uma unidade complexa ou sistema, dotado de qualidades desconhecidas ao nível dos componentes e indivíduos. A organização liga de modo inter-relacionado os elementos ou eventos componentes de um todo. Ela assegura solidariedade e solidez relativa a estas ligações, logo assegura ao sistema uma certa possibilidade de duração a despeito de perturbações aleatórias. A organização então: transforma, produz, liga e mantém (Morin, 2005, p. 133).

Nesse sentido, o exercício de cenarização corresponde a identificar o que transforma, o que produz, o que liga e o que mantém o sistema urbano, focalizando os aspectos-chave de uma complexa realidade social, espacial e ambiental em transformação, projetando as possibilidades para o desenvolvimento da situação futura.

A hipótese pós-metropolitana

A análise das transformações na organização territorial da expansão da RMS foi realizada sob o escopo do repertório da construção teórica de Soja (2000), especialmente as hipóteses explicativas do primeiro e segundo discursos: as forças gerais que afetam o mundo contemporâneo desde as últimas décadas do século XX e a interpretação das consequências sociais e geográficas do processo de reestruturação do espaço cidade pós-metropolitano são essenciais como lastro para a cenarização, em especial porque considera a indeterminação sobre o futuro. A hipótese pós-metropolitana não representa uma ruptura completa nem oposição binária à metrópole, mas, ao contrário, uma condição posterior a um estado/estágio conhecido, que segue para uma ordem significativamente diferente – intensificada nesse momento pelas crises já apontadas – e que deve acentuar o caráter diferencial da organização metropolitana em mutação. A pós-metrópole corresponde a uma primeira aproximação do que será o último estágio entre modernidade e pós-modernidade – a zona crítica do esquema explicativo de Lefebvre –, uma transição até que se estabeleça o novo modo de organização.

A transição pós-metropolitana recupera o conceito de cidade-região, sua expressão maior e mais complexa: a cidade-região ou urbanização regional. A região como unidade territorial da vida cotidiana na contemporaneidade, apontada por Castells (1989) como “espaços de fluxos”: de pessoas, informação e bens. Tais espaços voltam-se a uma base regular de viagens e deslocamentos diários ou semanais, que se alongam até 150 km das concentrações locais de emprego, envolvendo inúmeras cidades, fisicamente separadas, mas funcionalmente integradas (*networked*) em torno de uma grande cidade central, ou mais, cuja força econômica é potencializada por meio de nova divisão do trabalho. A pós-metrópole, como uma nova camada sobre a metrópole industrial fordista, caracteriza uma transição para o que será conformado quando ocorrer a emergente Quarta Revolução Industrial. O Quadro 1 apresenta uma síntese comparativa das características da metrópole em relação à transição pós-metropolitana.

QUADRO 1 – Comparativo das características da metrópole e pós-metrópole

METRÓPOLE	PÓS-METRÓPOLE
Modernismo	Pós-modernismo
Modernismo produz	Pós-modernismo reproduz
Estado nacionalista	Fragilização da soberania nacional
Capitalismo industrial, fordista, acumulação intensiva	Capitalismo industrial, pós-fordista, acumulação flexível
Controle da produção social: nacional e regional	Controle da produção social: cidades globais, nacional e local
Industrialização e urbanização concentrada	Produção baseada em tecnologia de informação e urbanização dispersa
Lócus da produção: indústria no interior do espaço-cidade	Lócus da produção: indústria nas <i>edge cities</i> e multicentralidades-tecnopolos
Sistema nacional de estados e cidades	Redes de aglomerações, metropolitanas ou não, diluição do espaço cidade
Topo da complexidade da organização urbana	Parte de um sistema globalmente articulado, maior complexificação

METRÓPOLE	PÓS-METRÓPOLE
Problemas de infraestrutura urbana e indústria localizados nas cidades	Infraestrutura e mão de obra em qualquer lugar do planeta
Poder governamental propulsor do <i>boom</i> do pós-guerra	Reordenamento função da crise de hiperacumulação e crises do petróleo
Migração interna, campo-cidade	Migração campo-cidades médias e migração internacional
Suburbanização – força centrífuga pressiona as fronteiras	Dispersão e concentração – <i>edge cities</i> , tecido urbano externo
Suburbanização em massa	Dispersão urbana no espaço peri-metropolitano
Dinâmica de circulação pendular, aumento da jornada de trabalho	Redução da dinâmica pendular, novas centralidades
Inversão de prestígio locacional, centro desvalorizado, declínio	Gentrificação nas áreas centrais
Fragmentação política da gestão metropolitana	Gestão regional em processo de formatação
Núcleo urbano dominante	Ascensão de novos núcleos, complementaridade das funções urbanas
Transformação progressiva das áreas que circundam as cidades	Expansão sobre espaço rural, dispersa
Divisão do trabalho, reserva de trabalhadores e não trabalhadores	Polarização das classes trabalhadoras: altos funcionários, os de baixos salários; os excluídos, nem mais interessam como consumidores
Mercantilização do espaço em função de diferenciação da terra: densidade, distâncias etc.	Financeirização: tudo passa a ser um ativo
Segregação social	Acentuação das desigualdades: fragmentação espacial reflete segregação social
Planejamento urbano intencional para servir aos interesses do capital	Revalorização do planejamento urbano

METRÓPOLE	PÓS-METRÓPOLE
Crescente segregação e guetização	Exacerbada segregação
Hierarquicamente independente, múltiplas funções independentes	Submetida a critérios para inserção na economia global
Relações de trabalho – relações de gestão	Relações de trabalho – individualismo e empreendedorismo
Filantropia fordista – keynesiana do <i>welfare state</i>	Redução do estado de bem-estar social
Novos movimentos sociais demandam maior justiça social na cidade	Movimentos sociais isolados se extinguem e a formalização da plataforma direito à cidade
Crescimento da classe média	Redução da classe média, polaridades.
Integridade como espaço cultural e econômico	Aculturamento global/local e urbano/rural
Ascensão da cultura do automóvel	Mobilidade tende à diversidade de meios: <i>commute</i>
Baseada na cultura do consumismo	Sustentabilidade, novo paradigma
Tecnologias disciplinares	Metapolaridades. Consenso valor suspeito e ultrapassado
Consumo de massa	Modo particular de experimentar e interpretar o ser no mundo, especializações fractais.
Raízes	Aparências superficiais; refuta todo sentido de memória e história
Alienação do sujeito, busca de futuros melhores, frustração, paranoia	Fragmentação do sujeito, construção consciente de futuros sociais alternativos.

Fonte: baseado no texto *Postmetropolis*, Soja (2000).

As fases de evolução das metrópoles

A terceira referência teórica que baliza a construção de cenário são os estudos de Richardson e Chang-Hee sobre a evolução das transformações metropolitanas, definindo fases do processo. Esses autores são dois dos primeiros a defenderem a reversão da polarização metropolitana. Eles entendem que, a partir de um certo tamanho da população, a tendência é de diminuição dos benefícios marginais da escala urbana e definem uma sequência para as transformações estruturais: primeira fase, de concentração econômica e relações centro-periferia; na segunda fase, transformações estruturais aconteceriam nas áreas centrais, e os núcleos do entorno apresentariam crescimento mais acelerado que o centro; a terceira fase corresponderia ao início da reversão da polarização quando haveria uma dispersão ampliada; na sequência, os centros secundários seriam atingidos pela dispersão; e, ao cabo, a área central começa a perder população (Richardson; Chang-Hee, 2004).

CENÁRIO 2030

Os principais condicionantes do cenário 2030 e as considerações sobre as opções metodológicas adotadas são abordadas a seguir.

Metodologia

A definição de cenário adotada é a descrição de um futuro possível que reflete diferentes perspectivas de passado, presente e futuro. Balizado no suporte teórico e nos estudos da metrópole atual que retrocedem às duas últimas décadas (2000-2010), o cenário 2030 considera o prolongamento das tendências identificadas relacionadas à dinâmica demográfica, aos padrões de uso do solo e moradia, à mobilidade urbana, às condições de emprego e renda da população, às desigualdades intraurbanas, à sustentabilidade ambiental e à governança urbana e metropolitana – para as quais concorre o comportamento de agentes públicos e privados. São transformações tendenciais da sociedade, cultura, economia, ambiente, tecnologia, entre outros fatores, afetadas pelos efeitos das principais crises da conjuntura atual: de saúde e sanitária; declínio econômico; emergência climática e ambiental; crise política federativa; reorientação de parcerias internacionais e relativo isolamento internacional do Brasil; governança metropolitana conflitiva. Em síntese, um cenário baseado

na combinação das tendências modeladas das forças ou variáveis que conformam a evolução da metrópole na próxima década, minimizando incertezas em relação ao futuro. Com provável efeito duradouro, a crise sanitária decorrente da pandemia da covid-19 será considerada como um evento estrutural e transformador do futuro global, nacional e local.

As reflexões sobre o cenário 2030 para a RMS foram originadas no âmbito do projeto “Salvador: visões de futuro”, fruto de consultoria prestada pela equipe do Núcleo Salvador do Observatório das Metrópoles à FMLF e à FEP no período de 2019-2020. Para apoiar o raciocínio projetivo, foram utilizadas as informações quantitativas – dados produzidos pelas fontes oficiais, a exemplo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) e outros – e os componentes qualitativos e subjetivos, que compreendem considerações dedutivas ou exploratórias, extraídas de entrevistas qualificadas e de oficinas temáticas realizadas no âmbito do mencionado projeto.

Construindo o cenário 2030

Conhecidas as implicações entre contexto político, econômico e ambiental e os processos urbanos, para identificar, nas atuais circunstâncias, aqueles fatores que têm o alcance de influir na estrutura da organização sistêmica, foram considerados os condicionantes estratégicos, com potencial para impactar nas dinâmicas urbanas da RMS na próxima década. Reportar a esses condicionantes, durante a apresentação dos prováveis comportamentos futuros da expansão metropolitana, será inevitável. As análises atravessam as escalas no sentido do global ao local e perpassam as temáticas cuja transversalidade da expansão futura permeia.

► *O contexto socioeconômico, político e ambiental*

Fazendo uma aproximação nas diversas escalas, as influências e as particularidades dos processos da RMS se configuram em:

- a) Global: a mudança do regime de acumulação flexível com integração mundial de mercados e a alteração nas relações de produção, desde 1986, influem e condicionam o modo disperso de expansão metropolitana, reforçado, no transcurso das primeiras décadas do século XXI, com a intensificação do peso das tecnologias digitais nos processos

produtivos. Resultam da reprogramação acelerada proporcionada pelas Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) a exponencial substituição de processos operacionais, a concentração de investimentos nos centros de desenvolvimento tecnológico, startups que revolucionam os modos de fazer e viver. No cenário político global, tensões relacionadas ao ingresso de emigrantes nos países centrais, crises do petróleo e emergência climática desvendam a interdependência das questões e das soluções globais, assim como passa-se a constatar a predominância do modo disperso de expansão nas regiões metropolitanas (dentre outros, Marcuse; Van Kempen, 2000; Monte-Mór, 2007; Reis Filho, 2006).

- b) Brasil: a desaceleração da economia global e a quebra de expectativa do Produto Interno Bruto (PIB) nacional expõem a grande dificuldade na economia brasileira. A queda dos juros e da taxa Selic favorece o consumo e o investimento. De modo geral, a indústria avança, mas não alcança os níveis anteriores a 2018. A confiança oscilante e constantemente reavaliada pelas marchas e contramarchas, que particularizam até aqui a trajetória desse governo, mantém dinâmicas modestas na economia, mesmo considerando as grandes reformas em curso. Os recursos a serem compartilhados oriundos do pré-sal e o plano de transferência de recursos para a base – estados e municípios – podem ser fatores de dinamização da economia, mas, até que essa dinâmica previsível se traduza em qualidade de serviços e assistência pública e empregos, apenas iluminará a esperança no percurso até 2030 e mais.
- c) Região Nordeste e Bahia: ambos enfrentarão uma situação estacionária relacionada à captação de capitais externos e de transferências de bases produtivas de corporações internacionais. O panorama é de manutenção das empresas que se estabeleceram na última onda de expansão do capital internacional e de fraco movimento de novas corporações, mas longe da expressão do investimento das últimas décadas: na indústria, no turismo e no mercado imobiliário. Após o pico em 2006, o investimento estrangeiro direto na RMS iniciou rota descendente, assim mantido – sem reversão – até o momento presente. A dissensão política interna coloca a Região Nordeste no campo oposicionista. Sem alinhamento político entre as esferas nacional e estadual, a Região Nordeste e, em particular, o estado da Bahia iniciam a próxima década com a suspeição de consequências diretas sobre os fluxos de recursos

e o direcionamento de oportunidades, bem como entraves nas relações políticas e grande desarticulação política, institucional e empresarial que deverá impactar nas cadeias produtivas de muitos setores, refreando dinâmicas urbanas expansionistas. Conforme Pessoti (Bahia, 2020), as estimativas do desempenho econômico da Bahia apontam para um crescimento que acompanhará a tendência do PIB brasileiro, rebatendo-se consequentemente o mesmo padrão para a RMS.

- d) A RMS, com a alta participação no PIB do estado da Bahia, reflete o quadro dos setores econômicos como anteriormente caracterizado. Sendo o turismo um segmento forte do setor comércio e serviços dessa região, com investimentos concentrados em Salvador e Litoral Norte, consiste em atividade de enorme importância para as cidades, especialmente para Salvador que dispõe de capital natural e cultural. Destaca-se como atividade que dinamiza a economia dada a importante geração de empregos, uma vez que aciona grande cadeia de prestadores de serviços – hospitalidade, agenciamento, transportes, comunicação, entretenimento, esportes, gastronomia e eventos. Além disso, há pressão por qualificação dos serviços e da base urbana. Entretanto, esse setor tem alto risco de desestabilização, motivado por eventos externos: crises econômicas, desastres ambientais, pandemias, como já experimentado. Seguramente, o “novo normal” virá com mudanças significativas na economia, principalmente aquelas ligadas ao consumo das famílias e à reorganização das formas de trabalho.

As tendências para os padrões de consumo e segmentos econômicos que se desenham em um cenário pós-covid-19 estão no setor terciário, o que pode beneficiar Salvador pela alta participação desse setor na geração de riquezas do município. Trata-se de um movimento iniciado antes da pandemia e é importante ressaltar que a maioria das atividades é dependente de redes de telecomunicações e da disponibilidade de acesso digital por parte da população.

► *Demografia, distribuição espacial e densidade da população*

A dinâmica demográfica e o processo de urbanização do estado da Bahia tendem a se intensificar durante o período projetado, com o aumento – em termos absolutos – da população residente nas áreas urbanas e uma sensível diminuição do volume da população rural. Mesmo com o aumento do contingente populacional das cidades, a Bahia deverá permanecer entre os estados

menos urbanizados do país, com um grau de urbanização de 77,2% ao final de 2030 (SEI, 2020).

Salvador vem registrando alterações importantes de seu perfil demográfico, seguindo a tendência nacional, com queda da taxa de crescimento populacional em ritmo superior ao de países desenvolvidos em momentos anteriores – uma das transformações sociais mais marcantes da sociedade brasileira nas últimas décadas. Dentre outros aspectos, traduz-se na redução das taxas de crescimento demográfico e pela mudança do perfil etário da população, com destaque para a tendência de crescimento dos grupos etários com mais de 65 anos de idade na população total que, junto a outros fatores, repercute na queda das taxas de fecundidade. A desaceleração do ritmo de crescimento nas últimas décadas² não sinaliza redução de população, mas estabilidade. Salvador ainda será uma capital com a população em idade ativa madura mais elevada que a população de crianças e idosos no horizonte de 2030. Percebe-se que áreas historicamente densas tenderão a se manter em crescimento, mesmo em um ritmo menos acelerado.

A análise das condições sociais e populacionais na perspectiva da expansão urbana privilegia a dinâmica sobre o dado quantitativo. As estimativas e projeções populacionais permitem inferir indicativo de tendência de ligeira desconcentração da metrópole para o horizonte 2030 pelo aumento relativo da população em outros municípios da RMS.

Considerando como base de comparação o Censo Demográfico de 2010, como dado mais seguro, e buscando as taxas de crescimento da população projetada para 2030, pode-se observar que a taxa de crescimento dos demais municípios continua mantendo larga frente (9%), maior que a taxa de crescimento de Salvador. Entretanto, na leitura percentual da evolução da população da RMS, há uma pequena involução na participação da população dos demais municípios, em relação aos números de 2010 e à projeção de 2030. A década de 2020 já refletiu na dinâmica populacional a crise econômica de 2008, com a redução brusca da inversão do investimento estrangeiro direto no espaço metropolitano, padrão que deve se manter com o consequente refreamento na dinâmica de expansão metropolitana.

2 O decréscimo registrado na taxa de crescimento nas últimas décadas corresponde: entre 1991/2000 de 1,8% ao ano; entre 2000/2010 de 0,9% ao ano e estimativa de taxa média geográfica até 2018 de 0,8% ao ano (IBGE, 2000, 2010, 2018).

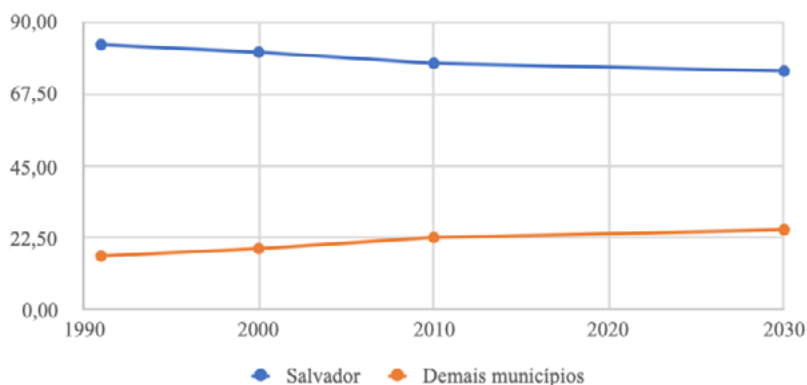
A diferença é puxada pelas taxas de crescimento populacional dos municípios: Camaçari, 1,21; Dias d'Ávila, 1,20; Lauro de Freitas, 1,20; Madre de Deus, 1,20; São Francisco do Conde, 1,19; e Pojuca, 1,19. Se desconsiderarmos os três últimos municípios incorporados à RMS, temos na Figura 1 a evidência da convergência das linhas sinalizando maior crescimento proporcional dos demais municípios metropolitanos. As projeções para 2030 confirmam a tendência já registrada nos Censos Demográficos de 1991, 2000 e 2010.

Analisando a variação das taxas de crescimento, estas denotam também taxas de crescimento de densidade correlatas e tendem à manutenção do padrão com taxas de densificação superiores ao polo metropolitano, à exceção do município de Candeias.

Embora se considere que haja uma margem de incerteza efetiva, as projeções populacionais são imprescindíveis para o planejamento do futuro do território, para compreensão da dinâmica demográfica, para a elaboração de alternativas de ocupação do espaço e para a formulação de políticas públicas e programas setoriais e sociais.

A pandemia da covid-19 concorre como componente amplificador das condições socioespaciais de moradia e de desigualdade social, que se expressam em segregação socioespacial e carência de cobertura das redes de infraestrutura urbanas, culminando por agravar as condições sociais da população dos bairros populares e evidenciando a duradoura desigualdade e os riscos futuros iminentes.

FIGURA 1 – Comparativo da evolução projeções populacionais: Salvador e demais municípios da RMS



Fonte: IBGE, 2002, 2011; Estimativas 2018; Projeção população 2018; Projeções 2010- 2030 pelos autores³.

3 Observação: não foram considerados os municípios de Mata de São João, Pojuca e São Sebastião do Passé, incorporados à RMS no Censo de 2010, para compatibilizar com o tratamento dos dados.

► *Aspectos ambientais, espaciais e territoriais*

Embora complementares, a abordagem trata de modo distinto cada um dos temas.

Quanto aos aspectos ambientais, temos efeitos climáticos e ambientais há muito já percebidos como gerais para o planeta que passam a ocorrer em magnitudes muito superiores a eventos anteriores. As estratégias internacionais de enfrentamento das questões de sustentabilidade são atualizadas. Os desafios a serem enfrentados, elencados como Objetivos do Milênio, são ampliados e passam a compor, desde 2015, a pauta dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), com destaque para o ODS 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis.

A percepção do agravamento dos eventos ambientais incita governos, instituições e sociedade civil a colocarem o ambiente, em particular as mudanças climáticas e compulsoriamente a crise sanitária, na condição de pauta emergencial para o alcance das metas estabelecidas para 2030. Persistindo o modo disperso de ocupações na RMS, toda a riqueza dos ambientes dessa região tende a ser perdida por transformações irreversíveis. O processo de fragmentação do espaço com as ocupações urbanas desordenadas e pulverizadas no espaço metropolitano limita o uso do solo para outras destinações que não a imobiliária e fragiliza as funções ecológicas desempenhadas pelo ambiente. A ameaça de degradação ambiental, a fragmentação do território e a inviabilidade para outros usos se mantêm como tendências. Considerando a dinâmica de crescimento populacional – a maior sendo para fora do município de Salvador –, na opção de baixa dinâmica econômica esse processo não ganhará maior proporção, mas, caso contrário, a ameaça será potencializada.

A escassez de espaços verdes e a consequente perda dos serviços ecológicos sinalizam a baixa qualidade ambiental da cidade do Salvador. As concentrações habitacionais em Zonas Especiais de Interesse Social (Zeis) apresentam média de 40 m² per capita, para todas as funções urbanas. Comparado ao parâmetro recomendado de 50 m² per capita apenas de área verde, expõe-se o tamanho do déficit nessas áreas que concentram 56% da população de Salvador (LCAD, 2019a, 2019b). A exígua área residual da cobertura de Mata Atlântica (4,94%), de distribuição desequilibrada no território, remete às contraditórias indicações de adensamento extensivo no município (Salvador, 2016), quando a direção deveria ser de reconstituir fragmentos de cobertura vegetal instituindo espaços protegidos. A continuar o mesmo tratamento, o meio ambiente urbano resultará num mosaico fragmentado de habitats em ocupações urbanas densas e fragmentos da ecologia de paisagem cada vez

menores. Paradoxalmente, os compromissos assumidos pela Prefeitura Municipal de Salvador ante organizações internacionais vão em direção oposta no que diz respeito a alcançar as metas dos acordos de mudanças climáticas, incluindo a conservação de habitats naturais como parte das soluções. Apenas com estratégias baseadas em ecossistemas – Mata Atlântica e a proteção de ambientes costeiros (restinga e manguezais) – aliadas às políticas públicas e a obras de infraestrutura, as mudanças climáticas poderão ser enfrentadas.

Preservar e revalorizar os fragmentos da cobertura vegetal, bem como atualizar a cidade em termos de sistemas urbanos sustentáveis, colocam-se como outros grandes desafios ambientais em Salvador e na região metropolitana. As atividades econômicas já comprometeram a qualidade dos corpos d'água da região com prejuízo direto às populações, à fauna e à flora: indústrias e estruturas turísticas no Litoral Norte e as estações de tratamento que não têm eficácia sobre todos os contaminantes. A cobertura do sistema de esgotamento sanitário é de 83% do território continental, já completamente urbanizado, ficando para a Baía de Todos os Santos receber os efluentes das áreas restantes e dos municípios que não dispõem de estações de tratamento de esgoto. Como tendência, a reversão do quadro de contaminação por efluentes é improvável para o horizonte 2030⁴.

Centros de pesquisas, academia, organizações não governamentais e iniciativa privada, voltados para a questão ambiental, centram na possibilidade de integração dos sistemas urbanos em rede num ciclo fechado. O reaproveitamento dos próprios efluentes e de subprodutos dos tratamentos está entre os maiores desafios da urbanização a serem enfrentados. Exemplificam a produção de gás, fruto de aterros sanitários e outros subprodutos de processos que abastecem subsidiariamente outras cadeias produtivas, agregando racionalidade na utilização otimizada dos recursos naturais. São vultosos os desperdícios de água potável e de demais recursos naturais não capturados para integrar o sistema urbano – águas pluviais, incidência solar, ventos, outros. Como visto, há muito a perseguir para melhorar os indicadores ambientais e corresponder ao engajamento nos programas internacionais e ao compromisso com o ODS 11.

A mobilidade urbana, considerando a composição de modais utilizados e a predominância de deslocamentos com veículos particulares, responde por grande impacto ambiental. Tanto a composição dos modais quanto a matriz

4 Apresentação realizada pela Embasa na oficina do Projeto Salvador: Visões de Futuro, nomeada como "Infraestrutura e saneamento ambiental", em 19 de outubro de 2019, Salvador.

dos combustíveis empregados nos meios de transporte concorrem para esse impacto. A mobilidade sustentável demanda a redução do uso do combustível fóssil e a ampliação dos adeptos da mobilidade ativa. Atualmente, a metrópole e seu entorno carecem de uma rede integrada de transporte público, assim como de instituições, planos e políticas que coordenem ou estimulem a mobilidade sustentável. A mobilidade urbana se relaciona diretamente com outros aspectos do funcionamento das cidades, haja vista ter impactos na economia o tempo de deslocamento dos habitantes, o acesso a serviços – saúde, educação, segurança – e o bem-estar dos cidadãos.

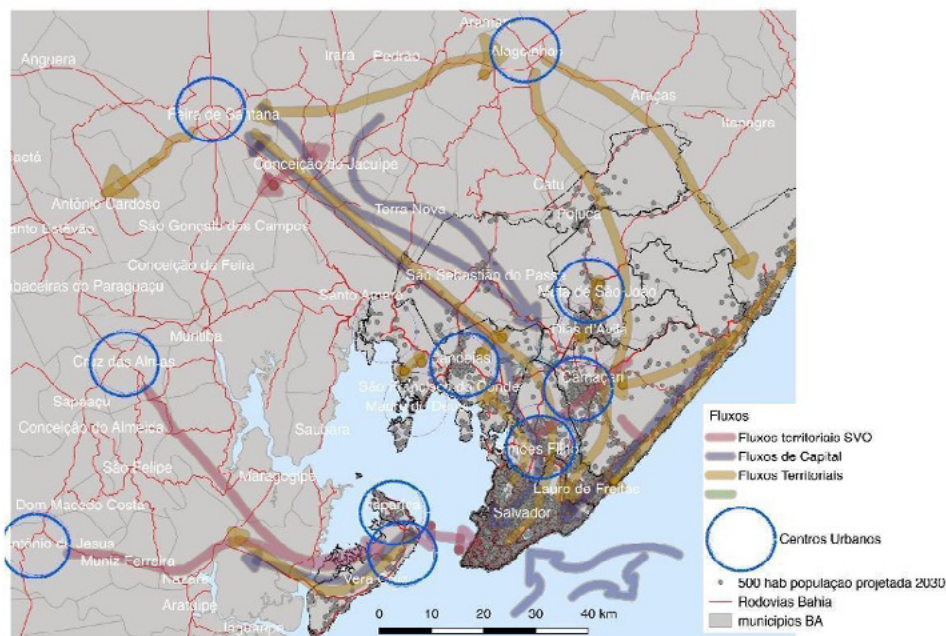
Uma das tendências estruturais que conforma a mobilidade urbana em Salvador e entorno metropolitano é o crescimento constante da frota de veículos automotores que já atingiu mais de 1 milhão de veículos em 2019, segundo dados atuais do Departamento Nacional de Trânsito (Denatran). Considerando somente automóveis, a RMS tem hoje uma frota de mais de 600 mil. A projeção elaborada pela equipe do projeto “Salvador: visões de futuro” para 2030 (LCAD, 2019a, 2019b), considerando como variável apenas o crescimento populacional, aponta para um total de cerca de 1.120 mil veículos e uma frota de mais de 700 mil automóveis. Esse crescimento terá impacto, além dos inevitáveis congestionamentos de trânsito, nas questões ambientais (aumento da poluição e da emissão de gases), na saúde (aumento do número de acidentes), na economia e no bem-estar urbano (aumento do tempo de viagens) e na própria mobilidade sustentável devido à potencial diminuição do uso da rede de transporte coletivo.

A acessibilidade, a urbanização e a globalização (Antrop, 2005) são três ações que concorrem diretamente para a disrupção da paisagem urbana e metropolitana. Os projetos de mobilidade em pauta, trem metropolitano e outros meios de conexão intrarregional intensificarão as dinâmicas econômicas metropolitanas e constituem-se em potencial ameaça às paisagens e à fragmentação do território. A mais radical intervenção na paisagem de Salvador, a ameaçar o cenário futuro, será a concretização da Ponte Salvador-Itaparica. A ponte concorre nos três quesitos: urbanização, com a incorporação de novo território para expansão metropolitana; acessibilidade à Ilha de Itaparica e reaproximação com a região do Recôncavo, ambos com grande patrimônio ambiental; globalização, pois será objeto de investimento e execução por corporações internacionais, representando uma renovação para reinserção da imagem da cidade no circuito global, o que a potencializa para novos eventos, apesar de prejuízos objetivos na qualidade da paisagem na Baía de Todos os Santos.

Quanto aos aspectos espaciais, o ponto de partida é a constatação de que a exacerbada polaridade que Salvador exerce não significa que toda a área continental do município contenha serviços que atraíam os fluxos regionais, nem que a continuidade da mancha urbana se constitui mais em exigência para integração dos contextos urbanos. A dinâmica da economia na região e as TICs são fatores fortemente influentes na configuração do modo de expansão e constituem-se como um diferencial para análise dos aspectos espaciais no contexto político, econômico e ambiental.

Sendo irreversível a intensificação do emprego das TIC no modo de produção e que vínculos territoriais serão cada vez menos importantes, a condição mais restritiva para a projeção da expansão metropolitana – no modo de urbanização dispersa – fica dependente da resposta da economia nacional e local à grande reestruturação do Estado nacional para a ativação da produção de novas ocupações urbanas. Na expectativa de uma resposta positiva, pode-se concluir que o padrão da expansão metropolitana terá sequência seja via adensamento das ocupações existentes, seja via produção de novas ocupações dispersas no território metropolitano.

FIGURA 2 – Fluxos, rede viária e população projetada para 2030 na RMS



Fonte: elaborada pelos autores.

As ocupações urbanas não seguem um padrão de dispersão uniforme. Pulverizadas no espaço metropolitano, percebe-se que, de algum modo, estão imantadas pelo sistema viário estrutural, mas não predominantemente lineares. Ao longo do eixo do vetor Litoral Norte, há maior concentração populacional e produção mais intensiva de ocupações urbanas situadas em maior proximidade entre si. A Figura 2 mostra a localização da população projetada para 2030, considerando os componentes demográficos e os fluxos previstos.

Considerando os mais recentes estudos urbanos e regionais (Pereira; Santos Pereira, 2018; Santos Pereira, 2017), as tendências apontam para a transformação da metrópole, com forte aderência à caracterização da transição pós-metropolitana de Soja em direção à gradativa formação de uma cidade-região de Salvador, como sinalizam os fluxos além dos marcos – centros urbanos – que se inserem na abrangência da macrorregião metropolitana. A mancha urbana contínua da metrópole engloba Salvador e Lauro de Freitas, que se constituem no polo da RMS, destacando-se no cartograma os fluxos entre os centros urbanos mais relevantes e externos à área urbana contínua.

Em estágio inicial de formação, a transformação do espaço apresenta conurbações, com diversidade de atividades econômicas de produção e de serviço, integração por redes de transportes e de comunicações. Com a implantação dos projetos de ampliação da rede viária e a introdução de modais de transporte rápido e transporte de massa e cargas – trem rápido e trem metropolitano –, a cidade-região tende a se conformar com celeridade.

Sob a ótica da sustentabilidade, a urbanização – em saltos (*leapfrog*) – restringe usos agrícolas das áreas periféricas ou ainda demanda a expansão da rede de infraestrutura urbana e de serviços – água, esgoto, coleta de resíduos, sistema de transporte – para além da racionalidade técnica (Ojima, 2007). A importância do planejamento e da gestão da rede urbana e do espaço regional, nessa condição, é ressaltada, tendo em vista os inúmeros conflitos em vias de consolidação e a impossibilidade de encaminhamento de solução para questões que demandam uma visão integrada à escala metropolitana, e mesmo macrometropolitana.

Quanto aos aspectos territoriais, estes serão analisados na perspectiva 2030 para algumas situações caracterizadas na metrópole atual, buscando compreender os desdobramentos dessas dinâmicas ante o contexto político, econômico e ambiental, tal como se apresenta atualmente, e as expectativas que gera para o futuro próximo, por exemplo: rede urbana, centralidades e

polaridades, além da produção de áreas urbanizadas acrescidas e isoladas no território metropolitano.

O quadro da metrópole atual confirma o crescimento dos núcleos urbanos – sedes municipais – de forma mais acelerada que o polo metropolitano, embora mantenham a grande distância com este e longe da equalização da macrocefalia histórica de Salvador em relação à região metropolitana e ao estado da Bahia. A metrópole que, nos anos 1980, tem um padrão de centralidade única com crescimento no modo periurbano, conurbado, passa a expandir desde as primeiras décadas do século XXI, de acordo com outro modo de organização socioespacial, disperso. Ambas as situações referidas estão representadas nos modelos metropolitanos monocêntrico e policêntrico de Raw (2001), referidos nas Figuras 3 e 4.

FIGURA 3 – Modelo monocêntrico metropolitano

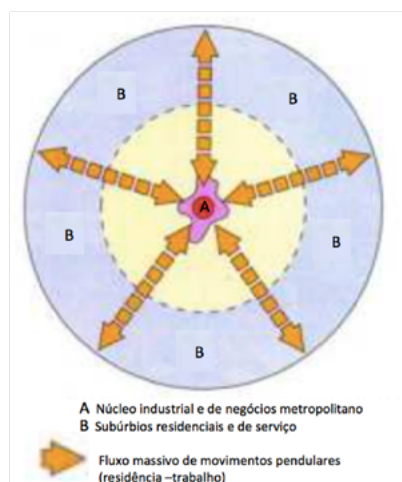
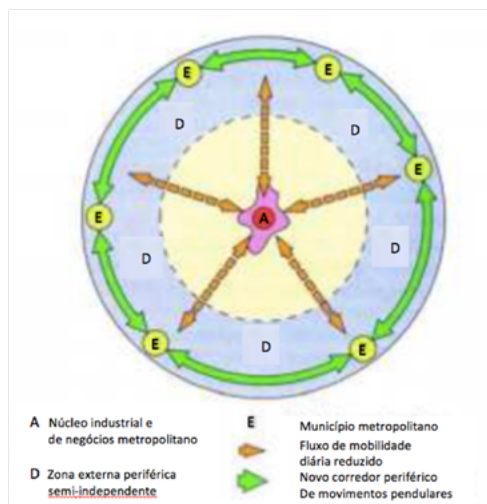


Figura 4 – Modelo policêntrico metropolitano



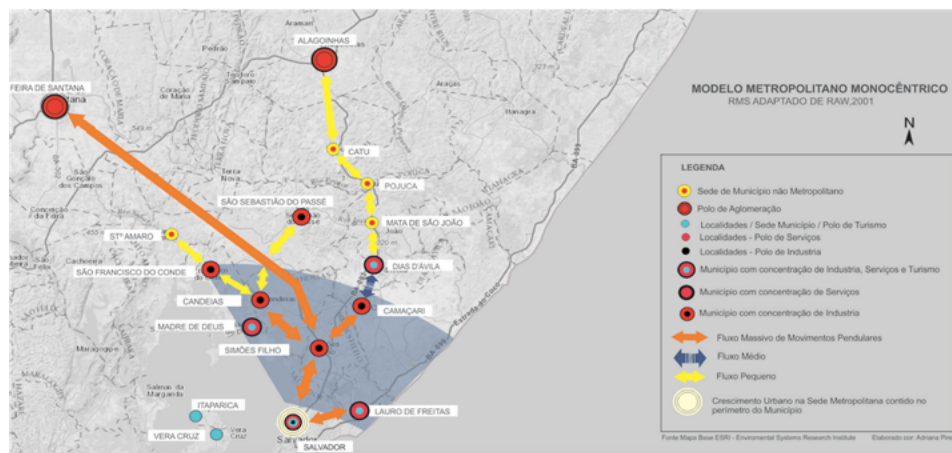
Fonte: Raw, 2001.

Na fase do modelo monocêntrico, a discrepante posição da sede metropolitana situava-a como centralidade metropolitana, única. As sedes dos demais municípios da região não exerciam sequer o papel de apoio urbano minimamente qualificado, impondo fortes fluxos regionais, quase que totalmente de natureza pendular casa-trabalho/centro-periferia cotidianos, com raio de alcance de 20 a 25 km do centro metropolitano.

A Figura 5 apresenta uma leitura do modelo monocêntrico metropolitano adaptado à RMS, onde o campo em cinza mostra o alcance dos deslocamentos

centro-periferia diários. Também são registradas nesta figura uma escala de intensidade dos fluxos e a hierarquia da rede urbana e suas funções.

FIGURA 5 – Leitura da RMS com base no modelo monocêntrico metropolitano de Raw, 2001



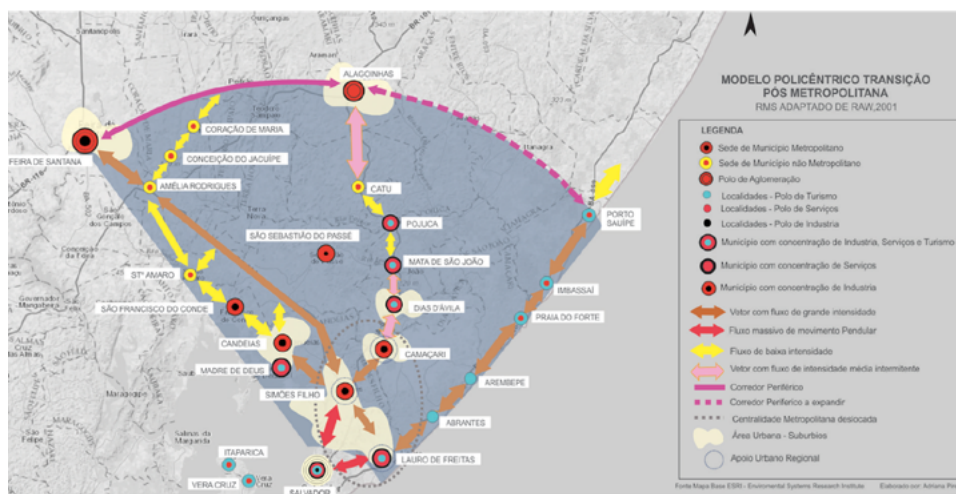
Fonte: RMS, adaptado de Raw (2001).

A mudança operada nas duas últimas décadas, fartamente documentada nas referências que tratam sobre a caracterização da metrópole atual (Carvalho; Pereira, 2010, 2016; Pereira; Santos Pereira, 2018; Santos Pereira, 2017), apresenta indicadores que evidenciam o modo de expansão disperso, correspondente ao modelo policêntrico, referido na Figura 6.

Associando a leitura da metrópole atual ao modo policêntrico, fica evidente a nova organização socioespacial com novas características da transição pós-metropolitana: a manutenção de forte polaridade metropolitana enquanto polo de empregos, comércio e serviços, infraestrutura e equipamentos urbanos compatíveis com uma cidade de 2,7 milhões de habitantes; formação de zona externa, com autonomia relativa e com funções de indústria, turismo, comércio e serviços básicos, negócios imobiliários. As sedes municipais agregam novas funções urbanas e passam a exercer o papel de apoios urbanos regionais, complementares entre si, modificando a inserção na rede urbana; fortalecimento de novas centralidades com base urbana minimamente estruturada. Há alteração relativa nos fluxos de mobilidade diária pendular e ampliação do campo de abrangência dos deslocamentos de rotina, apurado com base na oferta de transporte público, cuja intensidade é relativizada na

medida em que as funções da base urbana passam a ser distribuídas no território metropolitano, configurando novos movimentos intrarregionais que transformam a natureza do fluxo pendular.

FIGURA 6 – Leitura da RMS com base no modelo policêntrico metropolitano de Raw, 2001



Fonte: RMS, adaptado de Raw (2001).

Para o horizonte 2030, considerando a manutenção do quadro político, econômico e ambiental, com maior ou menor impacto, a dinâmica que se instaurou – de expansão no modo disperso – seguirá esse curso, com tendência à formatação da cidade-região, estágio resultante para um horizonte que transpassa o horizonte deste cenário. O principal impacto na persistência desse padrão de organização territorial é a ausência de planejamento à escala regional. Percebida essa característica do modo de expansão, na falta de zoneamento que estabeleça condições para o uso e a ocupação do solo, a fragmentação do espaço regional/rural o coloca, de fato, como espaço disponível para a especulação imobiliária, com perdas de serviços ecológicos de importante monta.

A pequena distância entre as cidades de Camaçari, Lauro de Freitas e Simões Filho, as relações de complementaridade dos serviços sendo fortalecidas, o preenchimento do espaço com expansão das sedes nas auréolas das cidades estão a formar uma conurbação que se evidencia ao longo de corredores viários, especialmente aqueles que conectam as sedes interioranas com o litoral, e tendem a puxar no futuro, para além do horizonte 2030, a centralidade da cidade-região mais ao norte. Tendência também impulsionada pela

saturação da mobilidade no sistema viário de acesso à cidade do Salvador (BR-324 e BA-099) e pela própria condição geográfica da cidade, uma península. A complementaridade de funções entre dois polos de grande dinâmica na região e a grande atratividade – Feira de Santana e a área de concentração da atividade turística do Litoral Norte – tendem a forçar uma conexão direta, retirando a obrigatoriedade da penetração à ponta da península. É mais um elemento que reforça a percepção da formação de uma dinâmica nova no espaço regional, que relativiza a força de atração de Salvador como foco de toda a convergência e que conduz o futuro para a formação da cidade-região.

A cidade-região é uma forma de metropolização do espaço, um novo modelo de organização territorial que corresponde à expressão espacial da reestruturação produtiva do modo de acumulação flexível, em que o peso da indústria de perfil tradicional é relativizado. Os setores de serviços, imobiliário e quaternário ganham maior vigor, aumentando a integração funcional entre o núcleo metropolitano e as cidades do entorno e ampliando as relações entre o local e o global. Transformação estrutural na organização territorial cuja mudança nas relações dos componentes da rede urbana traz intrínseca a perspectiva de alteração na distribuição da divisão regional do trabalho, uma construção de horizonte duradouro onde Salvador poderá aportar à metrópole os diferenciais que conferem potência à sua força de expansão.

► *Aspectos populacionais e econômicos*

A análise da produção de novas áreas urbanizadas acrescidas e áreas isoladas tem como pressuposto a imbricação economia e urbanização. Os Censos Demográficos de 1991-2000 e 2000-2010 demonstraram crescimento linear dos setores censitários nas categorias de áreas urbanizadas acrescidas e áreas isoladas, revelando o atual quadro de perimetropolização. A década 2010-2020 e mais o intervalo da década seguinte compreendem um período de 20 anos, sem aferição de dados. Resta uma reflexão indireta apoiada no desempenho da economia para balizar frágil projeção.

Nas décadas aferidas, os setores censitários que apontavam a produção de áreas urbanizadas acrescidas no território metropolitano foram equivalentes a 151 km², por década (IBGE, 2002, 2011). O contexto político, econômico e ambiental nacional ao final da década de 2020 apresenta profunda alteração no desempenho da economia com indicadores inferiores, inclusive à década perdida de 1980, quando o PIB se situou em 1,6%. O fraco desempenho da economia refletido no

PIB, na atual década, impede projeções lineares, como sugeriria o comportamento da produção de áreas urbanas nas décadas anteriores no espaço metropolitano.

O comportamento do PIB – em crescimento inexpressivo para transformações urbanas importantes – é sugestivo de estagnação do processo de expansão e produção de novas áreas urbanizadas pulverizadas, na atual década. Para a década seguinte, as reformas estruturais (previdência, tributária e pacto federativo), se implantadas – cenário ainda incerto –, tendem a configurar desdobramentos em duas direções: primeiro, tende para a recuperação econômica que, se efetivada, instigará a dinâmica expansionista urbana com produção de novas áreas urbanizadas no território metropolitano; segundo, considera as reformas como alavanca para a economia, mas estas não repercutem em dinamização a curto prazo e, portanto, não promoverá os desdobramentos espaciais no padrão das décadas anteriores.

Nesse sentido e fechando esta análise, retoma-se a previsibilidade dos resultados de Richardson e Chang-Hee (2004) e consideram-se os parâmetros projetados para 2030 de baixo crescimento populacional, taxas de crescimento populacional – a maior nos demais municípios metropolitanos que em Salvador –, densificação continuada em todos os municípios, comportamento da economia na década 2010-2020 com índices aquém de 1% e, na hipótese otimista para a próxima década, de 2,4 a 2,8%. A partir disso, pode-se inferir que os dados apontam para a manutenção do *status quo*, com o continuado crescimento dos demais municípios em relação a Salvador, todos mantendo proporcional crescimento das densidades correlatas às taxas de crescimento, ou seja, sem transformações estruturais no arranjo socioespacial para a década 2010-2020 e a década seguinte 2020-2030.

Retomando a referência teórica quanto às fases de evolução das metrópoles, temos que a RMS deverá manter a tendência da dinâmica enquadrada na segunda fase da estrutura referencial de crescimento proposta por Richardson e Chang-Hee (2004), com os ajustes de tendência representados no Quadro 2.

QUADRO 2 – Dinâmicas urbanas e metropolitanas x Modelo (Richardson; Chang-Hee, 2004)

1ª FASE: concentração econômica e relações centro-periferia. Do início do projeto de industrialização, prevaleceu até o início dos anos 1990.		
2ª FASE: transformações estruturais nas áreas centrais e os núcleos do entorno apresentariam crescimento mais acelerado que o centro. Processo iniciado nos anos 1990 e perdura, provavelmente, até 2030		
Indicações do modelo	Metrópole atual	Metrópole 2030
Transformações estruturais nas áreas centrais	Patrimônio construído em degradação	Manutenção do estado e intervenções pontuais de recuperação, mas sem implantação de plano geral que promova transformação estrutural
	Saída continuada de população de zonas urbanas em ritmo importante	Redução do ritmo do esvaziamento com manutenção da densidade populacional, em função do patamar estacionário da economia
	Saturação do sistema viário	Manutenção da saturação nos grandes eixos de deslocamento, principalmente os eixos de integração metropolitano
	Intervenções que ampliam viário e retroalimentam a crise de mobilidade	Grandes obras viárias não focam o desestímulo ao transporte individual, retroalimentam com estímulo ao deslocamento em veículos particulares, novos viadutos (sistema BRT).
Núcleos do entorno apresentam crescimento mais acelerado que o centro	Taxas de crescimento populacional quatro vezes maior que o polo e taxa de densificação, superior em todos os municípios do entorno, exceto Candeias	Demais municípios metropolitanos continuam crescendo a taxa 9% superior a Salvador. Densidades aumentam na proporcionalidade da taxa de crescimento.

Indicações do modelo	Metrópole atual	Metrópole 2030
Oportunidades de serviços fora da sede metropolitana, reorientando a localização da moradia	Emprego na indústria maior no entorno que em Salvador e investimentos em turismo; moradia na proximidade do emprego é um apelo	Cenário político de grande dificuldade para implementar reformas estruturais e a economia continua com sinais frágeis de superação da inércia que perdura há cinco anos. Os investimentos estrangeiros diretos ainda estão sob impacto da crise econômica internacional, não há segurança para previsão da retomada dos investimentos nesses dois setores e, por consequência, também no setor imobiliário até 2030. Apelo à moradia fica comprometido nesse cenário.
Crescimento no modo disperso abarca populações de baixíssima renda	Perfil socioeconômico corresponde à expressão de excluídos, representando o fenômeno do subdesenvolvimento estrutural, migração regional compulsória	Manutenção do perfil de baixíssima renda. Nas auréolas das sedes municipais, em razão da consolidação das funções que seguem sendo complementadas, pode-se apostar que há início de engajamento progressivo da população e mais oportunidades de inserção econômica, ainda que informal

Indicações do modelo	Metrópole atual	Metrópole 2030
Cidades secundárias passam a apresentar vantagens comparativas: fluxos de capital e de trabalho convergem, passam a registrar crescimento econômico e demográfico, a taxas superiores à sede metropolitana	Vantagens para captura de capital internacional, em especial no turismo e indústria; ampliação da base urbana, cidades melhor infraestruturadas: educação superior, rede hospitalar e de saúde, interesse do mercado imobiliário ampliado favorecendo o desenvolvimento fora da sede metropolitana	Consolidação da base urbana das cidades, sedes municipais metropolitanas, que decorre do próprio giro da economia do cotidiano e do crescimento populacional, o que segue qualificando-as como base urbana para captura de capital, mas sem expectativas de reversão do recuo do capital internacional para 2030. No entanto, atinge o estágio embrionário de uma cidade-região
Efeito pandemia	Recondiciona o interesse em distanciamento, incremento de vendas de imóveis mais amplos e retomada do interesse em residências e moradias isoladas	Reforço adicional ao modo disperso de ocupação tanto para as classes de renda mais elevadas e manutenção da dinâmica de moradia da população de baixíssima renda
3ª FASE: início da reversão da polarização quando haveria uma dispersão ampliada	Tendência arrefecida pela fraca dinâmica da economia	A retomada da economia na próxima década pode vir a caracterizar a dispersão ampliada, continuação do processo de formação da cidade-região, mas ainda distante da reversão da polaridade
4ª FASE: os centros secundários são atingidos pela dispersão	Não aplicável	Não aplicável
5ª FASE: a área central começa a perder população	Não aplicável	Não aplicável

Fonte: elaborado pelos autores.

CONCLUSÕES

O cenário apresentado traz algumas apreensões em razão de processos, sendo os mais evidentes: crescimento populacional que tende à estagnação, mas com dinâmicas internas de redistribuição espacial difusa, simultânea à continuidade do adensamento de alguns espaços como na própria cidade polo e na faixa litorânea; crescimento populacional, em que a maior é a dos demais municípios que na sede metropolitana; produção de ocupações urbanas dispersas como padrão da expansão metropolitana e a consequente complexificação dos problemas pela falta de planejamento à escala regional, sem controle do uso e ocupação do solo, ao que se soma um processo de urbanização extensiva precária; perda da qualidade ambiental nas áreas urbanas e periurbanas da RMS, com limitação progressiva das alternativas de uso do solo no espaço regional; fraca adesão aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, em especial ao ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis; quebra de serviços ecológicos, fragmentação e progressiva perda de espaços verdes vegetados; adensamento urbano extensivo e agravamento da qualidade ambiental; comprometimento da qualidade dos recursos hídricos; mobilidade com veículos particulares mantendo-se como predominante e inércia na substituição de combustíveis fósseis; polaridade exacerbada de Salvador, com fraca atuação da força de expansão que poderia exercer sobre o território metropolitano; transformação estrutural na organização territorial.

As transformações que levarão à formação da cidade-região modificarão o papel regional de Salvador. No horizonte do cenário 2030, a depender da concretização dos projetos viários estruturantes e do comportamento da economia, liderará ou não transformações mais acentuadas. A consideração aos ODS tende a ser fortalecida pela ampliação do nível de consciência sobre o valor e papel do meio ambiente na qualidade de vida, projetado exponencialmente pelo fenômeno da covid-19.

A crença insistente de que se pode fazer uma vida urbana melhor não terá sustentação enquanto o quadro de desigualdade e injustiça espacial não for enfrentado na cidade de Salvador com determinada intervenção de qualificação dos espaços de moradia, predominantemente precários para a maioria da população. Além disso, também não terá sustentação se não houver a compreensão do processo de expansão da metrópole com produção de áreas

urbanizadas precárias acrescidas, as quais são espaços de exclusão no território metropolitano.

A consolidação possível de uma cidade-região complexa e desigual ao final da próxima década, sem ações coordenadas de planejamento e de gestão, coloca na agenda a necessidade de discussão das características que os processos de governança urbana e metropolitana assumiram em Salvador e seus possíveis desdobramentos futuros.

REFERÊNCIAS

- ANTROP, M. Why landscapes of the past are important for the future. *Landscape and Urban Planning*, Belgium, v. 70, n. 1-2, p. 21-34, Jan. 2005.
- CARVALHO, I. M. M.; PEREIRA, G. C. Dinâmica de uma metrópole periférica: Salvador no século XXI. In: SILVA, S. C. B. M.; CARVALHO, I. M. M.; PEREIRA, G. C. (org.). *Transformações metropolitanas no século XXI: Bahia, Brasil e América Latina*. Salvador: Edufba, 2016. p. 173-204.
- CARVALHO, I. M. M.; PEREIRA, G. C. Dinámica de una metrópoli periférica en Brasil. *Estudios Demográficos y Urbanos*, Ciudad de México, v. 25, n. 2, p. 395-427, 2010.
- CASTELLS, M. *The informational city: information technology, economic restructuring, and the urban-regional process*. Oxford: Basil Blackwell, 1989.
- IBGE. Base de informações do *Censo Demográfico 2010*: resultados do universo por setor censitário. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.
- IBGE. *Base de informações por setor censitário: censo demográfico 2000*: resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2002.
- IBGE. *Censo demográfico 1991*: agregado por setores: resultados do universo: Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, [1991].
- MARCUSE, P.; VAN KEMPEN, R. (ed.). *Globalizing cities: a new spatial order?* Oxford: Blackwell, 2000.
- MONTE-MÓR, R. L. M. Urbanização, sustentabilidade, desenvolvimento: complexidades e diversidades contemporâneas na produção do espaço urbano. In: COSTA, G. M.; COSTA, H. S. M.; MONTE-MÓR, R. L. M. (ed.). *Teorias e práticas urbanas: condições para a sociedade urbana*. Belo Horizonte: C/Arte, 2015. p. 55-69.
- MORIN, E. *Introdução ao pensamento complexo*. Porto Alegre: Sulina, 2005.
- MORIN, E. *O paradigma perdido: a natureza humana*. [S. l.]: Publicações Europa-América, 3. ed., Biblioteca Universitária, 2007.

OJIMA, R. Dimensões da organização dispersa e proposta metodológica para estudos comparativos: uma abordagem socioespacial em aglomerações urbanas brasileiras: *Revista Brasileira de Estudos de População*, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 277-300, jul. 2007.

PEREIRA, G. C.; SANTOS PEREIRA, M. G. B. G. Expansão urbana e metropolitana de Salvador. In: SILVA, S. B. M.; CARVALHO, I. M. M.; PEREIRA, G. C. (org.). *Transformações metropolitanas no século XXI: Bahia, Brasil e América Latina*. Salvador: Edufba, 2016. p. 301-338.

RAW, M. *Geography in place*. London: Collins, 2001.

REIS FILHO, N. G. *Notas sobre urbanização dispersa e novas formas de tecido urbano*. São Paulo: Via das Artes, 2006.

RICHARDSON, H. W.; CHANG-HEE C. B. (ed.). *Urban sprawl in Western Europe and United States*. Bodmin: Ashgate, 2004.

SALVADOR. Lei nº 9.069/2016. Dispõe sobre o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano do Município de Salvador - PDDU 2016 e dá outras providências. *Diário Oficial do Município*, Salvador, ano 29, n. 6620, p. 1-57, 30 jun. 2016.

SANTOS PEREIRA, M. G. B. G.; PEREIRA, G. C. Salvador, expansão metropolitana dispersa, efeitos socioespaciais e diretrizes para o planejamento e gestão: cenário 2030. In: MOURA, R.; FREITAS-FIRKOWSKI, O. L. C. (org.). *Espaços Metropolitanos: processos, configurações, metodologias e perspectivas emergentes*. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2021. p. 434-460.

SANTOS PEREIRA, M. G. B. G. Salvador pós-metrópole: urbanização dispersa, sustentabilidade e densidade. 2017. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2017.

SOJA, E. W. *Postmetropolis: critical studies of cities and regions*. Massachussets: Blackwell, 2000.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA. *A economia de Salvador entre 2021 e 2030: tendências estruturais, análise conjuntural e resiliência setorial pós-pandemia*. Salvador: SEI, 2020. Disponível em: https://covid19.estudoscolaborativos.sei.ba.gov.br/wp-content/uploads/2020/07/Texto-para-Discuss%C3%A3o_n.19-Aeconomia-de-Salvador-entre-2021-e-2030.pdf. Acesso em: 25 mar. 2024.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA. Faculdade de Arquitetura. Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais. *Projeto Salvador: visões de futuro*. Relatório 2: metrópole atual, T0. Salvador: UFBA, 2019.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA. Faculdade de Arquitetura. Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais. *Projeto Salvador: visões de futuro*. Relatório 3: metrópole 2030, T1. Salvador: UFBA, 2019.

PARTE 3

ARQUITETURA E TECNOLOGIAS DIGITAIS

Há uma busca crescente por tecnologias que permitam dar suporte às necessidades atuais da indústria da construção civil, visando à adoção de soluções mais sustentáveis e à melhoria da qualidade da edificação e da qualidade de vida dos usuários. O uso adequado das tecnologias apresenta diversas potencialidades ao setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO), tais como: desenvolvimento de projetos colaborativos e integrados; suporte para concepção de formas arquitetônicas mais complexas e efetivas; realização de simulações visando à adoção de soluções mais assertivas; gestão de obras mais eficiente, controlada e com menos desperdícios; redução de custos com operação e manutenção; melhoria da eficiência energética das construções; maior durabilidade das construções etc.

Entre as tecnologias que podem trazer benefícios para o setor AECO, destaca-se a Modelagem da Informação da Construção (BIM)¹, que representa o estado da arte em termos de conceitos, ferramentas e processos para lidar com o ciclo de vida da edificação. O paradigma BIM pode estar associado a

1 Na língua inglesa, refere-se a *Building Information Modeling* (BIM).

várias outras tecnologias, que também são objeto de pesquisa do Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD), por exemplo:

- a modelagem paramétrica, auxiliando em projeto, simulação e representação;
- a fabricação digital como recurso importante para as etapas de projeto, representação e construção;
- os sistemas de varredura a *laser*, permitindo maior rapidez e precisão no processo de captura e representação de formas existentes;
- a Realidade Virtual e Aumentada, possibilitando melhorar a visualização e interação em modelos arquitetônicos e urbanos, em diferentes aplicações e etapas do ciclo de vida dos ativos;
- os modelos geométricos e semânticos de cidade, permitindo não apenas a visualização espacial dos elementos que compõem a cidade (como edificações, sistema viário, vegetação e demais ativos urbanos), mas também podendo ser usados para o armazenamento de dados semânticos associados, incluindo a integração com modelos BIM. Além disso, podem ser usados como uma base de dados para realização de simulações e análises, planejamento de cidades energeticamente eficientes (incluindo estudos para instalação de sistemas para geração solar fotovoltaica), apoio à gestão urbana etc.

O entendimento dos conceitos, possibilidades e metodologias de trabalho com uso dessas tecnologias é muito importante, uma vez que permite mais consistência na escolha de recursos e processos adequados às aplicações específicas no campo da Arquitetura. Nesse sentido, o ensino de tecnologias digitais desde os primeiros semestres da graduação torna-se fundamental.

Os quatro capítulos que compõem esta parte do livro tratam de algumas dessas questões. O primeiro texto – correspondente ao capítulo 6 do livro –, de Bruno Leão de Brito, Felipe Tavares da Silva e Érica de Sousa Checucci, foi publicado na revista *Ambiente Construído* (2022). Apresenta uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) para identificar e analisar o estado da arte relativo aos processos de fabricação e montagem de formas complexas na Arquitetura. O uso de modelos paramétricos permitiu uma revolução nos processos de concepção e geração da forma arquitetônica. A liberdade formal trazida por esses

modelos apresenta novos desafios, principalmente em relação ao processo construtivo e ao uso dos materiais nas arquiteturas com formas complexas. Entender a construtibilidade ou como os processos de fabricação, montagem e os materiais influenciam na geração da forma é essencial para o desenvolvimento de uma arquitetura eficiente e eficaz. O texto apresenta a análise dos artigos selecionados na RSL, possibilitando uma visão ampla da aplicação de materiais e técnicas de fabricação digital para construção de formas complexas, além de diferentes critérios de construtibilidade utilizados para as análises das formas.

O capítulo 7, escrito por Sergio Dias Maciel, Arivaldo Leão de Amorim, Érica de Sousa Checcucci e Kyane Bomfim Santos, foi publicado na revista *Gestão & Tecnologia de Projetos* (2021). Trata-se dos resultados da experimentação do ensino da projeção arquitetônica em ambiente digital nas disciplinas Ateliê I e Ateliê II da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia (FAUFBA), que foram ministradas simultaneamente em 2017, com a integração das duas turmas, formando a disciplina Ateliê Digital Integrado. Essa experiência – um desdobramento do Ateliê Digital ofertado em 2016 – adotou a ampla utilização do computador como principal recurso para as pesquisas, o desenvolvimento das atividades e a apresentação dos projetos, empregando metodologia de ensino-aprendizagem ativa, com o objetivo de estimular a criatividade e a independência nos estudantes. Os autores concluem que o uso do computador potencializou a projeção e possibilitou mais tempo para discussão das soluções arquitetônicas propostas. Além disso, apresentam questões relacionadas à operacionalização das atividades ao integrarem turmas de anos diferentes e discutem algumas dificuldades encontradas no processo e como foram superadas, entre outros aspectos.

O capítulo 8, de Fernando Ferraz Ribeiro, Kyane Bomfim Santos, Marina Moreira Santos Pereira, Larissa Gonçalves Maia da Silva, Julia Cruz Gaspari Veras e Marcelo Filgueiras Bastos, foi publicado na *40st International Conference of Teachers of the Disciplines of the Representation* (2018). Apresenta uma pesquisa sobre o desenvolvimento de uma ferramenta de *design* generativo que cria uma variedade de painéis vazados baseados em um simples conjunto de regras. Um fluxo de trabalho amigável é proposto, visando dar a sensação de um processo de criação à mão livre. Foram testadas e comparadas estratégias para representar a geometria, interagir com a ferramenta e

organizar o código. São discutidas também algumas características do efeito visual que emerge da aplicação de tais regras simples.

O capítulo 9 – e último texto da Parte 3 –, de Andrea Verri Bastian, foi publicado nos anais do VII Congresso Brasileiro de Energia Solar (2018). Traz uma reflexão sobre a influência da forma urbana (e consequentemente dos parâmetros urbanísticos) na produção de energia solar empregando sistemas fotovoltaicos integrados às coberturas e às fachadas das edificações. Apresenta inicialmente os tipos de painéis que podem ser aplicados às edificações, os tipos sobrepostos – *Building Attached Photovoltaics* (BAPV) – ou integrados – *Building Integrated Photovoltaics* (BIPV) – e algumas iniciativas realizadas no Brasil e em Salvador para incentivo à geração de energia fotovoltaica. Analisa, na sequência, parâmetros urbanísticos e arranjos espaciais visando compreender o comportamento da incidência solar e o sombreamento num estudo de caso no bairro da Barra, em Salvador. O estudo envolve questões complexas e, por meio da modelagem urbana, chega-se a uma reflexão sobre os parâmetros urbanísticos adotados para a cidade de Salvador e o potencial de geração de energia fotovoltaica em edifícios.

CAPÍTULO 6

CONSTRUTIBILIDADE DE FORMAS ARQUITETÔNICAS COMPLEXAS

Uma revisão sistemática da literatura¹

*Bruno Leão de Brito
Felipe Tavares da Silva
Érica de Sousa Checcucci*

INTRODUÇÃO

A geometria é o cerne do processo de projeto arquitetônico (Pottman *et al.*, 2007). Ao observá-la na história da arquitetura e construção, é possível notar o uso constante de linhas retas, conexões ortogonais e o máximo possível de repetição de elementos (Dimcic, 2011). Essas características podem ser observadas quando se analisam grandes obras arquitetônicas, por exemplo: o Palazzo Farnese, de Antonio Sangallo e Michelangelo; a Praça de São Marco; Casa da Cascata e a Casa Farnsworth, dos arquitetos Frank Lloyd Wright e Mies

1 Originalmente publicado em: Brito, Silva e Checcucci (2022).

van der Rohe, respectivamente – todas elas com grande quantidade de elementos formais retilíneos e conexões ortogonais.

No entanto, desde o Barroco, os arquitetos e projetistas têm tentado ir além do grid cartesiano e das normas de beleza e proporção estabelecidas (Kolarevic, 2003). Podem ser citadas como exemplos: a Igreja de Santo Ivo em La Sapienza, de Borromini; ou, em menor escala, as cúpulas das igrejas de San Carlo alle Quattro Fontane e Sant'Andrea al Quirinale, de Borromini e Bernini, respectivamente. Apesar desse esforço para alcançar soluções além da ortogonalidade das formas, o uso de geometrias complexas que podem ser desenvolvidas por métodos geométricos tradicionais é limitado pelas próprias técnicas de representação.

Consequentemente, o uso de modelos computacionais paramétricos, a partir da década de 1990, trouxe uma real evolução na forma das edificações (Pottman *et al.*, 2007). Além da própria liberdade formal, é possível, com o uso de modelos numéricos, explorar soluções de projeto que não estariam acessíveis por meio de outros métodos (Machairas; Tsangrassoulis; Axarli, 2014).

Oxman (2017) afirma que, em paralelo a essa liberdade formal e à melhora do desempenho da edificação, o uso de relações entre as entidades dos modelos paramétricos permite um processo de projeto baseado em um modelo associativo. Nesse modelo, essas relações passam a ser formalizadas, em contraponto ao processo de projeto tradicional em que essas relações estão apenas na mente do projetista. Essa autora, assim como Kolarevic (2003), afirma que esse método leva em consideração a organização do fluxo de trabalho, do pensamento e das características técnicas da edificação, como o material usado, o processo de fabricação e montagem e o próprio projeto em si.

Essa revolução no processo de projeto e na forma das edificações a partir da modelagem computacional, paramétrica, generativa e algorítmica permitiu que os projetistas trabalhassem com geometrias de formas complexas² de maneira mais simples. No entanto, apesar da simplificação da geração de formas complexas pelo uso de sistemas CAD³ paramétricos, generativos e algorítmicos, algumas formas geradas não possuem viabilidade imediata de

2 Superfícies euclidianas, como a hiperbólica, elíptica, com dupla curvatura, entre outras, desenvolvidas a partir do século XIX. Essas geometrias permitem a descrição de superfícies complexas, especialmente as curvas, cujo uso individual ou combinado gera formas não convencionais (Silva, 2017).

3 A sigla CAD refere-se a *Computer Aided Design*, que significa projeto assistido por computador.

construção ou compatibilidade com os materiais a serem utilizados. Isso traz a necessidade de compreensão sobre como a modelagem dessas formas nesses sistemas devem estar vinculadas aos processos de projeto, fabricação e construção.

Apesar do uso do computador para a concepção de formas complexas, o processo de projeto associativo relembra aos projetistas um dos aspectos primários da Arquitetura: a necessidade do projetista saber como construir (Austern; Capeluto; Grobman, 2018b).

A modelagem paramétrica também é abordada pelo estudo de Chen, Lim e Shao (2015), que buscaram entender a geração e fabricação de formas por meio dos processos de concepção com foco na materialização através da aplicação de técnicas de fabricação digital, trazendo um caminho da materialização das formas complexas concebidas computacionalmente. Outros estudos estão presentes na literatura desse tema, relacionando a modelagem paramétrica ao processo de fabricação e aos materiais construtivos (Quadro 1).

Segundo Oxman (2017), com o uso de algoritmos para geração de formas arquitetônicas complexas, a ênfase do desenvolvimento projetual está na relação tectônica intrínseca entre o projeto e a materialização da construção. A autora também afirma que essa relação se baseia no entendimento e no uso das características do material, bem como na materialidade definida pelas técnicas de fabricação digital adotadas e pela possibilidade de prototipagem rápida. Esse paradigma foi nomeado como projeto de fabricação baseado no material ou *Material Fabrication Design* (MFD).

QUADRO 1 – Estudos que relacionam a concepção da forma, materiais e processo de fabricação

Pesquisadores	Trabalhos desenvolvidos	Materiais utilizados	Processo de fabricação
Agkathidis (2019)	Aplicação de modelagem algorítmica para projetar e fabricar uma forma complexa no projeto de um jardim	Aço	Dobra por CNC
Tepavčević e demais autores (2017)	Descrição de método de projeto para fabricação baseado em encaixe/conexão por fricção	Madeira	Corte 2D por CNC

Pesquisadores	Trabalhos desenvolvidos	Materiais utilizados	Processo de fabricação
Willmann e demais autores (2016)	Apresentação de abordagem para montagem de estruturas de madeira	Madeira	Braço robótico
Dahy, Baszynski e Petrš (2019)	Processo experimental de construção de Pavilhão	Biocompósito	Fresagem CNC
Erdine e Kallegias (2017)	Investigação sobre a materialidade do concreto armado em métodos generativos de descoberta de formas	Concreto	Fresa e corte CNC

Fonte: elaborado pelos autores.

A partir do paradigma do MFD proposto por Oxman (2017), é possível observar e entender a concepção de formas arquitetônicas complexas por meio da relação entre o material primário utilizado, o processo de fabricação/construção da edificação e o processo de geração da forma.

Essa variedade de técnicas e processos de fabricação e montagem de estruturas que materializam as formas arquitetônicas complexas, como foi apresentada no Quadro 1, aponta para uma necessidade de sistematização desses processos, avaliando também como eles influenciam na concepção arquitetônica. Desse modo, este capítulo tem como objetivo identificar e analisar o estado da arte relativo aos processos de concepção, fabricação e montagem de formas arquitetônicas complexas, por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL).

Como resultado, é apresentada uma revisão sobre aplicação de materiais, processos de fabricação e métodos de modelagem digitais de concepção da forma que têm sido utilizados na construção de formas arquitetônicas complexas. Como desdobramento da revisão, também é discutida a relação intrínseca que esses três componentes possuem e como podem influenciar na construtibilidade e no desempenho desses tipos de geometrias.

MÉTODO

O processo de geração e construção de formas arquitetônicas complexas por algoritmos é um processo criado pelo ser humano, ou seja, um processo artificial. Esse campo de conhecimento está inserido na ciência do projeto ou *Design Science Research* (DSR). Dresch, Lacerda e Antunes Junior (2015) afirmam que o DSR tem como finalidade desenvolver um conhecimento sobre o projeto e não apenas aplicá-lo, sendo que o entendimento do processo cognitivo responsável pela elaboração do projeto desenvolvido é o ponto principal dessa metodologia.

O DSR está sendo adotado como método de pesquisa nesta investigação sobre a construtibilidade de formas complexas na Arquitetura, na qual este capítulo tem como origem e motivação. Neste atual estágio, a pesquisa procura reunir o estado da arte e verificar os principais condicionantes relacionados com a materialidade, concepção, fabricação e montagem dessas formas na Arquitetura.

Na busca por um melhor entendimento sobre o tema e para garantir a qualidade do levantamento relacionado às técnicas e aos processos existentes para concepção, geração e construção de formas arquitetônicas complexas, foi utilizado o método de RSL.

A RSL é um método de revisão bibliográfica que visa identificar, avaliar e interpretar as publicações disponíveis em bases de dados relevantes, para responder a uma questão específica de pesquisa de uma área temática ou um fenômeno de interesse (Kitchenham, 2004). Biolchini e demais autores (2005) afirmam que a revisão sistemática segue uma sequência de passos, de acordo com um protocolo desenvolvido.

Desse modo, para garantir a correta execução da RSL, ela foi dividida em três etapas distintas:

1. planejamento, que visou à definição das diretrizes para o levantamento bibliográfico;
2. desenvolvimento, quando foram aplicadas as orientações definidas na fase anterior;
3. síntese, que se configurou como o tratamento dos resultados obtidos e a sua apresentação.

A etapa de planejamento começou com o estabelecimento de um protocolo de pesquisa no qual foram estabelecidos o objetivo e a questão a ser

respondida pela RSL, assim como a população de artigos que seriam estudados, as palavras-chave que seriam usadas nos motores de busca, as bases de dados a serem consultadas, quais tipos de trabalho seriam considerados e os critérios de inclusão e exclusão de trabalhos (Quadro 2).

QUADRO 2 – Campos do protocolo de pesquisa adotados na RSL

Campos do protocolo	Parâmetro utilizado
Questão norteadora	Quais são os métodos, técnicas e materiais existentes para a geração e construção de formas arquitetônicas complexas com base em modelagem generativa algorítmica?
Trabalhos de controle utilizados como balizadores	Oxman (2017), Pottman e demais autores (2007), Kolarevic (2003) e Frazer (1995).
Objetivo da RSL	Identificar e analisar os processos existentes para geração e construção de formas arquitetônicas complexas direcionados à concepção arquitetônica e à construção de edificações.
População de artigos que será observada	Trabalhos que apresentem processos de desenvolvimento de formas arquitetônicas complexas publicados a partir de 2000.
Repositórios utilizados	Science Direct, Scopus, IEEE, Engineering Village, Association for Computing Machinery.
Características dos trabalhos considerados	Trabalhos desenvolvidos por profissionais ou estudantes de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO).
Critérios de inclusão dos trabalhos	O trabalho estar disponível em bases científicas e tratar de algum destes temas: fabricação digital de elementos arquitetônicos; fabricação de formas arquitetônicas complexas; geração de formas arquitetônicas complexas.
Critérios de exclusão dos trabalhos	Não discutir sobre Arquitetura, nem formas arquitetônicas complexas e nem técnicas generativas.

Fonte: elaborado pelos autores.

Como apresentado no Quadro 2, a RSL teve como objetivo a identificação e a análise dos processos existentes para a geração e construção de formas arquitetônicas complexas, focando no levantamento de métodos, técnicas e materiais propostos por meio da análise de trabalhos que apresentam o processo de desenvolvimento dessas formas.

Foram definidas 15 palavras-chave a partir dos trabalhos de controle, que foram organizadas em quatro grupos conceituais (*parametric architecture*; *parametric design*; *algorithms*; *constructability*) de acordo com a similaridade dos seus significados. As palavras-chaves de um mesmo grupo foram combinadas com o “OR” e os grupos foram associados com o “AND” para criar *strings* a serem aplicadas nos motores de busca dos repositórios listados no Quadro 2. A Figura 1 ilustra as sete *strings* utilizadas: o “x” nessa figura demonstra quais grupos conceituais formaram cada *string*. Por exemplo, na primeira *string*, foram combinados os termos referentes à *parametric architecture* e à *constructability*. Já na *string* 6, todos os quatro grupos foram combinados.

Após a definição das *strings*, elas foram utilizadas nos motores de busca até julho de 2021, sendo estes: Science Direct, Scopus, IEEE, Engineering Village e o Association for Computing Engineering. Entre os trabalhos levantados, foram considerados somente aqueles desenvolvidos na área da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO).

Após o levantamento dos trabalhos, estes passaram por uma primeira seleção a partir da análise do título e do resumo (*abstract*). Nessa análise, feita com o uso da ferramenta StArt⁴, foram identificados os artigos para uma leitura completa, a partir dos critérios de inclusão e exclusão estabelecidos no protocolo de pesquisa da RSL.

4 Desenvolvido por Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software. Ver em: http://lapes.dc.ufscar.br/tools/start_tool.

FIGURA 1 – Grupos de palavras-chaves e strings utilizadas nos motores de busca

	Parametric Architecture "Parametric Architecture" OR "Digital Architecture"	AND	Parametric Design "Parametric Design" OR "Free Form" OR "Form Design" OR "Parametric Design Thinking"	AND	Algorithms "Generative Algorithms" OR "Computational Design" OR "Procedural Model"	AND	Constructability "Constructability" OR "Rational Design" OR "Digital Fabrication" OR "Mass Customization"
String 1	X						X
String 2			X				X
String 3	X				X		X
String 4			X		X		X
String 5	X		X				X
String 6	X		X		X		X
String 7					X		X

Fonte: elaborada pelos autores.

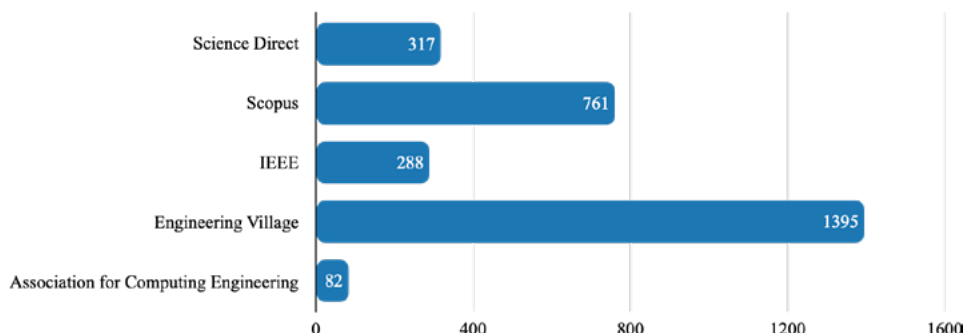
Após essa primeira seleção, os trabalhos que passaram pelo crivo estabelecido foram lidos na íntegra, o que levou à extração de informações referentes aos softwares utilizados, aos materiais e métodos aplicados, aos estudos desenvolvidos, aos objetivos principais dos trabalhos e aos critérios de análise, construtibilidade e otimização utilizados pelos autores.

A terceira e última etapa da RSL se configura como a síntese das descobertas realizadas. Após a seleção, leitura e análise dos trabalhos identificados na RSL, uma discussão foi desenvolvida. Os resultados obtidos são apresentados na seção a seguir.

RESULTADOS

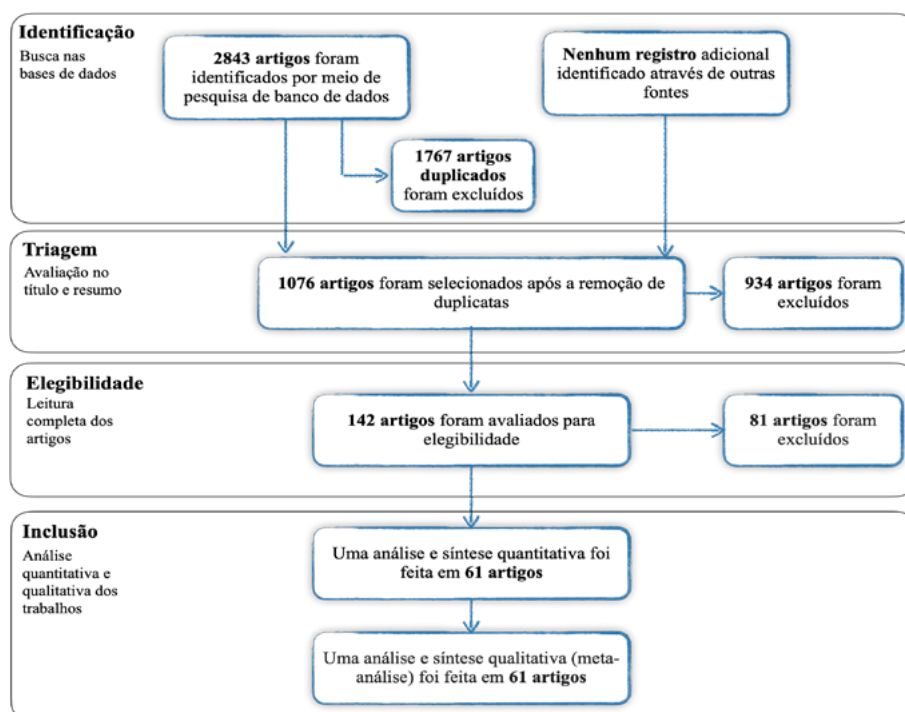
A partir da aplicação do protocolo, foram identificados nas bases pesquisadas 2.843 artigos relacionados à geração, fabricação e montagem de formas arquitetônicas complexas, entre os anos de 2000 e julho de 2021 (Figura 2).

FIGURA 2 – Quantidade de artigos encontrados por base considerada



Fonte: elaborada pelos autores.

FIGURA 3 – Fluxo para inclusão dos trabalhos na RSL



Fonte: baseada em Moher e demais autores (2009).

Entre os 2.843 artigos encontrados, 1.767 foram duplicados, ou seja, apareceram em mais de uma base considerada no levantamento. Desse modo, a pesquisa levantou um montante de 1.076 diferentes artigos que tiveram o título e o *abstract* analisados (Figura 3). Destes, 934 trabalhos foram rejeitados por não atenderem aos critérios estabelecidos no campo “População de

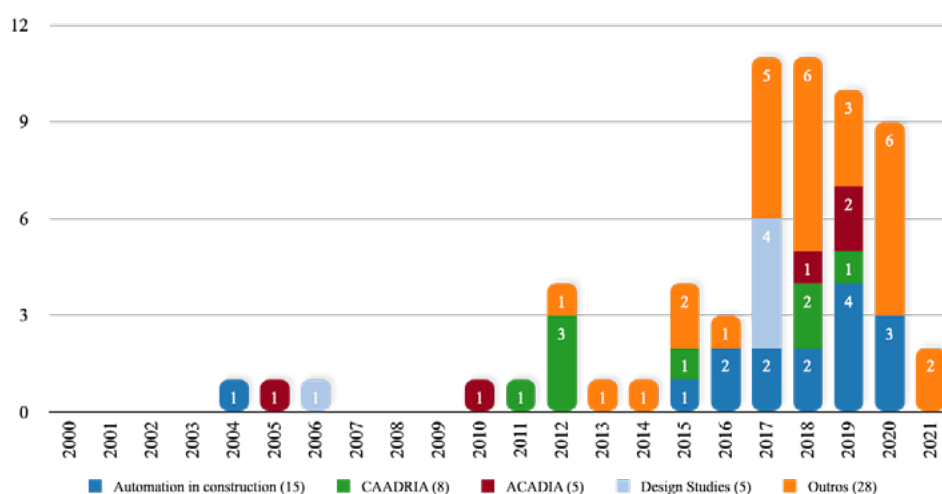
artigos que será observada” do protocolo RSL, ou seja, foram rejeitados por não apresentarem processos de desenvolvimento de formas arquitetônicas complexas. Na sequência, foram feitas a leitura na íntegra e a análise de 142 trabalhos. Dessa análise, com base no protocolo já estabelecido, 61 trabalhos foram considerados relevantes de acordo com os critérios de inclusão e exclusão já definidos (Quadro 2) por terem estreita relação com o tema investigado. A Figura 3 apresenta o fluxo de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos trabalhos na RSL.

Com a definição dos 61 trabalhos, análises quantitativas e qualitativas foram realizadas a partir da leitura completa dos artigos. A síntese das análises realizadas é apresentada nas seções a seguir.

BIBLIOMETRIA

Para um melhor entendimento sobre o montante de publicações incluídas na RSL, foi realizada uma análise bibliométrica por meio da categorização e organização dos trabalhos de acordo com o ano e a fonte da publicação. Em relação ao ano, em 2004 foi publicado o primeiro trabalho sobre o tema desta pesquisa e nota-se um aumento considerável de publicações a partir de 2012, sendo que os anos com maior quantidade de trabalhos são os de 2017 a 2019 (Figura 4).

FIGURA 4 – Distribuição das publicações por periódicos



Fonte: elaborada pelos autores.

Em relação aos periódicos e aos eventos em que os trabalhos encontrados foram publicados, é possível observar que o *Automation in Construction*, *CAADRIA*, *Design Studies* e *ACADIA* são aqueles que apresentam a maior quantidade de trabalhos relacionados ao tema (Figura 4). Essas quatro fontes acumulam um total de 33 artigos dos 61 analisados nesta RSL, configurando-se como os mais significativos para o campo de estudo.

CLASSIFICAÇÃO DOS TRABALHOS EM GRUPOS TEMÁTICOS

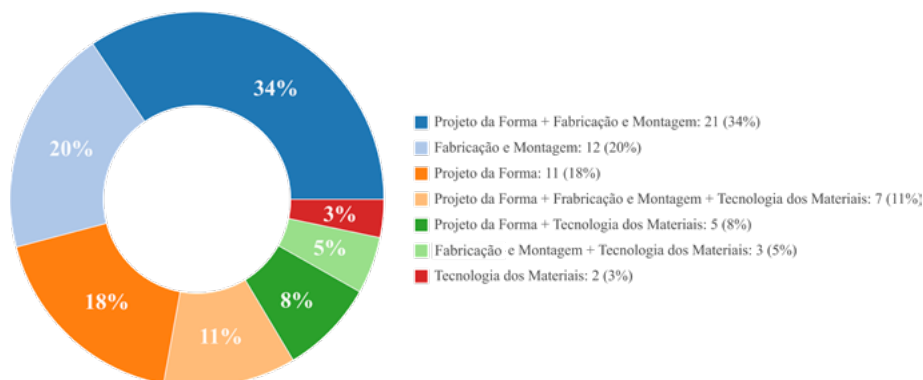
A partir dos levantamentos realizados, os artigos foram agrupados de acordo com a ênfase do trabalho desenvolvido:

- a. projeto da forma;
- b. fabricação e montagem;
- c. tecnologia dos materiais.

O primeiro grupo – projeto da forma – engloba trabalhos relativos ao processo de criação do modelo geométrico paramétrico por meio de programação, da gestão da informação do modelo (baseando-se nos princípios da modelagem da informação da construção) e a prototipagem para realização de ensaios e ajustes no processo de projeto. O segundo grupo – fabricação e montagem – englobou os processos de montagem em canteiro, os processos de fabricação e os maquinários existentes para construção de formas geometricamente complexas. Por último, o grupo “tecnologia dos materiais” abarcou as características dos materiais para permitir a criação de formas arquitetônicas complexas.

Com a leitura desses estudos, foi observado que a maioria dos artigos apresenta mais de uma ênfase, ou seja, buscava relacionar mais de um viés da construção de formas arquitetônicas complexas. A relação entre esses vieses e a participação destes no grupo de trabalhos lidos são apresentadas na Figura 5.

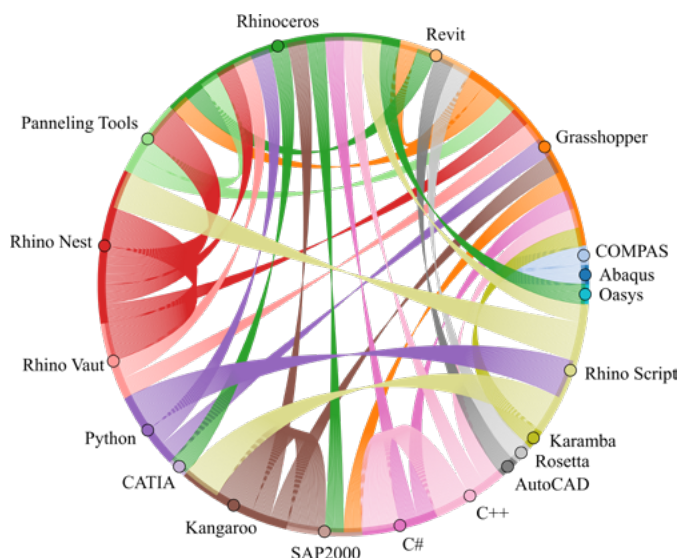
FIGURA 5 – Ênfase dos artigos



Fonte: elaborada pelos autores.

Dentre os artigos analisados, 21 deles (34%) buscaram entender e descrever a relação entre a geração da forma e o processo de fabricação, não discutindo o material construtivo adotado; oito trabalhos (13%) buscaram discutir o material construtivo e sua relação com a fabricação (cinco trabalhos) ou com o projeto da forma (três trabalhos). Do montante total, apenas 11% dos trabalhos analisados buscaram entender e descrever a relação entre os três aspectos levantados: as características dos materiais, a geração da forma e o processo de fabricação e montagem da forma.

FIGURA 6 – Relação entre ferramentas digitais utilizadas



Fonte: elaborada pelos autores.

Em paralelo, foram levantados dados relativos aos softwares utilizados nos artigos selecionados, assim como qual(is) o(s) processo(s) de fabricação aplicados e qual o material primário utilizado no estudo. Em relação aos softwares utilizados nos trabalhos analisados, observou-se um conjunto de 20 ferramentas distintas. Na Figura 6, são apresentadas essas ferramentas e as associações estabelecidas entre elas em uso integrado entre si. Essas associações são apresentadas por meio das linhas que conectam as seções do gráfico. Entre essas ferramentas, percebeu-se uma ampla utilização do software de programação visual Grasshopper, sendo que sua aplicação acontece em conjunto com outros softwares (Revit e Rhinoceros); *add-ons* (Rhino Nest, Rhino Vaut, Paneling Tool, Kangaroo e Karamba); linguagens de programação (Python, C# e C++); e motores de cálculo (SAP2000). O tamanho do arco de cada software permite identificar a quantidade de programas com os quais ele se associa e quais são eles. Por exemplo, é possível identificar que o uso do Python é citado combinado com Rhinoceros, Rhino Script e Grasshopper.

Além do Grasshopper/Rhinoceros, um software BIM, Autodesk Revit, foi utilizado como um meio de integração entre a geometria complexa em estudo e outras disciplinas da construção. Em relação à linguagem de programação, notou-se uma ampla utilização do Python para auxiliar a geração e análise da forma.

Ao investigar sobre os materiais e meios de fabricação, notou-se que o material mais utilizado nos estudos avaliados foi o concreto (dez ocorrências) seguido pela madeira (nove ocorrências) e compósitos (seis ocorrências) (Figura 7). Em relação ao processo de fabricação, o método mais usado foi aquele que faz uso de braços robóticos (nove casos), seguido pela impressão 3D (sete casos) e corte de peças com CNC (quatro casos). Importante observar na Figura 7 que a contagem de artigos apresenta dois trabalhos a menos (59) do que os trabalhos analisados (61), isso se justifica pelo fato de dois dos artigos analisados serem de revisão sistemática (Austern; Capeluto; Grobman, 2018a; Yazici; Tanacan, 2020), não apresentando a aplicação de técnicas de fabricação ou materiais.

FIGURA 7 – Relação entre materiais primários e métodos de fabricação

Material primário / Método de fabricação	Não especificado	Madeira	Aço	Concreto	Alvenaria	EPS	Compósitos	Vídeos	Materiais fibrosos	Materiais a base de água	Plástico	Espuma	Blococompósito	Barro	Bambu	Total
Não especificado	12	2		2	2		3	1							1	23
Fresa robótica de 7 eixos		1														1
CNC de dobra em 3 eixos			1													1
CNC de corte de 5 eixos		1														1
Braço robótico	2			1	1	1	2		1	1						9
Hololens					1											1
Fresa e Corte CNC		6														6
Construção robótica		1														1
CNC de dobra, corte e solda				1												1
CNC dobra			1													1
FDM (impressora 3D)	1			3			1			1				1		7
Corte de fio quente											1					1
CNC milling	1											1				2
Robô acionado por cabo					1											1
CNC T-BAR			1													1
Corte a laser	1															1
CNC flat-bed knitting machine				1												1
Total	17	11	3	8	5	1	6	1	1	1	1	1	1	1	1	59

Fonte: elaborada pelos autores.

Ao observar a Figura 7, percebe-se também que a combinação mais comum entre o material primário e o método de fabricação é entre a madeira e as máquinas CNC de corte 2D. Entre os métodos de fabricação, o braço robótico foi aquele que mais apresentou variedade de materiais, tendo exemplos de trabalhos com concreto, alvenaria, poliestireno expandido (EPS), compósitos, materiais fibrosos e materiais à base de água.

CRITÉRIOS DE CONSTRUTIBILIDADE

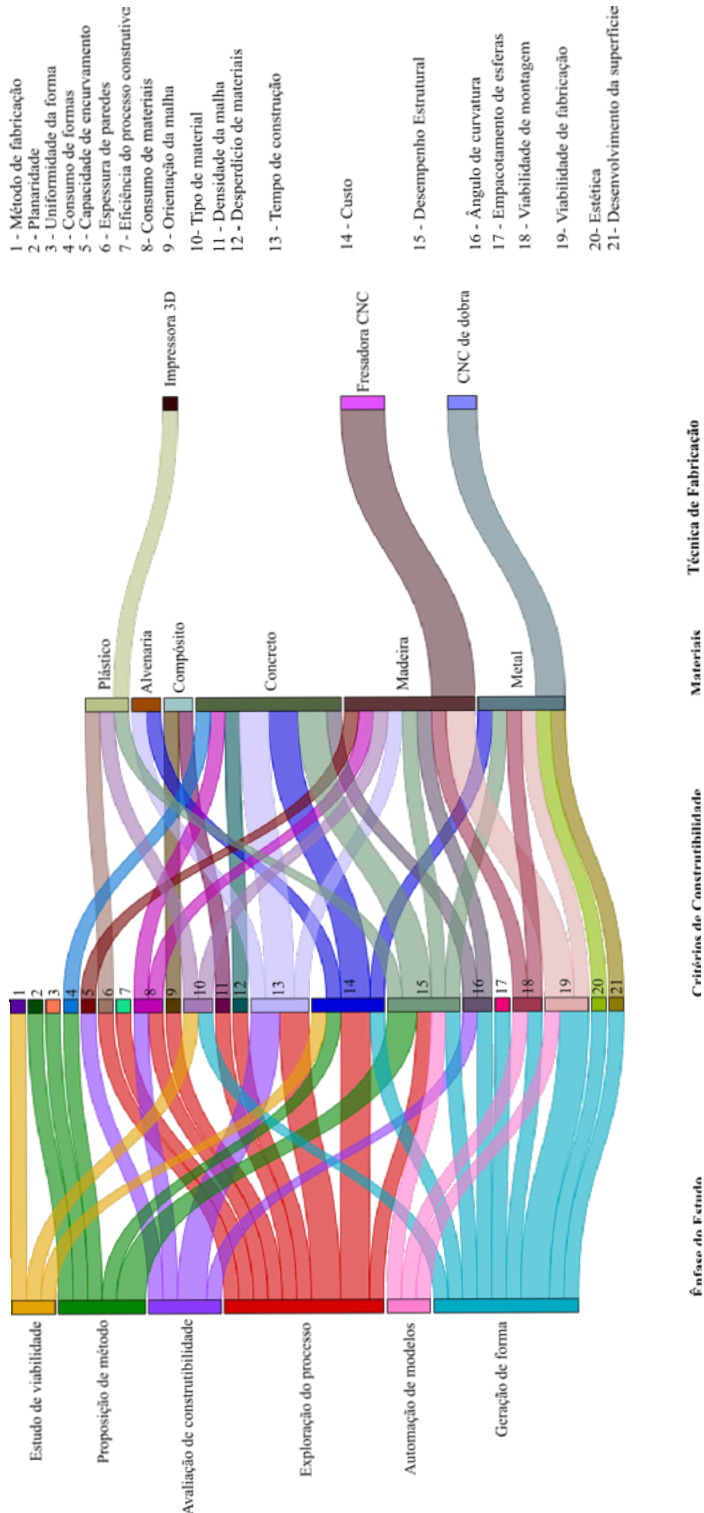
A construtibilidade deve admitir o compromisso com decisões conscientes durante a elaboração do projeto para que se tenha sucesso no processo de construção, além de não deixar de lado a preocupação com qualidade, estética, tempo e custo (Griffith, 1987). Esse termo pode ser entendido também como a capacidade de se edificar com eficiência e economia considerando os materiais, componentes e subconjuntos para os diversos níveis definidos, além de se preocupar com atividades de canteiro e com as sequências lógicas das operações e métodos de construção (Amancio, 2010).

Austern, Capeluto e Grobman (2018a) definiram a construtibilidade como a extensão do projeto que facilita a construção, estando sujeito aos requisitos gerais para o edifício concluído. Como exemplo desses requisitos, podem ser citados requisitos políticos, checklists construtivos, medidas contratuais, revisões, modelagem de sistema e modelagem da informação da construção. Por sua vez, Kifokeris e Xenidis (2017) e Sheng Ding, Salleh e Ye Kho (2020) definem a construtibilidade com a integração e aplicação dos conceitos, fundamentos e experiências de construção durante o ciclo de vida de um projeto arquitetônico.

Quando se trata de formas arquitetônicas complexas, a definição e avaliação de critérios de construtibilidade têm sido abordadas por alguns estudiosos, como Anderson e Tang (2011), Berdos, Agkathidis e Brown (2019), Nguyen, Vestartas e Weinand (2019), Hack e demais autores (2020), Salta e demais autores (2020), entre outros. Entre os critérios utilizados por esses autores podem ser citados o desempenho estrutural, as limitações do material utilizado, o custo, a capacidade da superfície complexa a ser planificada, a capacidade de dobra de determinado material, as possibilidades de fabricação, o tempo de construção, o desperdício de materiais etc.

Tais critérios foram definidos pelos autores por meio do desenvolvimento de estudos relacionados à exploração de novos processos, novos materiais e meios de geração e análise de modelos. A Figura 8 apresenta a ênfase dos estudos desenvolvidos e como estes se relacionam com os critérios de construtibilidade que foram utilizados para análise da forma arquitetônica. Além disso, quais foram os materiais utilizados e quais técnicas de fabricação digital aplicadas. Importante salientar que a Figura 8 apresenta informações trazidas por 17 artigos que entraram em detalhes sobre essas informações, dos 61 analisados neste trabalho.

FIGURA 8 – Relação entre critérios de construtibilidade relacionados pela literatura⁵



Fonte: elaborada pelos autores.

5 Imagem atualizada para este trabalho.

Os estudos que empregaram alvenaria, compósito e concreto como materiais das estruturas arquitetônicas desenvolvidas não utilizaram diretamente equipamentos CNC⁶ na produção da peça final. Nesses estudos, foram empregadas máquinas de fabricação digital para poder construir elementos que servissem de apoio para a execução da estrutura, como fôrmas e estruturas de suporte em madeira.

A partir dos trabalhos analisados, nota-se que os principais parâmetros de desempenho relacionados ao objeto arquitetônico com formas complexas são o desempenho econômico (custo), o desempenho estrutural e o tempo de construção. Esses parâmetros são utilizados para diagnosticar não só a construtibilidade da geometria, mas outros processos e etapas da construção de uma forma complexa. Isso vem corroborar com a ideia de construtibilidade apresentada por Amancio (2010).

Além disso, critérios como tipo e nível de consumo do material empregado, a necessidade de planarização e a viabilidade de fabricação também são trazidos pelos autores. Associados a outros critérios de construtibilidade, os autores buscaram sempre a análise e a otimização de mais de uma característica do objeto arquitetônico. Pode-se, então, perceber uma preocupação entre a integração do projeto, dos materiais utilizados e da construção dessas formas.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Alguns autores dos trabalhos analisados apontam que o principal ponto de estudo de uma forma arquitetônica complexa é o seu material construtivo, baseando-se na ideia de que inovação em materiais resulta em inovação na Arquitetura (Correa; Krieg; Meyboom, 2019; Menges, 2010). Desse modo, enfatizam que a criação das formas complexas está diretamente ligada à capacidade dos materiais atenderem aos esforços estruturais assim como à compatibilidade com o processo de fabricação que essas formas exigem.

Nos estudos levantados por essa revisão, foi observado que a arquitetura como prática material é predominantemente baseada em abordagens projetuais que se caracterizam por uma relação hierárquica que prioriza a geração de informações geométricas. Tais informações servem para a descrição

6 A sigla CNC refere-se à *Computer Numeric Control*, que significa comando numérico computadorizado.

de sistemas e elementos arquitetônicos em detrimento de outras informações (Menges, 2010), ou seja, a forma arquitetônica ainda é abordada por um viés formalista. No entanto, os objetos arquitetônicos com formas complexas estão apoiados por um tripé, base dos campos de conhecimento:

- a. a tecnologia do material que irá compor a estrutura que dá sustentação à forma;
- b. os processos de fabricação e montagem utilizados na materialização do objeto;
- c. a concepção e o projeto da forma.

A abordagem centrada no material está de acordo com a proposta de Oxman (2017), propondo uma inversão no processo de projeto tradicional, em que se muda do pensamento forma-estrutura-material para o material-estrutura-forma.

Essa inversão no pensamento projetual e a possibilidade de integração entre forma, materialidade, tectônica e funções relacionadas às formações arquitetônicas possibilitam o desenvolvimento de projetos orientados ao desempenho (Erdine; Kallegias, 2017). No entanto, Duro-Royo, Mogas-Soldevila e Oxman (2015) e Correa, Krieg e Mayboom (2019) apontam que as ferramentas convencionais de projeto paramétrico geralmente contêm dados geométricos e topológicos de construções virtuais, mas não possuem meios robustos para integrar propriedades de composição de materiais nos modelos virtuais.

Nesse sentido, Yang, Loh e Leggett (2018) defendem a abordagem *bottom-up material approach to design*, na qual o desenvolvimento da forma e consequentemente do projeto deve partir das especificações dos materiais construtivos. Essa abordagem é também apontada pela Oxman (2017) como o *Material Fabrication Design* (MFD), em que se entende que a exploração das propriedades e comportamentos dos materiais, assim como a exploração dos processos e técnicas de fabricação digital, direciona o desenvolvimento do projeto. Dessa maneira, na modelagem paramétrica aplicada ao projeto de Arquitetura, há uma alteração do processo projetual, em que a fabricação e o material podem estar em uma posição dominante de definição de diretrizes formais do objeto arquitetônico. Como exemplo, Correa, Krieg e Meyboom (2019) apresentaram o processo de projeto, fabricação e montagem levando

em consideração as limitações impostas pelo material nas etapas na criação de estruturas que apresentassem dupla curvatura.

Além do material e com base na ideia de que o projeto de edificações precisa atender a múltiplos requerimentos (Christodoulou; Vola; Rikken, 2018), entre eles o próprio processo de fabricação e montagem, a ação de projetar formas complexas traz a necessidade de conhecimentos relacionados a novas técnicas construtivas (Austern; Capeluto; Grobman, 2018a). Como exemplo, podem ser citadas a fabricação manual guiada, a fabricação híbrida e a fabricação robótica adaptável (Sun *et al.*, 2018).

Segundo Sun e demais autores (2018), a fabricação manual guiada se baseia nos construtores humanos, tendo orientação visual sobre a operação em objetos reais por meio de exibições com uso de realidade aumentada. Já a fabricação robótica adaptável se baseia nas máquinas controladas por um programa que lidam de maneira autônoma com todas as incertezas do local através de sensores, avaliando os efeitos da operação e as mudanças do ambiente em tempo real. Por sua vez, a fabricação híbrida pode ser entendida como construtores humanos e máquinas programadas interagindo entre si durante todo o processo (Sun *et al.*, 2018).

Essas técnicas, que podem ser consideradas uma subcategoria do CAD/CAM⁷ (Chen; Lin; Shao, 2015), possibilitam a construção de formas complexas. No entanto, a adoção destas trazem novas restrições construtivas (Hack *et al.*, 2020) que devem ser levadas em consideração desde o momento da concepção arquitetônica e que forçam a adaptação dos processos de projeto para um fluxo digital. Chen, Lin e Shao (2015) afirmam que essa adaptação de fluxo deve servir como impulso aos arquitetos e projetistas para desenvolvimento de novas abordagens projetuais, que levem o processo criativo a novos diálogos e colaboração. Tal adaptação move a indústria da construção para a era digital (Soto *et al.*, 2018).

Ao tentar conectar a fabricação e a montagem com outras etapas da concepção e construção de formas arquitetônicas complexas, Tepavčević e demais autores (2017) e Austern, Capeluto e Grobman (2018a) buscaram estudar como pensar o projeto já visando à fabricação. Tepavčević e demais autores (2017) estabeleceram um método de projeto para fabricação baseado em um sistema de produção com uma CNC 2D e conexões de encaixe por fricção. Austern,

7 Como dito em notas anteriores, CAD refere-se a *Computer Aided Design*. Já a sigla CAM refere-se a *Computer Aided Manufacturing* – manufatura assistida por computador.

Capeluto e Grobman (2018a) estudaram como ocorre o processo de fabricação e elementos de concreto com geometria complexa por meio da fabricação das formas e do planejamento do uso da CNC. Com isso, eles introduziram limitantes do processo de fabricação no processo de projeto, mostrando a necessidade da racionalização da forma ainda durante sua concepção⁸.

Por sua vez, Loing e demais autores (2020) desenvolveram um estudo para criar geometrias de blocos que permitissem a montagem de elementos com duplas curvaturas com uso de braços robóticos. Eles observaram durante o estudo que montagem *in situ* requer técnicas robustas para localizar componentes, visto que o canteiro de obras é um ambiente agressivo e com muito mais variabilidade que um laboratório ou fábrica.

Além das novas abordagens projetuais, o projeto de formas arquitetônicas complexas faz com que os profissionais relembrem a necessidade de saber como construir (Austern; Capeluto; Grobman, 2018a). Justamente por isso, os pesquisadores citados defendem, assim como Pottman e demais autores (2007), que simuladores de fabricação devem ser integrados ao processo de modelagem. Tepavčević e demais autores (2017) corroboram esse pensamento ao afirmarem a importância de o processo de projeto levar em consideração a fabricação e a construção da forma complexa. Ou seja, um dos principais desafios a serem vencidos nesse tipo de projeto é a viabilidade construtiva (Tepavčević *et al.*, 2017) ou a construtibilidade.

O desafio de viabilidade técnico-construtiva pode ser encarado com o próprio uso dos algoritmos para geração das formas complexas, pois, segundo Agkathidis (2019), há maior acessibilidade por parte de projetistas a ferramentas especializadas, algoritmos e *scripts* de geração e análise da forma. Tais algoritmos podem funcionar como ferramentas de otimização topológica (Salta *et al.*, 2020), além de introduzir a capacidade de implementar mudanças mais rápidas a estudos de soluções no desenvolvimento do projeto (Caetano; Leitão, 2018). Essas características possibilitam, por exemplo, o estudo de estabilidade estrutural ao mesmo tempo em que se estuda a redução ao mínimo necessário do consumo de material estrutural, como apontado por Salta e demais autores (2020).

Austern, Capeluto e Grobman (2018a) desenvolveram um método computacional para avaliar a construtibilidade de elementos arquitetônicos de

8 Segundo esses autores, essa racionalização tem sido negligenciada durante a fase de projeto (Austern; Capeluto; Grobman, 2018a).

concreto com geometria complexa. Os autores notaram que projetos contemporâneos dificilmente podem ser construídos da maneira como foram pensados inicialmente, necessitando de um processo de simplificação e adaptação, processo esse conhecido como racionalização. Já Christodoulou, Vola e Rikken (2018) desenvolveram uma ferramenta computacional, utilizando o Grasshopper e o Rhinoceros, para permitir que projetistas chequem automaticamente critérios de desempenho, como área por apartamento, área de terraço, checagem estrutural, horas de sol e carga solar por ambiente e limitações de privacidade.

Outro ponto a ser observado é que o grande número de formas singulares requer a geração automática de seus modelos (Nguyen; Vertatas; Weinand, 2019), o que só é possível por meio do uso de algoritmos generativos. Além disso, tais formas singulares impulsionam a customização em massa (Monizza; Rauch; Matt, 2017), o que reforça o uso de técnicas de fabricação digital e a movimentação da indústria da construção para a era digital, como apontado anteriormente.

Com base nesses pensamentos, o *Fabrication Driven Design* ou projeto orientado à fabricação, conceito trazido por Austern, Capeluto e Grobman (2018a), apresenta a ideia de os projetistas conscientemente usarem geometrias que possam ser construídas por meio de um método específico. Ou seja, no projeto orientado à fabricação, a definição da técnica construtiva e do método de fabricação e montagem é escolhida tradicionalmente antes da forma ser criada. Desse modo, entender os processos e suas limitações configura etapa importante para a construção do objeto arquitetônico com formas complexas.

TRÍADE DAS FORMAS COMPLEXAS ARQUITETÔNICAS

Esta RSL trouxe elementos para lidar com a complexidade do processo de criação de formas complexas na Arquitetura, sobretudo a necessidade pujante de se considerar o uso de modelagem generativa algorítmica no processo de concepção da forma. Observou-se que todos os trabalhos analisados se utilizam da modelagem paramétrica e da modelagem generativa.

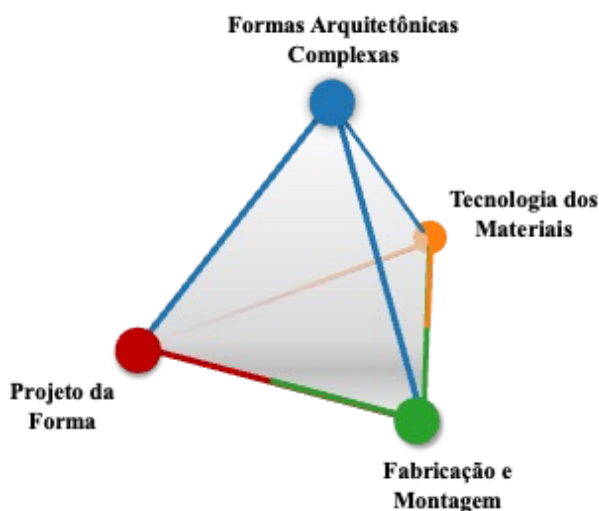
Historicamente, a primeira demanda em relação à adoção das formas arquitetônicas complexas foi a necessidade de representá-las, mas seu uso evoluiu, possibilitando aos projetistas não apenas gerarem as formas, como também obterem um melhor desempenho da edificação por meio da

realização de uma série de simulações numéricas e análises na etapa inicial de concepção e projeto.

Essas simulações computacionais permitem o estudo de uma quantidade de cenários que não seria possível com as técnicas tradicionais de projeto arquitetônico, realizando simulações diversas, como estruturais, de eficiência energética, de consumo de materiais, de custo de construção, viabilidade construtivas, entre outras.

No entanto, para tal, é preciso que os projetistas tenham conhecimento sobre as técnicas construtivas (processos de fabricação e montagem) que serão aplicadas e sobre os materiais que serão utilizados. Ou seja, o uso do projeto paramétrico viabiliza o desenvolvimento de um projeto baseado não só na forma, mas também nas características dos materiais, no processo de fabricação e montagem e na efetividade da relação entre eles.

FIGURA 9 – Tríade de construtibilidade para formas arquitetônicas complexas



Fonte: elaborada pelos autores.

Com base nisso, notou-se que três características devem ser consideradas no processo de concepção da forma arquitetônica complexa para que esta tenha eficácia na sua construção. Na Figura 9, há uma conexão e relação entre os materiais utilizados, os processos de fabricação e montagem e a geração da forma, formando juntos a base para as formas arquitetônicas complexas.

No projeto paramétrico, os materiais que irão compor a arquitetura passam a exercer um papel fundamental na definição da forma a partir das suas características (elasticidade, dureza, maleabilidade, ductibilidade, resistência, entre outras). Logo, para que seja garantida a eficácia construtiva, fica evidente que é preciso entender as características dos materiais em termos de potencialidades e limitações para a proposição de formas que possam ser sustentadas pelos materiais que a compõem.

Por outro lado, o processo de fabricação e montagem deve ser aplicável ao material selecionado e para a forma projetada. Por exemplo, não é possível trabalhar com dobras em chapas grossas de madeira, ao contrário de chapas metálicas finas. Desse modo, o material e o processo de fabricação (subtrativo, formativo, aditivo, assim como o próprio maquinário) e montagem (planejamento e construção) passam a definir diretamente a viabilidade da construção da forma.

Além de direcionar o desenvolvimento da forma em consonância com a escolha do material, a preocupação com o processo de fabricação permite a concepção de estruturas que apresentem construtibilidade. Ou seja, a preocupação com a exequibilidade da construção da forma passa a existir antes de outras análises, relacionadas à sua eficiência, como o tempo de construção.

Por sua vez, o projeto da forma diz respeito à criação do modelo paramétrico, à gestão da informação e à prototipagem para criação da arquitetura. Esse vértice da tríade é alimentado pelas informações e características do material que será utilizado, assim como do processo de fabricação e montagem que será aplicado. Desse modo, os processos de modelagem, o detalhamento, as representações, as simulações, a linguagem de programação que será utilizada, a gestão da informação, as maquetes e os protótipos que serão utilizados, dentre outros, são definidos a partir das informações advindas do material e do processo de fabricação usados. Ou seja, para formas arquitetônicas complexas, a materialidade deve influenciar diretamente a geração da forma. Isso pode ser observado por meio dos trabalhos analisados, que evidenciam como alicerces para as formas arquitetônicas complexas a integração entre o processo de geração da forma, as propriedades dos materiais e o processo de fabricação e montagem. Além disso, entender o projeto de formas arquitetônicas complexas como um processo e não simplesmente como a representação de uma forma singular traz a possibilidade de obter melhor eficiência e eficácia ao longo de todo o processo construtivo e vida útil da edificação.

Esta RSL mostrou que, apesar de haver estudos que buscaram desenvolver formas arquitetônicas complexas aplicando de maneira integrada os três pontos da tríade apresentada (projeto da forma, tecnologia dos materiais e fabricação e montagem), não existe ainda uma visão sistematizada sobre o tema. Existem propostas que giram em torno de determinado material ou técnica de fabricação específica. Diante disso, percebe-se uma lacuna na área, como a falta de um método consolidado para desenvolvimento de formas arquitetônicas complexas visando à construtibilidade.

CONCLUSÕES

A construtibilidade de formas arquitetônicas complexas está ligada diretamente às características dos materiais, ao processo de fabricação e montagem e ao processo de geração da forma. Essa conclusão vem como consequência da revisão sistemática realizada, ainda que nem todos os trabalhos evidenciem a ligação simbiótica que a tríade apresentada traz.

Além dessa tríade, alguns conceitos e termos se relacionam com o tema e podem ser pensados ao se trabalhar com formas complexas, como:

- a. racionalização;
- b. gestão da informação;
- c. desempenho;
- d. otimização;
- e. projeto orientado à fabricação;
- f. simulação da fabricação.

Este trabalho apresenta e discute os resultados de uma RSL sobre o tema, na qual foram analisados 61 artigos entre os 142 resultados encontrados, que permitiu compreender como se dá o processo de criação das formas complexas, além de indicar lacunas para orientação de futuros trabalhos que venham a abordar o tema.

A leitura dos artigos permitiu melhor compreensão sobre o processo construtivo de formas arquitetônicas complexas e como o processo de produção dessas formas envolve os materiais construtivos, os processos de fabricação e a programação para geração do modelo. A lacuna identificada aponta para

uma direção de pesquisa que pode contribuir para um desenvolvimento e uso mais amplo desse tipo de concepção arquitetônica.

Além disso, ao buscar as correlações apresentadas neste trabalho, foi possível vislumbrar a grande quantidade de materiais, maquinário e ferramentas digitais existentes e aplicáveis no processo de geração, análise e construção dessas formas, além de observar como estes podem interferir na concepção da forma arquitetônica complexa, apontando uma oportunidade de estudos mais aprofundados que as relacionem.

A lacuna apontada servirá como diretriz para o desenvolvimento de futuros trabalhos por parte dos autores. Primeiramente, será investido no estudo sobre a construtibilidade em formas arquitetônicas complexas geradas a partir de modelagem algorítmica, em que o objetivo será organizar e sistematizar a relação entre as três características para o desenvolvimento desse tipo de arquitetura. Outra possibilidade de estudo futuro é o desenvolvimento de uma ferramenta computacional que auxilie na análise quantitativa, de maneira automática, da construtibilidade enquanto se desenvolve a forma arquitetônica complexa.

REFERÊNCIAS

- AGKATHIDIS, A. Dark matter garden: a case study in algorithmic modelling and digital fabrication of complex steel structures. *Frontiers of Architectural Research*, Liverpool, v. 8, n. 3, p. 303-310, Sept. 2019.
- AMANCIO, R. C. A. *Identificação de fatores de construtibilidade que influenciam as fases do processo de projeto em pequenos escritórios de arquitetura: estudo de casos em Curitiba (PR)*. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- ANDERSON, J.; TANG, M. Form follows parameters: parametric modelling for fabrication and manufacturing processes. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER-AIDED ARCHITECTURAL DESIGN RESEARCH IN ASIA*, 16., 2011, Hong Kong. *Proceedings* [...]. Hong Kong: Caadria, 2011. p. 91-100.
- AUSTERN, G.; CAPELUTO, I. G.; GROBMAN, Y. J. Evaluating the buildability of architectural geometries: embedding fabrication awareness into the design of concrete elements. *In: CONFERENCE ON ARCHITECTURE AND CIVIL ENGINEERING*, 6., 2018, Singapore. *Proceedings* [...]. Singapore: Ace, 2018a.

- AUSTERN, G.; CAPELUTO, I. G.; GROBMAN, Y. J. Rationalization methods in computer aided fabrication: a critical review. *Automation in Construction*, [Netherlands], v. 90, p. 281-293, June 2018b.
- BERDOS, Y.; AGKATHIDIS, A.; BROWN, A. Architectural hybrid material composites: computationally enabled techniques to control form generation. *Architectural Science Review*, Liverpool, v. 63, n. 2, p. 154-164, Sept. 2019.
- BIOLCHINI, J. *et al. Systematic review in software engineering*. Rio de Janeiro: COPPE / UFRJ, 2005. Technical report RT – ES 679 / 05.
- BRITO, B. L.; SILVA, F. T.; CHECCUCCI, É. S. Construtibilidade de formas arquitetônicas complexas: uma revisão sistemática da literatura. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 22, n. 3, p. 159-175, jul./set. 2022. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.
- CAETANO, I.; LEITÃO, A. Integration of an algorithmic BIM approach in a traditional architecture studio. *Journal of Computational Design and Engineering*, [Republic of Korea], v. 6, n. 3, p. 327-336, July 2019.
- CHEN, Z.-R.; LIM, C.-K.; SHAO, W.-Y. Comparisons of practice progress of digital design and fabrication in free-form architecture. *Journal of Industrial and Production Engineering*, [United Kingdom], v. 32, n. 2, p. 121-132, Mar. 2015.
- CHRISTODOULOU, A.; VOLA, M.; RIKKEN, G. Case study for the application of multidisciplinary computational design assessment and constructability optimization tools. In: SYMPOSIUM ON SIMULATION FOR ARCHITECTURE AND URBAN DESIGN, 1., 2018, Delft. *Proceedings [...]*. Delft: Tu Delft, 2018.
- CORREA, D.; KRIEG, O. D.; MEYBOOM, A. Beyond form definition: material informed digital fabrication in timber construction. In: BIANCONI, F.; FILIPPUCI, M. (ed.). *Digital wood design: innovative techniques of representation in architectural design*. Switzerland: Springer, 2020. p. 61-92.
- DAHY, H.; BASZYNSKI, P.; PETRŠ, J. Experimental biocomposite pavilion: segmented shell construction – design, material development and erection. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE ASSOCIATION FOR COMPUTER AIDED DESIGN IN ARCHITECTURE, 39., 2019, Austin. *Proceedings [...]*. Austin: ACADIA, 2019.
- DIMCIC, M. *Structural optimization of grid shells based on genetic algorithms*. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia) – Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen, Universität Stuttgart, Stuttgart, 2011.
- DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JUNIOR, J. A. V. Design science: the science of the artificial. In: DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JUNIOR, J. A. V. *Design science research: a method for science and technology advancement*. New York: Springer, 2015.

DURO-ROYO, J.; MOGAS-SOLDEVILA, L.; OXMAN, N. Flow-based fabrication: an integrated computational workflow for design and digital additive manufacturing of multifunctional heterogeneously structured objects. *Computer-Aided Design*, [United Kingdom], v. 69, p. 143-154, Dec. 2015.

ERDINE, E.; KALLEGIAS, A. Interwoven reinforced concrete structures: Integration of design and fabrication drivers through parametric design processes. *Design Studies*, [United Kingdom], v. 52, p. 198-220, Sept. 2017.

FRAZER, J. The nature of the evolutionary model. In: FRAZER, J. *An evolutionary architecture*. London: Architectural Association, 1995.

GRIFFITH, A. *An investigation into factors influencing buildability and levels of productivity for application to selecting alternative design solutions*: a preliminary report. London: The Chartered Institute of Building, 1987.

HACK, N. *et al.* Structural stay-in-place formwork for robotic in situ fabrication of nonstandard concrete structures: a real scale architectural demonstrator. *Automation in Construction*, [Netherlands], v. 115, p. 103197-103213, July 2020.

KIFOKERIS, D.; XENIDIS, Y. Constructability: outline of past, present, and future research. *Journal of Construction Engineering and Management*, [United States], v. 143, n. 8, Aug. 2017.

KITCHENHAM, B. *Procedures for performing systematic reviews*: joint technical report. Keele: Keele University TR/SE-0401, 2004. Disponível em: <http://www.inf.ufsc.br/~aldo.vw/kitchenham.pdf>. Acesso em: 9 July 2004.

KOLAREVIC, B. Digital morphogenesis. In: KOLAREVIC, B. (ed.). *Architecture in the digital age: design and manufacturing*. New York: Taylor & Francis, 2003.

LOING, V. *et al.* Free-form structures from topologically interlocking masonries. *Automation in Construction*, [Netherlands], v. 113, p. 103117-103133, May 2020.

MACHAIRAS, V.; TSANGRASSOULIS, A.; AXARLI, K. Algorithms for optimization of building design: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [United Kingdom], v. 31, p. 101-112, Mar. 2014.

MENGES, A. Material information: integrating material characteristics and behavior in computational design for performative wood construction. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE ASSOCIATION FOR COMPUTER AIDED DESIGN IN ARCHITECTURE, 12., 2010, New York. *Proceedings [...]*. New York: ACADIA, 2010.

MOHER, D. *et al.* Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the prisma statement. *Plos Medicine*, [San Francisco], v. 6, n. 7, July 2009.

MONIZZA, G. P.; RAUCH, E.; MATT, D. T. Parametric and generative design techniques for mass-customization in building industry: a case study for glued-laminated timber. *Procedia Cirp*, [Amsterdam], v. 60, p. 392-397, 2017.

- NGUYEN, A. C.; VESTARTAS, P.; WEINAND, Y. Design framework for the structural analysis of free-form timber plate structures using wood-wood connections. *Automation in Construction*, [Netherlands], v. 107, p. 1-13, Nov. 2019.
- OXMAN, R. Thinking difference: theories and models of parametric design thinking. *Design Studies*, [United Kingdom], v. 52, p. 4-39, Sept. 2017.
- POTTMAN, H. *et al.* *Architectural Geometry*. Pennsylvania: Bentley Institute Press, 2007.
- SALTA, S. *et al.* Adaptable emergency shelter: a case study in generative design and additive manufacturing in mass customization era. *Procedia Manufacturing*, [Amsterdam], v. 44, p. 124-131, 2020.
- NG DING, C.; SALLEH, H.; YE KHO, M. Constructability research trends: a review and future directions. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, [Batu Pahat], v. 11, n. 1, p. 7-17, Apr. 2020.
- SILVA, J. P. A. *As geometrias euclidianas e não-euclidianas*. 2017. Dissertação (Mestrado Profissional em Matemática) – Instituto de Matemática Pura e Aplicada, Rio de Janeiro, 2017.
- SOTO, B. G. *et al.* Productivity of digital fabrication in construction: cost and time analysis of robotically built wall. *Automation in Construction*, [Netherlands], v. 92, p. 297-311, Aug. 2018.
- SUN, C. *et al.* Hybrid fabrication: a freeform building process with high onsite flexibility and acceptable accumulative error. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE ASSOCIATION FOR COMPUTER AIDED DESIGN IN ARCHITECTURE, 38., 2018, Mexico City. *Proceedings* [...]. Mexico City: ACADIA, 2018.
- TEPAVČEVIĆ, B. *et al.* Design to fabrication method of thin shell structures based on a friction-fit connection system. *Automation in Construction*, [Netherlands], v. 84, p. 207-213, Dec. 2017.
- WILLMANN, J. *et al.* Robotic timber construction: expanding additive fabrication to new dimensions. *Automation in Construction*, [Netherlands], v. 61, p. 16-23, Jan. 2016.
- YANG, X.; LOH, P.; LEGGETT, D. Robotic variable fabric formwork. *Journal of Computational Design and Engineering*, [Republic of Korea], v. 6, n. 3, p. 404-413, July 2019.
- YAZICI, S.; TANACAN, L. Material-based computational design (MCD) in sustainable architecture. *Journal of Building Engineering*, [United Kingdom], v. 32, p. 1-12, Nov. 2020.

CAPÍTULO 7

ATELIÊ DIGITAL INTEGRADO

Segundo ano da experiência de ensino de projeto
arquitetônico mediado por computador¹

*Sergio Dias Maciel
Arivaldo Leão de Amorim
Érica de Sousa Checcucci
Kyane Bomfim Santos*

INTRODUÇÃO

O ensino da projeção arquitetônica mediada por computador, se conduzido adequadamente, pode potencializar o processo de ensino-aprendizagem de alunos desde os primeiros semestres do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo. Adotando-se recursos digitais na projeção – ainda na etapa de fundamentação, na realização de pesquisas iniciais e na busca por projetos de referências, passando pelo apoio na concepção e no desenvolvimento das propostas –, é possível destinar um maior tempo do curso para que professores e alunos possam discutir mais sobre a arquitetura e a prática projetual, uma

1 Originalmente publicado em: Maciel, Amorim, Checcucci e Santos (2021).

vez que se pode racionalizar e otimizar questões referentes à representação arquitetônica e a outras rotinas de projeto.

Com o objetivo de aprofundar a discussão que envolve o ensino e a aprendizagem do projeto arquitetônico em ambiente digital na graduação em Arquitetura e Urbanismo, foram realizadas duas turmas, denominadas de Ateliê Digital, na Universidade Federal da Bahia (UFBA), com o amplo emprego de recursos digitais, conforme apresentado em Maciel (2019).

A primeira turma foi realizada em 2016 na disciplina Ateliê I – cujo código é ARQ016 –, com alunos do primeiro ano do curso, cujo rendimento foi considerado altamente positivo pelos professores envolvidos e foi discutido em artigo publicado na revista *Gestão & Tecnologia de Projetos* (Maciel, Amorim, Checcucci, 2018). O resultado obtido em 2016 motivou em 2017 a oferta da segunda turma, constituída pelas disciplinas Ateliê I – ARQ016 (com novos alunos ingressantes) e Ateliê II – ARQ024 (alunos de segundo ano que haviam cursado o Ateliê Digital em 2016). Além de aprimorar os métodos de ensino e aprendizagem propostos no ano anterior, em 2017 adicionou-se o desafio de trabalhar com duas disciplinas de forma integrada, com alunos de dois anos diferentes. Este capítulo enfoca, apresenta e discute essa segunda abordagem.

A projeção arquitetônica e o ensino

As atividades de projeção arquitetônica costumam seguir rotinas tradicionais que envolvem a discussão sobre o problema arquitetônico e a pesquisa envolvendo o tema e as restrições, os aspectos legais, técnicos e de recursos, conforme Silva (1998) e Lawson (2010). Também são comuns as abordagens ao projeto segundo métodos heurísticos descritos por Broadbent (1973) e Rowe (1991), os mundos projetuais de Mitchell (2010) e estudos de composição descritos por Mahfuz (1995).

Durante a projeção, objetiva-se como síntese para o problema arquitetônico a construção do partido arquitetônico, conforme Silva (1998) e Neves (1998), a partir da definição do programa de necessidades, pré-dimensionamento, estudo de relações funcionais (funcionogramas) e dos diversos fluxos utilizando-se de diagramas.

Na avaliação do partido arquitetônico e do seu refinamento nas etapas subsequentes, é levada em consideração a qualidade arquitetônica que, segundo Voordt e Wegen (2013), diz respeito a qualidades espaciais como coerência na elaboração da forma, a integração entre o interior e o exterior, a legibilidade na elaboração dos espaços, a estrutura na adoção do partido e

a compatibilidade do sistema construtivo. Mahfuz (2003) também destaca a importância do lugar e sua inter-relação com o projeto e sua construção.

Para Mahfuz (2003) e Malard (2005), o aprendizado da projeção arquitetônica ocorre por meio da prática projetual, desenvolvida em disciplinas curriculares (as de Ateliê, por exemplo) cujo objetivo é resolver problemas projetuais propostos ao longo do curso. As soluções dos alunos retornam aos professores para que ocorram verificação e validação, segundo a reflexão crítica e experiência de cada professor. É pelo acúmulo de informações e experiências adquiridas na projeção, quando são realizadas pesquisas, experimentações e argumentações, que ocorre a transmissão do conhecimento arquitetônico.

Schon (2000) descreve que os ateliês – individuais ou coletivos – são similares à prática profissional, que possuem rituais próprios em um processo de “aprender através do fazer”, destacando-se as figuras do instrutor e aluno como agentes do que descreve como “ensino prático-reflexivo”². Esse processo é visto como difuso, pois o aprendizado ocorre no relacionamento entre os participantes, de modo inconsciente a partir de novos raciocínios e estratégias de ação. Cada nova experiência traz reflexões ao aluno num processo de criação de um repertório próprio. Esse processo, de modo contínuo, possibilita novas experiências, enriquecendo o aluno.

Para Malard (2018), a projeção deve conectar ideias, teorias e inspirações para serem arregimentadas em uma solução por meio de uma análise crítica. Fazem parte dos exercícios de projeção grupos distintos de conhecimentos, sendo estes os fundamentos técnicos, os fundamentos filosóficos, teóricos e metodológicos, além da instrumentação, que, articulados conjuntamente, subsidiam a síntese arquitetônica como uma das partes que compõem a projeção.

Com relação ao ensino-aprendizagem, Janot (2003) e Vargas (2005) apontam para uma possibilidade de inversão do foco em sala de aula, ou seja, em vez de privilegiar o conhecimento do professor, o ensino deve centrar-se no aluno e em suas habilidades, com diferentes metodologias aprimorando o processo educativo. Nesse caso, o professor assume um papel de mediador do conhecimento, devendo estimular a autonomia dos alunos nas atividades de projeção e na busca pela melhor resolução dos problemas propostos, além de incentivá-los a identificarem

2 Schon (2000) descreve o processo de ensino no ateliê em que os instrutores desenvolvem, por meio de suas práticas, a transmissão de seu conhecimento e experiências aos alunos, de modo que estes possam fazer reflexões na projeção.

e combinarem diferentes ferramentas e recursos. As transformações que são exigidas como novas metodologias de ensino fazem parte da metodologia ativa.

Com relação à metodologia ativa, Moran (2013) diz que a aprendizagem ocorre em três movimentos distintos: o individual, com o aluno em seu percurso; em grupo, com as relações entre seus semelhantes; e o orientado, com o auxílio dos mais experientes. No processo de ensino-aprendizagem, os alunos devem ser incentivados a serem os produtores de conhecimento e não somente receptores, sendo o compartilhamento do conhecimento fundamental devido à complexidade e à dinamicidade dos ambientes sociais. Afirmar ainda que, nos casos em que há necessidade da transformação no ensino e no papel de seus participantes, a tecnologia facilita a aproximação e a colaboração entre todos (Moran, 2013).

Para Camargo e Daros (2018), é necessário que o aluno tenha condições de transitar entre as diferentes formas de ensino com autonomia. Eles destacam importantes abordagens como as discussões em grupo, a prática do conhecimento e o ensino ao outro. Dessa forma, têm sido recorrentes tentativas de mudanças ou de enriquecimento no processo de ensino da projeção arquitetônica, não apenas com relação à utilização da instrumentação e de novos recursos digitais, mas também relacionadas à articulação dos agentes participantes do processo de ensino-aprendizagem.

Barison (2015) destaca diferentes formas de constituir grupos para desenvolvimentos de projetos³, como o Ateliê de Projetos Interníveis (reunindo alunos de cursos diferentes e em diferentes níveis) e Ateliê de Projeto Transdisciplinar (com a inclusão de disciplinas e alunos de cursos distintos), ambos realizados na Virginia Polytechnic Institute and State University. No Brasil, Batistello e demais autores (2016) destacam a utilização do Ateliê Vertical (alunos de diferentes níveis de um mesmo curso), em que há a atuação de estudantes em maratonas de projeto.

Dentro desse quadro de mudanças, Nardelli (2007) diz que há a necessidade do rompimento nos paradigmas do trabalho e do ensino de Arquitetura, estes que envolvem a utilização do computador de modo limitado como substituição dos recursos tradicionais. É necessário reorganizar novas formas de ensinar e aprender, otimizando a projeção, em metodologias próprias para a utilização dos recursos digitais, uma vez que o domínio da tecnologia não se sobrepõe ao desenho manual, mas o complementa.

3 No caso, buscando referências para a consolidação do desenvolvimento da projeção numa abordagem Modelagem da Informação da Construção – na sigla em inglês, *Building Information Modeling* (BIM).

Para Kowaltowski e demais autores (2006), o uso do computador pode significar outra forma de prazer na representação, adquirido pelo corpo discente atual que está amplamente adaptado à tecnologia. Dessa forma, a projeção arquitetônica, através da construção de modelos geométricos das edificações, traz como uma de suas vantagens uma melhor compreensão da solução arquitetônica, amplamente discutida na literatura por Andrade (2007), Florio (2007, 2012) e Kim (2012).

Assim, o ensino da projeção arquitetônica precisa desenvolver várias formas de interação entre os participantes e os recursos para estar alinhado às necessidades contemporâneas. É preciso que as ferramentas digitais sejam acrescidas às metodologias projetuais e aos conhecimentos arquitetônicos necessários, de modo a dinamizar as ações e a comunicação entre os participantes do processo: alunos e professores. Diante disso, este trabalho apresenta e discute uma experiência realizada com esses princípios.

A METODOLOGIA UTILIZADA NO ATELIÊ DIGITAL INTEGRADO

Na Faculdade de Arquitetura da UFBA (FAUFBA), as disciplinas de projeto arquitetônico são anuais, cada uma possuindo carga horária de 12 horas semanais. Tanto as turmas de Ateliê I quanto Ateliê II normalmente possuem 15 alunos cada e são ministradas agrupadas em turmas de 30 alunos sob responsabilidade de dois docentes a cada ano. No caso do Ateliê Digital Integrado, agrupou-se uma turma de Ateliê I com outra de Ateliê II. A disciplina foi conduzida conjuntamente pelos professores efetivos de cada uma delas, além do professor-pesquisador em estágio docente, ao longo de todo ano letivo.

O Ateliê Digital Integrado foi composto por 15 alunos do primeiro ano e mais 17 do segundo ano que haviam cursado a disciplina em 2016, conforme descrito por Maciel (2019). As atividades foram realizadas nas instalações do Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD), utilizando uma sala de aula organizada para realizar discussões e apresentações com a participação de todo o grupo, além de duas salas de informática ao lado desta, com computadores para o desenvolvimento individual ou em grupo das atividades práticas. Como proposta didática, o Ateliê Digital Integrado focou na realização do maior número possível de exercícios, em crescente grau de dificuldade, explorando ao máximo os conteúdos da disciplina, seguindo a mesma abordagem metodológica focada no aluno, adotada na disciplina em 2016 e sumarizada a seguir:

- As aulas expositivas eram sempre curtas, em linguagem direta, de forma que o conteúdo fosse facilmente entendido e assimilado pelos alunos sem dificuldades. Quando necessário, o aprofundamento daquele conteúdo era feito em exercícios subsequentes;
- Pesquisas sobre o tema do exercício projetual e de obras de referências eram realizadas de forma autônoma pelos alunos na *web*⁴, selecionando obras de arquitetos de suas preferências, segundo suas crenças e valores;
- A construção de modelos geométricos das propostas projetuais e a produção de desenhos técnicos utilizando o computador como principal recurso para a representação arquitetônica;
- A apresentação de todas as propostas (primeiros estudos e solução final) projetuais desenvolvidas pelos alunos em seminários, com o uso de projetor multimídia para ampla discussão em momentos de orientação coletiva.

O curso contou com um ambiente virtual de apoio à aprendizagem (Moodle), onde eram postadas pelos professores as orientações para as atividades e pelos alunos os resultados parciais e finais dos trabalhos desenvolvidos. Além disso, vasto material bibliográfico sobre os temas discutidos em sala foi disponibilizado para os estudantes.

Para que o curso fosse viabilizado, foi desenvolvido um conjunto de atividades introdutórias e complementares que envolveram os seguintes aspectos: a construção de mapas mentais e conceituais como ferramentas para sistematizar e explicitar o conhecimento construído; noções e exercícios de Ergonomia; oficinas de *croquis* e oficinas de modelagem geométrica. Para a modelagem geométrica, inicialmente utilizou-se o SketchUp e posteriormente, de forma complementar, o Rhinoceros e o Grasshopper para modelagem de formas complexas. Essa abordagem com softwares de diferentes escalas de complexidade e interatividade é descrita por Gebran (2009) como uma oportunidade de enriquecimento na relação professor-aluno e é favorável ao processo criativo. Também foram realizadas aulas específicas por professores e palestrantes convidados, segundo a necessidade de determinadas atividades, sobre temas diversos, como introdução ao paisagismo e ao conforto ambiental.

4 A pesquisa na *web* não substituiu a consulta de material bibliográfico, mas ampliou e agilizou a pesquisa dos alunos.

As avaliações de aprendizagem do Ateliê Digital Integrado foram realizadas considerando as notas obtidas nos seminários e as notas dos projetos impressos, com atribuição de pesos de 4 e 6, respectivamente. As atividades realizadas no 1º e 2º semestres também tiveram peso diferenciado, sendo 4 para o primeiro e 6 para o segundo. Para os seminários, foram avaliadas as informações pesquisadas, a organização das informações para a projeção, a qualidade das propostas e a clareza da apresentação oral e gráfica do projeto. Os projetos impressos foram avaliados tendo como critérios a qualidade da solução proposta e a clareza e completude da representação técnica, que deveria ser adequada para cada fase da projeção nas diferentes turmas, como explicitado a seguir.

Na turma de Ateliê I, foram desenvolvidas propostas projetuais em nível de estudo preliminar. Para analisar a qualidade arquitetônica dos trabalhos, foram verificadas a compreensão do problema e a distribuição espacial da solução. Ainda, o atendimento às questões postas com relação ao programa, às restrições, aos aspectos legais e da projeção. Foram verificadas questões sobre abordagem conceitual da proposta e viabilidade do sistema construtivo. Especial cuidado foi dado à representação arquitetônica, uma vez que o ensino desse conteúdo é responsabilidade da disciplina. Já na disciplina Ateliê II, foram desenvolvidas propostas projetuais em nível de anteprojeto, com o estudo da solução estrutural, da circulação vertical, do dimensionamento de reservatórios, lançamento de pontos de iluminação e tomadas e outros requisitos técnicos compatíveis com o nível da disciplina.

As pranchas de desenhos impressas ou em formato digital (PDF) eram entregues pelos alunos uma semana após os seminários, de forma que eventuais correções/sugestões pudessem ser incorporadas na entrega final dos trabalhos. Todas as pranchas foram corrigidas e anotadas pelos professores e devolvidas aos alunos de forma que pudessem absorver as críticas e sugestões. Os seminários estimulavam o estudante a explicar e defender em público sua proposta, ampliando seu vocabulário técnico, além de permitirem que todos tivessem contato com diferentes propostas para um mesmo problema, aumentando também o repertório de possíveis soluções.

As atividades

É importante ressaltar que alguns exercícios foram realizados conjuntamente pelas duas turmas (por exemplo, oficina de *croqui*, todos os seminários para

apresentação e discussão dos trabalhos e algumas atividades de projeto mesclando as duas turmas). Outros exercícios foram realizados separadamente por cada grupo (por exemplo, as atividades de ergonomia e de oficina de modelagem no SketchUp só foram realizadas para o grupo de Ateliê I, já que os alunos do Ateliê II haviam participado dessas atividades no ano anterior). As atividades propostas para o Ateliê Digital Integrado tiveram um crescente aumento na complexidade dos conteúdos abordados e nos problemas propostos. Elas foram agrupadas em atividades introdutórias e atividades de projeto. O Quadro 1 mostra as atividades introdutórias do Ateliê Digital Integrado.

QUADRO 1 – Atividades introdutórias do Ateliê Digital Integrado

Atividade	Ateliê Digital Integrado (2017)	
	Ateliê I	Ateliê II
1	Pesquisa e apresentação em sala sobre arquiteto de referência e sua obra: arquiteto nacional e estrangeiro	
2	Oficinas de <i>croqui</i>	
3	Criação de mapas mentais e conceituais	Início das atividades de projeto
4	Ergonomia	

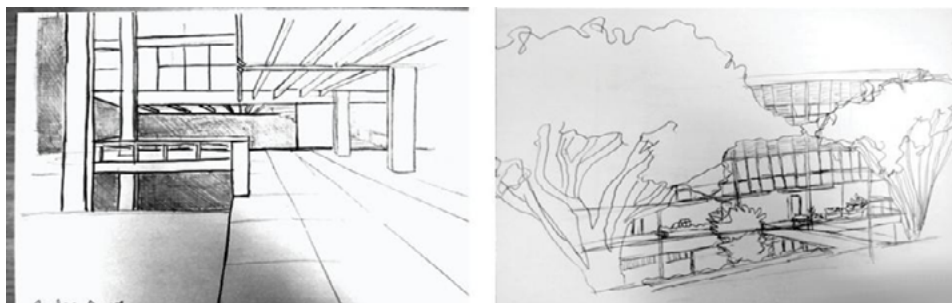
Fonte: elaborado pelos autores.

Foi realizada uma oficina de *croqui* com duração de 12 horas (três aulas) para todo o grupo de alunos, com o objetivo de explorar a expressão e a representação à mão livre, consideradas fundamentais por parte dos professores. Uma das sessões foi realizada por professores da disciplina e outras duas com professores convidados. A Figura 1 mostra dois exercícios realizados em uma das oficinas, fundamentados no trabalho de Edwards (2005). Nas outras oficinas, foram explorados princípios teóricos e práticos do desenho em perspectiva, além de tópicos como tipos de linhas, valores tonais, entre outros, trabalhados em sala de aula e ambientes externos.

FIGURA 1 – Atividade de *croqui*, baseada em Edwards (2005)

Fonte: trabalhos realizados por Beatrice Santiago (a) e Fernanda Vitória (b), ambas do Ateliê II.

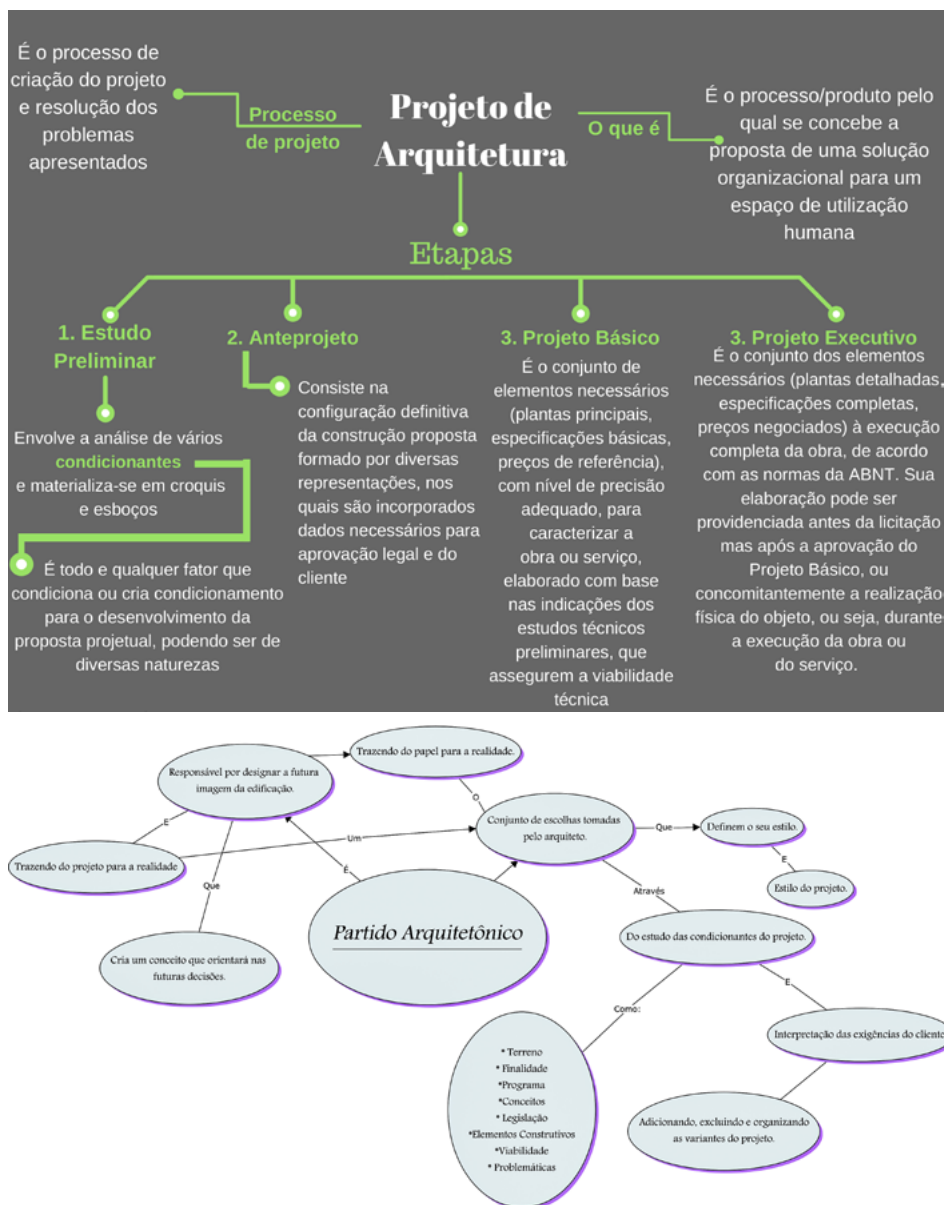
Já a Figura 2 mostra outro tipo de exercício: desenho em perspectiva de espaços da FAUFBA.

FIGURA 2 – Atividade de *croqui* na FAUFBA

Fonte: elaborados pelas alunas Carolina Acaiah, Ateliê I (a), e Adaildes Nascimento, Ateliê II (b).

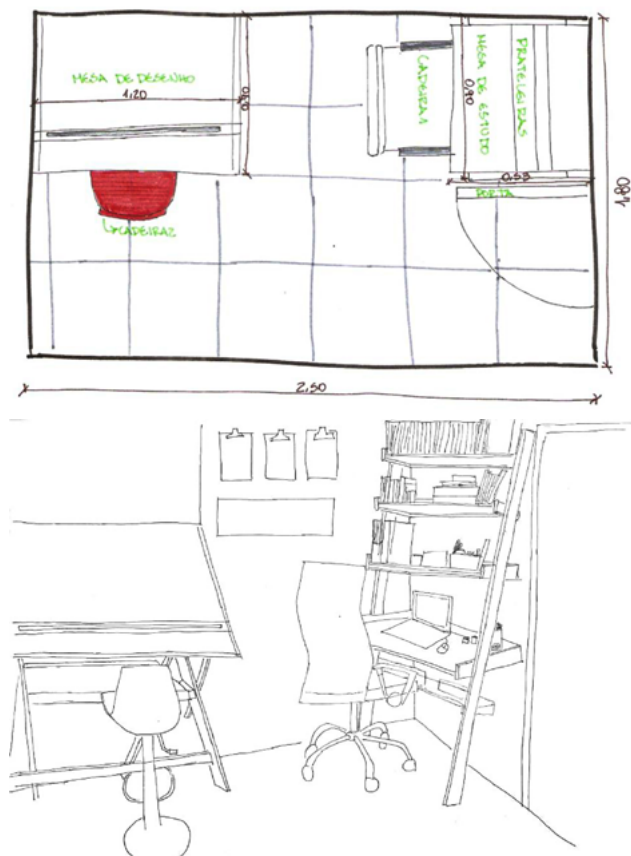
Outras atividades, como a elaboração de mapas mentais e mapas conceituais, serviram para que os alunos pudessem explicitar os conhecimentos adquiridos nas pesquisas realizadas, assim como organizar as informações em cada atividade solicitada. As atividades de ergonomia (Ateliê I) tiveram como objetivo apresentar a relação entre o corpo humano e as tarefas do cotidiano, fossem elas de trabalho ou lazer. A Figura 3 mostra um exercício em que os alunos apresentavam um mapa conceitual sobre projeto de arquitetura, enquanto a Figura 4 mostra o exercício em que foi solicitado que os estudantes avaliassem a ergonomia de um posto de trabalho de sua residência.

FIGURA 3 – Atividade sobre projeto de arquitetura



Fonte: trabalhos realizados pelas alunas Ariane Santana (a) e Gabrielle Sacramento (b), ambas do Ateliê I.

FIGURA 4 – Atividade de ergonomia



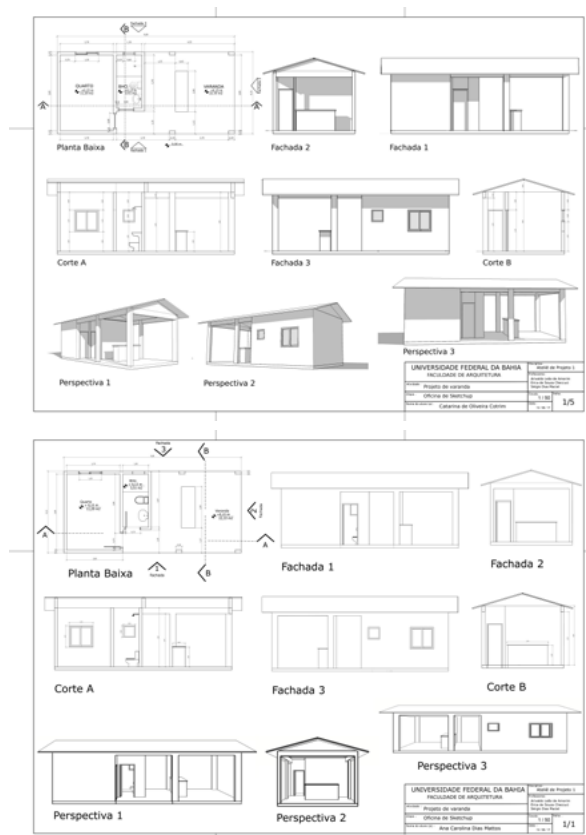
Fonte: trabalho realizado pela aluna Bruna Santos, Ateliê I.

A oficina de modelagem geométrica foi dedicada apenas aos alunos do Ateliê I e durou três aulas. Seu objetivo foi apresentar o SketchUp como principal ferramenta de modelagem a ser utilizada nas atividades projetuais. Foram apresentados conteúdos preliminares como a operação de extrusão, a organização/estruturação do modelo empregando grupos e planos de informação, a visualização em perspectiva paralela e perspectiva cônica, a utilização da ferramenta para criar seções sobre o modelo, a criação de cenas com vistas escolhidas para a apresentação do projeto, a aplicação de materiais e definição de estilos de apresentação, o georreferenciamento do modelo e ferramentas de inserção de sombras e impressão dos desenhos em escala (plantas, vista, cortes e perspectivas: externas e internas).

Ainda, durante a oficina, foi mostrado aos alunos como extrair os desenhos de representação da arquitetura diretamente do modelo para a montagem

das pranchas de desenho. Para essa atividade, foram utilizados dois programas auxiliares: um gerador de PDF gratuito (CutePDF Writer) para exportar desenhos em escala a partir de cenas do SketchUp; o Inkscape, programa livre de desenho vetorial para a construção de folhas, carimbos, anotações e outros pormenores que complementavam a representação técnica. Na oficina de modelagem, foi destinado um tempo menor para a apresentação dos diversos estilos de representação, sendo dedicado um tempo maior ao processo de exportação dos desenhos em escala e na montagem das pranchas de desenho. Isso aconteceu devido ao fato de que essa atividade foi vista como mais difícil e trabalhosa para os alunos do Ateliê I em 2016. A Figura 5 mostra resultados do exercício realizado na oficina de SketchUp.

FIGURA 5 – Oficina de SketchUp

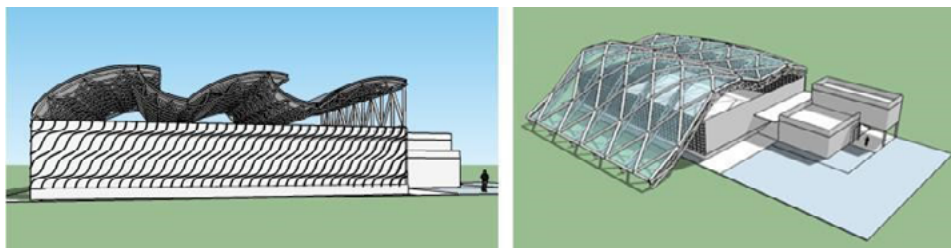


Fonte: pranchas de Catarina Cotrim (a) e Ana Carolina Mattos (b), ambas do Ateliê I.

A necessidade de dar subsídios para os alunos representarem formas complexas, percebida pelos professores em 2016, fomentou a criação de cursos

introdutórios de Rhinoceros e Grasshopper entre os semestres letivos do ano. O curso realizado em 2016 teve 40 horas de duração e visou à apresentação de uma nova ferramenta e forma de projetar, bem como à ampliação do repertório digital, conforme descrito por Oxman (2008), incorporando conceitos e elementos do digital *design*, como o uso de Voronoi⁵ e *paneling*⁶. Ainda, foi oferecida uma introdução ao *plug-in* LadyBug⁷. Já no curso de 2017, a duração foi de 24 horas e com foco na utilização do *plug-in* Lunchbox⁸ para facilitar a criação de estruturas planas e espaciais e, assim, atender mais especificamente à criação de superfícies para coberturas. Outra prioridade do curso de 2017 foi a exportação das soluções criadas no Rhinoceros e no Grasshopper para o SketchUp. A Figura 6 mostra um exemplo dos exercícios desenvolvidos por alunas do Ateliê I.

FIGURA 6 – Atividades no Rhinoceros e Grasshopper



Fonte: trabalhos realizados por Ariane Puridade (a) e Bruna Nascimento (b), Ateliê I.

As atividades de projeto

Com relação aos projetos, foram desenvolvidas seis atividades com a turma Ateliê I e seis atividades com a turma Ateliê II, sendo que uma atividade foi realizada com ambas as turmas simultaneamente. Com relação aos objetivos didáticos e pedagógicos, as atividades da turma Ateliê I estiveram mais voltadas ao

-
- 5 Um Diagrama de Voronoi consiste na divisão de um espaço em células contíguas com um ponto interno central. Todos os pontos internos à célula possuem maior proximidade de seu ponto interno central que da célula vizinha.
 - 6 Um *paneling* consiste na distribuição de uma determinada forma geométrica repetidamente sobre uma superfície.
 - 7 *Plug-in* do Grasshopper que importa arquivos do padrão EnergyPlus Weather (EPW) e realiza análises de dados climáticos, auxiliando em estudos de sombreamento e radiação solar, dentre outros que podem auxiliar na tomada de decisões projetuais.
 - 8 *Plug-in* do Grasshopper que disponibiliza um conjunto de ferramentas para criação de formas baseadas em fórmulas matemáticas, como Voronoi, além de dividir objetos de diferentes maneiras, criando *paneling*, elementos estruturais, entre outros.

ensino de representação arquitetônica e à introdução para projeção, sendo exigidos os conceitos para a apresentação dos trabalhos em nível do estudo preliminar. Já as atividades da turma Ateliê II estiveram voltadas ao aprofundamento da projeção, com apresentação dos trabalhos em nível de anteprojeto. As atividades realizadas são apresentadas no Quadro 2.

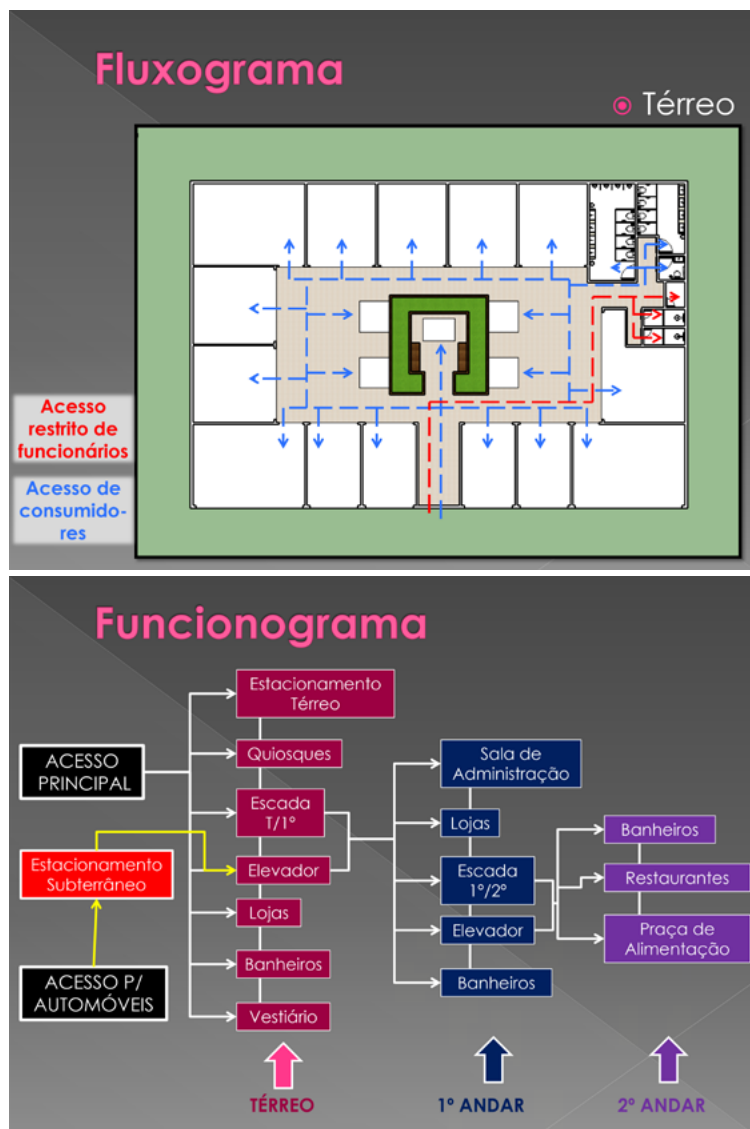
QUADRO 2 – Atividades de projeto no Ateliê Digital Integrado

Atividade	Ateliê Digital Integrado (2017)	
	Ateliê I (temas)	Ateliê II (temas)
1	Mobiliário Urbano	Residência Universitária
2	Praça	Escolher um trabalho do ano anterior (estudo preliminar) e desenvolver em nível de anteprojeto
3	Galpão	Escola
Recesso entre os semestres		
4	Residência	Diagnóstico urbano
5	Projeto de edifício misto (atividade comum)	
6	Capela	Centro Cultural

Fonte: elaborado pelos autores.

Todas as atividades de projeto foram definidas de modo que houvesse temas relacionados aos espaços arquitetônicos e urbanos, que foram trabalhados segundo a sua complexidade, em grupo ou individualmente. Para cada atividade, foi criado um edital com as devidas orientações e seus objetivos, sendo discutido em sala de aula e disponibilizado no Moodle, com acesso para todos os alunos. No Ateliê Digital Integrado, foram realizadas as mesmas rotinas da projeção do ano 2016, com pesquisas sobre os temas, elaboração de programa de necessidades, pré-dimensionamento, utilização de diagramas (funcionogramas e fluxogramas) e definição do partido arquitetônico. Os resultados dessas rotinas iniciais eram apresentados nos seminários com objetivo de fomentar discussões para, posteriormente, contribuir com correções na apresentação do projeto impresso. A Figura 7 mostra um exemplo de exercício desenvolvido por uma dupla do Ateliê II.

FIGURA 7 – Estudos iniciais na projeção



Fonte: trabalhos realizados pelas alunas Álika Áquila (a) e Ângela Lima (b), ambas do Ateliê II.

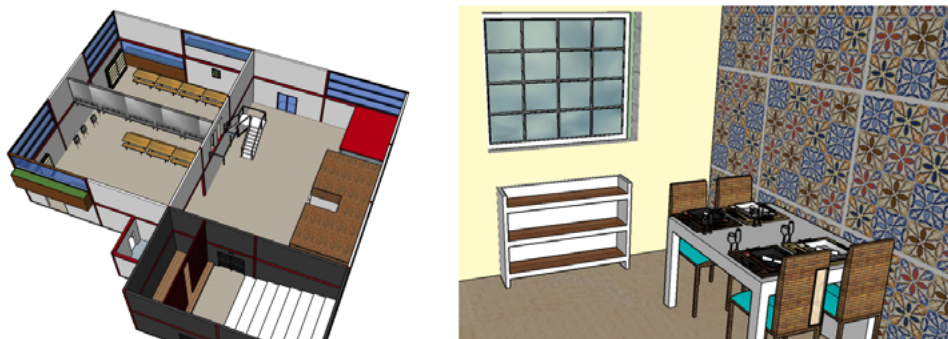
Dificuldades iniciais na projeção em ambiente digital

As maiores dificuldades, ocorridas na turma de 2016, foram relacionadas a erros de representação arquitetônica e a problemas causados pela falta de experiência no uso do SketchUp. Os erros mais comuns foram aqueles voltados

à cotação dos desenhos e à hierarquia das linhas na visualização dos modelos cortados e em vista. No ano de 2017, os alunos foram alertados para as dificuldades já detectadas e superaram a expectativa com relação aos problemas de modelagem e cotação.

Foram também verificados problemas com relação ao excesso de modelos acessórios (componentes arquitetônicos), inseridos nos projetos pelos alunos através do recurso 3D Warehouse, do próprio SketchUp. Esses modelos eram usados, muitas vezes, para compor o ambiente criado, mas tornavam confusa ou incorreta a representação técnica do projeto, por incorporarem à representação elementos secundários em escalas inadequadas, sem a correta diferenciação de linhas e cores. A Figura 8 mostra dois exemplos: em (a), existe problema na representação do piso; em (b), há problema com a quantidade de componentes (decorativos) inseridos na proposta arquitetônica.

FIGURA 8 – Problema de modelagem: falta o piso (a) e inserção excessiva de objetos no modelo (b)



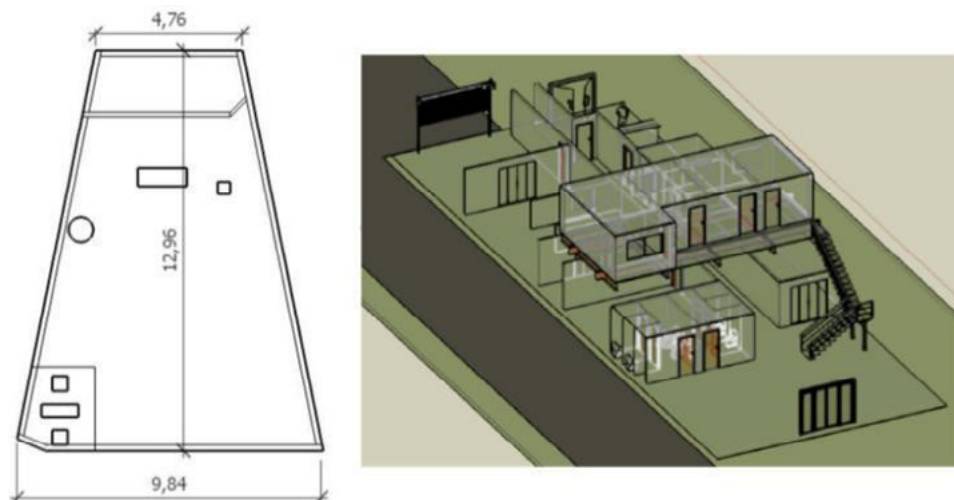
Fonte: trabalhos realizados por alunos do Ateliê I.

Outros erros verificados decorreram da facilidade de uso do SketchUp, trazendo prejuízo à projeção e à representação técnica. Em algumas situações, os alunos não fizeram as tradicionais seções no modelo para gerar as plantas baixas ou os cortes, transgredindo a forma de representação correta, seja pela captura de imagem na tela (utilizando o recurso *print screen*) ou pela utilização de transparência no modelo, para “representar” seu interior. A Figura 9 ilustra dois exemplos desses equívocos, sendo que em (a) a captura da tela não mostra as aberturas (portas e janelas) e em (b) ocorre a utilização inadequada da transparência para representar o interior da construção, ao invés do corte.

As dificuldades foram sendo superadas a cada exercício realizado e, ao final, apenas a dificuldade em relação à hierarquia de linhas manteve-se com

maior ocorrência, devido à falta de experiência tanto na representação arquitetônica quanto no manuseio do software, que demandam maior refinamento e atenção.

FIGURA 9 – Erros na representação arquitetônica



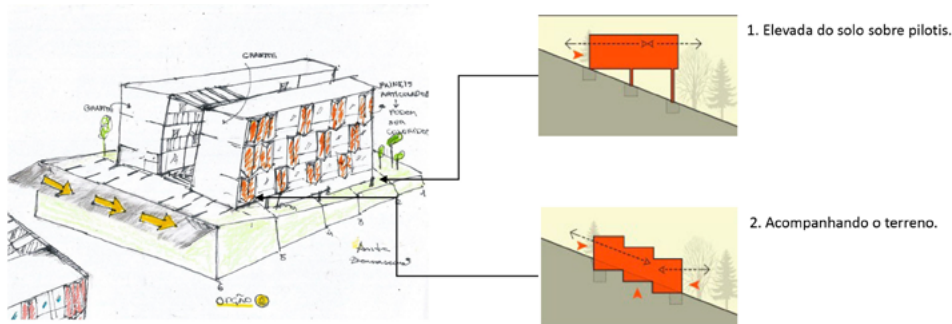
Fonte: trabalhos realizados por alunos do Ateliê I.

Aspectos positivos na projeção em ambiente digital

Além dos recursos tecnológicos, importantes ferramentas para projeção descritas por Fraser e Hemi (1994) e Lawson (1999) foram utilizadas no curso, como os *croquis*. A Figura 10 mostra um exercício realizado com a combinação de recursos.

Mais uma vez, as vantagens do uso do computador desde as etapas iniciais do curso ficaram evidentes já nas primeiras atividades. As discussões não se resumiram somente às questões de representação de vedações, estruturas, coberturas e outros elementos do projeto, mas também enfocaram a intenção do aluno ao criar o espaço e sua ambientação. Questões técnicas, construtivas e sobre a qualidade da edificação proposta eram discutidas tomando como base o modelo geométrico apresentado pelo estudante, auxiliando-o no seu amadurecimento sobre as diferentes variáveis que envolvem a projeção arquitetônica.

FIGURA 10 – Combinação de recursos usados na projeção



Fonte: elaborada pela aluna Adaildes Nascimento, Ateliê II.

A representação através dos modelos geométricos auxilia na maior compreensão do projeto desenvolvido pelo aluno-autor e pelo grupo que, na discussão, também aumenta seu repertório projetual. Ainda, a inserção de imagens e texturas aplicadas ao modelo, acabamentos diferenciados e a variedade de opções à disposição do estudante também ajudaram na expressão da criatividade durante a elaboração das propostas projetuais. A Figura 11 mostra dois exemplos de exercícios que utilizaram texturas para auxiliar na representação do projeto.

FIGURA 11 – Uso de texturas para melhor compreensão e apresentação do projeto



Fonte: perspectivas/modelos elaborados pelas alunas Rafaela Tan (a) e Nicole Santos (b), ambas do Ateliê II.

Outra questão importante que ficou evidente relaciona-se com a variedade de opções e liberdade de escolha que os alunos tiveram para apresentar seus projetos. Foram utilizadas várias formas que incluíram desde *croquis* feitos à mão até o estilo tradicional de utilização de sombras do SketchUp, renderização *Non Photorealistic Render* (NPR) e renderização realística. Esse processo de experimentação foi mais lento na turma Ateliê I de 2016, com descobertas sucessivas e

compartilhadas a cada nova atividade, e mais dinâmico no Ateliê Digital Integrado devido à proximidade entre as turmas em estágio de desenvolvimento distintos.

Nas oficinas de modelagem, não foi dado destaque à renderização realística dos modelos, pois havia o receio de que os alunos destinassem maior tempo na escolha da apresentação do que na solução projetual, contudo foram explorados vários recursos de renderização NPR, existentes no SketchUp. A Figura 12 mostra diferentes tipos de apresentações realizadas por uma aluna ao longo do Ateliê I em 2016 e do Ateliê II em 2017, demonstrando a sua evolução no uso dos recursos.

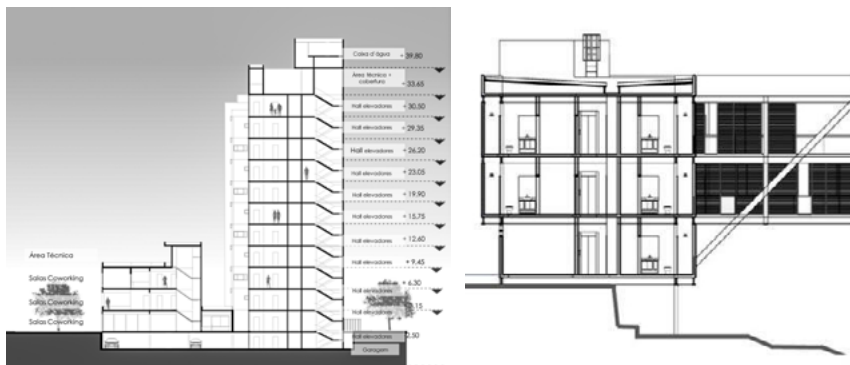
FIGURA 12 – Diferentes recursos de apresentação em atividades diversas



Fonte: trabalhos realizados pela aluna Rafaela Tan (2016 e 2017).

Além das várias possibilidades para a apresentação do projeto, o aprimoramento conseguido na modelagem ao longo das várias atividades permitiu desenvolver trabalhos com bons resultados na representação dos desenhos técnicos de arquitetura. A Figura 13 apresenta dois exemplos de trabalhos desenvolvidos, um em dupla formada por uma aluna de Ateliê II e um aluno de Ateliê I e outro desenvolvido por uma aluna do Ateliê II.

FIGURA 13 – Bons resultados de representação arquitetônica



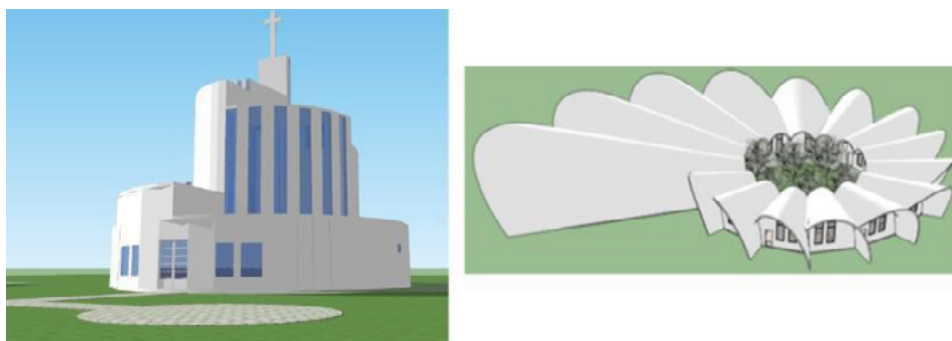
Fonte: trabalhos realizados pelos alunos Rian Araújo e Maria Luiza Santana (a), Ateliê I e Ateliê II respectivamente; Rafaela Tan (b), Ateliê II.

A discussão sobre a importância da solução estrutural na arquitetura pôde ser ampliada, ressaltando o que Silva (2003) definiu como projetualidade, que considera as diversas questões do contexto arquitetônico. As propostas dos estudantes eram realizadas de forma intuitiva e aproximada, a partir de pesquisas em projetos de referência nas atividades do Ateliê I e com maior profundidade nas desenvolvidas no Ateliê II. A turma de alunos ingressantes tinha possibilidade de se aprimorar ao ver os trabalhos desenvolvidos pelos colegas mais avançados no curso.

Apesar de não haver uma imposição sobre métodos que deveriam ser utilizados na projeção, constatou-se que as rotinas seguiam os mesmos princípios descritos por Broadbent (1973) e Rowe (1991), principalmente com a utilização de analogias e métodos canônicos. Algumas soluções bastante abordadas na projeção pelos alunos foram de estudos que utilizavam formas geométricas elementares segundo Mitchell (2010) e estudos sobre a composição, seguindo os mesmos princípios descritos de Mahfuz (1995), como utilização de princípios geométricos de organização e questões referentes à topologia entre as partes que constituem os projetos.

Em algumas atividades, os alunos sentiram-se mais à vontade em explorar a forma como solução do partido arquitetônico. Na turma de Ateliê I, a forma como partido arquitetônico foi mais evidente no projeto da capela (Figura 14), em que foram realizadas composições segundo Mahfuz (1995), com princípios geométricos de organização em relação a um ponto ou a uma linha.

FIGURA 14 – Exercícios de projeto de capela



Fonte: trabalhos realizados por Catarina Cotrim (a) e Carolina Acaiah (b), ambas do Ateliê I.

No Ateliê II, as atividades atenderam a uma maior exigência nas informações (anteprojeto), sendo a concepção e a representação da estrutura exigidas em todos os exercícios projetuais. É importante destacar que, no ensino

do projeto, a construção do modelo geométrico ao invés do desenho tradicional permite uma melhor compreensão da totalidade do projeto e suas implicações. A Figura 15 mostra exemplos de soluções estruturais apresentadas por alunos nos trabalhos realizados em dupla (Ateliê I e II).

FIGURA 15 – Estruturas em anteprojetos do Ateliê Digital Integrado



Fonte: trabalhos realizados pelos alunos Ana Clara Caribé e Iasmine Leal (a); Rian Araújo e Maria Luiza Santana (b); Adriele Santana e Álika Áquila (c) – todos do Ateliê I e Ateliê II, respectivamente.

A forma também ganhou destaque quando foram concebidas a arquitetura e a estrutura conjuntamente, sendo determinantes para a qualidade do projeto. A Figura 16 mostra algumas formas arquitetônicas que tiveram a estrutura como ponto relevante na sua concepção, num exercício do Ateliê II, quando foi proposto um centro cultural.

Para o Ateliê II, além da concepção e o desenvolvimento da estrutura, foram dimensionados os reservatórios, o que levou os alunos a perceberem a importância de seu estudo, pois a solução, em alguns casos, demandou volumes significativos visíveis em fachadas e perspectivas, além de cuidados com relação aos seus acessos nas plantas de coberturas. Foram trabalhadas também questões relacionadas ao dimensionamento, à solução e à representação da circulação vertical em projetos de múltiplos pavimentos. Por fim, o lançamento de pontos de iluminação e tomadas permitiu novas abordagens pedagógicas sobre a importância da luminotécnica na constituição dos ambientes.

FIGURA 16 – Formas estruturais determinantes do partido arquitetônico adotado



Fonte: trabalhos realizados pelos alunos Rafaela Tan (a); Beatriz Barreto (b); Beatrice Santiago (c); Cainan Veloso (d) – todos do Ateliê II.

Uma atividade comum entre as duas turmas

A turma Ateliê Digital Integrado favoreceu a realização de uma atividade comum entre as turmas Ateliê I e Ateliê II, cujos alunos encontravam-se em diferentes estágios de aprendizado. A atividade, que tinha como objetivo a proposta de requalificação e adensamento populacional de um trecho da orla de Salvador, foi motivada pelo novo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU), correspondente à Lei nº 9.069/2016, bem como pela Lei de Ocupação e Uso do Solo (Louos), correspondente à Lei nº 9.148/2016.

No caso, a atividade foi planejada para proporcionar aos alunos uma experiência ampla e significativa, indo desde o levantamento de informações em campo até a projeção em grupo, envolvendo aspectos urbanísticos e arquitetônicos. Para tal, foram formadas equipes de dois alunos compostas por um aluno do Ateliê I e outro do Ateliê II. Nessa atividade, o uso do computador facilitou a organização e o compartilhamento das informações, além da produção de documentação com a padronização da representação arquitetônica.

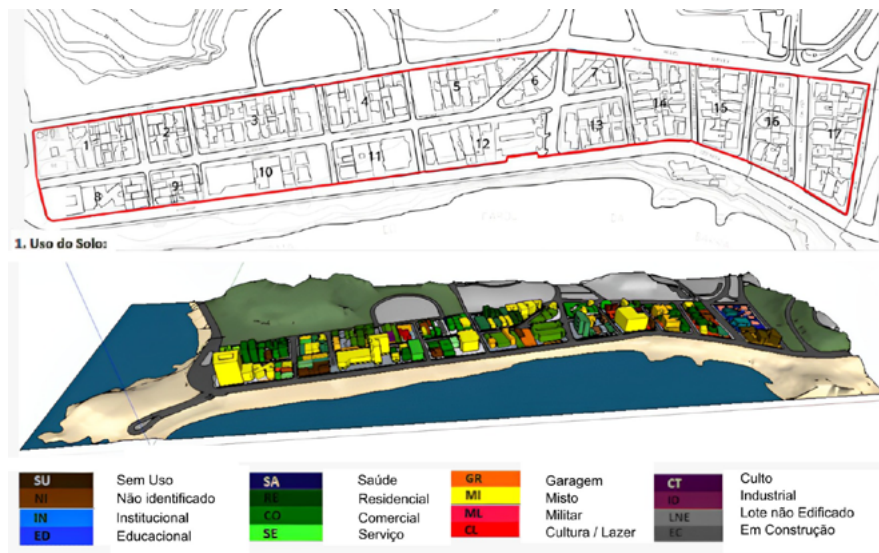
Dessa forma, a atividade contou com as seguintes etapas:

1. Palestra de uma arquiteta convidada que expôs sobre a nova legislação urbana e suas particularidades, especialmente com relação às questões que envolviam a verticalização da orla;
2. Trabalho de campo para reconhecimento do local, mapeamento dos imóveis existentes segundo tipologia, gabarito e usos no local. Cada grupo ficou responsável pela verificação de uma quadra do trecho da orla;

3. Elaboração de um mapa base a partir do levantamento de campo, sintetizando o estado de conservação dos imóveis, o uso e a ocupação do solo no trecho estudado;
4. Remembramento e homogeneização das áreas dos lotes em algumas quadras, com a finalidade de um melhor aproveitamento, adequando-os a uma nova proposta urbanística e eliminando lotes muito pequenos. Na sequência, foi feito o sorteio dos novos lotes com as equipes, sendo de livre escolha delas as novas tipologias a serem projetadas, objetivando maior adensamento populacional da área e o seu uso continuado durante o dia todo. No caso, foi sugerido aos alunos que escolhessem temas que promovessem a permanência de pessoas na região em todos os períodos do dia. Nesse caso, foram escolhidas por parte dos alunos tipologias como habitação multifamiliar em prédios de usos mistos (multifamiliar e serviços) e hotel;
5. Projetação segundo a nova legislação local.

A Figura 17 mostra a configuração atual do trecho (a), bem como o levantamento realizado pelos alunos (b), discriminando as construções e seus usos.

FIGURA 17 – Trecho para da orla para atividade



Fonte: trabalho realizado pelo conjunto de alunos.

O remembramento dos lotes e os novos estudos de uso previam o aumento da densidade habitacional, segundo o incremento da verticalização no local, nos limites estabelecidos pela legislação urbanística vigente. A verticalização foi estudada conforme as novas diretrizes, de modo que não houvesse prejuízo quanto à obstrução do sol nas praias (exceto no período do inverno) e, assim, foram realizados estudos de insolejamento. Nesse caso, o georreferenciamento do modelo no SketchUp e a realização de análises do sombreamento produzido pelas edificações propostas na praia foram importantes recursos utilizados. A Figura 18 mostra o trabalho de uma aluna de Ateliê I e uma aluna de Ateliê II apresentando um trecho da orla de Salvador, com simulação de sombras.

FIGURA 18 – Uso de recursos de georreferenciamento e insolejamento aplicados na projeção



Fonte: trabalho realizado pelas alunas Bruna Ferreira e Beatriz Magalhães – Ateliê I e Ateliê II respectivamente.

Após o redesenho dos lotes, houve o sorteio para que cada dupla desenvolvesse seu projeto segundo novos usos, por exemplo, habitação multifamiliar e prédios de uso misto. A Figura 19 mostra um edifício de uso misto (residencial com uma galeria de arte) em (a); um edifício de uso misto (residencial com bloco de *coworking*) em (b); e um edifício exclusivamente residencial em (c).

FIGURA 19 – Projetos realizados nos lotes lembrados



Fonte: trabalho dos alunos Bruna Nascimento e Beatrice Santiago (a); Rian Araújo e Maria Luiza Santana (b); Adriele Santana e Cainan Siqueira (c) – Ateliê I e Ateliê II, respectivamente.

Ao final da atividade, as duplas haviam projetado edifícios para o trecho da orla em estudo, atendendo à nova legislação local. Como resultado positivo, destacou-se a complexidade da atividade envolvendo estudos urbanísticos e de projeção arquitetônica com variedade de usos, tipologias e gabaritos, compartilhando experiências e tornando a aprendizagem mais significativa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo das turmas ofertadas, Ateliê Digital (2016) e Ateliê Digital Integrado (2017), foi ampliar a discussão sobre o ensino de projeto arquitetônico no contexto do desenvolvimento tecnológico atual. Nesse caso, a metodologia adotada procurou integrar o computador ao ensino da projeção arquitetônica em estágios iniciais da formação do estudante. Não se adotou o computador como único recurso didático, mas integrado às práticas usuais já adotadas, por exemplo, na pesquisa, na exploração da forma na composição arquitetônica, na expressão dos resultados alcançados e na integração de informações básicas de projetos de diferentes disciplinas. No desenvolvimento das atividades, puderam ser observadas vantagens na utilização dos recursos digitais nas atividades propostas, tais como:

- Maior velocidade e precisão na produção de desenhos arquitetônicos a partir do modelo geométrico, favorecendo a realização de um maior número de atividades;

- Utilização de cores, materiais, texturas e diferentes tipos de representação;
- Estudos de planos de massas, com simulação de áreas iluminadas e de sombra e geração automática de perspectivas;
- Realização de pesquisas de referências em sala de aula, diretamente no computador, antes e durante o processo projetual;
- Facilidade no compartilhamento de material entre alunos e professores;
- Ampliação das informações projetuais com a definição de elementos básicos dos projetos complementares;
- Utilização de programas auxiliares (*plug-in*), quando necessários, para auxiliar a projeção.

O processo de modelagem geométrica através do SketchUp foi simplificado e demandou poucas horas para que os alunos conseguissem utilizar o programa de forma autônoma (12 horas no total). As pesquisas de referências projetuais na *web* e a facilidade da modelagem geométrica no SketchUp foram determinantes para tornar os estudos volumétricos e a construção do partido arquitetônico atividades lúdicas e enriquecedoras. A internet facilitou o acesso à informação sobre as várias técnicas e materiais, os arquitetos e suas obras. É importante destacar que as pesquisas de referências foram fundamentais no processo de ensino e aprendizagem e, durante os seminários realizados, fomentaram discussões diversificadas que puderam ser compartilhadas como assessorias coletivas. Dessa forma, valorizou-se a organização acerca das informações adquiridas na projeção.

A junção de turmas em estágio diferente no curso (alunos ingressantes e alunos de segundo ano) mostrou ser uma fonte de enriquecimento no aprendizado: por um lado, os alunos mais antigos estimulavam os mais novos a adquirirem conhecimentos e habilidades na projeção e representação. Por outro lado, os mais novos estimulavam os mais antigos a sistematizarem seu conhecimento para explicar suas atividades e responder perguntas, o que favorecia a consolidação de sua aprendizagem.

O Ateliê Digital integrado demandou mais trabalho por parte dos docentes, que precisaram acompanhar e avaliar alunos em estágios diferentes, respeitando e estimulando o crescimento de cada um segundo seu nível de amadurecimento, além de prepararem e ministrarem dois cursos distintos simultaneamente. Demonstrou-se a necessidade do planejamento cuidadoso

e detalhado de todas as atividades, de modo a preservar a necessidade de aprendizagem de cada grupo, cuidando da oferta de atividades coletivas ou individualizadas para cada um deles, de modo a não sobrecarregar os alunos mais novos nem desestimular os mais avançados.

Ao final das atividades do Ateliê Digital Integrado, os professores perceberam o amadurecimento e a evolução dos alunos, tanto da turma Ateliê II quanto da turma Ateliê I. Eles desenvolveram autonomia e curiosidade sobre a arquitetura e novas tecnologias de projeto e representação. Ainda, com o objetivo de compreender, segundo a perspectiva dos alunos, questões sobre o processo e o aprendizado, foi realizado com os alunos, monitores e professores do Ateliê Digital Integrado um debate sobre a metodologia utilizada e os resultados alcançados. Numa abordagem qualitativa, a maioria dos alunos considerou como positiva a metodologia adotada e sentiu-se satisfeita com os resultados alcançados. Alguns alunos lamentaram a ausência da criação de maquetes físicas, de exercícios que envolvessem medições e desenho (cadastró) e de aplicação de projetos menores, envolvendo reformas. Não houve reclamações sobre dificuldades encontradas no manuseio dos softwares nem sobre possíveis limitações das ferramentas empregadas quanto à criatividade.

Concluindo, a utilização do computador – especialmente nas turmas iniciais, quando os alunos estão descobrindo o universo arquitetônico – pode potencializar o processo de ensino-aprendizagem, dinamizando as atividades e trazendo novas perspectivas sobre os resultados. O uso da tecnologia incorporado à projeção e as diferentes abordagens nas atividades foram determinantes na consolidação da metodologia ativa utilizada.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, M. L. V. X. Computação gráfica tridimensional e ensino de arquitetura: uma experiência pedagógica. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA GRÁFICA NAS ARTES E NO DESENHO, 7., 2007, Curitiba. *Anais [...]*. Curitiba: UFPR, 2007. 1 CD-ROM.
- BARISON, M. B. *Introdução de modelagem da informação da construção (BIM) no currículo: uma contribuição para a formação do projetista*. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
- BATISTELLO, P.; BALZAN, K. L.; PEREIRA, A. T. C. Integração no ensino de arquitetura e urbanismo: experiências com ateliês verticais. *Revista Projetar*, Natal, v. 1, n. 3, p. 47-59, dez. 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revprojetar/article/view/16612>. Acesso em: 9 jan. 2020.

- BROADBENT, G. *Diseño arquitectónico*: Arquitectura y Ciencias Humanas. Barcelona: Gustavo Gili, 1973.
- CAMARGO, F.; DAROS, T. *A sala de aula inovadora*: estratégias pedagógicas para fomentar o aprendizado ativo. Porto Alegre: Penso, 2018.
- EDWARDS, B. *Desenhando com o lado direito do cérebro*. Rio de Janeiro: Ediouro, 2005.
- FLORIO, W. Contribuições do Building Information Modeling no processo de projeto em arquitetura. In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 3., 2007, Porto Alegre. *Anais [...]*. Porto Alegre: ANTAC, 2007. 1 CD-ROM.
- FLORIO, W. Notas sobre pensamento e cognição em projetos paramétricos. In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, 2., 2012, Natal. *Anais [...]*. Natal: ANPARQ, 2012. 1 CD-ROM.
- FRASE, I.; HENMI, R. *Envisioning architecture*: an analysis of drawing. New York: ITP, 1994.
- GEBRAN, M. P. *Tecnologias educacionais*. Curitiba: IESDE Brasil, 2009.
- JANOT, L. F. Metodologia de ensino: projeto de arquitetura e urbanismo. In: ANDRADE, L.; BRONSTEIN, L.; SILLOS, J. (org.). *Arquitetura e ensino*: reflexões para uma reforma curricular. Rio de Janeiro: FAU-UFRJ, 2003. p. 126-128.
- KIM, J. J. Use of BIM for effective visualization teaching approach in construction education. *Journal of professional issues in engineering education and practice*, [s. l.], v. 138, n. 3, p. 214-223, 2012. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29EI.1943-5541.0000102>. Acesso em: 10 mar. 2013.
- KOWALTOWSKI, D. *et al.* Reflexão sobre metodologias de projeto arquitetônico. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 7-19, 2006. Disponível em: <http://seer.ufrgs.br>. Acesso em: 15 dez. 2016.
- LAWSON, B. CAD na arquitetura: a história até agora. *Revista Graf & Tec*, [s. l.], n. 6, p. 31-58, 1999.
- LAWSON, B. *Como arquitetos e designers pensam*. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- MACIEL, S. D.; AMORIM, A. L.; CHECCUCCI, É. S. Ensino de projeto de arquitetura em ambiente digital: uma experiência na Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, São Carlos, SP, v. 13, n. 1 p. 21-38, 2018.
- MACIEL, S. D.; AMORIM, A. L.; CHECCUCCI, É. S.; SANTOS, K. B. Ateliê digital integrado: segundo ano da experiência de ensino de projeto arquitetônico mediado por computador. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, São Carlos, SP, v. 16, n. 1, p. 60-79, jan. 2021.
- MACIEL, S. D. *Ensino de projeto em ambiente digital*: aspectos pedagógicos, tecnológicos e cognitivos. 2019. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2019.
- MAHFUZ, E. C. *Ensaio sobre a razão compositiva*. Viçosa, MG: UFV, 1995.

- MAHFUZ, E. C. Reflexões sobre a construção da forma pertinente. In: LARA, F.; MARQUES, S. (org.). *Projetar: desafios da pesquisa e do ensino de projeto*. Rio de Janeiro: Virtual Científica, 2003.
- MALARD, M. L. Alguns problemas de projeto ou de ensino de arquitetura. In: MALARD, M. L. (org.). *Cinco textos sobre arquitetura*. Belo Horizonte: UFMG, 2005. p. 80-114.
- MALARD, M. L. O futuro do projeto em arquitetura e urbanismo: ensino e pesquisa. In: CAMPOMORI, M. (org.). *Aprender fazendo: ensaios sobre o ensino de projetos*. Belo Horizonte: Escola de Arquitetura da UFMG, 2018.
- MITCHELL, W. J. *A lógica da arquitetura*. Campinas: Unicamp, 2010.
- MORAN, J. *Metodologias ativas para uma aprendizagem mais profunda*. São Paulo: [s. n.], [2019]. Material disponibilizado pelo autor para a disciplina SEP0504 - Sistemas de Informação da USP em 2019. Disponível em: http://www2.eca.usp.br/moran/wp-content/uploads/2013/12/metodologias_moran1.pdf. Acesso em: 6 jan. 2020.
- NARDELLI, E. S. Arquitetura e projeto na era digital. *Arquitetura Revista*, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 28-36, 2007. Disponível em: <https://goo.gl/TdKmDM>. Acesso em: 9 jan. 2018.
- NEVES, L. P. *Adoção do partido na arquitetura*. Salvador: Edufba, 1998.
- OXMAN, R. Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium. *Design studies*, Amsterdam, v. 29, n. 2, p. 99-120, Mar. 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142694X07001032?via%3Dihub>. Acesso em: 9 jan. 2018.
- ROWE, P. G. *Design thinking*. Massachusetts: MIT Press, 1991.
- SCHON, D. A. *Educando o profissional reflexivo: um novo design para o ensino e a aprendizagem*. Porto Alegre: Artmed, 2000.
- SILVA, E. Novos e velhos conceitos no Ensino de Projeto Arquitetônico. In: LARA, F.; MARQUES, S. (org.). *Desafios da pesquisa e do ensino de projeto*. Rio de Janeiro: Virtual Científica, 2003.
- SILVA, E. *Uma introdução ao projeto arquitetônico*. Porto Alegre: UFRGS, 1998.
- VARGAS, H. C. Ensino/aprendizagem em arquitetura e urbanismo: mitos e métodos. In: SEMINÁRIO DE ENSINO E PESQUISA EM PROJETO DE ARQUITETURA, 2., 2005, Rio de Janeiro. *Anais [...]* Rio de Janeiro: PROARQ: FAU-UFRJ, 2005.
- VOORDT, T. J. M.; WEGEN, H. B. R. *Arquitetura sob o olhar do usuário: programa de necessidades, projeto e avaliação de edificações*. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

CAPÍTULO 8

EXPERIMENTAÇÃO COM UM ALGORITMO GENERATIVO DE PAINEL VAZADO

Representação material e imaterial na busca de flexibilidade¹

Fernando Ferraz Ribeiro

Kyane Bomfim Santos

Marina Moreira Santos Pereira

Larissa Gonçalves Maia da Silva

Julia Cruz Gaspari Veras

Marcelo Filgueiras Bastos

INTRODUÇÃO

Em 1962, o cientista da computação Ivan Sutherland apresentou um protótipo de um sistema chamado Sketchpad, com o objetivo de permitir que o computador se apresentasse como a versão digital de uma prancheta de projetista.

1 Originalmente publicado em: Ribeiro *et al.* (2018).

A partir deste trabalho, a influência das tecnologias CAD² extrapola o aspecto de uma ferramenta aplicada de representação, atingindo as teorias estéticas (Oxman, 2006; Picon, 2011) e fornecendo um novo tipo de conexão com as atividades de construção alimentadas pelas tecnologias Manufatura Assistida por Computador (CAM)³ e Modelagem da Informação da Construção (BIM)⁴ (Kolarevic, 2003). Na década de 1970, Stiny e Mitchell (1978) propuseram uma abordagem de projeto baseada em um conjunto de regras que permite ao computador gerar uma variedade de soluções. A equipe do projeto pode avaliar saídas, ajustar parâmetros, comparar resultados e escolher uma forma para construir. Essa técnica, conhecida como *design* generativo, é considerada um paradigma (McCormack; Dorin; Innocent, 2004; Stavric; Ognen, 2010) que permite ao projetista avaliar um maior número de possíveis soluções para resolver um problema proposto e selecionar o que melhor se encaixa nas metas do projeto (Mitchell, 2008; Terzidis, 2006). Nessa metodologia, os conceitos relacionados à programação e à engenharia de software devem ser considerados pelos projetistas (Davis, 2013; Harding; Shepherd, 2017).

Este capítulo aborda o desenvolvimento de um algoritmo generativo que cria uma variedade de painéis vazados através da aplicação de um conjunto de regras com um fluxo de trabalho definido. A tradução das regras para código, a forma de representar a geometria, os parâmetros e a interface para manipular as entradas que geram múltiplas saídas são o foco das discussões. O algoritmo foi escrito e reescrito para aumentar a flexibilidade da ferramenta e a complexidade das formas geradas.

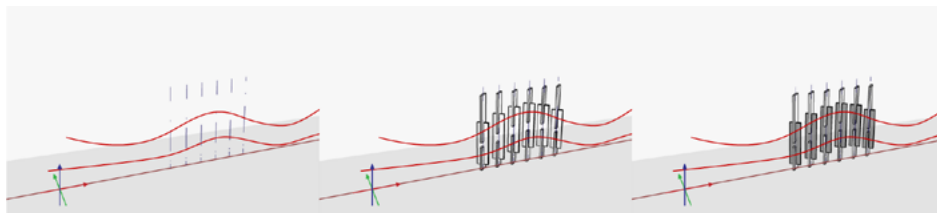
O código evoluiu durante o processo, mas alguns aspectos básicos permaneceram os mesmos: uma curva base é definida e uma lista de eixos igualmente espaçados é gerada (Figura 1). Os pontos sobre o eixo representam o lugar onde elementos consecutivos do painel assumem diferentes ângulos e onde uma junção entre os elementos é criada. A linguagem Python, o Rhinoceros 5, o Grasshopper e o componente GHPython foram utilizados como ambiente do experimento.

2 CAD refere-se a *Computer Aided Design*, que significa projeto assistido por computador.

3 Na língua inglesa, refere-se a *Computer-Aided Manufacturing* (CAM).

4 Na língua inglesa, refere-se a *Building Information Modeling* (BIM).

FIGURA 1 – Fluxo de trabalho proposto na primeira versão do algoritmo



Fonte: elaborada pelos autores.

O ALGORITMO DOS PAINÉIS VAZADOS

Na primeira implementação do algoritmo (Figura 2), uma curva base deve ser desenhada como uma linha reta no plano frontal (XZ) e é passada para o componente GHPython através da entrada *Base*. A entrada *nAxes* define o número de eixos verticais, e o parâmetro *Height* define a altura dessas linhas. Para cada eixo, são geradas duas cópias do plano XY, com a origem no ponto de partida das linhas. A primeira é rotacionada em graus no valor indicado pelo parâmetro *Ang* na orientação anti-horário e a segunda, na direção oposta.

No próximo passo, o algoritmo lê a entrada *iCurves*. O parâmetro recebe uma lista de curvas, e as intersecções dessas curvas com os eixos dividem cada eixo em uma sublista ordenada – não sobreposta – de linhas. Os planos são usados alternadamente para criar os elementos do painel e para definir os ângulos internos das junções que conectam os elementos consecutivos em uma linha vertical. O volume do elemento é criado a partir do desenho de uma linha entre dois pontos equidistantes do ponto inicial. A distância corresponde à metade do valor do parâmetro de largura (*width*) na direção X dos planos auxiliares. Essa linha é extrudada ao longo do comprimento da auxiliar correspondente na sublista, gerada a partir da divisão dos eixos. A superfície gerada é, então, extrudada na direção Y do mesmo plano e metade da sua espessura (*thickness*) é movida na direção -Y. As junções são criadas com dois outros sólidos, extrudados a partir de linhas e unidos (*boolean union*) à parte principal do elemento.

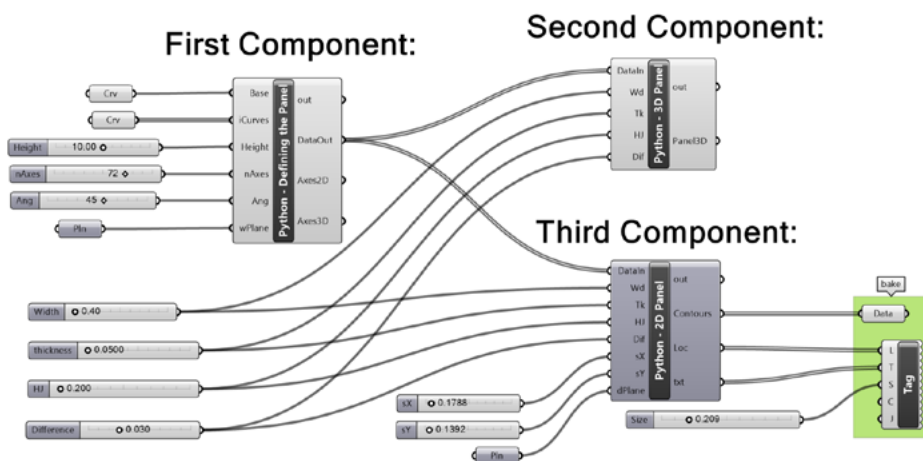
FIGURA 2 – Primeira implementação no editor baseado em nó



Fonte: elaborada pelos autores.

A versão final é muito mais flexível. O código é dividido em três componentes GHPython (Figura 3). No primeiro componente, o parâmetro *Base* pode estar em qualquer plano, ser uma curva 2D ou 3D de qualquer grau, ou uma polilinha, podendo também ser aberta ou fechada. Uma lista de pontos igualmente espaçados é gerada sobre *Base*. Os vetores tangentes à *Base* nesses pontos também são salvos em uma lista. O parâmetro *Height* é usado para criar um conjunto de linhas representando os eixos de elementos do painel (3DAxes). Lendo a entrada *wPlane*, uma representação planificada dos eixos é gerada (2DAxes) sobre o plano dado.

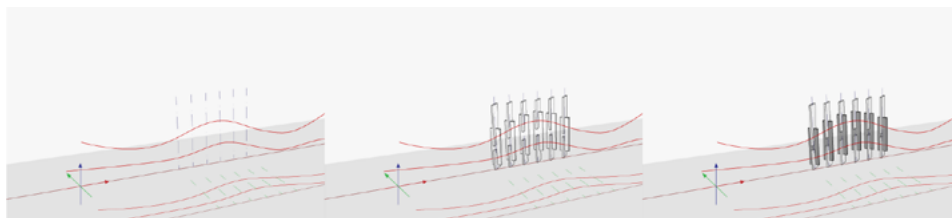
FIGURA 3 – Última implementação no editor baseado em nó



Fonte: elaborada pelos autores.

Nessa implementação (Figura 4), a intersecção dos *iCurves* sobre o *2DAxes* é avaliada primeiro; em seguida, os pontos equivalentes no *3DAxes* são calculados utilizando a distância normalizada do ponto de partida para cada cruzamento. Para cada eixo, uma lista de planos é gerada utilizando os pontos nos eixos 3D como origem, a direção do eixo como o vetor X e o membro equivalente na lista de tangentes define a direção positiva da dimensão Y. Os planos são girados alternadamente (no sentido horário e no sentido anti-horário) em torno de seu eixo X por um valor em graus definido na entrada *Ang*. Os planos são organizados em uma lista e passados para os outros componentes (*DataOut*).

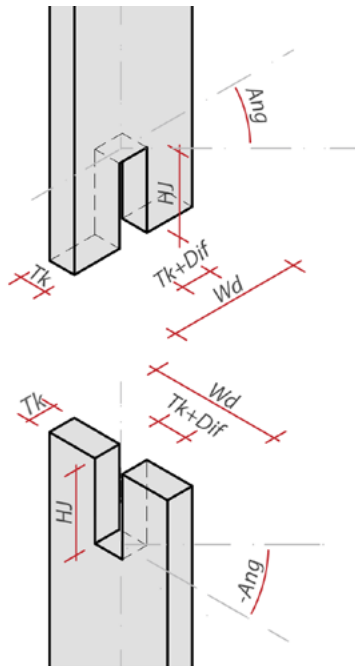
FIGURA 4 – Fluxo de trabalho proposto na última versão do algoritmo



Fonte: elaborada pelos autores.

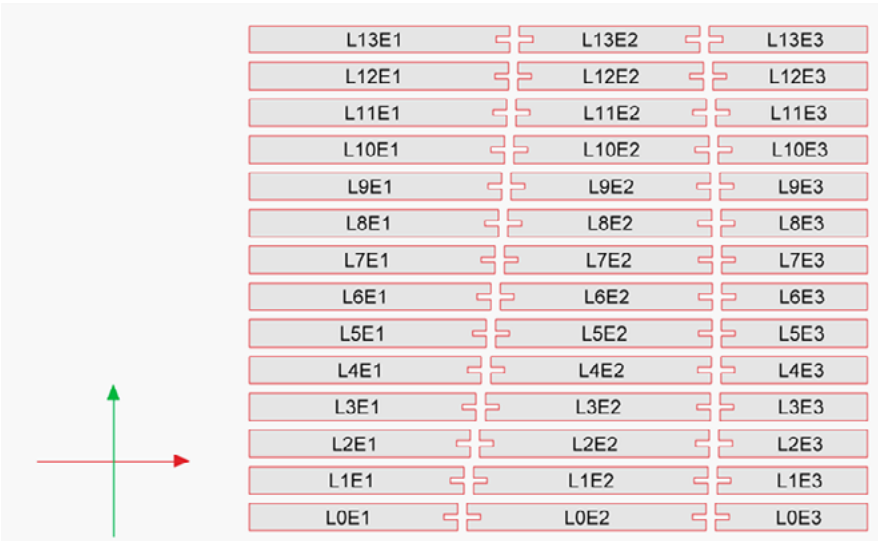
O segundo componente recebe a lista de planos, dividida em sublistas para cada eixo (*DataIn*), e as medidas dos elementos do painel: largura (*Wd*), espessura (*Tk*), comprimento da junção (*HJ*) e a diferença (*Dif*) entre a espessura do elemento e o corte “u”, representando a folga necessária para montagem da peça (Figura 5). O corpo dos elementos é definido por sua largura e espessura. O comprimento é a distância das origens dos planos consecutivos em uma sublista. As juntas dos elementos foram modeladas utilizando as direções do plano para colocar os pontos de canto. Uma vez que o parâmetro *Ang* não é passado para esse componente, as direções do plano em relação aos elementos adjacentes também são usadas para encontrar os pontos nas faces internas das articulações. Em seguida, um único sólido é gerado para cada elemento do painel.

FIGURA 5 – Detalhe de conexão da meia junta e parâmetros relacionados



Fonte: elaborada pelos autores.

FIGURA 6 – Contornos e numeração gerados para uma prototipagem de corte CNC 2D



Fonte: elaborada pelos autores.

O terceiro componente faz as linhas de contorno 2D e identificação de texto para uma máquina de corte CNC 2D. É uma simplificação do segundo e recebe as mesmas entradas mais um plano, onde os contornos devem ser desenhados (*dPlane*) e o espaçamento de um elemento para as instruções consecutivas no eixo X e Y (Figura 6).

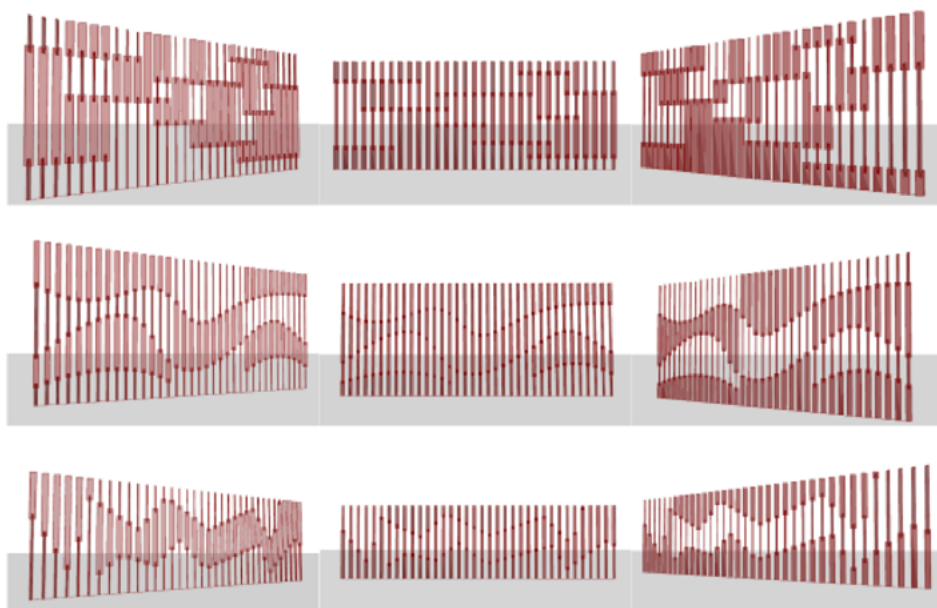
RESULTADOS

Os resultados do experimento podem ser divididos em três aspectos interdependentes: a variedade de formas que podem ser geradas, o algoritmo final e o ganho de conhecimento pelo planejamento, uso e codificação dos algoritmos. A tomada de decisão durante a experiência foi conduzida respondendo a perguntas simples: o que desenhar, como desenhar, como organizar o código e como representar um painel vazado..

Ao decidirem que não somente as linhas retas poderiam ser usadas como base, os pesquisadores precisavam resolver como seria a interação do desenho e como implementar o código. A separação das saídas 3D e a manipulação do *iCurves* sobre os eixos desenvolvidos foram eleitas, entre outras possibilidades, principalmente por proporcionarem uma sensação mais próxima do desenho à mão livre do que as demais. É uma maneira mais simples e direta do que desenhar sobre uma superfície, além de ser mais fácil de entender do que projetar todos os eixos do jeito que estão no espaço 3D.

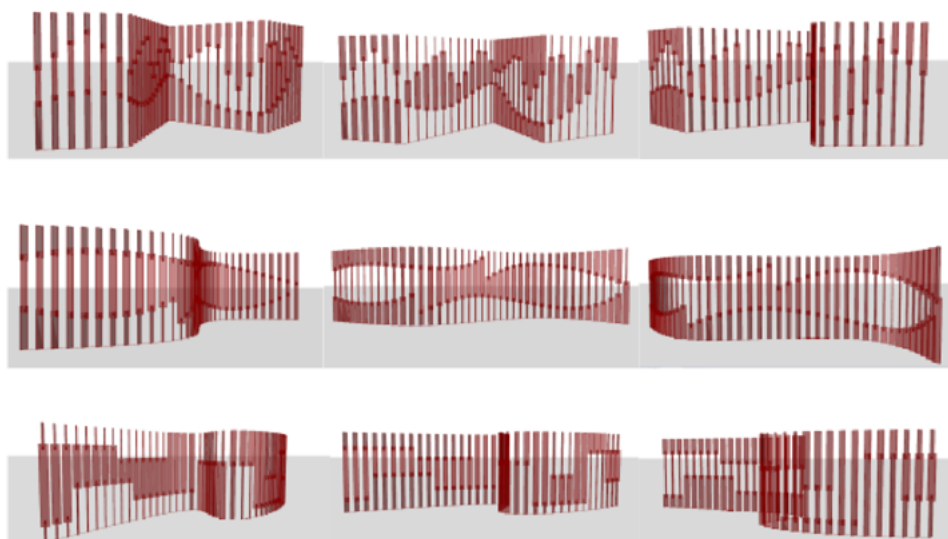
A Figura 7 apresenta a solução com uma linha reta como *Base* e linha reta e curva como *iCurves*. A Figura 8 apresenta modelos gerados a partir de *Base* aberta não linear. A Figura 9 ilustra as saídas com *Base* fechada, e a Figura 10 mostra algumas soluções com o parâmetro de altura (*Height*) lendo a curva ao invés de um valor real. As linhas das figuras demonstram os mesmos resultados representados de diferentes pontos de vista.

FIGURA 7 – Três visualizações (colunas) de diferentes modelos (linhas) geradas com linhas retas na entrada *Base*



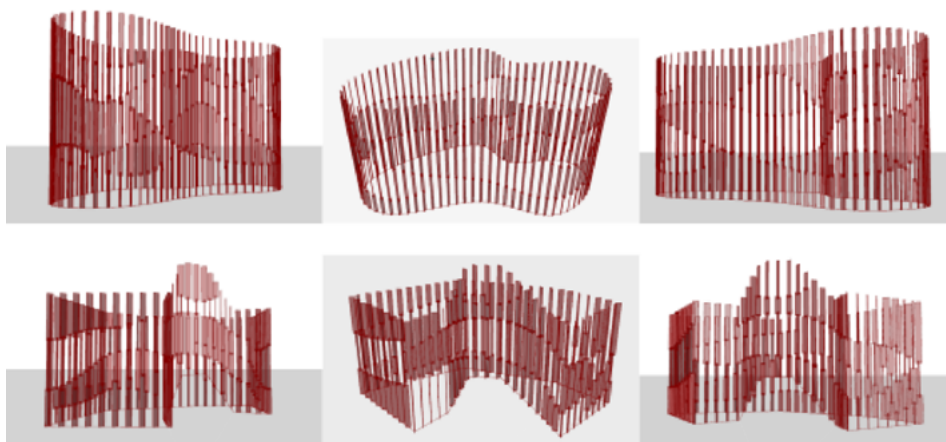
Fonte: elaborada pelos autores.

FIGURA 8 – Três visualizações (colunas) de diferentes modelos (linhas) geradas com curvas e polilinhas na entrada *Base*



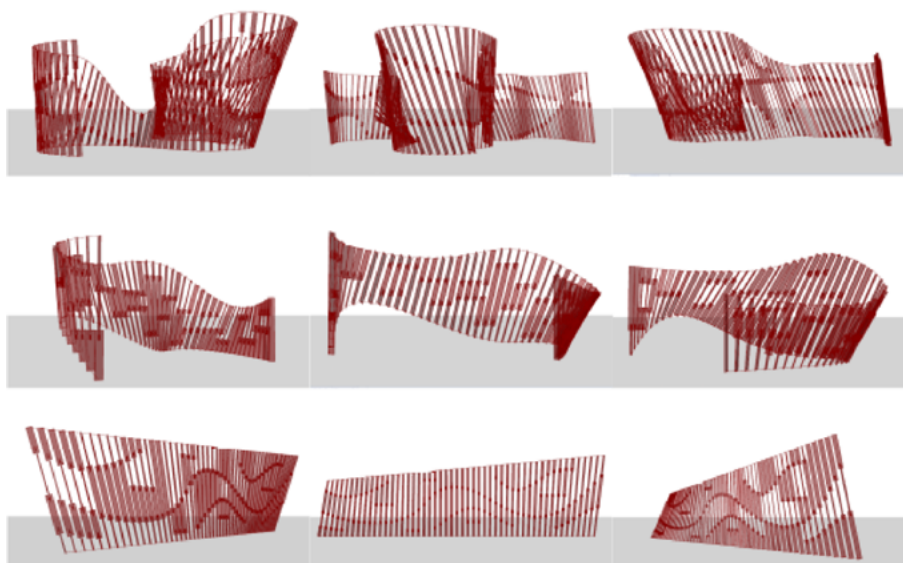
Fonte: elaborada pelos autores.

FIGURA 9 – Três visualizações (colunas) de diferentes modelos (linhas) geradas com curvas fechadas e polígonos na entrada *Base*



Fonte: elaborada pelos autores.

FIGURA 10 – Três visualizações (colunas) de diferentes modelos (linhas) geradas com curvas na entrada *Height*



Fonte: elaborada pelos autores.

A divisão do algoritmo em três blocos de códigos tem como intenção o reaproveitamento dos componentes. O segundo e o terceiro blocos de códigos podem ser desabilitados e habilitados a depender da etapa de trabalho (escolhendo uma

solução ou enviando para a prototipagem). Apesar de ganhar complexidade, o algoritmo final é mais rápido do que o primeiro. Pensando em possíveis desenvolvimentos, se os projetistas quiserem substituir a conexão meia junta por outro tipo, o segundo e o terceiro componentes serão modificados, mas não haverá necessidade de substituir o primeiro. Se, no desenvolvimento do experimento, os pesquisadores decidirem avaliar combinações de ângulos diferentes para cada elemento, usando uma técnica de otimização, o segundo e o terceiro componentes ainda serão válidos.

ANÁLISES

O primeiro aspecto que chama a atenção nesses modelos é o efeito óptico que ocorre quando se muda a posição do ponto de vista em torno dos painéis. Aqueles que possuem uma base reta mostram um intercâmbio extremo entre os papéis de figura e fundo desempenhados pelos elementos de composição de um desses painéis. Os outros que possuem uma curva como base revelam uma transição mais fluida quando observados por ângulos diferentes. Eles também provocam uma questão de *design*: como tratar as formas dos iCurves em relação à curvatura da base? No modelo 3D, não existe nenhuma continuidade física no decorrer dos pontos de conexões geradas por uma curva específica dos parâmetros do iCurves, mas eles são representados pelo modelo de forma indireta e intangível.

A característica visual dos painéis qualifica o objeto de estudo como um problema para novas técnicas de representação. Nenhuma vista específica pode apresentar claramente o resultado desses modelos, assim como não consegue transmitir informações suficientes para a construção. A metodologia do *design* generativo, abrangendo a interação do desenho e automatização das tarefas de modelagem e representação, possibilita aos projetistas tempo e flexibilidade para avaliar múltiplas soluções. O ambiente do algoritmo e o fluxo de trabalho foram referidos como amigáveis pelos usuários com níveis distintos de experiência em ferramentas CAD.

A representação gráfica neste experimento trabalha em conjunto com uma representação geométrica mais abstrata. Grande parte das formas é representada como elementos de Geometria Analítica. No primeiro algoritmo, pontos e vetores foram descritos como um conjunto de três números, planos são combinados com dois vetores e um ponto de origem. Essas entidades intangíveis possibilitaram aos demais componentes todas as informações sobre a posição e os ângulos entre os elementos do painel. Criar um único sólido para cada elemento,

ao invés de gerar e unir múltiplas formas, foi a mudança na estratégia do código que mais contribuiu para o ganho de desempenho computacional.

Planejar o algoritmo foi o esforço mais desafiador dentro do experimento. Sem conhecimento formal em engenharia de software, as decisões dependem de testar diferentes técnicas, imaginar cenários de reaproveitamento e preservar um fluxo de trabalho confortável. Ainda existem alguns códigos repetidos que podem ser organizados em funções, além de algumas estratégias de modelagem que podem resultar em um processamento mais rápido. As possibilidades de reaproveitamento dos componentes ou a função que modela as meias juntas em outros modelos, por exemplo, renderam debates interessantes durante as reuniões de pesquisa e foram os melhores resultados obtidos neste subcampo em particular. O terceiro componente foi o mais rápido de ser implementado, por isso a ideia de adaptar o código do segundo componente para gerar contornos 2D foi considerada antes.

O algoritmo apresenta algumas limitações que merecem ser mencionadas:

- Não existe nenhuma técnica para detectar colisões entre elementos do painel;
- Não há configuração para um comprimento máximo e mínimo dos elementos;
- Colocar uma interseção em uma distância menor do que um comprimento de conexão nos extremos do eixo resultará em uma conexão meia junta cruzando o limite superior ou inferior do painel;
- Distâncias menores do que duas vezes o comprimento de conexão nos elementos do meio pelas mesmas razões geram uma geometria estranha para fins construtivos;
- A estratégia de trabalho para o algoritmo é desenhar, inspecionar, modificar e novamente inspecionar, até que uma solução seja escolhida. Essas questões podem ser abordadas durante o processo de projeto, manipulando, aparando e interrompendo as iCurves, com critérios de construção e experiência de projeto. Orientados ao corte 2D, os contornos só podem ser aplicados a painéis com valores de 45° no parâmetro Ang.

No ambiente da implementação, a direção na qual uma curva é criada é um dado importante. A curva base desenhada da esquerda para direita funciona melhor como um parâmetro de entrada do que o contrário. A direção da curva

pode ser revertida com um simples comando, mas é algo que vale a pena ter em mente. Ao trabalhar com uma segunda curva e fornecer um parâmetro de altura (*Height*), o desalinhamento dos pontos iniciais das curvas da base e do topo pode produzir resultados improváveis.

CONCLUSÃO

O experimento⁵ conseguiu organizar a modelagem direta 3D, o ambiente de *script* baseado em nó e a programação (criação e edição de código em texto) para desempenhar papéis complementares no fluxo de trabalho. Ambientes de programação baseados em nó – como Grasshopper, Dynamo e Sverchok – são fáceis de usar, mas, em projetos maiores, o código de texto é mais fácil de desenvolver, manter e reutilizar. Uma compreensão mais profunda da engenharia de software deve ajudar o projetista a gerenciar, atualizar e colaborar no desenvolvimento de bibliotecas de funções especializadas na modelagem de formas e detalhes relacionadas à construção. A modelagem direta 3D é crucial para gerar variedade e estabelecer uma sensação de desenho à mão livre ao processo.

O uso de representação abstrata simples para uma construção geométrica ajudou a criar um código mais eficiente. As técnicas de representação gráfica, no contexto deste experimento, ganham algumas camadas de complexidade quando algumas abordagens numéricas/analíticas são endossadas. Lidar com essas representações imateriais exige um nível de abstração, mas a interface 3D está sempre disponível para esclarecer os aspectos obscuros da matemática.

Algumas relações intangíveis também foram encontradas no efeito óptico que esses modelos apresentam. Mitchell (2008) define o *design* generativo como uma metodologia, mas admite que, em alguns edifícios, um sentimento imaterial “fluido” e/ou “dinâmico” pode relacionar esses projetos com as ferramentas geradoras que os produzem. Essa qualidade pode ser reconhecida nos modelos gerados.

O ambiente de trabalho proposto neste experimento é fácil de aprender e fácil de usar. Exercícios experimentais gratuitos foram realizados para validar, desenvolver o algoritmo e entregar composições elaboradas. Artistas como Escher e Franz Weissmann, que inspiraram esse modelo, têm uma grande contribuição para efeitos ópticos e relações de figura e fundo na arte. Em trabalhos futuros, os pesquisadores pretendem avaliar se o estudo de alguns desses artistas pode inspirar diferentes projetos e/ou novos algoritmos. Adaptar o

5 Os algoritmos podem ser baixados no *link*: https://255ribeiro.github.io/Alg_gen_painel/.

modelo a um experimento de otimização e *form-finding* sobre proteção direta da luz solar e/ou desempenho acústico é outro importante caminho de desdobramentos para esses estudos.

REFERÊNCIAS

- DAVIS, D. *Modelled on software engineering: flexible parametric models in the practice of architecture*. 2013. Tese (Doutorado em Filosofia) – School of Architecture and Design, College of Design and Social Context, Royal Melbourne Institute of Technology, Melbourne, 2013.
- HARDING, J. E.; SHEPHERD, P. Meta-Parametric Design. *Design Studies*, [United Kingdom], v. 52, p. 73-95, Sept. 2017.
- KOLAREVIC, B. (ed.). *Architecture in the Digital Age: design and manufacturing*. London: Taylor & Francis, 2003.
- MCCORMACK, J.; DORIN, A.; INNOCENT, T. Generative design: a paradigm for design research. In: FUTUREGROUND - DRS INTERNATIONAL CONFERENCE, 2., 2004, Melbourne. *Proceedings* [...]. Melbourne: Design Research Society, 2004.
- MITCHELL, W. J. T. *World's greatest architect: making, meaning, and network culture*. Cambridge: MIT Press, 2008.
- OXMAN, R. Theory and design in the first digital age. *Design Studies*, [United Kingdom], v. 27, n. 3, p. 229-265, May 2006.
- PICON, A. Ornement et subjectivité: de la tradition Vitruvienne à l'âge numérique. *Le Visiteur*, [s. l.], n. 17, p. 65-75, 2011.
- RIBEIRO, F. F. *et al.* Experimenting with a generative hollow panel algorithm: material and immaterial representation in the search for flexibility. In: CONVEGNO INTERNAZIONALE DEI DOCENTI DELLE DISCIPLINE DELLA RAPPRESENTAZIONE, 40.; CONGRESSO DELLA UNIONE ITALIANA PER IL DISEGNO, 15., 2018, Milano. *Atti* [...]. Milano: Gangemi, 2018. p. 209-214.
- STAVRIC, M.; OGNEN, M. Application of generative algorithms in architectural design. In: WSEAS INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICAL AND COMPUTATIONAL METHODS IN SCIENCE AND ENGINEERING, 12., 2010, Faro. *Proceedings* [...]. Faro: WSEAS, 2010. p. 175-180.
- STINY, G.; MITCHELL, W. J. The Palladian grammar. *Environment and Planning B: Planning and Design*, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 5-18, June 1978.
- TERZIDIS, K. *Algorithmic architecture*. Burlington: Architectural Press, 2006.

CAPÍTULO 9

REFLEXÃO SOBRE OS PARÂMETROS URBANÍSTICOS DE SALVADOR E O USO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA¹

Andrea Verri Bastian

INTRODUÇÃO

De acordo com estudos das Organizações das Nações Unidas (ONU) (United Nations, 2014), até 2050, cerca de 80% da população global estará concentrada nas cidades, o que provocará um grande aumento no consumo de energia e, ainda, uma sobrecarga na infraestrutura existente, além do crescimento na geração de Gases do Efeito Estufa (GEE). Assim, o planejamento energético urbano é imprescindível, a fim de que se tenham condições adequadas para um futuro sustentável, possibilitando que as cidades possam ter projetos inovadores em termos de eficiência energética.

1 Originalmente publicado em: Bastian (2018).

Quando se trata da geração de energia por fontes renováveis, a International Energy Agency (IEA, 2014) considera a energia fotovoltaica como uma das tecnologias emergentes mais promissoras, uma vez que o custo dos sistemas fotovoltaicos vem caindo nos últimos anos, bem como tornando-se competitivo nos segmentos comerciais e residenciais. Em uma análise mais recente, essa tecnologia poderia fornecer até um terço da demanda mundial de energia após 2060.

Esse cenário pode ser percebido também no Brasil que, segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira *et al.*, 2017, p. 58), apresenta um grande potencial para geração de energia elétrica fotovoltaica, considerando-se tanto a geração por meio de usinas de grande porte quanto por geração distribuída integrada em telhados e coberturas de edificações, ressaltando que a “[...] geração de energia próxima ao ponto de consumo deverá ser reconhecida pelo sistema elétrico como um dos principais atributos desta tecnologia de geração”. Além disso,

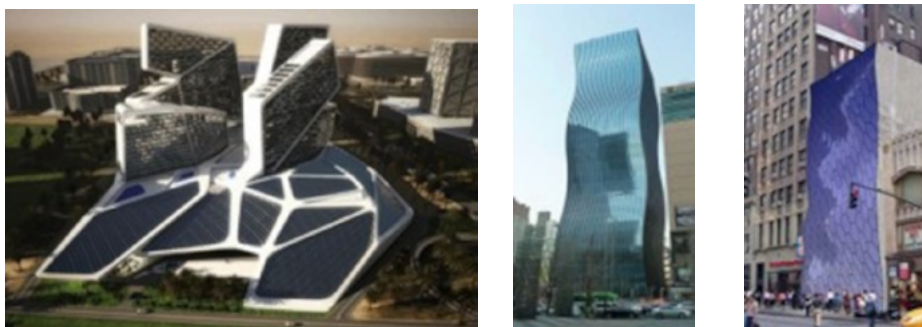
[...] gerar eletricidade solar no telhado de uma residência é cada vez mais competitivo com os preços e tarifas de energia elétrica convencionais e cada vez mais as distribuidoras de energia vêm reconhecendo a tecnologia solar fotovoltaica muito mais como uma oportunidade do que como um risco (perda de receita) (Pereira *et al.*, 2017, p. 58).

A geração solar fotovoltaica distribuída em telhados, coberturas e fachadas apresenta como vantagens a necessidade de manutenção mínima, não possuir peças móveis, não produzir ruído, além de tornar desprezíveis as perdas com a transmissão de energia, uma vez que geração e consumo estão muito próximos. Rüther (2004) destaca que os sistemas fotovoltaicos integrados às edificações urbanas diminuem os custos relativos à produção centralizada de energia por meio de sistemas montados junto ao solo, que incidem sobre a área ocupada, bem como os custos de preparação do terreno, das fundações, do sistema estrutural de suporte dos painéis, da distribuição de energia e da conexão à rede.

Na geração distribuída, os painéis podem ser instalados sobrepostos aos telhados, às coberturas e às vedações, denominados de *Building Attached Photovoltaics* ou *Building Applied Photovoltaics* (BAPV); já o uso de sistemas integrados às edificações vem crescendo em todo o mundo. Os sistemas Fotovoltaicos Integrados a Edificações – *Building Integrated Photovoltaics* (BIPV)

– são constituídos por painéis solares para a geração de energia elétrica que também funcionam como material de vedação da edificação. Nos sistemas BIPV (Cekić *et al.*, 2015), as células fotovoltaicas podem ser incorporadas à fachada do edifício (Figura 1a, 1b e 1c) complementando ou substituindo o vidro tradicional, a elementos arquitetônicos de sombreamento como *brises* nos telhados substituindo telhas ou ainda em sistemas para captação de iluminação natural, a exemplo das claraboias.

FIGURA 1 – Vertical Village, em Dubai (a); SeochoGarak Tower East, em Seul (b); Photo-voltaic Honeycomb Glass, em Nova York (c)



Fonte: Cekić *et al.* (2015).

Para Martín Chivelet e Fernandez Solla (2010), a nova função dos painéis fotovoltaicos implica que o sistema fotovoltaico integrado passe a desempenhar o mesmo papel conferido à fachada convencional ou aos elementos de cobertura que irá substituir, impactando em fatores estéticos (cor, textura, tamanho dos elementos de vedação externa e aspecto geral da edificação), assim como em fatores construtivos (impermeabilidade, estabilidade, resistência a cargas de vento e ao fogo), durabilidade, manutenção, segurança elétrica (durante a construção e uso), custo e ainda, considerando questões relativas à geração de energia, a orientação e inclinação, o acúmulo de calor e ventilação e o controle de sombras projetadas sobre os painéis.

Devido às grandes superfícies disponíveis em fachadas e coberturas, há um grande potencial inexplorado para a geração de energia, podendo garantir de 20% a 75% (dependendo da localização) do consumo de energia dos edifícios,

abrindo caminho para as edificações Zero Energia² com potencial de geração de energia e redução nas emissões de GEE (Debbarma; Sudhakar; Baredar, 2017).

Para a otimização dos sistemas integrados às edificações, é necessário um estudo da morfologia urbana, pois esta influencia na incidência dos raios solares sobre as edificações. A densidade habitacional, orientação das ruas, configuração das quadras e da vegetação, ou seja, as formas urbanas têm influência significativa no potencial de geração de energia fotovoltaica seja nas fachadas das edificações, seja na cobertura delas.

GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR NO BRASIL

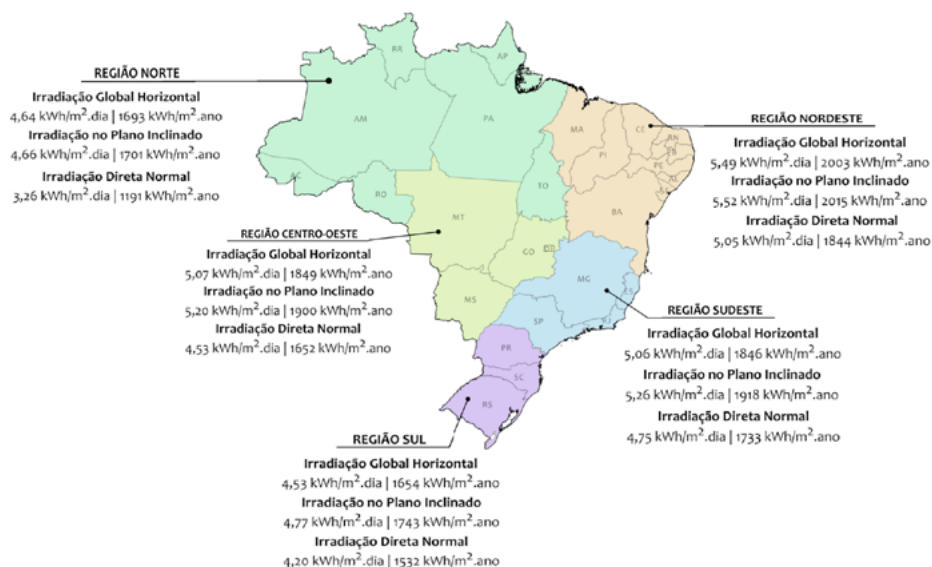
O Brasil é um país localizado na região intertropical, possuindo grande potencial de aproveitamento o ano todo, com potencial de geração de energia solar maior do que o da Alemanha, esta que, em sua região mais ensolarada, possui um valor 40% menor do que na região menos ensolarada do Brasil.

O país apresenta níveis bastante elevados de irradiação solar com variabilidade mensal baixa. Das cinco regiões brasileiras, a Região Nordeste é a que apresenta maior potencial solar (Figura 2), com valores médios diários de irradiação global horizontal de 5,49 kWh/m², superando os países ibéricos. A Região Sul apresenta variabilidade mensal devido à latitude mais alta e às maiores diferenças na duração do dia entre as estações do ano. Na Região Norte, onde a nebulosidade reduz a irradiância solar incidente, são encontrados os valores mais baixos, mas ainda assim superiores às incidências máximas de países como Alemanha e Itália, que estão investindo de forma significativa nesse tipo de energia.

Vale ressaltar que em qualquer região do país os valores de irradiação são superiores aos da maioria dos países da Europa que já fazem uso de sistemas de aproveitamento de energia solar há alguns anos e, de acordo com relatório *Snap-shot of Global Photovoltaic Markets* da International Energy Agency (IEA, 2017), a China, a Alemanha, o Japão e os Estados Unidos são os quatro países que possuem a maior potência acumulada instalada de sistemas fotovoltaicos no mundo.

2 Denominação dada a edificações que geram energia suficiente para suprir o seu consumo anual de energia.

FIGURA 2 – Síntese dos níveis de irradiação solar por região



Fonte: adaptado de Pereira *et al.* (2017).

Inserção da energia solar fotovoltaica na matriz

Na publicação “Propostas para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira” (2012), preparada pelo Grupo Setorial de Sistemas Fotovoltaicos³ da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (Abinee), argumenta-se que:

No Brasil, as estimativas mais aceitas davam conta de uma capacidade instalada acumulada de sistemas fotovoltaicos, até o final de 2011, de aproximadamente 31,5 MW instalados no país, sendo 30 MWp em sistemas não conectados à rede, e 1,5 MW conectados. Fica evidente que a energia solar fotovoltaica ainda não está sendo considerada adequadamente no nosso planejamento energético (Abinee, 2012, p. 10).

3 O Grupo Setorial de Sistemas Fotovoltaicos da Abinee (GS-Fotovoltaico) foi constituído em janeiro de 2010, com o propósito de reunir as empresas interessadas no desenvolvimento da energia solar fotovoltaica no país e na introdução dessa energia limpa e renovável na matriz elétrica brasileira, para além dos sistemas isolados, onde vem sendo utilizada há muitos anos pelo Programa Luz para Todos e outras aplicações especiais (Abinee, 2012).

A proposta constata que “[...] é clara a oportunidade de se explorar a energia fotovoltaica no Brasil” (Abinee, 2012, p.13) não só por conta da grande disponibilidade de radiação solar, mas também devido à diminuição nos custos de implantação e ao aumento da eficiência dos sistemas no âmbito internacional. Além do citado, vale lembrar do esgotamento do potencial hidroelétrico brasileiro, além da sazonalidade devido às secas recorrentes dos últimos anos.

A partir de 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) estabeleceu, por meio da Resolução nº 482⁴, condições gerais para o acesso da microgeração e minigeração distribuída, adotando o sistema de compensação de energia, em que um telhado solar pode ser conectado à rede elétrica pública e injetar o excedente da produção, acumulando créditos a serem compensados⁵.

Como outros mecanismos de incentivo à geração de energia fotovoltaica, pode-se citar a Resolução nº 481⁶, que se refere diretamente à geração de energia elétrica por usinas solares, prevendo um desconto de 80% para os empreendimentos que entrarem em operação comercial até 31 de dezembro de 2017, bem como o Plano Brasil Maior⁷ (agosto de 2011) do governo federal, que visa melhorar a competitividade das indústrias do país com políticas de desenvolvimento industrial.

4 Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, que “Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências” (Brasil, 2012b).

5 O limite de potência contemplado pela Resolução Normativa nº 482/2012 era de 1000 kWp em 2012 e, em 2016, esse limite foi ampliado pela Resolução Normativa nº 687/2015 para até 5000 kWp por Unidade Consumidora (UC), valor equivalente ao consumo médio de mais de mil residências de classe média no Brasil.

6 Resolução Normativa nº 481, de 17 de abril de 2012, altera a Resolução Normativa nº 77, de 18 de agosto de 2004, que passa a vigorar acrescida do seguinte artigo: “Art. 3ºA Para a fonte solar referida no Art. 10 fica estipulado o desconto de 80% (oitenta por cento), para os empreendimentos que entrarem em operação comercial até 31 de dezembro de 2017, aplicável nos 10 (dez) primeiros anos de operação da usina, nas tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão (TUST) e de distribuição (TUSD), incidindo na produção e no consumo da energia comercializada” (Brasil, 2012a).

7 Plano Brasil Maior propõe sistemas intensivos em escala para os setores químico e petroquímico; fertilizantes; bioetanol e energias renováveis; minero-metalúrgico; celulose e papel, tendo como objetivos elevar participação nacional nos mercados de tecnologias, bens e serviços para energias. Além disso, tem como metas e indicadores: diminuir consumo de energia por unidade de Produto Interno Bruto (PIB) industrial e elevar participação nacional nos mercados de tecnologias, bens e serviços para energia (BNDES, 2012).

A partir de março de 2016, a Resolução nº 687 estendeu aos condomínios, aos consórcios e às cooperativas a compensação dos créditos gerados por telhados solares, como também ampliou para a possibilidade de autoconsumo remoto, em que a geração de energia pode estar em local distinto da edificação, desde que dentro da área de concessão da distribuidora. Com isso, estima-se que, até 2024, no Brasil, terão sido instalados mais de 1,2 milhão de geradores solares, com potência máxima de 5 MWp, com painéis integrados ao telhado ou à fachada das edificações (Pereira *et al.*, 2017).

Uso de energia solar em Salvador

Para o caso específico de Salvador, o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) (Salvador, 2016a, p. 4-61, grifo nosso), em vigor, contempla em seus artigos:

Art. 11 [...]

III - elevar a qualidade do ambiente urbano, por meio da preservação e recuperação dos recursos naturais, do **uso de energias e tecnologias limpas**, da promoção e manutenção do conforto ambiental e da proteção do patrimônio histórico, artístico, cultural, urbanístico, arqueológico e paisagístico; [...]

Art. 13 [...]

VII - apoio ao desenvolvimento sustentável, incentivando o uso de matéria prima proveniente de materiais reutilizados e reciclados, de tecnologias limpas e de baixo impacto ambiental, assim como a **geração de energia de fontes renováveis** e a reutilização de água de chuva, tanto na construção quanto no funcionamento de edificações, reconhecendo os resíduos sólidos reutilizáveis e recicláveis como um bem econômico e de valor social, promotor de cidadania e gerador de trabalho e renda; [...]

Art. 114 [...]

VII - incentivo à adoção de **cogeração de energia e utilização de energias renováveis** em edificações, iluminação pública e transportes; [...]

Art. 122 [...]

II - diversificação da matriz energética existente, estabelecendo medidas efetivas para a implementação do uso de **fontes de energia renováveis** e compatíveis com as condições ambientais; [...]

III - promoção do desenvolvimento e utilização de novas tecnologias no uso de fontes alternativas e **não convencionais de energia**, de forma complementar, inclusive **energia solar**, tendo como objetivo empreendimentos residenciais e grandes equipamentos; [...]

IV - definição de programa de medidas que induzam o uso de **energia solar**, sobretudo para o aquecimento de água; [...]

Além do PDDU, em 2015, a Prefeitura Municipal de Salvador lançou, por meio da Portaria nº 0034/2015, o Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana (IPTU) Verde para incentivar ações e práticas de sustentabilidade em construções, oferecendo descontos diretamente no IPTU. Dividido em três categorias (bronze, prata e ouro) de acordo com a pontuação obtida pela edificação, os descontos variam de 5% a 10%. Entre os itens de pontuação, estão:

15 - Fontes alternativas de energia: uso de painéis solares fotovoltaicos, que atendam a no mínimo 10% da iluminação das áreas comuns, exceto áreas externas e estacionamentos. No caso de edificações constituídas de uma única unidade imobiliária, a economia deve ser de no mínimo 10% do consumo anual total. [...]

25 - Inovações técnicas e de sistemas: sistemas de cogeração e/ou inovações técnicas de qualquer sistema que apresente economia mínima de 20% no consumo anual de energia elétrica (Salvador, 2015, Anexo I).

Mais recentemente, em novembro deste ano, como parte do Programa Salvador 360⁸, com o sexto eixo – Cidade Sustentável –, a prefeitura atualizou o IPTU, denominando-o de IPTU Amarelo, que visa dar desconto de 10% a casas com energia solar.

Apesar dos incentivos vistos, conforme Nota Técnica da Aneel (2017), a maior concentração de sistemas de micro e minigeradores está no estado de Minas Gerais (2.263), seguido por São Paulo (2.116), enquanto no estado da Bahia são apenas 83.

8 Segundo a Prefeitura Municipal de Salvador, “360. Um grande programa, com 8 eixos e 360 medidas, para acelerar o crescimento econômico e social de Salvador. São 3 bilhões de reais investidos na modernização da infraestrutura da cidade e na requalificação do centro histórico. O programa conta também com uma série de ações para simplificar a vida do cidadão, atrair empresas, gerar empregos e fortalecer a economia informal. Além disso, Salvador vai ganhar um *hub* digital, novos investimentos em sustentabilidade e um polo de economia criativa”. Ver em: <http://360.salvador.ba.gov.br/>.

DESENHO URBANO E GERAÇÃO DE ENERGIA

A estrutura espacial de uma cidade é muito complexa e pode afetar tanto o consumo de energia quanto a geração de energia nas edificações. Para o caso da geração de energia solar fotovoltaica, fatores como acesso ao sol e sombreamento das células impactam diretamente no rendimento do sistema.

Estudos realizados por Cheng e demais autores (2006) demonstraram uma influência importante da densidade construída sobre a insolação nas edificações. O melhor potencial para conversão solar fotovoltaica encontrado foi dado pelo arranjo com menor taxa de ocupação do solo, menor densidade bruta, maior heterogeneidade da altura e maior irregularidade na implantação dos edifícios.

Para Montavon (2010), a utilização de sistemas fotovoltaicos em fachadas de edificações em áreas urbanas muito adensadas torna-se inviável, necessitando de uma reorganização dos blocos das edificações para permitir condições favoráveis na utilização de energia solar.

Van Esch, Looman e Bruin-Hordijk (2012) verificaram que a largura da rua e a distância entre as edificações têm uma influência significativa no acesso solar, sendo diretamente proporcional ao acesso do edifício ao sol.

Kanters e Wall (2014) avaliaram os efeitos dos parâmetros urbanísticos suecos (forma, adensamento, orientação e tipo de cobertura) sobre a conversão de energia solar, chegando à conclusão de que o adensamento era o principal parâmetro e, em contrapartida, a orientação das edificações não gerou dados concretos sobre sua influência.

Como exemplo de otimização do desenho urbano, pode-se citar a Cidade Solar (Figura 3) construída em Pichling, município de Linz, na Áustria. A vila possui 1,3 mil habitações, além de lojas, escolas, parques esportivos e outros serviços básicos necessários. Os edifícios residenciais de 2 a 4 pavimentos são orientados sempre que possível no sentido norte-sul, com fachada principal voltada para sul, implantados de maneira que não haja sombreamento. Os bairros são compactos e de uso misto, possuindo uma praça central com serviços de transporte público.

FIGURA 3 – Solar City – Linz (Áustria)



Fonte: Urban Green-blue Grids (2006)..

Após 15 anos, existem cerca de 1,3 mil edificações utilizando painéis fotovoltaicos, com um gasto de energia de 40 kW/m²/ano (Breuste; Riepel, 2008).

CONTEXTO URBANO DE SALVADOR

A cidade de Salvador que, no final do século XVI, possuía uma população com cerca de 8 mil habitantes tem sua população duplicada a cada 50 anos, entre meados do século XVII e XVIII. Mas, com a mudança da capital para o Rio de Janeiro (1763), passa por um período de estagnação, voltando a crescer e se tornar a segunda maior cidade brasileira em termos populacionais nos anos de 1900 (Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas, [2015]).

Entre os anos de 1940 e 1950, a população passou por outro expressivo crescimento, provocando um aumento da demanda por moradias e serviços, o que provocou reflexos na estrutura urbana de Salvador e, consequentemente, no estabelecimento de diretrizes para o desenvolvimento urbano. O aumento das atividades industriais nas cidades vizinhas, a partir da década de 1970, iniciou um movimento em direção a novas centralidades, gerando uma integração maior da cidade de Salvador com regiões limítrofes, como Lauro de Freitas e Simões Filho.

Como instrumentos de controle do desenvolvimento urbano, houve as seguintes formulações: a lei sobre o processo de planejamento e participação comunitária, correspondente à Lei nº 3.345 de 1983; Lei de Ordenamento do Uso do Solo, correspondente à Lei nº 3.377 de 1984; Plano Diretor da Cidade, correspondente à Lei nº 3.525 de 1985 – foram resultantes dos incentivos e promovidas pelo Serviço Federal de Habitação e Urbanismo (Serfhau).

A década de 1980 marca um período de novo adensamento, verificando-se a necessidade de melhorar a mobilidade urbana, a oferta de estacionamento e

disponibilizar plantas mais flexíveis nas edificações, o que provocou um fluxo da região do centro antigo para a direção do eixo Iguatemi – Avenida Paralela, alterando a configuração de regiões como a Pituba, Iguatemi, Tancredo Neves e Paralela. Esse fluxo de adensamento continua na década de 1990, momento em que alguns bairros começam a apresentar sinais de saturação. O processo de ocupação extensiva e às vezes até irregular, ameaçando áreas de conservação ambiental (bairro de Valéria), continua no Subúrbio Ferroviário e em outros locais, como na Orla Atlântica. Além disso, a ocupação do solo torna-se extensiva, caracterizada pela presença de condomínios residenciais unifamiliares.

Sob esse cenário, foi elaborado o PDDU em 2004 e, com base na Lei nº 7.400/2008, um novo PDDU, que contemplava os dispositivos previstos no Estatuto da Cidade e visava ao controle do ordenamento e uso do solo na totalidade da cidade, dividindo-a em zonas de uso e especificando os devidos parâmetros de ocupação. Em 2012, o PDDU sofreu alterações por meio da Lei de Ordenamento do Uso e da Ocupação do Solo (Louos), correspondente à Lei nº 8.167/12, da Lei nº 8.379/12 (Salvador, 2012), como também da Lei nº 8.378/12 para incentivos à construção de hotéis. Cenário esse que, segundo a publicação Plano Salvador 500, levou “[...] a cidade a um quadro de insegurança jurídica no que diz respeito às possibilidades de uso e ocupação do solo que refrearam a produção imobiliária e a plena aplicação dos instrumentos de política urbana” (Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas, [2015], p. 9).

Nesse contexto, com uma população estimada da ordem de 2,7 milhões de pessoas e densidade demográfica 3.859,44 hab/km² (IBGE, 2011), em 2016, iniciam-se os trabalhos de revisão do PDDU e da Louos, que foram aprovados, respectivamente, pela Lei nº 9.069 /2016 (Salvador, 2016a) e pela Lei nº 9.148 /2016 (Salvador, 2016b).

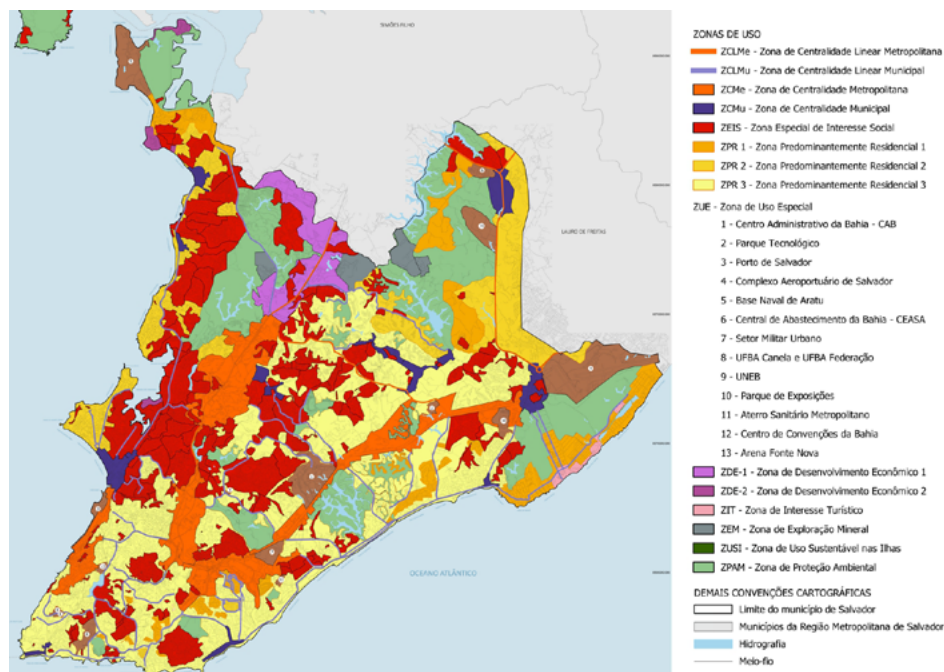
O PDDU (Salvador, 2016a) tem como base os fundamentos expressos na Constituição Federal, na Constituição do Estado da Bahia, na Lei Orgânica do Município de Salvador e no Estatuto da Cidade, bem como integra o Plano Salvador 500⁹, articulando-se com a “visão estratégica para o Município até 2049,

9 Art. 2º - Parágrafo único - “O Plano Salvador 500 é o plano estratégico de desenvolvimento para Salvador, com horizonte até o ano de 2049, que incorpora as diretrizes e estratégias de desenvolvimento socioeconômico, cultural e urbano-ambiental institucionalizadas no PDDU, desdobrando-as em programas, projetos e ações com objetivos, indicadores e metas de curto, médio e longo prazo, e estabelece instrumentos de gestão, de monitoramento e de avaliação” (Salvador, 2016a, p. 1).

com o Planejamento Metropolitano e com os Planos dos demais municípios da Região Metropolitana de Salvador” (Salvador, 2016a, p. 1).

Com o objetivo de definir as principais características e restrições no que se refere à ocupação e à forma urbana, o município de Salvador foi dividido em 12 zonas de uso¹⁰ (Figura 4).

FIGURA 4 – Zonas de uso do município de Salvador



Fonte: adaptada de Mapa 1A – Anexo 2 da Louos (Salvador, 2016b).

O novo PDDU promoveu, entre outras, alterações como: a alteração do modelo físico-territorial por meio do macrozoneamento (macroáreas e zonas de uso) que, aliado a outros instrumentos, direcionará o desenvolvimento urbano; a extinção do zoneamento que trazia exclusividade de usos, a exemplo da antiga Zona de Uso Exclusivamente Uniresidencial (ZEU); a criação de

10 I - ZPR – Zona Predominantemente Residencial; II - ZEIS – Zona Especial de Interesse Social; III - ZCMe – Zona Centralidade Metropolitana; IV - ZCMu – Zona Centralidade Municipal; V - ZCLMe – Zona Centralidade Linear Metropolitana; VI - ZCLMu – Zona Centralidade Linear Municipal; VII - ZUSI – Zona de Uso Sustentável nas Ilhas; VIII - ZDE – Zona de Desenvolvimento Econômico; IX - ZIT – Zona de Interesse Turístico; X - ZEM – Zona de Exploração Mineral; XI - ZUE – Zona de Uso Especial; XII - ZPAM – Zona de Proteção Ambiental (Salvador, 2016b)

Zonas de Centralidades, regiões estratégicas da cidade para onde converge o maior fluxo de pessoas e onde deve existir maior permissividade de atividades e densidades construtivas; a definição de três coeficientes de aproveitamento – mínimo, básico e máximo – a serem utilizados de forma articulada à aplicação dos demais instrumentos da política urbana e dos parâmetros urbanísticos de ocupação do solo (Paes, 2016).

Quanto ao gabarito das edificações, apresentado na Figura 5, na área de Borda da Baía de Todos os Santos, foram mantidos os gabaritos atuais, incorporando regras estabelecidas na Lei nº 3.289 de 1983, voltada à proteção cultural e paisagística do Centro Histórico e arredores. Já no trecho denominado de Borda Atlântica, as restrições de altura foram divididas em quatro faixas, sendo a primeira no limite das áreas urbanizáveis próximas à área de praia, visando ao não sombreamento das areias da praia no período das 9h às 15h, como também busca resguardar o conforto ambiental urbano (Salvador, 2016a).

Segundo o artigo 275, item III, nas quadras localizadas próximas ao mar, como incentivo à regeneração urbana por meio da substituição de edificações deterioradas ou ocupação dos espaços subutilizados, será permitido “[...] superar o limite de gabarito em até 50% (cinquenta por cento) daquele estabelecido [...]” (Salvador, 2016a, p. 142).

O que se percebe na análise dos parâmetros urbanísticos citados é que, embora exista o incentivo ao uso de energias renováveis, não são especificados índices que restrinjam o sombreamento entre edificações para que o uso dos sistemas de geração fotovoltaica possa ser maximizado.

A seção a seguir trata de um estudo de caso de sombreamento realizado em uma pequena parte do bairro da Barra, com fins de verificar a viabilidade na instalação de sistemas fotovoltaicos nas edificações.

OBJETO DE ESTUDO

O bairro da Barra (Figura 6) possui uma localização privilegiada, no extremo sul da península da cidade, tendo de um lado a Baía de Todos os Santos e de outro o Oceano Atlântico. Além da paisagem, possui um rico acervo histórico e arquitetônico, como os Fortes de São Diogo e Santa Maria, bem como o Farol da Barra, um dos pontos turísticos mais famosos da cidade.

FIGURA 6 – Bairro da Barra – Salvador (BA)



Fonte: Guia geográfico - Bahia.

Conforme classificação do PDDU (Salvador, 2016a), o bairro encontra-se na Zona Centralidade Municipal (ZCMu), onde se concentram as atividades administrativas, financeiras, de prestação de serviços diversificados, atividades comerciais diversificadas, de âmbito municipal e regional, bem como as de uso residencial, geralmente instaladas em áreas com fácil acessibilidade, por vias estruturais e por transporte coletivo de passageiro de média e alta capacidade. São classificadas em duas categorias, diferenciadas pela intensidade de ocupação: ZCMu-1: Ipitanga /CIA Aeroporto; ZCMu-2: Barra e Pituba.

Ainda, segundo o PDDU:

As ZCMu-2 compreendem as centralidades existentes e estruturadas nas imediações dos corredores de transporte coletivo de passageiro de média capacidade, compreendendo atividades comerciais diversificadas e de prestação de serviços diversificados e por equipamentos de saúde, educação, dentre outros, de atendimento à população moradora, bem como o uso residencial (Salvador, 2016a, p. 91).

QUADRO 1 – Parâmetros urbanísticos para o bairro da Barra

Tipo de zona	Zona de uso	Coeficiente de aproveitamento			Índice de ocupação máxima	Índice de permeabilidade mínima	Recuos mínimos (em metros)			Quota máxima de terreno por unidade (m²)
		CA Min	CAB	CAM			Frente	Laterais	Fundo	
ZCMu	ZCMu 1	0,20	1,00	2,00	0,60	0,20	4,00(c)	1,50(e)	2,50(f)	NA
	ZCMu 2	0,30	1,50	3,00	0,60	0,20	4,0(c)	1,50(e)	2,50(f)	

Tipo de zona	Zona		Frente mínima (m)		Área mínima (m²)	
	ZCMu	ZCMu 1 – Ipitanga	20,00		500,00	
		ZCMu 2	12,00		360,00	

Fonte: Salvador (2016a).

No Quadro 1, são apresentados os parâmetros urbanísticos atuais para o bairro da Barra, conforme especificado no PDDU (Salvador, 2016a).

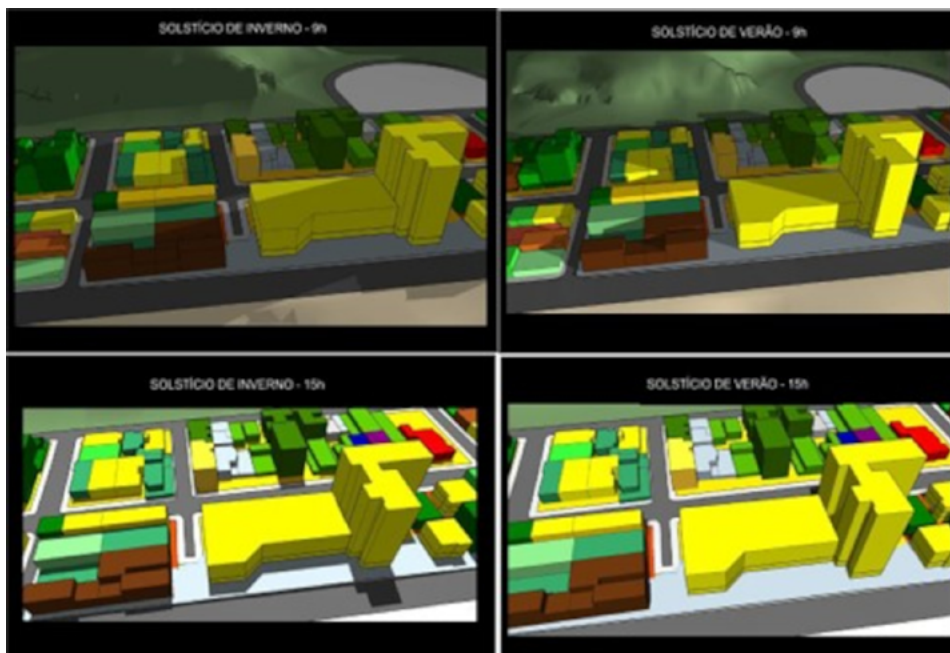
O modelo geométrico utilizado (Figura 7), desenvolvido na ferramenta SketchUp Pro 2017, considera um pequeno trecho localizado entre a Avenida Oceânica, Farol da Barra, Rua Afonso Celso e Rua Arthur Neiva, escolhido devido à sua localização, à diversidade de usos (uso misto, exclusivamente residencial e exclusivamente comercial) e aos gabaritos.

FIGURA 7 – Modelo geométrico do trecho objeto de estudo



Fonte: LCAD - âmbito do Ateliê Digital Integrado, (2017).

FIGURA 8 – Recorte do estudo de sombreamento



Fonte: elaboração da autora.

Para a análise do sombreamento entre as edificações, foram escolhidos os solstícios de verão e inverno nos horários de 9h e 15h, indicados para as análises de insolação no PDDU. Assim, verifica-se que grande parte das coberturas e fachadas seriam sombreadas no período da manhã devido ao pequeno afastamento entre as edificações. Já no período da tarde, o impacto nas coberturas é bem menor (Figura 8).

Devido à largura das ruas, existe pouco sombreamento entre edificações de quadras consecutivas, no período da tarde tanto no solstício de inverno quanto no solstício de verão. Vale salientar que, segundo a Louos de 2012, a barra pertencia à Zona Predominantemente Residencial¹¹ (ZPR – 5), obedecendo as restrições (Quadro 2):

Comparando-se com os parâmetros atuais, verifica-se que o Recuo Frontal Mínimo (RFM) passou de 5,00 m para 4,00 m, o Coeficiente de Aproveitamento Máximo de 2,5 para 3,0, o Índice de Ocupação Máxima¹² de 0,5 para 0,6 e o Índice de Permeabilidade Mínima se manteve em 0,2.

Essas alterações irão impactar no afastamento entre as edificações e, consequentemente, no sombreamento provocado. Nos estudos existentes sobre o efeito dos parâmetros urbanos na geração de energia, citados na seção intitulada “Desenho urbano e geração de energia”, percebe-se que parâmetros como a densidade, a altura construída, a distância entre os edifícios, a área de envoltória, a forma geométrica e orientação são cruciais quando se trata de disponibilidade de luz e sol nas superfícies construídas. Assim sendo, devem ser pensados de forma estratégica para que se tenha o melhor aproveitamento possível.

Para Van Esch, Looman e Bruin-Hordijk (2012), a distância entre edificações vizinhas é um dos parâmetros de maior peso na disponibilidade de radiação solar e, para o caso em estudo, o RFM diminui e, consequentemente, os edifícios ficarão mais próximos, diminuindo a disponibilidade de radiação solar.

Na maioria dos casos, a cobertura é a superfície do edifício com a maior exposição à radiação solar, mas em alguns casos o sombreamento de edificações vizinhas é um fator complicador. Na Figura 8, pode ser visto casos em que esse sombreamento acontece no período da manhã (solstício de inverno e verão 9h).

11 Zona Predominantemente Residencial (ZPR) – zona na qual é admitida a convivência dos usos residenciais predominantes com outros usos, de natureza diversa, assegurada a compatibilidade entre si (Salvador, 2012, Anexo 1, p. 16).

12 Parâmetro urbanístico que expressa a relação máxima entre a área de projeção da edificação e a área do terreno (Salvador, 2012, Anexo 2, p. 9).

QUADRO 2- Parâmetros urbanísticos para o bairro da Barra

Zonas de ocupação	Localização	Restrições de ocupação						Testada Mínima	Recuo mínimo			
		CAB		CAM		IP	IO		Lote Mínimo	Frontal (1)	Laterais (2)	Fundo
		Residencial	Não Residencial	Residencial	Não Residencial							
ZPR-5	Canela Graça Barra Brotas Cabula Rio Vermelho Nazaré Barbalho	1,50	1,25	2,50	-	0,20	0,50	12,00	360,00	5,00	1,50	2,50

Fonte: Anexo 4 da Louos (Salvador, 2012).

As fachadas são menos expostas e recebem menores valores de radiação, variando também com a sua orientação. O conhecimento dessas variáveis possibilita definir as melhores orientações e as alturas das edificações que produzam o menor sombreamento possível e os posicionamentos mais adequados para os sistemas BIPV. Como visto nas Figura 7 e Figura 8, o trecho estudado apresenta certa homogeneidade nas alturas das edificações, o que, segundo Cheng e demais autores (2006), diminuiria a possibilidade de geração de energia.

Assim, faz-se necessária a simulação com os diferentes parâmetros urbanísticos para que se possa determinar os valores ideais no que tange à otimização do potencial de geração de energia solar fotovoltaica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

É fato que a utilização de fontes de energia renováveis, como a fotovoltaica, é extremamente viável e disponível em qualquer parte do país. Com a diminuição dos custos dos equipamentos, a utilização de mecanismos de financiamento para a compra de sistemas fotovoltaicos e a adoção de medidas que favorecem a compensação de energia, a exemplo dos sistemas conectados à rede no âmbito da microgeração e minigeração distribuída, a tecnologia fotovoltaica vem, cada vez mais, sendo utilizada.

Para as edificações que estão inseridas no contexto urbano, uma outra questão importante é o impacto do sombreamento sobre os painéis fotovoltaicos instalados, provocando redução da energia elétrica gerada. A análise correta durante a fase de projeto pode evitar a redução do potencial de aproveitamento da radiação solar incidente, prever possíveis perdas e evitar sub ou superdimensionar o sistema. Para tanto, faz-se necessária uma nova abordagem, considerando os atuais parâmetros urbanísticos, tais como o volume, a forma e a orientação das edificações em relação ao contexto urbano em que estão inseridas, para que existam projetos mais conscientes e sustentáveis.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD) por disponibilizar o modelo geométrico do trecho utilizado neste capítulo.

REFERÊNCIAS

ABINEE. *Propostas para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira*. [S. l.]: Abinee, 2012. Disponível em: <http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2016.

ANEEL. *Nota Técnica nº 0056/2017-SRD*. Brasília, DF, 2017. Disponível em: https://www.solarize.com.br/downloads/ANEEL_Nota_Tecnica_estimativa_GD_0056-2017-SRDANEEL.pdf. Acesso em: 19 jun. 2017.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (Brasil). Plano Brasil maior. In: BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (Brasil). *Relatório anual BNDES 2011*. Rio de Janeiro: BNDES, 2012. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/930>. Acesso em: 7 mar. 2024.

BASTIAN, A. V. Reflexão sobre os parâmetros urbanísticos de Salvador e o uso de energia solar fotovoltaica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. *Anais [...]*. São Paulo: CBENS, 2018.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. *Balanço energético nacional 2017*: ano base 2016. Rio de Janeiro: EPE, 2017. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-46/topico-82/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf. Acesso em: 7 mar. 2024.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 481 de 17 de abril de 2012. Altera a Resolução Normativa nº 77, de 18 de agosto de 2004. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, ano 149, n. 77, p. 65, 20 abr. 2012a. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012481.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2016.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, ano 149, n. 76, p. 53, 19 abr. 2012b. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2016.

BREUSTE, J.; RIEPEL, J. Development of the EcoCity: why and where sustainable urban development? In: SINGH, A. L.; SAHAB, F. (org.). *Urban environmental management*. New Delhi: B. R. Publishers, 2008.

CEKIĆ, N. *et al.* Application of solar cells in contemporary architecture. *Contemporary Materials*, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 104-114, Oct. 2015. Disponível em: http://savremenimaterijali.info/sajt/doc/file/casopisi/6_2/3-cekic.pdf. Acesso em: 20 ago. 2016.

CHENG, V. *et al.* Urban form, density and solar potential. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 23., 2006, Geneva. *Anais [...]*. Geneva: Université de Genève, 2006. p. 696-701. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/280037987>. Acesso em: 20 ago. 2016.

DEBBARMA, M.; SUDHAKAR, K.; BARENDAR, P. Thermal modeling, exergy analysis, performance of BIPV and BIPVT: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 73, p. 1276-1288, Feb. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117302472?via%3Dihub>. Acesso em: 8 jul. 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). *Balanco energético nacional 2017: ano base 2016*. Rio de Janeiro: EPE, 2016. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-46/topico-82/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf. Acesso em: 8 jul. 2017.

FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS. *Plano Salvador 500: relatório de caracterização atual*. Salvador: FIPE, [2015]. Disponível em: <https://www.cms.ba.gov.br/uploads/pddu/Caracterizacao%20Atual.pdf>. Acesso em: 19 mar 2017.

IBGE. Censo Demográfico 2010. IBGE: Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 7 mar. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Snapshot of global photovoltaic markets*. [S. l.]: IEA, 2017. Disponível em: https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IEA-PVPS_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2016__1_.pdf. Acesso em: 8 mar. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Technology roadmap: solar photovoltaic energy* – 2014 edition. France: IEA, 2014. Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net/assets/e78cd964-9859-48c8-89b5-81fb4a1423b3/TechnologyRoadmapSolarPhotovoltaicEnergy_2014edition.pdf. Acesso em: 15 nov. 2016.

KANTERS, J.; WALL, M. The impact of urban design decisions on net zero energy solar buildings in Sweden. *Urban, Planning and Transport Research*, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 312-332. Oct. 2014. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/21650020.2014.939297>. Acesso em: 8 jul. 2017.

MARTÍN CHIVELET, N.; FERNANDEZ SOLLA, I. *Técnicas de vedação fotovoltaica na Arquitetura*. Porto Alegre: Bookman, 2010.

MONTAVON, M. *Optimisation of urban form by the evaluation of the solar potential*. 2010. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculté Environnement Naturel, Architectural Et Construit, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, 2010. Disponível em: https://infoscience.epfl.ch/record/145897/files/EPFL_TH4657.pdf. Acesso em: 8 jul. 2017.

PAES, J. F. *Notas do Curso: curso de atualização do PDDU de LOUOS – Lei do Ordenamento do Uso e Ocupação do Solo de Salvador*. Salvador: [s. n.], 25 mar. 2017.

PEREIRA, E. B. *et al. Atlas brasileiro de Energia Solar*. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. E-book. Disponível em: <https://repositorio.unifesp.br/items/3a0c7b2a-a107-4cc9-9449-f08db316e47e>. Acesso em: 19 mar 2017.

RÜTHER, R. *Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil*. Florianópolis: LABSOLAR, 2004.

SALVADOR. Decreto nº 25.899 de 24 março de 2015. Regulamenta o art. 5º da Lei nº 8.474, de 02 de outubro de 2013, e institui o Programa de Certificação Sustentável “IPTU VERDE” em edificações no Município de Salvador, que estabelece benefícios fiscais aos participantes do programa, assim como o art. 5º da Lei nº 8.723, de 22 de dezembro de 2014, e dá outras providências. *Diário Oficial do Município*, Salvador, ano 28, n. 6305, p. 6-10, 25 mar. 2015. Disponível em: http://iptuverde.salvador.ba.gov.br/downloads/Tabela_de_Pontos.pdf. Acesso em: 19 mar 2017.

SALVADOR. Lei nº 8.167/2012. Dispõe sobre a Lei de Ordenamento do Uso e da Ocupação do Solo do Município de Salvador e dá outras providências. *Diário Oficial do Município*, Salvador, ano 24, n. 5534, p. 14, 17 jan. 2012. Disponível em: <https://sedur.salvador.ba.gov.br/louos-2016/18-legislacao/62-louos>. Acesso em: 19 jan. 2024.

SALVADOR. *Lei nº 9.069/2016*. Dispõe sobre o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano do Município de Salvador – PDDU 2016 e dá outras providências. Salvador: Gabinete do Prefeito Municipal do Salvador, 2016a. Disponível em: <https://sedur.salvador.ba.gov.br/pddu-2016/18-legislacao/65-leis-pddu>. Acesso em: 19 jan. 2024.

SALVADOR. *Lei nº 9.148/2016*. Dispõe sobre o Ordenamento do Uso e da Ocupação do Solo do Município de Salvador e dá outras providências. Salvador: Gabinete do Prefeito Municipal do Salvador, 2016b. Disponível em: <https://sedur.salvador.ba.gov.br/louos-2016/18-legislacao/62-louos>. Acesso em: 19 jan. 2024.

UNITED NATIONS. *World urbanization prospects: the 2014 revision*. New York: UNO, 2015. Disponível em: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2014-Report.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2017.

URBAN Green-Blue Grids. *Solar City, Linz, Austria*. 2006. Disponível em: <https://urbangreenbluegrids.com/projects/solar-city-linz-austria/>. Acesso em: 5 set. 2017.

VAN ESCH, M. M. E.; LOOMAN, R. H. J.; BRUIN-HORDIJK, G. J. The effects of urban and building design parameters on solar access to the urban canyon and the potential for direct passive solar heating strategies. *Energy and Buildings*, [s. l.], v. 47, p. 189-200. Dec. 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811005883?via%3Dihub>. Acesso em: 8 jul. 2017.

PARTE 4

TECNOLOGIAS DIGITAIS APLICADAS AO CONTEXTO URBANO

O estado da arte da aplicação das tecnologias digitais perpassa todos os setores, todas as esferas e todo o ambiente das atividades humanas. A aplicação no campo da Arquitetura e do Urbanismo como recurso e meio de representação, análise e gestão do espaço desenvolve-se aceleradamente e requer constante atualização e investigação na busca de melhores práticas para uso adequado das novas tecnologias que vão surgindo. Existem diversos campos de aplicação, como aquisição de dados por varredura a *laser* e fotogrametria digital, modelagem geométrica e documentação arquitetônica e urbanística, análise de problemas urbanísticos e proposição de soluções, gestão urbana e ambiental, apoio ao trabalho colaborativo e integrado, entre outros.

O primeiro texto da Parte 4 – correspondente ao capítulo 10 do livro –, de Pablo Vieira Florentino e Gilberto Corso Pereira, foi publicado na *6th International Conference on Smart Data and Smart Cities*, em Stuttgart, Alemanha (2021). Compreende a cidade em rede como um complexo sistema aberto que demanda pesquisas sobre a pluralidade comunicacional. Aborda a influência das plataformas digitais e redes sociais nas dinâmicas da cidade e na evolução da representação do espaço urbano, devido ao aumento da densidade informacional e comunicacional. Com base nos traços digitais desenvolvidos em

Porto Alegre, apresenta os resultados alcançados que revelam redes eficientes para troca de dados e caminhos curtos entre os elementos da rede, moldados por estruturas seguindo o modelo Small World. Aponta perspectivas alternativas e novas abordagens para o debate sobre o espaço urbano, repensando sua representação e conhecimento coletivo.

O capítulo 11, de Arivaldo Leão de Amorim, foi publicado nos anais do IV Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo (Enanparq) (2016). Busca contribuir para a explicitação do paradigma Modelagem da Informação da Cidade (CIM)¹, visando ao fomento da discussão e à sua consequente depuração conceitual. Fundamentado numa forte analogia com o paradigma Modelagem da Informação da Construção (BIM)² e com uma abordagem complementar ao conceito de *smart city*, o CIM representa uma promessa para o futuro, visto que existem muitas questões em aberto que envolvem desde aspectos conceituais, tecnológicos, operacionais e institucionais até políticos e econômicos. Se a implementação do CIM representa um grande desafio a ser superado nos próximos anos, os desafios que já estão colocados pelas cidades no século XXI são ainda maiores. Apesar do desenvolvimento do CIM num ambiente de crise econômica e de incertezas suscitar muitas dúvidas quanto à sua viabilidade ou oportunidade, questões como a crise da água, da energia, problemas na mobilidade urbana, entre outras, ratificam a grande relevância dessa discussão.

O capítulo 12, de Natalie Johanna Groetelaars, Adaildes Moreira do Nascimento e Arivaldo Leão de Amorim, foi publicado na *Revista Brasileira de Expressão Gráfica* (2020). Apresenta e discute os experimentos realizados em um trecho do Centro Histórico de Salvador para a geração do modelo geométrico texturizado da área. O texto inicia-se pela abordagem sobre aplicações de modelos geométricos (3D) de cidade, níveis de detalhe, sistemas para aquisição de dados e métodos para geração e processamento de nuvem de pontos. Depois, descreve os experimentos realizados, envolvendo desde a tomada fotográfica (terrestre e aérea), a geração de nuvem de pontos por processamento digital das fotografias, até as fases finais de modelagem geométrica e aplicação de texturas fotorrealísticas, a partir de diferentes processos e ferramentas, usando-se a nuvem de pontos como referência.

1 Na língua inglesa, refere-se a *City Information Modeling* (CIM).

2 Na língua inglesa, refere-se a *Building Information Modeling* (BIM).

O capítulo 13 – último texto desta Parte 4 –, de Erika do Carmo Cerqueira, Juliet Oliveira Santana e Gilberto Corso Pereira, foi publicado no *Painel Salvador Mudança do Clima – Cadernos Temáticos* (2020). Apresenta algumas considerações acerca de importantes situações de risco que ocorrem na cidade de Salvador, como desabamentos de imóveis, deslizamentos de terra e alagamentos, além de avaliar as ações de resiliência implementadas. Metodologicamente, faz o mapeamento de três situações de risco integrado em mapa síntese sucessivo, ao qual é sobreposto o mapeamento das ações de resiliência. Conclui sobre o padrão de distribuição espacial do conjunto de riscos e dos principais fatores influentes na determinação dos riscos, resultante de diferentes lógicas de produção do espaço, bem como avalia as ações de resiliência.

CAPÍTULO 10

REDES URBANAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA VOLUNTÁRIA COMO FERRAMENTA PARA INTELIGÊNCIA COLETIVA¹

*Pablo Vieira Florentino
Gilberto Corso Pereira*

INTRODUÇÃO

O espaço urbano certamente deve ser compreendido como uma trama relacional de grande complexidade (Delgado, 2007), associada a diversos significados, especialmente quando se consideram as plataformas digitais para comunicação, relacionamentos e participação. Netto (2014) apontou a relevância desses elementos para a pesquisa na área de Urbanismo e os estudos de dados urbanos como elementos constituidores do espaço urbano. Denominamos essa trama como uma dimensão digital, ou uma camada digital,

¹ Originalmente publicado em: Florentino e Pereira (2021).

estrutura por relações, interações, rastros e dados que se desenvolvem na rotina urbana. A crise causada pela pandemia da covid-19 tornou o debate relativo ao uso e ao gerenciamento de dados urbanos, assim como aqueles produzidos pelos cidadãos, uma questão urgente. A digitalização dos espaços – físico e social – e dos processos modificou a vida do ser humano nas cidades e traz novos desafios e oportunidades para a administração pública. Governantes locais necessitarão de acesso robusto e eficaz a grandes conjuntos de dados, além de uma governança de dados, infraestruturas seguras de armazenamento e *expertise* para extrair conhecimento e gerar valor a partir dos dados produzidos no espaço urbano.

Os obstáculos contemporâneos enfrentados para lograr êxito no acesso a dados descritores da realidade social, econômica e urbana nas metrópoles tornam indispensáveis à formulação de políticas públicas para dados e informações locais, no sentido de garantir um futuro sustentável. Tais políticas de dados precisam garantir e permitir o monitoramento das transformações sociais, demográficas, econômicas, urbanas e ambientais. Nesse contexto de sociedade e cidades pós-industriais, a economia digital (dos dados) fortifica a camada digital e é realçada como uma tendência, baseada em dados e informação (United Nations, 2019). Os movimentos de terceirização e uberização reforçam esse cenário, extinguindo profissões tradicionais da classe média e alimentando a camada digital com mais dados. Tendências futuras de digitalização da economia e das relações sociais fazem da habilidade de processar dados um aspecto crucial para as próximas décadas. Nas dinâmicas atuais da internet, usuários cedem – frequentemente sem ônus ou relutância – informações sobre si mesmos para redes sociais digitais e plataformas *mobile*. Dados aparentemente sem valor quando isolados (idade, educação, atividades locais, consumo, relações sociais e assim por diante) tornam-se um produto extremamente valioso para *big players* da economia digital (Morozov, 2018).

Na verdade, existe uma crise de dados para a maioria das cidades brasileiras, especialmente nas suas políticas e infraestruturas locais. Iniciativas e métodos tradicionais, utilizados pela administração pública, são incapazes de capturar a camada digital e seus respectivos dados, descartando um grande conjunto de informações valiosas e impedindo o uso de métodos computacionais em larga escala. Assim, este trabalho busca desenvolver representações e análises do espaço urbano que auxiliem na compreensão dessa dimensão digital. Compreendemos esse processo como um caminho para extração e descoberta

de conhecimento (Han; Kamber; Pei, 2012) a partir de dinâmicas urbanas e contextos desconsiderados em pesquisas acadêmicas preliminares. O advento e a consolidação das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC), progressivamente indissociáveis da vida urbana contemporânea, permitiram capturar e armazenar dados capazes de representar relações, participações e interações relativas ao espaço urbano. A pesquisa tradicional na área de Urbanismo mostrou-se incapaz de desenvolver processos de coleta e organização de dados da dimensão digital através de formatos mais transparentes e compreensivos.

Nesse cenário, deve-se considerar o grande potencial para redesenhar as cidades como vastos sistemas abertos, com ampla disponibilização de dados e processos – reutilizáveis e reproduzíveis graças às TIC –, e que se tornam elementos fundamentais para alcançar o engajamento e a participação cidadã. Um caminho possível para aprimorar a cidadania se dá através de plataformas para Volunteered Geographic Information (VGI) (Coleman; Georgiadou; Labonte, 2009), capturando uma parte significativa de dados oriundos da dimensão digital e revelando visões detalhadas e coletivas das dinâmicas urbanas.

Pesquisa e objetivos

Neste capítulo, apresentamos nossa pesquisa relativa a um mapa colaborativo da cidade de Porto Alegre, PortoAlegre.cc, uma plataforma cartográfica, colaborativa e voluntária, aberta a visitantes. Qualquer indivíduo – registrado na plataforma – poderia criar causas georreferenciadas no espaço urbano da cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, através de sua interface. Buscamos examinar formas de representação da inteligência coletiva provida pelos próprios habitantes da cidade. O estudo de caso sobre comunidades de usuários de mapeamento colaborativo buscou identificar relacionamentos específicos entre bairros e cidadãos, contribuindo para a construção de uma cartografia digital.

As bases para nossa pesquisa partem da ideia de amplificação na densidade informacional e comunicacional considerando as metrópoles – trazida por Santos (1996) – e as estruturas que surgem a partir das redes digitais. Dessa forma, o objetivo principal de nosso trabalho é avaliar como as redes sociais formadas em espaços digitais, como PortoAlegre.cc, estruturam o espaço relacional das cidades e amplificam os contextos e as densidades das relações entre elementos no espaço urbano, observando seus usos, fluxos, rastros e estruturas para produzir representações e perspectivas alternativas sobre a cidade.

Um objetivo secundário é apresentar possibilidades de uso de dados coletivos pelas governanças locais numa abordagem orientada ao cidadão.

DA CIDADE INTELIGENTE PARA A CIDADE COPYLEFT

As ideias relativas ao excedente do conhecimento coletivo, apresentadas por Cocco, Galvão e Silva (2003), revelam um contexto contemporâneo de cidades preenchidas por processos digitais e eletrônicos materializados pela produção contínua de dados e mídia e suas respectivas publicações em plataformas digitais. Dispositivos digitais tornam-se cada vez mais portáteis, móveis e conectados, gerando retornos para o espaço urbano através da participação e compartilhamento de conteúdo em grandes redes de dados (Shane, 2005). Um volume enorme desses dados e rastros digitais pode ser coletado, requerendo técnicas atualizadas para processamento e análise de dados, o que caracteriza o fenômeno do *big data* (EMC Education Services, 2015; Kamienski *et al.*, 2016). Esse processo de retorno opinativo baseado em dados urbanos permite que a cidade descubra mais sobre si mesma, desde que principalmente a administração pública e a sociedade civil tornem-se vigilantes, sensíveis e dispostas a desenvolver processos para coleta, tratamento e observação desses dados, no sentido de identificar modelos e padrões representativos em relação ao espaço urbano.

Cidade inteligente

Um exemplo prático está nos dados dos cartões inteligentes (*smart cards*) para mobilidade urbana (ônibus, trens, metrô, bicicletas compartilhadas, entre outros), que podem indicar linhas, estações e horários de pico no transporte público, assim como a integração entre diferentes tipos de transporte. Nesse contexto, o conceito de cidade inteligente emerge na primeira década do século XXI como uma mescla de ideias relacionadas à maneira como as TIC devem operar para aprimorar o funcionamento das cidades, amplificando eficiência e competitividade, além de proverem novas formas de expor e tratar questões ambientais, pobreza e imobilidade social (Harrison *et al.*, 2010). Todavia, a ideia de cidade inteligente não pode ser meramente representada por um grande conjunto de instrumentos entre camadas e escalas distintas, conectadas por múltiplas redes coletando continuamente dados sobre fluxos de pessoas e bens de consumo. Mesmo que esses dados auxiliem na tomada

de decisões relacionadas às formas e às ocupações em espaços físicos e sociais da cidade, eles não são suficientes para justificar o uso do termo “inteligente” (*smart*) (Batty *et al.*, 2012).

Tais autores argumentam que cidades somente devem ser consideradas *smart* se existirem funções e serviços inteligentes capazes de ampliar e aprimorar equidade, sustentabilidade e qualidade de vida dos seus habitantes. A pesquisa relacionada às cidades inteligentes deve seguir para além da instrumentação de hardware e software ou simplesmente dados, mapas ou tabelas de acumulação de números. Ela deve também incluir temas como formatos alternativos de redes para organização da sociedade, em contraste a estruturas hierárquicas, além de valorizar as trocas e relações entre seus participantes buscando aprimorar projetos e desenvolver soluções para questões coletivas.

A construção desses espaços sociais – organizados em redes e caracterizados por rastros interativos e informativos – provoca reflexões considerando formas e práticas de interações sociais à parte da concepção funcional e estruturalista, a qual é baseada em relações comunicativas analógicas. Como afirma Di Felice (2007, p. 2): “As fórmulas da sociedade de massa, baseadas na distinção entre remetente e receptor, entre empresa e consumidor, instituições e cidadãos não são mais capazes para explicar a complexidade das relações sociais contemporâneas [...]”. O funcionamento efetivo da cidade inteligente deve ter premissas como coordenação, comunicação, acoplamento e integração, além de plano de desenvolvimento com vasta conectividade entre infraestrutura, habitantes e serviços. Esse conjunto de premissas requer novos formatos de bases de dados, métodos de mineração de dados e análises de padrões, assim como *frameworks* de integração entre elementos de software diversificados e setores funcionais urbanos, juntamente a diferentes formas de organização e governança, a fim de permitir efetividade e justiça para todo o processo (Batty *et al.*, 2012). A participação popular, amparada por uma ciência cidadã, deve trabalhar como fundamento principal da cidade inteligente, permitindo a qualquer cidadão se comunicar com outras pessoas e outros grupos e associações que o representem.

Métodos tradicionais para pesquisas demográficas e censos populacionais observam cada habitante ou cada família de maneira unívoca dentro da sociedade. Relações e redes sociais (não somente as digitais) estabelecidas em espaços urbanos com alta densidade populacional não são tratados nessas abordagens: há uma lacuna no uso de ferramentas técnicas que, por um lado,

consideram obstáculos em coletar e analisar os dados e, por outro, devido ao desinteresse da administração pública. Essa lacuna reforça a necessidade por investimentos em formas alternativas de investigação e representação do tecido urbano nas suas diferentes camadas, permitindo à cidade inteligente descobrir mais sobre si mesma.

Projetos urbanos e comunidades virtuais

A realidade do urbanismo brasileiro nos mostra que a maior parte dos projetos urbanísticos e arquitetônicos modernos e contemporâneos reforça a ideia de prédios, casas e condomínios projetados como enclaves, segregando seus próprios habitantes. A sociabilidade e diversidade dos espaços urbanos compartilhados – ruas, praças e parques – são enfraquecidas, esvaziando espaços públicos e reforçando a ideia de uma arquitetura do medo (Bauman, 2009; Caldeira, 2000; Ellin; Blakely, 1997). Nesse contexto, encontros presenciais tornaram-se cada vez mais incomuns nos ambientes urbanos projetados para promover a segregação urbana, aumentando a homogeneidade e a distância física entre pessoas, ampliadas pela popularização de condomínios privados e áreas residenciais. Esse processo criou bairros segregados, independentemente de classe socioeconômica, reduzindo o uso de espaços urbanos públicos.

As redes sociais digitais e outras plataformas tornaram-se não somente um refúgio urbano, mas também uma tendência para uma sociabilidade com maior diversidade, composta por mais interações, sustentadas em ambientes digitais considerados mais seguros para estabelecer contatos sociais, debates e trocas de informações entre pessoas desconhecidas (Bauman, 2001; Castells, 2009). Um dos desafios da administração pública é capturar e compreender as dinâmicas e reivindicações sociais digitais, considerando a atualidade estabelecida em diversas cidades, especialmente as brasileiras, no sentido de prover e ajustar espaços físicos para promover o direito à cidade (Lefebvre, 2009). A baixa capacidade urbana em prover direitos e espaços para a pluralidade social tem consequências práticas em diversas manifestações por direitos sociais (como as manifestações urbanas). Isso torna a luta por reconhecimento (como cidadão) uma fonte para reflexões e debates, reorganizando as linhas divisórias de conflitos renovados, frequentemente relacionados aos direitos do cidadão urbano (Bauman, 2003). O movimento Occupy, que se desenvolveu em diversas cidades ao redor do mundo (Figura 1), e os protestos populares do Brasil

durante 2013 (Figura 2) devem ser citados como exemplos fortes e sólidos de um grande clamor social por direitos urbanos no contexto contemporâneo, organizados através das plataformas digitais.

FIGURA 1 – Protesto do Movimento Occupy, em Los Angeles, Estados Unidos



Fonte: Los Angeles Times – timelines.latimes.com.

FIGURA 2 – Protestos por direitos sociais e serviços urbanos no Brasil em 2013



Fonte: acervo dos autores.

O habitante urbano adota, assim, o uso de territórios híbridos, mesclando o físico e o digital, para demandar suas necessidades de mobilidade, segurança, habitação, coexistência e o Estado de bem-estar social. Seu território abarca não somente o espaço geográfico representado em mapas, mas também as relações estabelecidas com esse território através das redes sociais digitais e plataformas. Essa dimensão digital vem hospedando e/ou organizando comunidades virtuais, gerando reflexões e debates, compartilhando e ocupando espaço urbano.

Cidade copyleft

A ideia de uma cidade *copyleft* (Gutiérrez, 2013) como um vasto software aberto, baseado em licenças *copyleft* com códigos abertos, envolve mais esforços e políticas não somente para a promoção da abertura de dados, mas também para conceber processos transparentes, acessíveis, coletivos e participativos a fim de expor estruturas e organização das diversas dimensões urbanas. As quatro diretrizes da cidade *copyleft* são uma analogia com as definições de software livre²:

- Liberdade 0: liberdade para executar a cidade seja qual for nosso propósito;
- Liberdade 1: liberdade para estudar o funcionamento da cidade e adaptá-la às suas necessidades – o acesso ao código-fonte (da cidade) é um pré-requisito para isso;
- Liberdade 2: liberdade para redistribuir cópias e assim ajudar o seu próximo;
- Liberdade 3: liberdade para melhorar a cidade e depois publicar para o bem de toda a comunidade.

O movimento software livre segue um modelo colaborativo, baseado em comunidades de desenvolvedores de software, testadores, tradutores, usuários etc. Essas pessoas trabalham a fim de produzir um comum: programas de livre acesso/código aberto, provendo produtos de software para a sociedade,

2 Definições de software livre da FSF Europe: <https://fsfe.org/freesoftware/freesoftware.html>.

baseados em conhecimento acumulado e em uma multidão de colaboradores organizados em redes (Hardt; Negri, 2005).

Esse modelo se opõe às práticas adotadas por diversas administrações públicas no Brasil, as quais restringem ou obstruem acesso a dados urbanos, administrativos e sociais ou esvaziam a participação social em processos de tomada de decisões. Assim como no software proprietário que é protegido por leis de direitos autorais, o acesso às informações e aos processos envolvendo a cidade é limitado por modelos e práticas fechadas.

As práticas dinâmicas voltadas para criação e inovação a partir de processos coletivos e participativos da cidade *copyleft* e focados em comuns coletivos podem estimular produtos e resultados intangíveis, assim como novas redes e relações para resoluções colaborativas para questões urbanas (como num *crowdsourcing* ou *crowdurbanismo*) (Maia; Mendo Pérez, 2013). Tais práticas são mutantes e ancoradas em redes sociais digitais colaborativas e interativas, bem como em plataformas digitais. Hardt e Negri (2005, p. 243), frente a esse contexto, afirmam:

O interesse comum, em outras palavras, é um interesse geral que não se torna abstrato no controle do Estado, sendo antes reapropriado pelas singularidades que cooperam na produção social [...], é um interesse público que não está nas mãos de uma burocracia, mas é gerido pela multidão (Hardt; Negri, 2005, p. 243).

Nessa perspectiva, entendemos muitos dos grupos e comunidades virtuais como espaços em que as singularidades sociais conduzem e controlam bens (dados) e serviços (redes sociais digitais e plataformas virtuais), permitindo a reprodução de comportamentos da multidão que os compõe. Da mesma forma que a multidão dos desenvolvedores de software livre, essa multidão a que nos referimos até aqui – subjetiva e sem formatos ou fronteiras bem definidas – reforça a relevância de atividades que propiciem partilhas através das redes de informação e, de maneira geral, por todas as formas cooperativas e comunicativas de ações por bens comuns. A ausência de representação dessa multidão, vista de forma subjetiva, integra nossas questões de trabalho e motiva parte desta pesquisa.

PORTOALEGRE.CC

Este trabalho é focado em um estudo de caso intitulado PortoAlegre.cc, o qual pode ser compreendido, de forma geral, como mural de ocorrências baseadas em localidades e eventos públicos em Porto Alegre, capital do Rio Grande do Sul. Tal mural é construído a partir de contribuições e interações relacionadas a fatos e características positivas ou negativas da cidade, definidas como causas de diferentes temáticas. Ele pode ser entendido como um mapa virtual voltado ao espaço urbano e representativo da cidade de Porto Alegre, divulgado como uma aplicação cartográfica aberta à visitação (Figura 3), permitindo que qualquer cidadão registrado no seu *website* criasse causas georreferenciadas sobre o espaço urbano da capital gaúcha através de sua interface.

FIGURA 3 – Interface da plataforma colaborativa PortoAlegre.cc



Fonte: imagem capturada pelos autores em PortoAlegre.cc.

A cada causa estava atrelada uma das camadas relativas às dinâmicas urbanas cotidianas: cidadania, cultura, educação, empreendedorismo, esportes, meio ambiente, mobilidade, saúde, segurança, tecnologia, turismo e urbanismo – todas diferenciadas por cores, como na interface do mapa (Figura 3). As causas baseadas em localização, também descritas por textos e imagens, registravam diferentes questões com diversos temas como meio ambiente, saúde, sítios turísticos, assaltos, problemas de infraestrutura nas vias públicas, equipamentos públicos defeituosos, notificação e/ou organização de

encontros desportivos ou de lazer ou eventos para recuperação colaborativa de áreas não assistidas pela administração pública, entre outros. O conteúdo completo do mapa digital envolveu 932 participantes com descrições de causas visíveis para qualquer um. Cada causa criada teve, em média, 530,17 visualizações e 5,73 curtidas (*likes*), o que reforça o grande volume de visitas e interações com as causas registradas na plataforma, permitindo que o mapa (e, por conseguinte, os bairros) fosse utilizado como elemento interacional entre os autores das causas e demais visitantes.

Do ponto de vista da administração pública, a plataforma mostrou-se como fonte de dados urbanos que pode guiar ou auxiliar na tomada de decisões, considerando o retorno opinativo sobre as questões do espaço urbano. Da mesma forma, permitiu a criação de relações digitais, interações e troca de dados entre cidadãos sem laços diretos na vida *off-line*. Esse processo também permitiu articulação e participação em atividades coletivas por meio da ocupação e do aprimoramento de locações públicas, promovendo debates sobre questões urbanas. A plataforma encorajou o engajamento social e o surgimento de espaços colaborativos em razão da exposição de características e comportamentos da cidade de forma categorizada e georreferenciada, agrupando novas e diversas visões do espaço urbano.

Classificamos essa plataforma como um sistema VGI descentralizado (Craig; Harris; Weiner, 2002), sem restrições de registro na publicação de conteúdo no mapa colaborativo. Devemos também categorizá-lo como um sistema de retorno para a sociedade e administração pública. Dados coletados do PortoAlegre.cc revelam uma camada importante das realidades e dinâmicas urbanas da cidade, com diferentes níveis de visão (antes imperceptíveis), permitindo a estruturação e a caracterização de dados em uma ferramenta aberta de grande alcance no espaço-tempo. Além do mais, voluntários desconhecidos estabeleceram laços sociais baseados nas práticas de cidadania, abrindo caminho para trocas sociais que dificilmente aconteceriam sem uma plataforma colaborativa.

PortoAlegre.cc engajou em torno de mil atores sociais, gerando uma inteligência coletiva a respeito da cidade, coletada do seu próprio espaço urbano. A plataforma conseguiu iluminar questões e aspectos urbanos (por exemplo, segurança pública e mobilidade) que, para a maior parte da cidade, não figuram entre os principais interesses e preocupações da prefeitura. PortoAlegre.cc torna-se, assim, uma plataforma para divulgação e difusão de questões

urbanas, ampliando e detalhando as dinâmicas do espaço urbano, agora representadas em uma dimensão digital e amplamente compartilhadas.

Metodologia de trabalho

Ferramentas alternativas, capazes de mostrar e gerenciar o contexto contemporâneo de fluxos de informação, são uma forte demanda, mapeando conexões entre diferentes áreas e camadas da cidade, mas especialmente cidadãos que possam também atuar politicamente e influenciar padrões e ações para as estruturas e infraestruturas físicas. Diante dessas demandas, o gerenciamento e o planejamento do espaço urbano devem envolver atualmente ferramentas sofisticadas, processos e especialmente conhecimento derivado do *big data*, conduzindo a um processo de fusão do conhecimento (Kamiński *et al.*, 2016) sustentado pela computação urbana em conjunto com a área de Ciência dos Dados.

Considerando os dados coletados da plataforma PortoAlegre.cc, como localização, temas, voluntários e suas respectivas causas, baseamos nossa metodologia de trabalho nos métodos de Análise de Redes Sociais (ARS) (Barabási; Bonabeau, 2003; Latapy; Magnien; Del Vecchio, 2008; Newman, 2010; Wang *et al.*, 2011; Wasserman; Faust, 1994), permitindo a organização e análise dos dados. Buscamos evidenciar a formação de redes baseadas em narrativas georreferenciadas dos habitantes de Porto Alegre – voluntários da plataforma digital – caracterizadas como redes indiretas entre seus elementos. A ARS pode trazer à tona características das estruturas dessas redes através da avaliação de métricas como grau de centralidade e classificação em modelos relevantes de redes complexas. Assim, a estrutura de redes colaborativas e voluntárias foi representada por modelos capazes de prover informação acerca das dinâmicas do espaço urbano e inferências sobre como pessoas são indiretamente conectadas por suas participações baseadas em localização.

Nossa base de dados foi disponibilizada para fins acadêmicos, envolvendo 932 participantes e 79 bairros de Porto Alegre e composta por centenas de colaborações registradas na plataforma digital durante um período de 18 meses. Um primeiro procedimento se deu a partir da extração da identificação dos bairros do endereço textual de cada causa registrada, seguido por um procedimento de busca das latitudes e longitudes de cada bairro. Nosso objetivo foi modelar redes de relacionamentos entre: bairros e voluntários;

voluntários; bairros. Assumimos que os métodos tradicionais de pesquisa não seriam capazes de coletar e modelar tais relacionamentos.

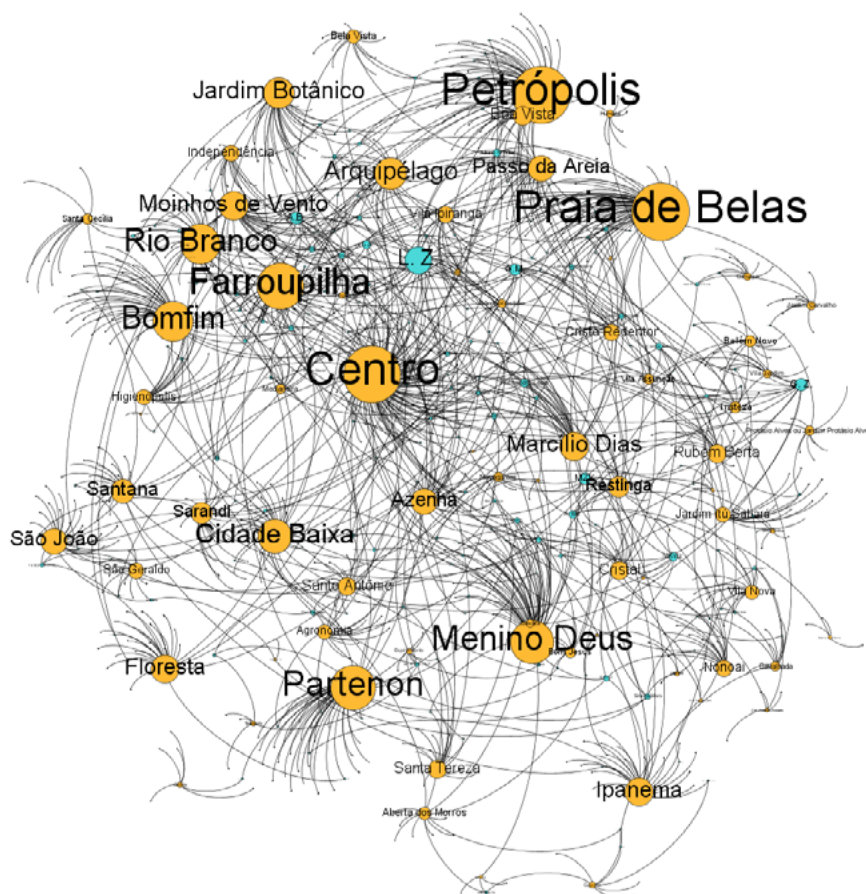
O processo de fusão de dados (EMC Education Services, 2015) foi desenvolvido considerando dados do Observatório da Cidade de Porto Alegre³, combinando dados de bairros com seus respectivos orçamentos participativos e planejamentos regionais, com o intuito de observar como regiões da capital gaúcha estão conectadas entre si através de informações voluntárias. Essa perspectiva, observando a organização da cidade em bairros e regiões combinada a dados voluntários registrados no mapa colaborativo, é uma questão desafiadora que busca identificar relações indiretas entre habitantes no/do espaço urbano. Para isso, criamos uma rede de 2-modos com dois tipos de elementos: bairros e voluntários. Cada causa criada por um voluntário do PortoAlegre.cc em um determinado bairro gerou uma aresta ligando o voluntário ao bairro referenciado. Os bairros citados na plataforma foram também espacializados em comparação à distribuição de dados da tipologia socioespacial de moradia, de acordo com a classificação apresentada por Mammarella, Lisboa Pessoa, Ferreira e Tartaruga (2015), a fim de obter o perfil socioespacial do mapa colaborativo. Criamos a projeção para duas redes de 1-modo – rede de bairros e rede de voluntários – a partir da rede original de 2-modos. Essas redes contribuirão para identificar: 1. como voluntários estão conectados pelas localidades na cidade; 2. os relacionamentos não triviais entre bairros.

RESULTADOS

O primeiro resultado utilizando os dados do mapa colaborativo PortoAlegre.cc é a rede de 2-modos referente a todas as camadas predefinidas na plataforma e conexões entre voluntários e bairros, apresentada na Figura 4.

3 Dados disponíveis em: www.observapoa.com.br.

FIGURA 4 – Rede de 2-modos: voluntários (PortoAlegre.cc) X bairros (Porto Alegre)



Fonte: elaborada pelos autores.

O tamanho dos vértices é diretamente proporcional ao número de relacionamentos de cada elemento. Foram evidenciados elementos do tipo bairros que possuem a maior parte dos relacionamentos. A concentração de conexões em torno dos bairros é justificada pelo motivador principal e via interacional mais importante: o mapa colaborativo representando o próprio espaço urbano. Alguns poucos voluntários possuem uma posição de destaque na rede, mostrando mais atividade na plataforma de mapeamento.

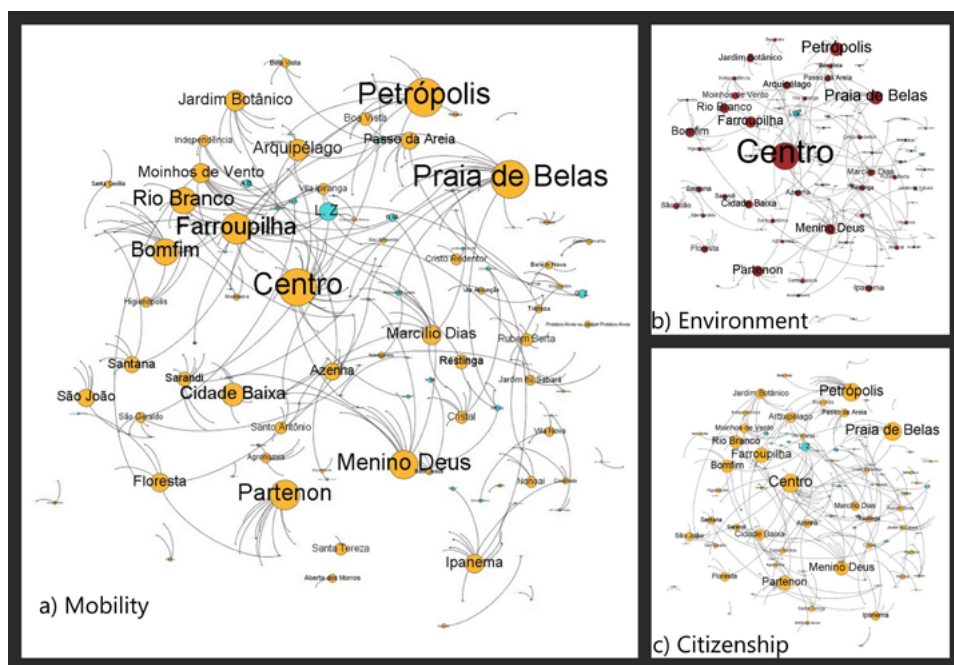
Bairros com um grande número de relacionamentos são também bairros localizados em regiões com maior centralidade urbana e com melhores padrões de moradia de Porto Alegre, repetindo os mesmos efeitos e padrões característicos da centralidade em grandes centros urbanos. Esse aspecto

influencia reivindicações, como as questões de mobilidade, reunindo a maior parte das locações para o centro da cidade em vez da periferia da cidade.

Redes temáticas

A fim de realçar a relação intensa entre as três camadas mais citadas no PortoAlegre.cc – representando mais que 60% de todas as causas na plataforma – e as questões relevantes da cidadania contemporânea nas maiores cidades brasileiras, foram desenvolvidas três redes temáticas.

FIGURA 5 – Redes temáticas: mobilidade (a), meio ambiente (b) e cidadania (c)



Fonte: elaborada pelos autores.

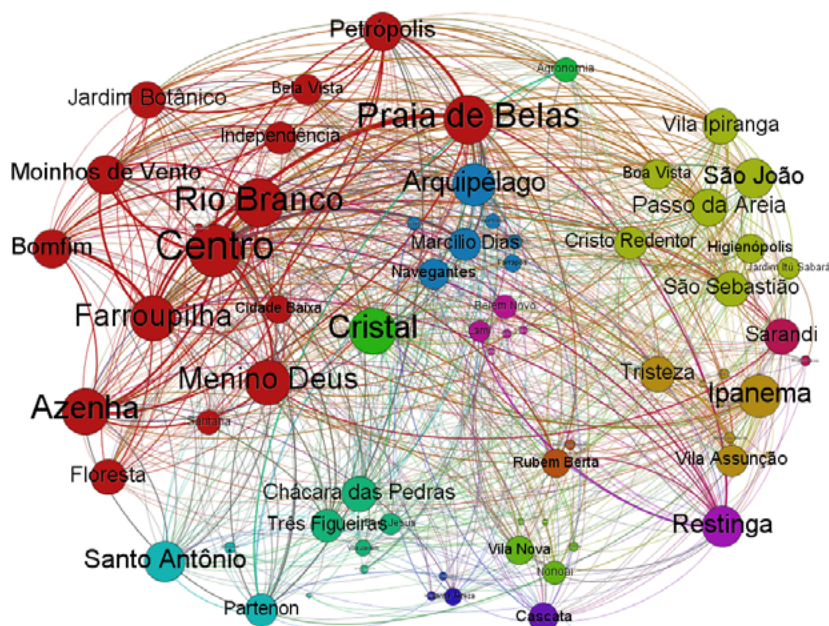
Os grafos resultantes para a mobilidade (Figura 5a), meio ambiente (Figura 5b) e cidadania (Figura 5c) mostraram que as estruturas das redes tinham pouca fragmentação em sub-redes, mantendo ligações relevantes pelos caminhos mínimos compostos por voluntários e bairros remanescentes da rede original. A relevância desses três temas para as dinâmicas urbanas está refletida no mapa e nas causas do PortoAlegre.cc, mas enriquecida pelos dados locais e pelas descrições detalhadas dos habitantes da cidade, eliminando custos com pesquisas de opinião e enquetes a respeito dos serviços e equipamentos públicos.

O engajamento de voluntários concentrado em regiões de topologia socioespacial de alto padrão pode explicar as razões para que as reivindicações relativas à mobilidade não estejam localizadas nas periferias da cidade – regiões historicamente marcadas por serviços precarizados de transporte. Contudo, deve-se considerar as viagens casa-trabalho, uma vez que a maior parte dos postos de emprego está aglomerada nas áreas centrais de Porto Alegre.

Rede de bairros

Conexões entre bairros são definidas baseando-se nas ligações entre voluntários e localidades: dois bairros possuem uma aresta entre si quando ambos foram citados pelo mesmo voluntário em diferentes causas. Assim, quando um voluntário A citou tanto o bairro Y como bairro X na rede original de 2-modos (Figura 4), uma ligação entre Y e X é criada na rede de bairros de 1-modo. Bairros conectados revelam parte da experiência urbana e rotas do mesmo voluntário. A Figura 6 apresenta a rede de bairros com vértices agrupados de acordo com as regiões de orçamento municipal de Porto Alegre, evidenciando os relacionamentos entre regiões distintas da cidade.

FIGURA 6 – Rede de bairros (projeção da rede original 2-modos)



Fonte: elaborada pelos autores.

Procedimentos padronizados da ARS aplicados à rede de bairros permitiram classificá-la como uma rede Small World (Watts, 1999), possibilitando algumas interpretações sobre a estrutura dessa rede: a) subgrupos de bairros com maior fluxo dos mesmos voluntários; b) voluntários atuando como pontes entre subgrupos, garantindo distâncias menores entre os demais elementos; c) caminhos eficientes dos voluntários entre os bairros citados no mapa colaborativo. Destaca-se que 87,16% de todas as ligações são entre diferentes regiões orçamentárias e 82,44% delas são entre regiões distintas do planejamento municipal. Há também um número expressivo de bairros localizados em regiões remotas da cidade, mas ligados por práticas locativas registradas pelos voluntários, gerando rastros digitais em partes diferentes do espaço urbano. Isso significa que pares de bairros citados por, pelo menos, um voluntário em comum e localizados em diferentes regiões representam a maior parte das ligações entre bairros.

A estrutura da rede revelou aspectos relevantes, reforçando a diversidade locacional das causas na plataforma, sugerindo uma maior pluralidade na representação do espaço urbano. Isso demonstra uma maior cobertura do PortoAlegre.cc, alcançando mais que somente as centralidades urbanas da cidade, cobrindo áreas distintas e dispersas. A abordagem da ARS mostrou redes eficientes para intercâmbio de dados, amplificando a densidade informacional e comunicacional. Dessa maneira, confirma-se nossa hipótese de aumento dos processos de comunicação e informação nas grandes cidades, considerando a estrutura de redes digitais. A influência dessas redes no espaço relacional evidencia cidadãos convivendo em contextos amplificados, além do incremento das ligações entre elementos urbanos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pandemia da covid-19 impediu a execução do censo em diversos países, causando atrasos, prorrogações ou queda na qualidade dos dados. O censo brasileiro, planejado para 2020, foi cancelado pelo governo federal com a desculpa de falta recursos para seu financiamento. Por outro lado, de acordo com um relatório da Organização das Nações Unidas, sete corporações internacionais da China e dos Estados Unidos controlam dois terços de todo o mercado digital no mundo (United Nations, 2019), coletando dados individuais como um produto de baixo valor agregado para exportação e comercialização,

transformando-os em análises e relatórios de alto valor agregado. Países como o Brasil, que “exportam” os dados brutos como matérias-primas e pagam para ter acesso à inteligência e ao conhecimento gerados com base na sua própria população, terão dificuldades para seu desenvolvimento no século XXI, particularmente num mundo pós-covid-19.

Nas próximas décadas, será urgente a criação de novas metodologias de coleta de informações sociais que possam apoiar as decisões para políticas públicas e permitir projeções de futuro com certo grau de segurança. Consideramos que pesquisas experimentais podem ser também investimentos de governos municipais e estaduais, com o intuito de reduzir a dependência de um órgão central nacional de estatísticas, como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no Brasil.

A fusão e a modelagem de coleções de dados realizadas no presente trabalho podem ser utilizadas para diferentes propósitos, por exemplo: identificar quais locais do espaço urbano tornam-se notáveis considerando as práticas digitais na plataforma colaborativa ou as respectivas dinâmicas de deslocamentos em uma determinada cidade. Nossa ideia principal sobre rastros digitais permitiu a modelagem e a visualização de redes localidade X pessoas, orientadas por localidades e práticas espaciais (mas não pelos laços diretos entre indivíduos). Essa noção basicamente significa deslocamentos na cidade e marcações locacionais arranjadas em redes, das quais é possível tecer interseções e estratégias de visualização para ações em uma determinada rede digital. Os modelos resultantes sustentam nossa hipótese, uma vez que revelam indivíduos desconhecidos entre si com conexões indiretas.

A camada digital, como o estudo de caso utilizado neste trabalho, possui potencial para o desenvolvimento de um tipo diferente de planejamento urbano, engajando cidadãos e ampliando a participação social. A inteligência coletiva – extraída dos dados coletivos – torna-se um ponto chave para promover a equidade quando associada a processos abertos e colaborativos. Uma cidadania mais inteligente e engajada – ou mesmo a cidade *copyleft* – pode se beneficiar de tais iniciativas e dados quando a administração pública reconhece seu valor, estimulando e financiando a abertura de dados e o desenvolvimento de estratégias e métodos para a análise, envolvendo a sociedade não somente em estudos, mas também na tomada de decisões.

REFERÊNCIAS

- BARABÁSI, A.-L., BONABEAU, E. Scale-free networks. *Scientific American*, [s. l.], v. 288, n. 5, p. 60-69, May 2003.
- BATTY, M. *et al.* Smart cities of the future. *European Physical Journal Special Topics*, [s. l.], v. 214, p. 481-518, Dec. 2012.
- BAUMAN, Z. *Comunidade: a busca por segurança no mundo atual*. Rio de Janeiro: Zahar, 2003.
- BAUMAN, Z. *Confiança e medo na cidade*. Rio de Janeiro: Zahar, 2009.
- BAUMAN, Z. *Modernidade líquida*. Rio de Janeiro: Zahar, 2001.
- CALDEIRA, T. P. R. *Cidade de muros: crime, segregação e cidadania em São Paulo*. São Paulo: Ed. 34, 2000.
- CASTELLS, M. *A sociedade em rede*. São Paulo: Paz e Terra, 2009.
- COCCO, G., GALVÃO, A., SILVA, G. (org.). *Capitalismo cognitivo: trabalho, redes e inovação*. Rio de Janeiro: DP&A, 2003.
- COLEMAN, D., GEORGIADOU, Y., LABONTE, J. Volunteered geographic information: the nature and motivation of producers. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 332-358, 2009.
- CRAIG, W. J., HARRIS, T. M., WEINER, D. (ed.). *Community participation and geographic information systems*. London: Taylor & Francis, 2002.
- DELGADO, M. *Sociedades movilizadas: pasos hacia una antropología de las calles*. Barcelona: Anagrama, 2007.
- DI FELICE, M. As formas digitais do social e os novos dinamismos da sociabilidade contemporânea. In: KUNSCH, W. L.; KUNSCH, M. (org.). *Relações públicas comunitárias: a comunicação em uma perspectiva dialógica e transformadora*. São Paulo: Summus, 2007.
- ELLIN, N., BLAKELY, E. J. (org.). *Architecture of fear*. New York: Princeton Architectural Press, 1997.
- EMC EDUCATION SERVICES (org.). *Data science and big data analytics: discovering, analyzing, visualizing and presenting data*. Indianapolis: Wiley, 2015.
- FLORENTINO, P. V.; PEREIRA, G. C. Urban VGI networks as a path for collective intelligence. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Stuttgart, v. 46, p. 35-42, Sept. 2021.
- GUTIÉRREZ, B. Cidades copyleft. *Select*, [s. l.], n. 127, 2013. Disponível em: <https://select.art.br/cidades-copyleft/>. Acesso em: 22 jan. 2024.
- HAN, J.; KAMBER, M.; PEI, J. *Data mining: concepts and techniques*. 3rd. ed. Burlington, MA: Elsevier, 2012.

- HARDT, M.; NEGRI, A. *Multidão: guerra e democracia na era do império*. Rio de Janeiro: Record, 2005.
- HARRISON, C. *et al.* Foundations for smarter cities. *IBM Journal of Research and Development*, Canada, v. 54, n. 4, p. 1-16. July/Aug. 2010.
- KAMIENSKI, C. *et al.* Computação urbana: tecnologias e aplicações para cidades inteligentes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS, 34., 2016, Salvador. *Livro de minicursos [...]*. Porto Alegre: SBC, 2016. p. 51-100.
- LATAPY, M.; MAGNIEN, C.; DEL VECCHIO, N. Basic notions for the analysis of large twomode networks. *Social Networks*, [Switzerland], v. 30, n. 1, p. 31-48, Jan. 2008.
- LEFEBVRE, H. *O direito à cidade*. São Paulo: Centauro, 2009.
- MAIA, F. N.; MENDO PÉREZ, M. A. Crowdurbanismo - mobilização social digital na e para a cidade. In: SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA, 4., 2013. Rio de Janeiro. *Anais [...]*. Rio de Janeiro: [s. n.], 2013.
- MAMMARELLA, R., LISBOA PESSOA, M., FERREIRA, G. S., TARTARUGA, I. G. P., Estrutura social e organização social do território: Região Metropolitana de Porto Alegre – 1980-2010. In: FEDOZZI, L., SOARES, P. R. R. (ed.). *Porto Alegre: transformações na ordem urbana*. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2015. p. 133-184.
- MOROZOV, E. *Big Tech: a ascensão dos dados e a morte da política*. São Paulo: Ubu, 2018.
- NETTO, V. M. *Cidade & sociedade: as tramas da prática e seus espaços*. Porto Alegre: Sulina, 2014.
- NEWMAN, M. E. J. *Networks: an introduction*. New York: Oxford University Press, 2010.
- SANTOS, M. *A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção*. São Paulo: EdUnesp, 1996.
- SHANE, D. G. *Recombinant urbanism: conceptual modeling in architecture, urban design, and city theory*. Hoboken, NJ: Wiley, 2005.
- UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT. *Digital economy report 2019: value creation and capture: implications for developing countries*. New York: UNCTAD, 2019.
- WANG, D.; PEDRESCHI, D.; SONG, C.; GIANNOTTI, F.; BARABÁSI, A.-L. Human mobility, social ties, and link prediction. In: ACM SIGKDD INTERNATIONAL CONFERENCE ON KNOWLEDGE DISCOVERY AND DATA MINING, 17., 2011, San Diego. *Proceedings [...]*. New York: Association for Computing Machinery, 2011. p. 1100-1108.
- WASSERMAN, S., FAUST, K. *Social network analysis: methods and applications*. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- WATTS, D. J. *Small worlds: the dynamics of networks between order and randomness*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1999.

CAPÍTULO 11

ESTABELECENDO REQUISITOS PARA A MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CIDADE (CIM)¹

Arivaldo Leão de Amorim

ENTENDENDO A MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CIDADE

Embora seja um termo surgido recentemente, existe uma vasta conceituação para Modelagem da Informação da Cidade (CIM)², caso seja mantida a analogia terminológica com Modelagem da Informação da Construção (BIM)³, que foi traduzida e adotada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), como também apontam Corrêa e Santos (2015).

Autores como Gil, Beirão, Montenegro e Duarte (2010), Hisham (2010), Gil, Almeida e Duarte (2011) e Stojanovski (2013), entre vários outros, conceituaram o CIM. Entretanto, consideram apenas determinados aspectos, ou seja,

1 Originalmente publicado em: Amorim (2016).

2 Na língua inglesa, refere-se a *City Information Modeling* (CIM).

3 Na língua inglesa, refere-se a *Building Information Modeling* (BIM).

um subconjunto das questões envolvidas numa eventual implementação para o CIM. Já Schiefelbein e demais autores (2015) descrevem o desenvolvimento de um modelo CIM para suportar o gerenciamento de dados e a análise de sistemas prediais de energia dentro de bairros complexos, numa abordagem muito particular e que envolve o *retrofit* urbano.

Por outro lado, Amorim (2015) considera que, embora sejam importantes essas definições postas em discussão até então pelos diversos autores para o estabelecimento desse novo paradigma, elas não são suficientemente abrangentes para dar conta da complexidade do CIM, que envolve questões tão diversas quanto o planejamento, o projeto, a construção, a gestão dos ativos urbanos, bem como a expansão e a renovação destes.

Nesse sentido, procurando contribuir para estabelecimento de uma conceituação mais precisa e abrangente para o CIM, com o entendimento das questões postas no contexto deste trabalho, o conceito de CIM será analisado a partir de duas premissas que aparecem na literatura que trata do tema:

- o CIM é uma extensão ou uma analogia do conceito de BIM aplicado às cidades;
- o CIM está para a cidade assim como o BIM está para a edificação.

Posto isso, a discussão avança a partir desses pressupostos, no sentido do estabelecimento de alguns requisitos que possam levar à implementação de sistemas que viabilizem num futuro próximo a ação do CIM. Analogamente ao BIM, nesse processo, pelo menos três aspectos devem ser observados:

- a necessidade de formular o conceito de CIM de forma clara e abrangente e de harmonizá-lo com outros conceitos correlatos;
- a imprescindível caracterização dos diversos processos envolvidos na cidade e, por conseguinte, a definição dos requisitos a serem atendidos pelo modelo CIM;
- o estabelecimento de modelos e padrões para o modelo CIM, bem como o desenvolvimento das tecnologias que darão a ele o suporte operacional.

Embora a discussão sobre CIM esteja cada vez mais presente na literatura técnica e nos diversos fóruns de debates, nem mesmo a sua conceituação está

plenamente estabelecida, como citado anteriormente. Nesse sentido, o CIM pode ser entendido com uma aposta para o futuro – ainda por ser viabilizada.

Buscando contribuir para a explicitação do paradigma CIM, este trabalho elenca alguns fatores que, na visão do autor, são essenciais para o estabelecimento de uma conceituação clara e abrangente e, por consequência, contribuir para a sua implementação.

O CONTEXTO DA ADOÇÃO

Dada a crescente complexidade urbana, os profissionais que trabalham com os sistemas de infraestrutura da cidade demandam novos recursos para suprir as necessidades no planejamento, no projeto, na construção, na gestão dos ativos urbanos e na renovação destes.

Nesse contexto, tecnologias, ferramentas, sistemas e padrões têm sido propostos e implementados para fazer frente às demandas urbanas por novos serviços, expansão ou melhoria dos sistemas existentes, com redução de custos e assegurando padrões de qualidade para todos os cidadãos.

Entre os inúmeros recursos que têm sido disponibilizados para o atendimento das demandas urbanas estão os *Geographic Information Systems* (GIS), o padrão *City Geography Markup Language* (CityGML), as várias ferramentas especializadas para a representação, a projeção, a simulação, o monitoramento e a gestão urbana. Mais recentemente, passa a fazer parte da discussão o paradigma CIM.

Diferentemente de uma edificação que tem um “proprietário”, a cidade e a sua dinâmica possuem muitos agentes envolvidos diretamente nos processos decisórios e operacionais, representados por esferas de governo, agências reguladoras, empresas públicas e diversas concessionárias e permissionárias de serviços públicos, sem contar com um sem-número de empreiteiras e de prestadores de serviço que atuam de forma mais ou menos regular.

Para agravar a situação, às vezes existem diversas concessionárias para um mesmo serviço, como é o caso dos transportes públicos, telefonia, TV por assinatura etc. Outros serviços como gás, energia elétrica, iluminação pública, abastecimento d’água e coleta de esgotos sanitários estão normalmente sob a responsabilidade de uma única companhia.

Por outro lado, serviços como a drenagem pluvial, o sistema viário e a limpeza pública, entre outros, ficam diretamente sob a responsabilidade do

poder público municipal. Para completar um primeiro esboço desse quadro, esses diversos agentes não atuam diretamente sobre os sistemas físicos que estão sob as suas responsabilidades, mas lançam mão de dezenas de empreiteiras e empresas prestadoras de serviço para concretizar as várias ações.

Assim, o quadro é constituído por uma grande quantidade de serviços contratados, executados, operados e fiscalizados por múltiplos agentes que, para a realização das suas atividades, empregam muitas plataformas, sistemas e ferramentas, protocolos e procedimentos de atuação diversos, com baixo nível de integração.

Por fim, alguns desses agentes envolvidos são concorrentes entre si, disputam os mesmos segmentos de mercado e são detentores de “segredos comerciais”. Desse modo, muitas vezes, a disposição desses agentes para colaborar entre si é nula ou vista com desconfiança mútua. Normalmente, eles atuam de forma descoordenada, com baixa eficiência e eficácia, causando transtornos e aumento de custo para os cidadãos que refletem na forma de impostos e taxas.

Observa-se ainda uma dificuldade adicional para uma melhor explicitação do escopo do CIM, que é a própria dificuldade de conceituar e delimitar aquilo que poderia ser chamado de infraestrutura urbana. Finalmente, em que pese as dificuldades e incertezas associadas ao paradigma CIM, a necessidade da sua adoção ou implementação pode ser amplamente justificada a partir de duas assertivas bastante evidentes e explicitadas a seguir:

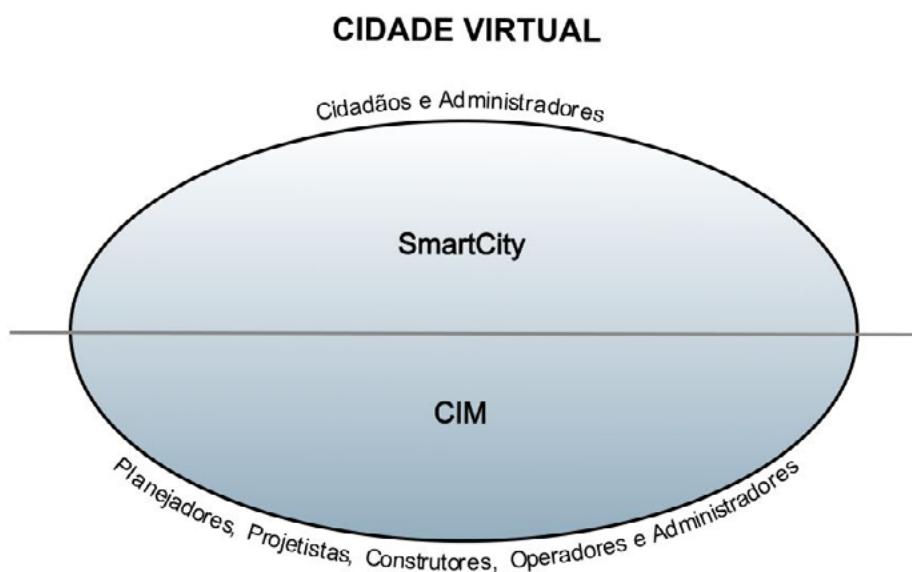
- observa-se que a maior parte das cidades brasileiras e do mundo não possui a infraestrutura necessária para alcançar os padrões de desenvolvimento sustentável estabelecidos pela Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável (Nações Unidas Brasil, 2015).
- verifica-se que, mesmo nas grandes cidades onde existe uma infraestrutura urbana que pode ser reconhecida como adequada, na maioria delas esses sistemas e recursos estão envelhecidos e necessitam de ampliações, modernizações etc.

Nesse contexto, o desenvolvimento e a adoção de sistemas que possam contribuir para superar esses desafios são de grande valia para a melhoria da qualidade de vida e a almejada justiça social.

CARACTERIZANDO O MODELO DE INFORMAÇÕES

Amorim (2015), coloca em discussão um esquema preliminar para a cidade virtual, mostrado na Figura 1, que seria composta por dois grandes macrosistemas: os sistemas voltados para o atendimento dos “usuários finais” (cidadãos) e “administradores”, que estariam no âmbito das cidades inteligentes (*smart cities*), e os sistemas de infraestrutura que daria suporte a todas as funções ou serviços urbanos, que estariam no âmbito do CIM.

FIGURA 1 – Cidade virtual: integração CIM/*smart city*



Fonte: Amorim (2015).

Mas como delimitar e caracterizar os inúmeros subsistemas que compõe a *smart city* e o CIM? Certamente a interface entre esses dois grandes macrosistemas não é a linha reta mostrada na Figura 1. Dada a complexidade e o tamanho das questões envolvidas, o presente trabalho procura encaminhar alguns aspectos no sentido de explicitar melhor a contextualização CIM ou a sua real dimensão, passando ao largo das questões no contexto das *smart cities*.

Numa abordagem CIM, os diversos agentes intervenientes na cidade precisam, necessariamente, atuar de forma coordenada no planejamento, no projeto, na construção, na operação, no monitoramento, na manutenção e

na renovação da cidade. Assim, eles deverão especificar, construir, manter e operar de forma compartilhada uma base de dados única (modelo CIM) – centralizada, acessível, atualizada e confiável –, de modo que se possa garantir pela eficiência e eficácia dos serviços prestados. A partir dessa perspectiva, parece que os dois principais atributos que caracterizariam o paradigma CIM seriam o trabalho colaborativo e a interoperabilidade, ao menos nesse primeiro momento da sua explicitação conceitual.

Assim, pelo observado, um dos pontos cruciais para o estabelecimento de uma aplicação ou adoção do CIM é a constituição de uma base de dados única – centralizada ou distribuída – e o estabelecimento de protocolos e padrões para o compartilhamento e a troca de dados entre os diversos agentes intervenientes. E, apesar das grandes dificuldades envolvidas, é aqui, exatamente neste ponto crucial, onde parece residir as boas notícias, derivadas de duas iniciativas importantes e independentes.

A primeira iniciativa vem através do padrão CityGML, estabelecido pelo Open Geospatial Consortium (OGC) (2012), que é um formato de dados para a representação numérica tridimensional de elementos urbanos, visando à implementação de aplicações 3D em Sistema de Informações Geográficas.

A segunda iniciativa vem da buildingSMART, que anuncia para o futuro *release* do Industry Foundation Classes, o IFC5, que tem a capacidade de representar os principais elementos da infraestrutura da cidade. Essa promessa ganha credibilidade, visto que a atual versão (IFC4), aprovada em 2013 e em uso a partir de 2014, já é um padrão internacional definido pela ISO (ISO, 2013).

Assim, considera-se que essas duas realidades materializadas por dois padrões internacionais para representação de dados urbanos no contexto dos GIS e BIM, representam o embrião para as futuras implementações do CIM.

O padrão CityGML

O CityGML constitui um padrão internacional aberto para um formato de dados visando à representação da forma de objetos urbanos e seus atributos. O formato permite o armazenamento da forma e da geometria tridimensional dos objetos, além de aspectos relacionados à topologia, à aparência e à semântica.

Os primeiros estudos que levaram à definição do padrão CityGML datam do início dos anos 2000, na Alemanha, pelos membros do 3D Special Interest

Group (3D_GIS) – um grupo de pesquisa, internacional, aberto, composto por empresas, municipalidades e instituições de pesquisa (OGC, 2012).

QUADRO 1 – CityGML: módulos e campos temáticos

Módulos	Descrição
CityGML Core	O módulo <i>Núcleo</i> define os componentes básicos do modelo de dados do padrão CityGML.
Appearance	O módulo <i>Aparência</i> fornece os recursos para modelar a aparência dos objetos CityGML, ou seja, as propriedades visuais da superfície dos objetos.
Bridge	O módulo <i>Ponte</i> permite a representação de aspectos espaciais e temáticos das pontes e seus componentes, em quatro níveis de detalhe (LOD 1-4).
Building	O módulo <i>Edificações</i> permite representar aspectos espaciais e temáticos das edificações e seus componentes, em cinco níveis de detalhe (LOD 0-4).
CityFurniture	O módulo <i>Mobiliário Urbano</i> é usado para representar o mobiliário urbano das cidades.
CityObjectGroup	O módulo <i>Grupo de Objetos da Cidade</i> permite definir grupos de objetos diversos, que constituem um modelo parcial da cidade.
Generics	O módulo <i>Genérico</i> fornece extensões genéricas para o modelo de dados CityGML, que podem ser usadas para modelar características não abrangidas pelas classes temáticas predefinidas do padrão CityGML.
LandUse	O módulo <i>Uso da Terra</i> permite a representação de áreas da superfície da terra dedicadas a um uso da terra específico.
Relief	O módulo <i>Relevo</i> permite a representação do terreno num modelo de cidade.
Transportation	O módulo <i>Transportes</i> é usado para representar as características de transportes da cidade, por exemplo, vias, caminhos, ferrovias ou praças.
Tunnel	O módulo <i>Túnel</i> facilita a representação dos aspectos espaciais e temáticos dos túneis e os seus componentes, em quatro níveis de detalhe (LOD 1-4).

Módulos	Descrição
Vegetation	O módulo <i>Vegetação</i> fornece as classes temáticas para representar os objetos da vegetação, isolados ou contínuos.
WaterBody	O módulo <i>Corpos d'Água</i> representa a geometria 3D e os aspectos temáticos dos rios, canais, lagos e bacias.
TexturedSurface [deprecated]	O módulo <i>Superfície Texturizada</i> permite a atribuição de propriedades visuais, aparência e texturas para as superfícies dos objetos 3D. A informação aparência fornecida por esse módulo pode ser suprida do módulo <i>Aparência</i> sem prejuízos.

Fonte: OGC (2012), adaptado pelo autor.

A primeira versão do CityGML foi publicada em 2008, enquanto a versão 2.0 foi adotada em 2012 como padrão oficial do OGC e já define uma gama de funcionalidades, associadas a 13 módulos temáticos, que estão ligados ao módulo central (*core module*), conforme especificado no Quadro 1. Esses módulos contemplam categorias de objetos que vão desde a representação do relevo e das edificações até o mobiliário urbano e a vegetação, passando por pontes, túneis, corpos d'água e outros objetos urbanos e seus atributos. O padrão chega ao requinte de descrever o interior das edificações, seu mobiliário e equipamentos dos mais diversos tipos (OGC, 2012).

Embora o padrão CityGML esteja sendo usado para representar cidades em ambientes GIS, importantes classes de objetos relevantes para o CIM ainda não foram implementadas, como as redes de infraestrutura subterrâneas (água, esgoto, drenagem, gás etc.) e aéreas (eletricidade, telefonia, dados etc.), que deverão ser modeladas através do módulo *Generics*, como pode ser observado no Quadro 1, que apresenta os módulos e os campos temáticos do padrão CityGML.

O padrão CityGML é implementado como uma aplicação em Geography Markup Language 3 (GML3) que, por sua vez, é uma extensão da eXtensible Markup Language (XML), buscando promover a interoperabilidade de aplicações que envolvem objetos urbanos em 3D. Portanto, constitui um padrão visando à representação 3D de cidades através do uso de ferramentas de modelagem para aplicações GIS.

O padrão possui cinco níveis de detalhe ou *Level of Detail* (LOD), que variam de 0 a 4, para representar a forma, as propriedades e os relacionamentos dos objetos

urbanos, compreendendo edificações, relevo, vegetação, massas de água, transportes, uso do solo, mobiliário urbano etc. em aplicações específicas e em diferentes escalas, constituindo, portanto, um padrão de modelagem em múltiplas escalas.

Os LOD estão assim definidos pelo CityGML (OGC, 2012):

- LOD 0 – Representação na escala da cidade, em que o modelo possui o menor nível de detalhe, pretendendo-se representar a superfície do terreno em grandes extensões;
- LOD 1 – Representação na escala da cidade, em que as edificações são representadas pelos poliedros que as contêm, correspondendo a extrusão do perímetro externo da edificação (*footprint*) até o seu ponto mais alto;
- LOD 2 – Representação na escala da cidade, em que as edificações são modeladas com a sua volumetria exterior, incluído as superfícies inclinadas dos telhados e outras características principais, com a aplicação da textura correspondente (mapeamento de textura);
- LOD 3 – Representação na escala da edificação, em que a parte externa delas são modeladas com suas saliências, reentrâncias e envasaduras e outros detalhes significativos, de forma detalhada;
- LOD 4 – Representação na escala da edificação, contemplando as suas divisões internas (paredes), espaços, equipamentos e mobiliários, constituindo modelos arquitetônicos exploráveis.

Uma possibilidade particularmente interessante que o CityGML oferece é a de combinação de objetos urbanos representados em diferentes níveis de detalhes, integrados em uma única aplicação, conforme os requisitos estabelecidos para o modelo urbano.

Existem vários métodos para conversão de modelos geométricos ao padrão CityGML. As primeiras abordagens empregaram um *plug-in* para o Google SketchUp. Outras pesquisas estão sendo desenvolvidas para a conversão por métodos mais automatizados através do uso de servidores BIM *open source*, que usam o padrão IFC que possuem recursos para a conversão direta ao padrão CityGML.

Por fim, outra questão da maior relevância é que o padrão CityGML é semanticamente mais pobre do que o padrão IFC. Portanto, o modelo CityGML não é capaz de suportar todas as demandas impostas ao modelo CIM.

O padrão IFC

O padrão IFC é um formato de dados neutro, não proprietário, desenvolvido para especificar o intercâmbio e o compartilhamento de informações sobre as edificações, constituindo um padrão internacional para BIM, usado para troca e compartilhamento de dados da edificação ao longo do seu ciclo de vida, independentemente das plataformas de trabalho que venham a ser adotadas pelas diversas partes envolvidas nos processos.

Segundo Liebich (2013), o padrão internacional ISO 16739:2013 (E), IFC “para compartilhamento de dados nos setores de construção e gerenciamento de instalações”⁴, mais conhecido como IFC4, possui o único objetivo de garantir o IFC como o verdadeiro padrão Open BIM em todo o mundo, padrão esse que vem sendo desenvolvido desde 1997, com a implementação do IFC 1.0.

O IFC foi desenvolvido inicialmente a partir de 1994 pela Industry Alliance for Interoperability, um consórcio formado pela Autodesk e outras empresas, visando ao desenvolvimento contínuo do IFC como um formato de dados aberto e não proprietário. Em 1997, o consórcio se tornou a International Alliance for Interoperability e posteriormente adotou a atual denominação de buildingSMART.

A buildingSMART é uma organização internacional, aberta, neutra e sem fins lucrativos, que busca contribuir para a transformação do ambiente construído através de melhorias significativas para o desempenho ambiental, custo e qualidade, que podem ser obtidos através do uso de informações abertas e compartilháveis, visando à criação e à operação das edificações e da infraestrutura da cidade em todo o mundo.

A organização congrega associações e representantes de arquitetos, engenheiros, empreiteiros, proprietários de edificações, gerentes de instalações, fabricantes de materiais e componentes para construção, desenvolvedores de software, provedores de informação, agências governamentais, laboratórios de pesquisa, universidades e outros segmentos ligados ao setor econômico da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO).

Através da criação e adoção de padrões internacionais, abertos, compartilháveis para o fluxo de informações, a buildingSMART colabora para que a indústria da construção civil e de operação das edificações alcance formas mais eficientes e colaborativas de trabalho ao longo de todo ciclo de vida dos empreendimentos.

4 Trecho original: “for data sharing in construction and facility management industries”.

A buildingSMART ([2011-2016]) afirma que a futura versão do IFC5 irá incorporar a modelagem de elementos da infraestrutura urbana, implementando o conceito de alinhamento, essencial para a representação de elementos lineares, como estradas, vias, canais, entre outros. Tal perspectiva abre a possibilidade da integração de modelos das edificações com os modelos de cidade, viabilizando a constituição dos modelos CIM.

Ainda segundo Leibich (2013), a versão do IFC4 lançada em 2013 consumiu cerca de seis anos de desenvolvimento, além de grande quantidade de recursos humanos. Desse modo, não se deve esperar num prazo muito curto o lançamento do IFC5. Uma vez lançado como padrão, o IFC5 deverá levar ainda algum tempo para que as empresas desenvolvedoras de software o implementem como um formato de arquivo nos seus aplicativos voltados às cidades.

Por outro lado, também não se deve esperar que o IFC5 já venha como um “padrão acabado”, capaz de representar todos os sistemas e componentes relativos às necessidades urbanas, com alto nível de detalhes e isento de lacunas ou imprecisões. Entretanto, talvez esse primeiro padrão, ainda que com deficiências e aquém das necessidades, represente de fato a possibilidade da materialização ou da implementação dos modelos CIM, a partir de uma visão mais ampla como aqui estabelecida.

Por fim, ainda que o IFC5 leve ainda alguns anos a ser estabelecido pela buildingSMART e implementado pelas *softhouses*, continua válida, importante e atual a discussão sobre o CIM, o seu modelo de dados, as suas aplicações e outros aspectos igualmente relevantes.

O modelo desejado

Como pode ser visto no Quadro 1, dada a sua abrangência espacial, o padrão CityGML estaria muito mais próximo de atender às necessidades de um modelo CIM do que o padrão IFC, inicialmente este pensado apenas para as edificações. Entretanto, como já comentado anteriormente, o padrão CityGML embora seja capaz de representar as edificações com um certo nível de detalhes, ele é semanticamente inferior ao padrão IFC, visto que foi concebido para aplicações GIS, visando trabalhar com dados de escalas pequenas e não tendo a riqueza semântica necessária para atender às necessidades do projeto de edificações.

As aplicações que envolvem os processos das cidades mostram a necessidade de diversos atores compartilharem um modelo de informações urbanas, estáveis,

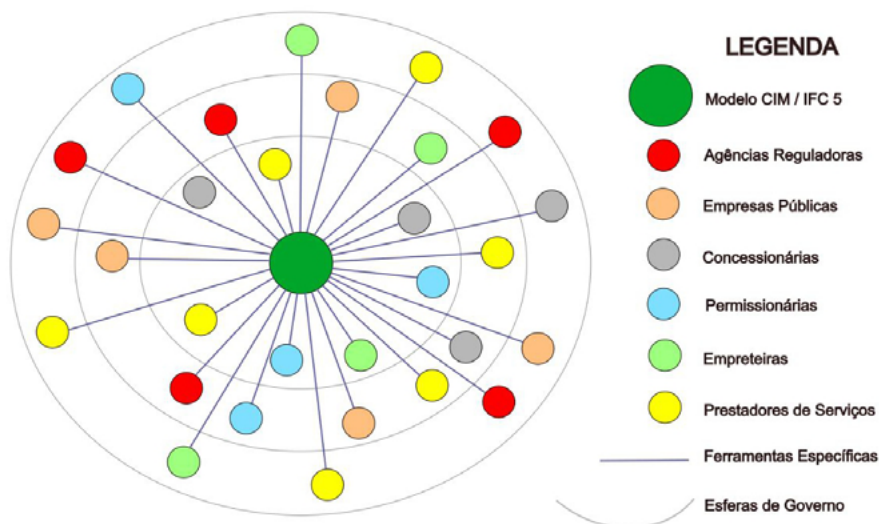
interoperáveis, dotado de formatos para o intercâmbio de dados em aplicações urbanas. Também fica evidente que uma aplicação CIM deverá reunir características das aplicações BIM e GIS, de forma que o modelo proposto venha a ser capaz de representar e operar sobre uma ampla gama de objetos e processos.

Uma grande diferença de um modelo CIM em relação ao modelo BIM reside no fato de que as decisões sobre o modelo BIM ficam sob a responsabilidade do proprietário do empreendimento. No caso de um modelo CIM, embora deva existir um gerente do modelo, essa responsabilidade é compartilhada por um sem-número de agências oficiais, concessionárias etc., além de diversas empresas que lhe prestam serviços.

A Figura 2 explicita uma visão do modelo Open CIM e a sua relação com os diversos segmentos de usuários.

São usualmente características das aplicações GIS a pequena escala abrangendo a cobertura de grandes regiões e representação geométrica simplificada das feições geográficas e urbanas, o uso de sistemas de coordenadas geoespaciais, aplicações que se desenvolvem na superfície da terra (2D), o uso de redes topológicas e o levantamento ou a compilação como a sua principal fonte de dados.

FIGURA 2 – Visão conceitual para o modelo Open CIM e seus usuários



Fonte: Amorim (2016).

Por sua vez, as aplicações BIM possuem características como o uso de grande escala em parcelas pequenas do território, contendo a representação geométrica precisa, detalhada e exaustiva dos objetos, o uso de sistemas de coordenadas de engenharia, cujas aplicações se desenvolvem no espaço tridimensional envolvendo a produção de elementos complexos, principalmente através da síntese de informações projetuais.

Por sua vez, as aplicações como o CIM, que possuem em comum uma abordagem que contempla tanto o BIM quanto o GIS, envolvem escalas grandes de médias, aplicações que compreendem espaços bidimensionais (superfícies) e tridimensionais (volumes) e a combinação de informações geoespaciais e de síntese projetual, como são as aplicações que envolvem a infraestrutura da cidade.

Assim, à semelhança do que foi estabelecido para o GIS (Open GIS) e para o BIM (Open BIM), o modelo da informação da cidade deverá ter características de ambos os modelos constituindo-se num modelo aberto ou Open CIM.

ESPECIFICANDO REQUISITOS PARA O MODELO CIM

Nesse aspecto, a contribuição do padrão CityGML pode ser de grande valor para a estruturação do modelo CIM e dos seus componentes ou de modelos parciais de subsistemas, mais ou menos independentes. À sua semelhança, deverá ser modular, não somente prevendo a modelagem em múltiplas escalas e facilitando as visualizações e as análises de amplas partes do território para as finalidades de planejamento e monitoramento, mas também possibilitando a visão detalhada dos elementos urbanos para fins de projeto, construção ou manutenção.

O modelo Open CIM deverá ser formado por conjunto de modelos parciais ou subsistemas urbanos, articulados e interdependentes, capazes de representar os diversos subsistemas e permitir os diversos tipos de operações sobre eles, mantendo a sua integridade, à semelhança do que ocorre com o modelo BIM.

O modelo CIM deverá ter total compatibilidade com os modelos BIM, na medida em que ambos os modelos deverão ser implementados a partir do padrão IFC5. Entretanto, prevê-se a convergência dos padrões CityGML e IFC para um só padrão, ou dois padrões totalmente compatíveis, capaz de representar objetos grandes e pequenos, simples ou complexos, permitindo os mais diversos tipos de operações sobre eles. Nesse sentido, o recurso `ifcAlignment` – um elemento essencial para a modelagem de rodovias, ferrovias, pontes e

túneis no padrão IFC5 – já vem sendo desenvolvido em conjunto com a OGC (Buildingsmart, 2015).

Dessa forma, o modelo CIM deverá ser implementado considerando-se três aspectos:

- Os conceitos relativos às aplicações ou ao mundo real, como o planejamento, o projeto, a construção, a operação, a manutenção e outros aspectos relacionados às cidades;
- O modelo de informação conceitual, que mapeia os objetos e os processos que lhe são imputados pelas aplicações urbanas a serem atendidas pelo CIM;
- A implementação ou a codificação das estruturas de dados capazes de representar os diferentes tipos de objetos, com suas geometrias, propriedades, relações e estados, considerando as necessidades de compartilhamento, interoperabilidade, confiabilidade e segurança.

Finalmente, no que se refere aos algoritmos que atuarão sobre modelo CIM de modo a viabilizar, otimizar, executar e monitorar os processos urbanos, eles não constituem num grande problema, como será demonstrado na seção a seguir.

A DIMENSÃO DA IMPLEMENTAÇÃO

Considerando-se o ponto de vista da implementação de ferramentas, já existe uma ampla gama de programas para as mais diversas finalidades e características, desenvolvidos para atuarem sobre a cidade.

São ferramentas que vão desde as fornecidas por grandes e tradicionais empresas como a Autodesk, Bentley, Environmental Systems Research Institute (ESRI) e outras produtoras de software para engenharia, por *softhouses* emergentes como Holistic City e Procedural (comprada pela ESRI) e mesmo por laboratórios de pesquisa acadêmicas dentro das universidades, como é o caso de CityZoom desenvolvido pelo Laboratório para Simulação e Modelagem em Arquitetura e Urbanismo (SimmLab) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Aqui são apontadas algumas das principais categorias de programas em que essas ferramentas podem ser enquadradas numa abordagem CIM:

- Modelagem geoespacial, através de ferramentas para aquisição, tratamento, armazenamento e recuperação de dados, produção de mapas sistemáticos e temáticos, análises espaciais diversas, dentre vários outros recursos;
- Modelagem tridimensional da cidade e dos seus sistemas de infraestrutura física, através de ferramentas paramétricas de projeto e de visualização de cenários urbanos em diversos níveis de detalhe;
- Simulação numérica e análises diversas de cenários urbanos, considerando diversos fenômenos como ventilação natural, iluminação solar, chuvas e inundações, tráfego e mobilidade urbana, entre vários outros aspectos naturais ou antrópicos relacionados às cidades;
- Construção e planejamento da construção, através de ferramentas para simulação dinâmica dos processos de construção dos diversos sistemas urbanos com rodovias, ferrovias, redes de drenagem, distribuição de água e outros serviços;
- Operação e manutenção da infraestrutura física, através de ferramentas para a operação e manutenção das plantas urbanas de águas, energia, gás e suas redes de distribuição e coleta, além dos sistemas de transportes, dentre outros aspectos;
- Colaboração, compartilhamento e segurança da base de dados que constitui o modelo CIM, através do uso de redes de alta velocidade e de servidores confiáveis compartilhando dados e informações e interligando os principais agentes intervenientes na cidade.

Para todas essas categorias listadas e para outras eventualmente não explicitadas, existe uma variedade de ferramentas que podem ser empregadas. Algumas delas já são bem conhecidas e testadas, outras estão ainda por serem efetivamente testadas na prática e reconhecidas pelo mercado.

Seria uma tarefa por demais exaustiva e incompatível com o escopo deste trabalho fazer uma listagem extensiva de todas essas ferramentas, até porque a indústria de software é muito dinâmica, com o frequente surgimento de novos produtos, com as empresas emergentes sendo compradas pelas grandes companhias ou ainda com produtos que são incorporados em outras ferramentas, mudam de nome ou são descontinuados.

Assim, a grande questão que se coloca com relação a essas ferramentas é que elas em sua maioria foram desenvolvidas para abordagens *stand alone* de

problemas específicos, carecendo, portanto, de uma visão integradora necessária à implementação de um CIM. De uma forma mais direta, isso se traduz na capacidade de colaboração entre os vários agentes urbanos e na interoperabilidade dos sistemas fundamentados nas Tecnologias de Informação e Comunicação, em interfaces comuns, intuitivas e amigáveis para as ferramentas, entre outros aspectos.

Por fim, essas são demandas dos usuários e agências oficiais a serem atendidas pelos diversos desenvolvedores de software. Aqueles que estiverem mais atentos a essas questões certamente terão mais chance de se colocarem num novo mercado que se abre em escala mundial.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como pode ser observado ao longo da discussão, a questão do CIM é um tema atual, relevante e complexo, que apresenta um grande número de desafios de ordem tecnológica, operacional, financeira e política – ainda por serem superados.

De um lado, o BIM representa um paradigma bem fundamentado conceitualmente, dotado de uma ampla base tecnológica com aplicações cada vez mais sofisticadas e com larga utilização nos países mais desenvolvidos, apresentando-se como uma tendência irreversível, cujas questões em aberto estão sendo encaminhadas. Por outro lado, o CIM revela-se ainda como uma promessa, em que existem muitas questões em aberto envolvendo aspectos conceituais, tecnológicos e operacionais, entre muitos outros. Se o desenvolvimento e a implementação do CIM representam um grande desafio a ser superado nos próximos anos, os desafios que já estão colocados pelas cidades no século XXI são ainda maiores.

Assim, em que pese o futuro do CIM num ambiente de crise econômica e incertezas, suscitam-se muitas dúvidas quanto à sua viabilidade ou oportunidade. Dúvidas voltadas à crise da água, da energia, da mobilidade urbana, entre outras, fazem com que esta discussão ganhe uma posição de destaque e que não possa ser postergada.

REFERÊNCIAS

AMORIM, A. L. Discutindo City Information Modeling (CIM) e conceitos correlatos. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 87-99, jul./dez. 2015.

AMORIM, A. L. Estabelecendo requisitos para a Modelagem da Informação da Cidade (CIM). In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, 4., 2016, Porto Alegre. *Anais* [...]. Porto Alegre: PROPAP/UFRGS, 2016.

BUILDINGSMART. IFC Alignment Project, Process Map and Use Cases (informative). *buildingSMART*, [s. l.], 2015. Disponível em: <http://www.buildingsmart-tech.org/downloads/ifc/ifc5-extension-projects/ifc-alignment/ifc-alignment-exchangescenarios-fs>. Acesso em: 20 maio 2016.

BUILDINGSMART. IFC for Infrastructure: separation between BIM and GIS requirements - technical scope definition - proposed first steps. *buildingSMART*, [s. l.], [2011-2016]. Disponível em: http://www.iowadot.gov/bridge/3D/Presentations/20121017_IFC_for_Infrastructure.pdf. Acesso em: 7 abr. 2016.

CORRÊA, F. R.; SANTOS, E. T. Na direção de uma modelagem da informação da cidade (CIM). In: ENCONTRO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 7., 2015, Recife. *Anais* [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2015.

GIL, J.; ALMEIDA, J.; DUARTE, J. P. The backbone of a City Information Model (CIM): implementing a spatial data model for urban design. In: EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE, 29., 2011, Ljubljana. *Proceedings* [...]. Ljubljana: eCAADe, 2011.

GIL, J.; BEIRÃO, J.; MONTENEGRO, N.; DUARTE, J. Assessing computational tools for urban design: towards a city information model. In: EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE, 28., 2010, Prague. *Proceedings* [...]. Prague: eCAADe, 2010.

HISHAM, A. The new trend of CIM. In: HISHAM, A. *Blog Ahmad's Findings*. [S. l.], 10 May 2010. Disponível em: <http://ahmadfindings.blogspot.de/2010/05/newtrend-of-cim.html>. Acesso em: 19 abr. 2015.

ISO. *ISO 16739:2013: Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in The Construction and Facility Management Industries*. Geneva: ISO, 2013.

LIEBICH, T. IFC4: the new buildingSMART standard. *buildingSMART*, [s. l.], 2013. Disponível em: https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/buildingSMART_IFC4_What-is-new.pdf. Acesso em: 24 jan. 2024.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. *Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. [S. l.]: ONU, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-odesenvolvimento-sustent%C3%A1vel>. Acesso em: 8 mar. 2024.

OGC. *OGC city geography markup language (CityGML) encoding standard*. [S. l.]: OGC, 2012. Project document n.: OGC 12-019. Version: 2.0.0. Disponível em: <https://www.ogc.org/standard/citygml/>. Acesso em: 24 jan. 2024.

SCHIEFELBEIN, J. *et al.* Development of a city information model to support data management and analysis of building energy systems within complex city districts. *In: CISBAT 2015 INTERNATIONAL CONFERENCE FUTURE BUILDINGS AND DISTRICTS: SUSTAINABILITY FROM NANO TO URBAN SCALE*, 13., 2015, Lausanne. *Proceedings* [...]. Lausanne: CISBAT, 2015. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Development-of-a-City-Information-Model-to-Support-Schiefelbein-Javadi/40f97b132b790298e36a9bfd5c48c2a9b47d21e2/pdf>. Acesso em: 24 maio 2016.

STOJANOVSKI, T. City Information Modeling (CIM) and Urbanism: blocks, connections, territories, people and situations. *In: SYMPOSIUM ON SIMULATION FOR ARCHITECTURE AND URBAN DESIGN*, 2013, San Diego. *Proceedings* [...]. San Diego: ACM, 2013.

MODELAGEM GEOMÉTRICA DE CIDADES A PARTIR DE NUVENS DE PONTOS¹

*Natalie Johanna Groetelaars
Adaildes Moreira do Nascimento
Arivaldo Leão de Amorim*

INTRODUÇÃO

A demanda por modelos digitais tridimensionais de cidades tem aumentado significativamente nos últimos anos para os mais variados usos, como planejamento urbano, turismo, prevenção e gerenciamento de desastres, além de diversos tipos de simulações. A geração de modelos geométricos precisos de extensas áreas é uma atividade que exige uma significativa quantidade de trabalho, constituindo um importante tema para investigação e que tem atraído a atenção de diversos pesquisadores na busca de processos mais eficazes e precisos.

1 Originalmente publicado em: Groetelaars, Nascimento e Amorim (2020).

Os métodos tradicionais de aquisição de dados e de representação de edificações e de cidades (como o uso de plantas cadastrais urbanas obtidas por restituição aerofotogramétrica convencional ou o uso de métodos topográficos) apresentam uma série de limitações, principalmente quando se trata de objetos complexos e de grandes dimensões ou de extensas áreas urbanas, resultando em um processo lento, de custo elevado e geralmente pouco preciso.

Atualmente, entre as técnicas digitais para levantamento de formas existentes, destacam-se os sistemas de varredura que permitem gerar nuvem de pontos – um tipo de modelo geométrico formado por pontos, cada um representado por suas coordenadas cartesianas (x, y, z) e um ou mais atributos associados a ele.

Os principais sistemas de varredura utilizados para documentação arquitetônica e urbana são:

- *3D Laser Scanning* – permite gerar, de modo automatizado, nuvens de pontos a partir do escaneamento a *laser*, realizado por equipamentos estáticos ou dinâmicos;
- *Dense Stereo Matching* (DSM) – processamento digital de fotografias realizado por programas específicos para restituição fotogramétrica automatizada.

Essas tecnologias representam o estado da arte em relação à aquisição de dados geométricos de edificações e cidades, apresentando diversas vantagens em relação aos métodos convencionais, como rapidez e precisão no registro de grande quantidade de informações armazenadas no modelo de nuvem de pontos.

Entretanto, para que o modelo seja adequado à maioria das aplicações, é necessário realizar a etapa de pós-processamento da nuvem de pontos, visando gerar diversos produtos, a exemplo de desenhos, modelos geométricos (sólidos ou de superfície) – texturizados ou não –, modelos físicos etc. Entre esses produtos, no contexto da modelagem urbana tridimensional, destacam-se os modelos simplificados de superfície devido aos reduzidos tamanhos de arquivos e à grande quantidade de aplicações associadas a esse tipo de modelo.

O foco deste capítulo é abordar e discutir diferentes métodos para a geração de modelos geométricos simplificados de edificações, a partir do pós-processamento de nuvens de pontos. São apresentados experimentos realizados para a geração do modelo geométrico texturizado de um trecho do Centro Histórico de Salvador, envolvendo desde a tomada fotográfica, a geração de nuvem de pontos por processamento digital das fotografias até o pós-processamento da nuvem de pontos por métodos interativos e automatizados.

REVISÃO DA LITERATURA

Apresenta-se, a seguir, a revisão bibliográfica realizada sobre o tema, trazendo questões como: 1. modelos geométricos de cidade – aplicações e níveis de detalhe; 2. métodos para aquisição dos dados geométricos; 3. métodos para geração de modelos simplificados de superfície para representação de edificações existentes.

Modelos geométricos de cidade – aplicações e níveis de detalhe

Com o avanço das tecnologias digitais, foram desenvolvidos novos modos de registro dos objetos existentes, como os modelos geométricos (3D) de edificações ou de cidades. A representação tridimensional dos objetos, além de permitir a compreensão visual das formas de maneira mais intuitiva e completa, possibilita adicionar uma série de dados semânticos (ano de construção, tipo de uso, estado de conservação, dados históricos etc.), ampliando suas possibilidades de aplicações e facilitando tomadas de decisões (Kemec; Zlatanova; Duzgun, 2010).

Os modelos geométricos de cidade vêm adquirindo cada vez mais importância em aplicações voltadas à melhoria da gestão urbana, não se limitando apenas à visualização espacial (geométrica e geográfica), mas também podendo ser usados para o armazenamento e análise de dados semânticos associados. Esses modelos podem ser utilizados para diversas finalidades (Álvarez *et al.*, 2018; Buyukdemircioglu; Kocaman; Isikdag, 2018; Hron; Halounová, 2014):

- Planejamento urbano;
- Monitoramento ambiental (poluição do ar, propagação do ruído de tráfego etc.);
- Realização de diversos tipos de simulação (incidência solar, inundações, incêndio etc.);
- Apoio à prevenção e ao gerenciamento de desastres;
- Planejamento de cidades energeticamente eficientes;
- Estudo da propagação de ondas eletromagnéticas para aplicações em telecomunicações;
- Gestão e manutenção de instalações, edifícios e cidades;
- Desenvolvimento de plataformas *smart city* para a gestão urbana;
- Documentação arquitetônica e urbana;

- Sistemas para a gestão e conservação do patrimônio arquitetônico e de centros históricos;
- Aplicações voltadas ao turismo;
- Aplicações em ambientes de realidade virtual e aumentada;
- Impressão 3D, visando à geração de maquetes (modelos físicos em escala reduzida).

O nível de detalhe utilizado na representação de modelos geométricos de cidade varia de acordo com sua finalidade. O City Geography Markup Language (CityGML), estabelecido pela Open Geospatial Consortium (OGC) em 2008, é um padrão internacional e neutro, que vem sendo utilizado em todo o mundo para a representação digital tridimensional de cidades em cinco níveis de detalhe ou *Level of Detail* (LOD), variando do mais simples (LOD 0) ao mais detalhado (LOD 4):

- LOD 0 – consiste na representação da superfície do terreno, em que as edificações são representadas pelos seus contornos (*building footprints*);
- LOD 1 – representa as edificações de modo simplificado, como prismas gerados a partir da extrusão dos seus perímetros;
- LOD 2 – inclui a representação das coberturas das edificações, sendo comum a aplicação das foto-texturas para aumentar o realismo das fachadas;
- LOD 3 – representa um modelo detalhado do exterior das edificações, incluindo saliências e vazios, como varandas, portas, janelas etc.;
- LOD 4 – consiste na representação completa da edificação, contemplando também seu interior.

Métodos para aquisição de dados geométricos

Diversos métodos podem ser utilizados para aquisição de dados visando à modelagem geométrica de objetos, variando em função de fatores como tempo e precisão do levantamento, características do objeto ou da área de interesse (tamanho, extensão, complexidade da geometria, material), finalidade e grau de sofisticação do modelo.

Álvarez e demais autores (2018) tratam do processo de geração de modelos geométricos de cidades, subdividindo-o em dois grandes grupos: 1. os

métodos que utilizam dados existentes para a modelagem; 2. os métodos que utilizam dados novos.

No primeiro grupo, pode-se citar o uso de plantas cadastrais ou de imagens de satélite como base para uma modelagem simplificada ou o uso de programas com bibliotecas de tipos de edificações. No segundo grupo de processos, que parte de dados novos, pode-se citar os métodos que permitem gerar modelos geométricos pela restituição fotogramétrica (interativa ou automatizada) ou pela varredura a *laser*.

Entre os principais produtos primários dessas técnicas, destacam-se os modelos de superfície texturizados, gerados pela fotogrametria digital *stricto sensu* (métodos interativos), bem como os modelos de nuvens de pontos produzidos pelo processamento digital de fotografias (DSM) ou pela varredura a *laser*.

A grande vantagem do DSM e da varredura a *laser* é a rapidez na aquisição de grande quantidade de dados, pois são usados processos automatizados para geração da nuvem de pontos. Comparando os dois métodos, o DSM destaca-se pelo baixo custo, pois requer basicamente o uso de câmera digital (posicionada próxima ao objeto ou aerotransportada em drones) e um computador com software específico para o processamento das imagens fotográficas. Já a varredura a *laser* destaca-se pela maior rapidez na aquisição de dados, uma vez que as nuvens de pontos são geradas em tempo real no campo.

Apesar das potencialidades e vantagens desses métodos, em ambos os casos é necessário realizar a etapa de pós-processamento, dadas as limitações do modelo de nuvem de pontos: grandes tamanhos de arquivos, dificuldade de visualização, problemas para importação em diversos programas, limitação de aplicações diretas etc.

O pós-processamento das nuvens de pontos permitirá a geração de uma grande quantidade de produtos, adequada para várias aplicações, como desenhos, ortofotos, modelos geométricos de superfície, malha triangular irregular e outros produtos derivados (Groetelaars, 2015). Em se tratando de modelos numéricos tridimensionais de cidade, destacam-se os modelos simplificados de superfície devido às características já tratadas anteriormente.

Métodos para geração de modelos simplificados de superfícies

A escolha do método para a modelagem geométrica varia de acordo com diversos fatores, como finalidade do modelo, precisão requerida, tempo, mão

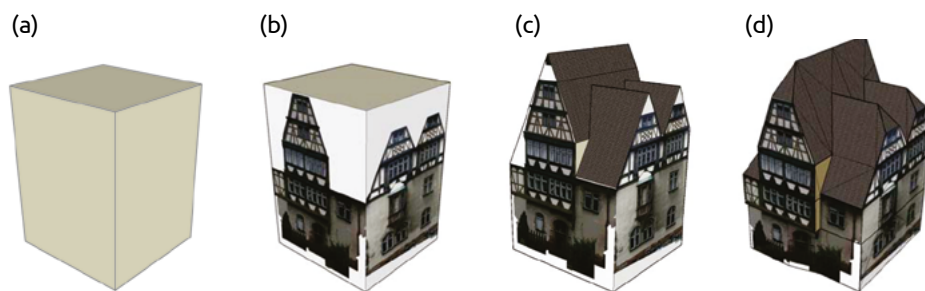
de obra e recursos tecnológicos e financeiros disponíveis, podendo ser empregados métodos mais interativos ou mais automatizados.

Entre as técnicas mais interativas, pode-se citar a modelagem simplificada através do uso de fotos oblíquas de fachadas, como o recurso Match Photo do SketchUp, e a modelagem a partir da utilização de ortofotos.

O recurso Match Photo do SketchUp consiste em importar uma fotografia oblíqua tomada de um objeto e associar os três eixos (x, y e z) às arestas visíveis dele (que corresponderão a linhas paralelas e ortogonais do objeto fotografado). Dessa forma, o programa consegue recuperar a visualização em perspectiva igual à da foto, possibilitando ao usuário realizar a modelagem sobre a fotografia (como pano de fundo) e, posteriormente, aplicar a foto-textura sobre os planos criados. Vale ressaltar que esse processo não é adequado para geração de modelos precisos, não podendo ser utilizado em formas mais complexas e irregulares, nem com angulações diferentes de 90 graus, pois não permitiria fazer a associação com os eixos cartesianos.

Com relação à modelagem de edificações através de ortofotos, pode-se citar os experimentos descritos por Koehl e demais autores (2008). Eles citam o processo de geração das ortofotos das fachadas no PhotoModeler (programa para fotogrametria digital), que são usadas posteriormente para servirem de referência de modelagem geométrica de edificações no SketchUp (Figura 1): parte-se de um prisma envoltório – forma geral (a); aplicam-se as ortofotos nas faces do prisma, fazendo-se a correspondência entre elas (b); realiza-se o traçado das feições de interesse sobre as ortofotos, definindo-se as fachadas principais (c); chega-se à forma final, refinada (d).

FIGURA 1 – Modelagem a partir de ortofotos



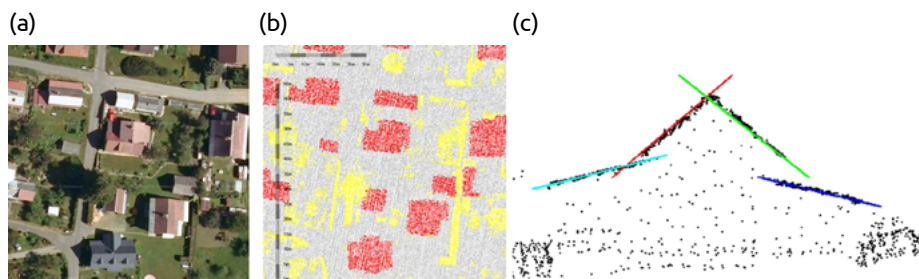
Fonte: adaptada de Koehl *et al.* (2008).

Entre as técnicas mais automatizadas de modelagem geométrica, podemos citar os exemplos apresentados pelos autores Hron e Halounová (2014) e Buyukdemircioglu, Kocaman e Isikdag (2018).

Hron e Halounová (2014) realizaram experimentos para verificar os resultados obtidos a partir de processos automatizados de segmentação e modelagem geométrica sobre a nuvem de pontos de uma área urbana da República Tcheca (Figura 2a), gerada por varredura a *laser* aerotransportada – na língua inglesa, refere-se a *Airborne Laser Scanning* (ALS). O processo de segmentação realizado no software ENVI LiDAR permitiu classificar os elementos contidos na nuvem de pontos, separando as edificações do terreno (Figura 2b). A etapa de modelagem consistiu na criação de primitivas geométricas (planos) que melhor se ajustassem aos pontos da nuvem de pontos classificados como “edificações” (Figura 2c). Ao final dos experimentos, os autores concluíram que houve uma diferença significativa na qualidade dos produtos gerados em função da densidade da nuvem de pontos, tanto no que se refere à classificação dos dados, quanto à modelagem. Os bons resultados puderam ser obtidos somente quando a densidade da nuvem de pontos era mais elevada, a partir de 20 pontos por m² (o que daria um afastamento de aproximadamente 20 a 23 cm entre pontos), o que não é comum em um levantamento ALS.

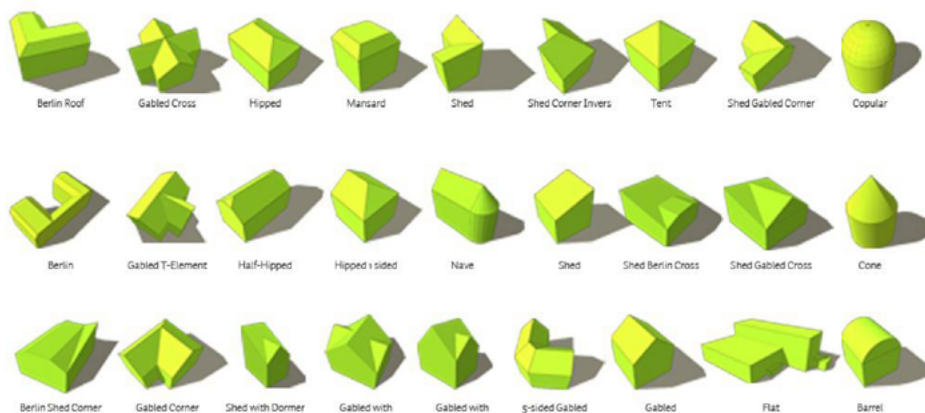
Buyukdemircioglu, Kocaman e Isikdag (2018) descrevem o método utilizado para geração do modelo geométrico de uma cidade na Turquia, com uso do software BuildingReconstruction. A modelagem em LOD 2 é realizada a partir de processos semiautomáticos, tomando como base os contornos das edificações (*building footprints* gerados anteriormente) e as nuvens de pontos produzidas por processamento digital de fotos aéreas. O BuildingReconstruction permite fazer a associação entre a geometria da edificação/telhado presente no modelo de nuvem de pontos e sua correspondente em uma biblioteca com 32 tipos de telhados (Figura 3) disponíveis no programa. Ao final dos experimentos, os autores identificaram como principais vantagens do método a rapidez na criação de modelos em LOD 1 e LOD 2 de extensas áreas e a possibilidade de exportação direta para o formato CityGML. Entre as limitações, destacaram que o processo de reconstrução da geometria é limitado à biblioteca existente do programa, não sendo adequado para a criação de edificações com formas detalhadas e complexas.

FIGURA 2 – (a) Foto de uma área urbana da República Tcheca; (b) Segmentação da nuvem de pontos (o terreno; as edificações; outras áreas não classificadas); (c) Ajuste automático de primitivas geométricas (planos) sobre a nuvem de pontos



Fonte: adaptada de Hron e Halounová (2014).

FIGURA 3 – Exemplo da biblioteca de tipos edificações/telhados presentes no software BuildingReconstruction



Fonte: Buyukdemircioglu, Kocaman e Isikdag (2018).

Diante do exposto, verifica-se que existem diversos métodos para a geração de modelos geométricos de cidade, com diferentes características. No entanto, ressalta-se a importância de se realizarem novos experimentos que permitam o desenvolvimento de métodos mais eficazes para a geração de modelos digitais tridimensionais de cidade, utilizem menor tempo, custo e recursos e garantam a elevada qualidade dos produtos gerados (precisão e qualidade fotorrealística) e uma maior flexibilidade de uso.

A seguir, serão descritos os experimentos realizados no Centro Histórico de Salvador, que consistem na geração do modelo geométrico de um trecho do

Pelourinho a partir de métodos interativos e, na sequência, são apresentados novos estudos em busca por processos mais automatizados de modelagem.

EXPERIMENTOS REALIZADOS

Nesta seção, descrevem-se os processos de geração do modelo geométrico texturizado de um trecho do Pelourinho, localizado no Centro Histórico de Salvador. O trabalho iniciou-se com o levantamento fotográfico de três quadras do Pelourinho. As fotos foram usadas para geração de nuvens de pontos e ortofotos, produtos que foram novamente processados para geração do modelo geométrico fotorrealístico da área. As principais etapas de trabalho estão ilustradas na Figura 4.

FIGURA 4 – Principais etapas realizadas nos experimentos



Fonte: elaborada pelos autores.

Foram experimentados três diferentes métodos para geração dos modelos de superfícies das edificações: dois processos mais interativos e um processo utilizando ferramentas para automatização da modelagem a partir das nuvens de pontos. As diferenças mais significativas entre os fluxos de trabalho testados referem-se à etapa quatro, correspondente à modelagem geométrica. A seguir, essas etapas são devidamente detalhadas.

Tomada fotográfica

O trabalho em campo consistiu no registro fotográfico terrestre, com fotos tomadas próximas às edificações, bem como no levantamento fotográfico aéreo através de câmera digital acoplada a um drone.

A tomada fotográfica terrestre foi realizada através da câmera Nikon D300, lente 12 mm, e da câmera Nikon D610, lente 18 mm, obtendo fotos com resolução de 4288 x 2848 *pixels* e 6.016 x 4.016 *pixels*, respectivamente. O levantamento aéreo foi efetuado por meio do drone modelo Phantom 4 Pro (fabricante DJI), com câmera digital acoplada, lente de 4 mm, gerando fotos com resolução de 4.000 x 3.000 *pixels*.

Geração das nuvens de pontos e ortofotos

Depois do levantamento fotográfico, iniciou-se, em escritório, a restituição fotogramétrica das imagens no Agisoft PhotoScan (a versão atual é denominada Agisoft Metashape). Foram processadas inicialmente as fotos aéreas, depois as fotos terrestres – em processos separados.

O Agisoft PhotoScan trabalha com a técnica DSM, realizando o processamento automatizado das fotografias visando à geração de modelos do tipo nuvem de pontos ou malha triangular irregular – na língua inglesa, corresponde à *Triangular Irregular Network* (TIN).

As etapas principais de processamento realizadas no PhotoScan foram: geração da nuvem esparsa (a partir da detecção e correlação automática de feições homólogas nas fotos), geração da nuvem de pontos densa (refinamento da etapa anterior), criação da malha TIN na cor sólida, geração da malha TIN texturizada e, por fim, a geração das ortofotos.

O processamento das fotos terrestres teve por finalidade a obtenção das ortofotos das fachadas das edificações, enquanto o processamento das fotos aéreas visou à geração do modelo de nuvem de pontos geral da área (contemplando edificações, passeios e ruas) e as ortofotos dos telhados.

Edição das ortofotos

Algumas ortofotos geradas pelo PhotoScan apresentaram resultados insatisfatórios, em boa parte devido a problemas ocorridos durante a tomada fotográfica. A presença de edificações de altura elevada em ruas estreitas dificultava o seu registro adequado. Além disso, a existência de diversos elementos na frente das fachadas – cartazes, faixas, objetos expostos à venda e esquadrias abertas – exigiu uma etapa cuidadosa de edição das imagens.

Foi necessário fazer algumas correções nas ortofotos em programas de edição de imagem, para complementação de áreas sem informação (vazios nas imagens) ou com texturas incompletas/distorcidas. Na maior parte dos casos, foram usados somente editores de imagem, como o Adobe Photoshop e o GIMP. Em algumas situações, foi necessário utilizar outro programa para fotogrametria, o PhotoModeler, visando à geração de fotos retificadas através da monorrestituição, processo interativo em que se realiza o processamento de uma única fotografia (Groetelaars, 2015). A monorrestituição foi usada para criação das texturas de portas, janelas e grades que apresentavam problemas.

Um exemplo disso pode ser visto na Figura 5, em que houve a substituição das texturas das esquadrias superiores da ortofoto produzida pelo PhotoScan e das fotos retificadas das esquadrias geradas pelo PhotoModeler.

FIGURA 5 – (a) Ortofoto gerada no PhotoScan; (b) Ortofoto editada no Photoshop e com a substituição de grades e janelas geradas no PhotoModeler



Fonte: elaborada por Adaildes Moreira, Kyane Bomfim, Luana Micaela e Nicole Guerra em 2018.

A partir da geração do modelo de nuvem pontos e das ortofotos (originais e editadas), foi realizada a modelagem geométrica de um trecho do Pelourinho através de três métodos distintos. Foram testados diferentes processos e ferramentas a partir de métodos interativos de trabalho sobre a nuvem de pontos, como também foram realizados testes iniciais com programas específicos para automatização da modelagem geométrica.

Modelagem geométrica e texturização

Nos dois primeiros métodos, mais interativos, a modelagem iniciou-se no programa AutoCAD, sendo necessário realizar a conversão da nuvem de pontos gerada pelo PhotoScan em formato de arquivo LAS para o formato RCS ou RCP. Essa conversão foi realizada através do programa Autodesk ReCap Pro, uma vez que o formato LAS não era aceito pelo AutoCAD.

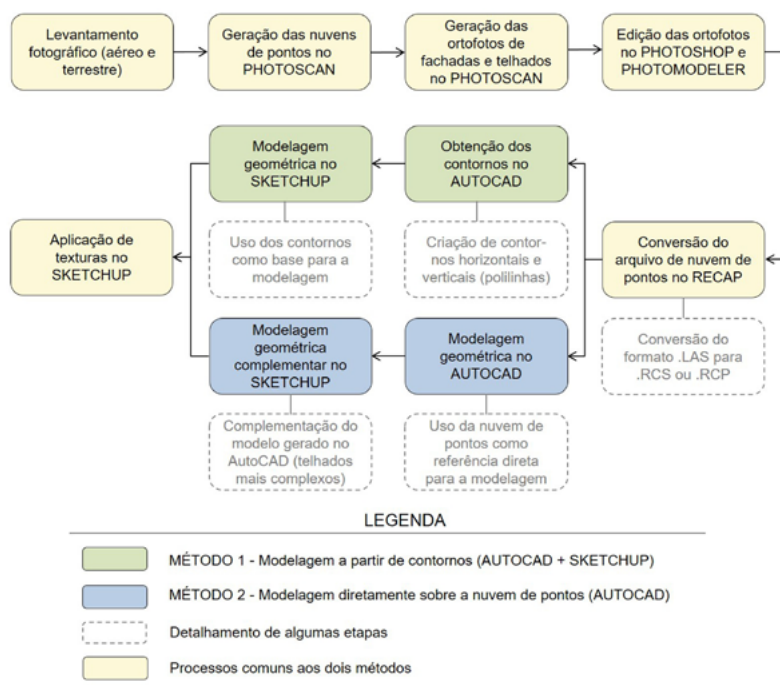
O método 1 consistiu na criação de contornos (horizontais e verticais) a partir da visualização sobre a nuvem de pontos no AutoCAD. Esta seria uma forma de permitir a modelagem geométrica no SketchUp, já que os contornos poderiam ser importados diretamente no programa, ao contrário da nuvem de pontos, que só poderia ser importada com uso de *plug-in* (licença comercial).

O método 2 consistiu em realizar a modelagem geométrica completa diretamente no AutoCAD, permitindo visualizar e comparar os dois modelos sobrepostos (nuvem de pontos original e o modelo geométrico resultante).

O fluxo completo de trabalho dos dois primeiros métodos empregados (mais interativos) está ilustrado na Figura 6. Ressalta-se que foram adotados dois métodos de modelagem geométrica, que serão descritos a seguir junto às outras etapas realizadas. Há etapas que foram comuns aos diversos métodos, que compreende a aquisição de dados (geração das nuvens de pontos e ortofotos no software Agisoft PhotoScan) e a finalização do modelo, de aplicação de texturas no SketchUp.

No terceiro método, foram usadas as ferramentas Mapple e Polyfit, visando verificar os processos e resultados que podem ser obtidos por métodos automatizados de geração de modelos simplificados de superfícies. Foram feitos testes em algumas edificações, utilizando-se a nuvem de pontos gerada pelo processamento das fotos aéreas.

FIGURA 6 – Fluxo de trabalho dos métodos mais interativos (métodos 1 e 2)



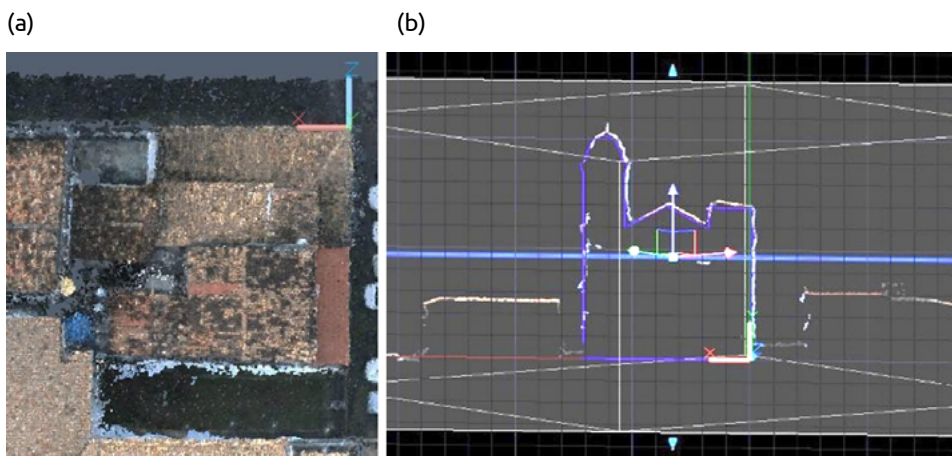
Fonte: elaborada pelos autores.

► *Método 1: modelagem geométrica no SketchUp a partir de contornos criados no AutoCAD*

A obtenção dos contornos das edificações, seções horizontais (*footprint*) e verticais foi realizada a partir da visualização de estreitas faixas de nuvens de pontos no AutoCAD. Para realizar esse procedimento, foi necessário criar um sistema de coordenadas do usuário – User Coordinate System (UCS) –, permitindo definir o plano XY paralelo a cada fachada (ver na Figura 7a o símbolo do UCS paralelo a uma fachada). Desse modo, foi possível realizar o alinhamento entre o plano vertical de corte e a representação do perfil vertical da edificação.

Após obter esse alinhamento entre planos, é realizado o fatiamento da nuvem de pontos e estabelecida uma pequena profundidade de corte (de forma a suprimir informações posteriores), permitindo visualizar somente o contorno do objeto para posterior realização da vetorização interativa sobre a nuvem de pontos (Figura 7b). Outro procedimento adotado foi a criação de um *layer* para cada contorno, com o objetivo de facilitar a modelagem a ser realizada posteriormente no SketchUp.

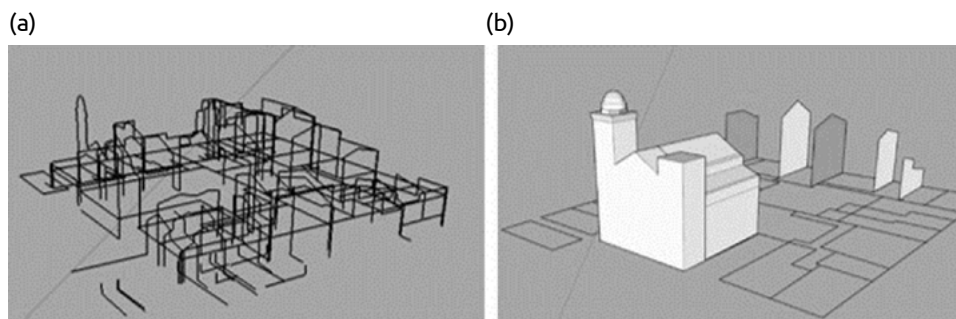
FIGURA 7 – (a) UCS criado paralelo à fachada de interesse; (b) elaboração do contorno vertical (polilinha) a partir de fatiamento da nuvem de pontos



Fonte: Groetelaars e Nascimento (2019).

A partir dos contornos gerados no AutoCAD, foi possível realizar a importação deles para o SketchUp (Figura 8a) para iniciar a etapa de definição das faces e a modelagem geométrica dos volumes principais (Figura 8b).

FIGURA 8 – (a) Contornos importados para o SketchUp; (b) Criação de faces e modelagem geométrica dos volumes principais no SketchUp



Fonte: Groetelaars e Nascimento (2019).

A modelagem das edificações no SketchUp iniciou-se com a extrusão dos contornos verticais das edificações. Como as edificações do Pelourinho apresentam paredes com diferentes inclinações, foi necessário criar planos auxiliares e diferentes sistemas de coordenadas, a fim de permitir a realização dos ajustes no modelo, de modo a eliminar as partes excedentes geradas após a extrusão dos perfis verticais, que nem sempre coincidiam com o contorno horizontal (devido à falta de esquadro e prumo das paredes).

Durante a modelagem geométrica, ocorreram problemas em casas que possuíam paredes e/ou coberturas mais complexas e irregulares, o que acabou gerando formas com triângulos internos (devido à presença de superfícies não planas). Na sequência, para não haver problemas na geração do modelo no formato CityGML, foi necessária a realização de ajustes para eliminação das triangulações, levando a uma pequena simplificação na geometria da parede, porém de modo a interferir minimamente na precisão do modelo gerado.

Após a finalização da modelagem geométrica, foi realizada aplicação das texturas dos telhados e das fachadas nas superfícies de cada uma das edificações (Figura 9).

FIGURA 9 – Modelo geométrico texturizado de um trecho do Pelourinho representado no SketchUp



Fonte: elaborada por Adaildes Moreira, Kyane Bomfim, Luana Micaela e Nicole Guerra em 2018.

Esse método inicialmente escolhido se deu em razão da familiaridade com o SketchUp, o que facilitou a construção dos modelos das edificações. Entretanto, ocorreram dificuldades na realização da modelagem de forma fidedigna à nuvem de pontos, em razão principalmente da falta de paralelismo das paredes das edificações e das diferentes alturas e formas dos telhados, dificultando a modelagem que tomou como base alguns perfis das edificações. A partir dessa constatação, verificou-se a necessidade de ser testado outro método para modelagem, descrito a seguir.

► *Método 2: modelagem geométrica diretamente no AutoCAD*

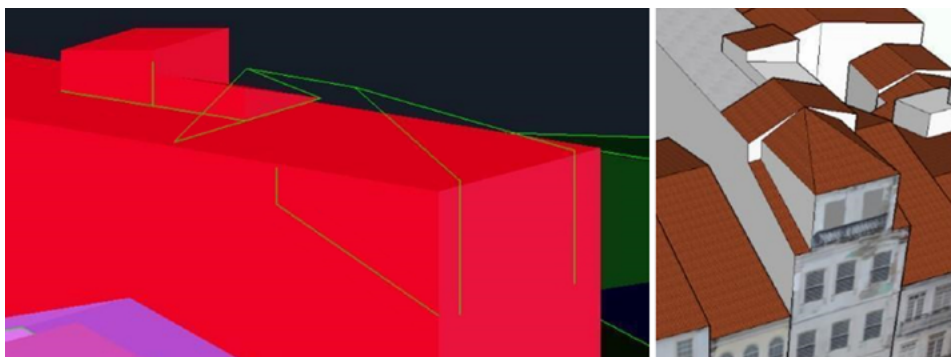
Dadas as limitações do primeiro método (modelagem no SketchUp a partir dos contornos gerados no AutoCAD), verificou-se a necessidade da utilização de um método mais preciso e rápido. Sendo assim, foram realizados testes para a modelagem geométrica das edificações diretamente sobre a nuvem de pontos visualizada no AutoCAD, eliminando a necessidade de realizar ajustes posteriores nos modelos.

A primeira etapa consistiu na importação da nuvem de pontos para o AutoCAD e a criação dos contornos horizontais (*footprints*) das edificações, que seriam usados para a realização das extrusões posteriores. Após a criação dos modelos sólidos por extrusão, foram criadas linhas de contorno dos telhados a partir da visualização direta sobre a nuvem de pontos.

Para realizar a modelagem dos telhados, foi necessária a criação de um UCS para cada edificação, de modo a permitir o refinamento posterior do modelo, eliminando-se as partes excedentes (com o comando “slice”) e acrescentando as partes faltantes.

Em telhados com águas mais complexas, foram extraídos dados relativos ao seu contorno para posterior modelagem no SketchUp (Figura 10a e 10b).

FIGURA 10 – (a) Obtenção dos contornos do telhado; (b) Modelagem no SketchUp a partir dos contornos criados



Fonte: Groetelaars e Nascimento (2019).

FIGURA 11 – Duas perspectivas ilustrando o modelo do Pelourinho no SketchUp com aplicação das ortofotos das fachadas e texturas genéricas nos telhados



Fonte: elaborada pelos autores.

Devido à dificuldade de visualização na nuvem de pontos das partes mais baixas da fachada, próximas ao passeio (em razão de obstáculos presentes durante a tomada fotográfica, como carros estacionados, pessoas, vegetação etc.), optou-se pela utilização das ortofotos para obtenção do limite entre passeio e fachada da edificação.

No SketchUp, foram realizadas a modelagem final e a aplicação das ortofotos das fachadas (Figura 11). Levando em conta o tamanho do arquivo gerado a partir da aplicação de ortofotos de telhados e fachadas, optou-se por reduzir o tamanho dos arquivos das ortofotos das fachadas e aplicar uma textura genérica nos telhados, ocorrendo uma redução significativa no tamanho do arquivo (de 672 Mb para 28,3 Mb).

► *Método 3: modelagem geométrica por processos automatizados*

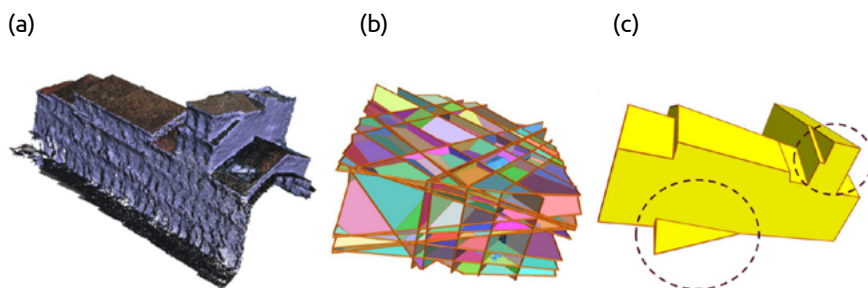
Depois de gerado o modelo geométrico texturizado do Pelourinho pelos métodos descritos anteriormente, constatou-se que, apesar da qualidade dos produtos gerados, era importante experimentar novos processos e ferramentas, visando automatizar a etapa de modelagem através das nuvens de pontos, de modo a reduzir o tempo para geração de modelos de superfície simplificados.

Foram utilizadas as ferramentas Mapple e Polyfit (Nan; Wonka, 2017), programas livres disponíveis gratuitamente na internet². Mapple é uma ferramenta que permite realizar algumas funções, por exemplo, estimar as normais dos planos e realizar a edição e a decimação da nuvem de pontos. É usada para extrair planos da nuvem de pontos, sendo baseada no algoritmo RANSAC (Özdemir; Remondino, 2018). A partir desse primeiro processamento e a aceitação dos planos gerados preliminarmente no Mapple, o Polyfit realiza um refinamento do processamento anterior e gera um conjunto otimizado de planos, que define o modelo de superfície simplificado.

No primeiro teste realizado, foi possível entender melhor o funcionamento dos dois programas e verificar os produtos gerados em cada etapa. Foi recortado um trecho da nuvem de pontos produzida pelas fotos aéreas e inserido o modelo na Mapple para a realização da etapa inicial, de estimativa de normais (Figura 12a). Em seguida, esse arquivo foi importado no Polyfit para geração de diversos planos (Figura 12b) e o posterior refinamento para geração do modelo final (Figura 12c). Verifica-se, na Figura 12c (áreas destacadas), que há elementos modelados erroneamente.

2 Ver em: <https://3d.bk.tudelft.nl/liangliang/software.html>.

FIGURA 12 – (a) Estimativa das normais no Mapple; (b) Geração de diversos planos no Polyfit; (c) Definição do modelo final no Polyfit

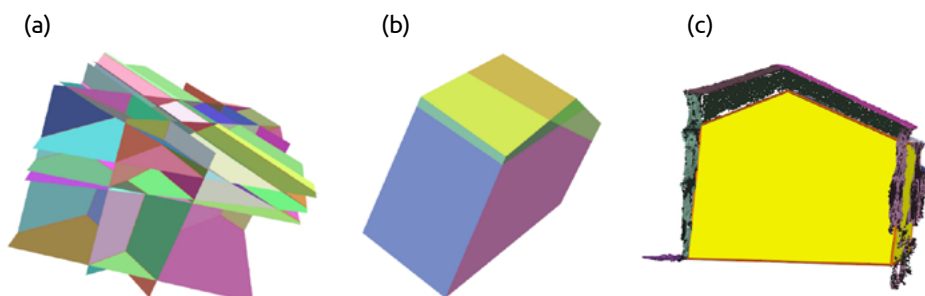


Fonte: elaborada pelos autores.

Na sequência, foram realizados outros testes e verificou-se que os melhores resultados eram alcançados quando se trabalhava com trechos menores (com edificações isoladas) e quando a nuvem de pontos estava mais densa, completa e com menos ruído. Isso pode ser visto na Figura 13, na modelagem automatizada de uma única edificação. Foram realizados também testes em edificações de maior complexidade geométrica (incluindo formas curvas), porém, nesses casos, os resultados não foram satisfatórios.

A partir dos resultados obtidos, foi possível identificar o bom desempenho do programa na criação de modelos geométricos simplificados, mas verificou-se a necessidade de uma nuvem de pontos completa (sem áreas de sombra), permitindo registrar bem as extremidades da edificação (cobertura, paredes, passeio) e evitando distorções no modelo resultante. Outro ponto positivo no uso desses programas foi permitir a exportação do modelo em diversos formatos, o que facilita modelagens complementares ou adição de informações em outros softwares.

FIGURA 13 – (a) Geração de diversos planos possíveis no Polyfit; (b) Criação do modelo final no Polyfit a partir de refinamentos e interseções dos planos; (c) Sobreposição do modelo de superfície resultante com a nuvem de pontos



Fonte: elaborada pelos autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram apresentados, neste capítulo, diferentes métodos de modelagem geométrica de edificações do Centro Histórico de Salvador a partir do processamento de nuvens de pontos. Foram descritas desde as etapas iniciais de tomada fotográfica, geração de nuvens de pontos e ortofotos em programas para processamento digital de fotografias (técnica DSM) até os diferentes testes realizados para geração dos modelos texturizados das edificações.

Foi possível comprovar as potencialidades da técnica DSM por meio de processos rápidos de aquisição de dados, aliados ao uso de equipamentos de baixo custo. Vale ressaltar a importância do uso integrado de fotos aéreas e terrestres. As fotos aéreas foram usadas principalmente para a geração da nuvem de pontos geral da área, que representou a grande base para a visualização e criação dos modelos de superfície simplificados. Por outro lado, as fotos terrestres permitiram gerar as ortofotos das fachadas em alta resolução, essenciais para a produção do modelo texturizado e complementação de partes da modelagem.

Os experimentos apresentados neste capítulo procuraram usar ferramentas digitais bastante difundidas e conhecidas (seja para aquisição de dados, seja para modelagem geométrica e edição de imagens), além de demandarem pequena quantidade de programas nas diferentes etapas de processamento.

Apesar da elevada qualidade e precisão do produto gerado, foi necessário um elevado tempo de produção dos modelos, principalmente referente à etapa de pós-processamento da nuvem de pontos para geração do modelo geométrico texturizado. O processo de geração dos modelos de superfícies simplificados das edificações exigiu muito tempo e atenção, de modo a gerar representações precisas e adequadas a diversas aplicações.

O experimento realizado utilizando métodos automáticos demonstrou-se promissor, porém, no que tange à sua utilização em sítios históricos, é necessário um aprimoramento da técnica para que seja possível sua utilização em locais com formas mais complexas. Ainda assim, é importante ressaltar a rapidez no processo de geração do modelo e a possibilidade de sua exportação para modelagem complementar ou adição de informações em outros softwares.

Observa-se a necessidade de realização de novos experimentos, de modo a serem testados e desenvolvidos métodos e abordagens que permitam automatizar o processo da modelagem geométrica, mas que, por outro lado, garantam a elevada precisão e qualidade dos produtos gerados, permitindo também contemplar a complexidade geométrica e a irregularidade das edificações nos sítios históricos.

Por fim, como desdobramento desta pesquisa e refinamento dos modelos produzidos, é necessário fazer o georreferenciamento do modelo e o seu respectivo escalamento para escala de 1:1, de modo a posicioná-lo adequadamente sobre o Modelo Digital de Terreno (MDT) da área. Entretanto, isso demanda um novo ciclo de trabalho de campo para aquisição dos dados necessários, quando deverão ser usados Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) geodésicos e estações totais. Outro aspecto ainda a ser discutido é a questão da precisão dos modelos gerados, o que será feito após a conclusão da segunda fase de trabalho desta pesquisa, que se encontra em desenvolvimento no Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD) da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia (FAUFBA), em parceria com o Karlsruhe Institute of Technology, da Alemanha.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal da Bahia (UFBA) pela bolsa de iniciação científica concedida através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (Pibic), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo financiamento do projeto “Estabelecendo requisitos para a Modelagem da Informação da Cidade” em desenvolvimento no LCAD da FAUFBA em parceria com o Karlsruhe Institute of Technology, da Alemanha, ao professor Mauro José Alixandrini Júnior da Escola Politécnica da UFBA pela captura das imagens aéreas e ao doutorando Iran Carlos Caria Sacramento pelo processamento das fotos aéreas no PhotoScan.

REFERÊNCIAS

- ÁLVAREZ, M.; RAPOSO, J. F.; MIRANDA, M.; BELLO, A. B. Metodología de generación de modelos virtuales urbanos 3D para ciudades inteligentes. *Informes de la Construcción*, [s. l.], v. 70, n. 549, p. 1-13, enero/marzo 2018. Disponível em: <https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/5895>. Acesso em: 2 mar. 2019.
- BUYUKDEMIRCIOGLU, M.; KOCAMAN, S.; ISIKDAG, U. Semi-Automatic 3D city model generation from large-format aerial images. *International Journal of Geo-Information*, [s. l.], v. 7, n. 9, p. 1-20, Sept. 2018. Disponível : <https://www.mdpi.com/2220-9964/7/9/339>. Acesso em: 11 nov. 2018.

- GROETELAARS, N. J. *Criação de modelos BIM a partir de “nuvens de pontos”*: estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica. 2015. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.
- GROETELAARS, N. J.; NASCIMENTO, A. M.; AMORIM, A. L. Modelagem geométrica de cidades a partir de nuvens de pontos. *Revista Brasileira de Expressão Gráfica*, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 110-129, jul. 2020.
- GROETELAARS, N. J.; NASCIMENTO, A. M. Geração de modelos geométricos de cidade a partir do processamento de nuvens de pontos: estudo de caso no Centro Histórico de Salvador. In: GRAPHICA 2019: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS AND DESIGN, 13., 2019, Rio de Janeiro. *Anais [...]*. Rio de Janeiro: Colégio Pedro II, 2019.
- HRON, V.; HALOUNOVÁ, L. Automatic generation of 3D building models from point clouds. In: IVAN, I. et al. (ed.). *Geoinformatics for intelligent transportation*. New York: Springer, 2014.
- KEMEC, S.; ZLATANOVA, S.; DUZGUN, S. A framework for defining a 3D model in support of risk management. In: KONECNY, M.; ZLATANOVA, S. BANDROVA, T. (ed.). *Geographic information and cartography for risk and crisis management*. New York: Springer, 2010.
- KOEHL, M. et al. SIG 3D ET 3D dans les SIG: application aux modèles patrimoniaux. *GéoÉvénement*, France, 2008. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/32228172>. Acesso em: 2 mar. 2019.
- NAN, L.; WONKA, P. PolyFit: polygonal surface reconstruction from point clouds. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER VISION, 1., 2017, Venice. *Proceedings [...]*. Venice: IEEE/CPS, 2017. Disponível em: <https://3d.bk.tudelft.nl/liangliang/publications/2017/polyfit/polyfit.html>. Acesso em: 18 jun. 2019.
- ÖZDEMİR, E.; REMONDINO, F. Segmentation of 3D photogrammetric point cloud for 3D building modeling. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Delft, v. 42, p. 135-142, Oct. 2018. Presented at the 13° 3D GeoInfo Conference, 2018, Delft.

CAPÍTULO 13

SITUAÇÕES DE RISCO E AÇÕES DE RESILIÊNCIA NA CIDADE DE SALVADOR, BAHIA

Uma análise sobre desabamentos de imóveis, deslizamentos de terra e alagamentos¹

*Erika do Carmo Cerqueira
Juliet Oliveira Santana
Gilberto Corso Pereira*

INTRODUÇÃO

As cidades brasileiras, especialmente as capitais, outrora entendidas como um lugar de esperança, prosperidade e vanguarda, passaram, a partir da segunda metade do século XX, por uma rápida urbanização que, apesar de tardia na escala mundial, resultou em expressivos aumentos populacionais num curto

1 Originalmente publicado em: Cerqueira, Santana e Pereira (2020).

espaço de tempo. Ao longo desse processo, o Estado não conseguiu antecipar-se para prover a infraestrutura urbana necessária para essas cidades.

No caso de Salvador especificamente, a expansão urbana se destacou pela transferência de terras públicas para particulares, permitindo a especulação do solo urbano, implantação de grandes obras viárias pelo Estado e uma histórica apropriação desigual do território, pautada sob o funcionamento de três lógicas de produção do espaço urbano pelos seus agentes sociais: as lógicas do mercado, do Estado e da necessidade.

As lógicas do mercado e do Estado (Abramo, 2007) produziram a cidade formal, baseada na organização do uso e ocupação do solo através do mercado formal, direcionada majoritariamente às classes sociais com maiores recursos financeiros e correspondendo atualmente às áreas de menor vulnerabilidade socioambiental na cidade.

Já a lógica da necessidade (Abramo, 2007) foi conduzida pela população pobre que produziu a cidade popular através do mercado informal do solo e ocupou as áreas mais desfavoráveis, como encostas e calhas de rios, num sítio onde as características são drásticas e predominantes, com precárias construções e infraestrutura urbana. As pessoas ali começaram a se estabelecer na expectativa de que no futuro o Estado suprisse as necessidades de urbanização e ações de resiliência. Essa última lógica resultou nos grandes bairros populares integrantes da estrutura urbana atual de Salvador, onde estão os maiores níveis de vulnerabilidade socioambiental.

REVISÃO DA LITERATURA

Para este capítulo, é importante tratar o conceito de risco, o qual é uma dimensão da vida, variando no tempo e no espaço. No âmbito teórico, duas abordagens se destacam: primeiro, a que define risco como a probabilidade de ocorrência de um evento danoso (perigo); e a segunda como a percepção da possibilidade de ocorrência de um evento danoso.

Para Castro, Peixoto e Pires do Rio (2005, p. 12), os riscos referem-se à “probabilidade de ocorrência de processos no tempo e no espaço, não constantes e não-determinados, e à maneira como estes processos afetam (direta ou indiretamente) a vida humana”. Para Veyret (2007, p. 11), o risco é um objeto social, “a percepção do perigo, da catástrofe possível”, a tradução de uma ameaça, de um perigo para aquele que está sujeito a ele e o percebe como tal.

Nesta pesquisa, o conceito de risco está associado à concepção teórica da probabilidade, mas não numa perspectiva da estatística e/ou da matemática, e sim na sua previsibilidade/potencialidade em razão da frequência de ocorrências de eventos perigosos. Isso porque nosso objetivo é uma análise espacial da distribuição e sobreposição de ocorrências de situações de risco, utilizando para tanto uma abordagem analítica com o uso de indicadores, mapeamentos e cruzamentos espaciais.

Outro termo importante é o da resiliência, entendido aqui como as ações que ampliam a habilidade com que as pessoas e os lugares respondem às ameaças, ou seja, ações de enfrentamento diante dos perigos e riscos socioambientais que resultam numa redução potencial ou real da vulnerabilidade. Para o *United Nations Office for Disaster Risk Reduction* (UNISDR), a resiliência significa

A capacidade de um sistema, comunidade ou sociedade exposta a riscos de resistir, absorver, acomodar e se recuperar dos efeitos de um perigo, de forma antecipada e eficiente, nomeadamente através da preservação e restauração de suas estruturas essenciais e funções (United Nations, 2009, p. 24, tradução nossa)².

Esse enfrentamento ou resposta inclui desde ações relacionadas à normatização/legalização definindo o que é perigoso ou não, ações de precaução, ajustamento, assistência, obras de infraestrutura ou ainda ações de sensibilização, conscientização, educação e luta por melhoria das condições de vida frente às ameaças do risco.

CONTEXTUALIZAÇÃO DAS SITUAÇÕES DE RISCO E AÇÕES DE RESILIÊNCIA

As características do sítio urbano de Salvador, o processo de ocupação, a dinâmica de urbanização e as diferentes lógicas de produção do espaço comandadas pelo capital são o arcabouço teórico-empírico que explica as situações de risco contemporâneas na cidade.

2 No original: "The ability of a system, community or society exposed to hazards to resist, absorb, accommodate to and recover from the effects of a hazard in a timely and efficient manner, including through the preservation and restoration of its essential basic structures and functions".

A população cresceu e o tecido urbano se espalhou ignorando a topografia, descaracterizando o relevo e ocupando encostas abruptas. Com isso, os escorregamentos de terra e perigos naturais por conta da configuração geomorfológica da cidade passam a ocorrer sistematicamente, na maioria das vezes na cidade popular/informal. Da mesma forma, a canalização e/ou aterro dos vales somada à deficitária rede de drenagem pluvial resultou nos consequentes riscos de inundação.

Assim sendo, o referencial teórico, do qual resultou este capítulo, destaca como situações de risco os deslizamentos de terra, desabamentos de imóveis e alagamentos que ocorrem desde a fundação da cidade, mas se intensificaram ao longo do processo de urbanização. Nesta pesquisa, tais situações de risco estão inseridas numa temática denominada “ambiente construído” que se refere à ocorrência de eventos danosos (perigos) diretamente relacionados ao modo de uso e ocupação do solo, bem como tem relação de causa-efeito nas “formas construídas” da cidade (edificações, logradouros e/ou obras de engenharia).

Um recente estudo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018), desenvolvido juntamente com o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), reitera essa assertiva ao concluir que, dos 872 municípios analisados, Salvador apresentou o maior contingente de população em áreas de risco, tanto na Região Nordeste quanto no Brasil, contabilizando 1.217.527 habitantes (45,5 % da população total).

Ao mesmo tempo, a cidade faz parte desde 2016 do programa 100 Resilient Cities, que elenca como os cinco maiores desafios para Salvador: crime/violência, surto de doença, sistemas educacionais inadequados, crescimento populacional/superpopulação, pobreza, deslizamento de terras e inundação de chuva (100 Resilient Cities, c2018).

As cidades-membro desse programa têm como uma das principais metas desenvolver um plano de resiliência municipal. O de Salvador foi publicado em março de 2019, através da Diretoria de Resiliência, que faz parte da Secretaria Municipal de Sustentabilidade e Resiliência (Secis). Tal plano apresenta como aspecto inovador a inclusão do conceito de resiliência como um valor sistêmico nas políticas públicas, nos múltiplos aspectos da cidade (Salvador, 2019).

Assim como outros planos de natureza similar, o programa 100 Resilient Cities apresenta direcionamentos macro e globais que alinham diretrizes para um objetivo comum. Sua real efetivação perpassa por ações de gestão e são dependentes de “vontade política”, recursos financeiros, equipamentos e especialistas capacitados. Por isso, a inscrição numa dessas campanhas não

significa que o município conseguiu resolver os problemas, muito menos que a cidade se tornou resiliente. Trata-se, no entanto, de assumir um compromisso diante da necessidade de ações de resiliência frente a situações de risco.

Nesse contexto, na escala municipal, cabe à Defesa Civil de Salvador (Codesal) coordenar, executar e supervisionar as atividades de resposta às situações de emergência ou de calamidade pública, destacando-se duas principais linhas de ação:

- Prevenção, mitigação e preparação: vistoria de áreas de risco, aplicação de geomantas, intervenções urbanísticas e de infraestrutura etc;
- Resposta e recuperação: atividades de logística, assistência social, atendimento às famílias desabrigadas e recuperação de áreas atingidas etc. (Salvador, 2015).

Concomitantemente, desenvolvem-se ações de mobilização e conscientização de comunidades inseridas em áreas de risco, as quais foram importantes fontes de dados nesta pesquisa.

- Voluntariado: os voluntários participam de atividades de informação, instrução e mobilização em relação aos riscos e às ações de socorro/resposta no caso da ocorrência de desastres;
- Núcleos comunitários: formação de Núcleos Comunitários de Proteção e Defesa Civil (Nupdec), cujos membros são reconhecidos como agentes de prevenção, com o objetivo de melhorar a percepção dos fatores de risco;
- Defesa civil nas escolas: direciona-se à comunidade escolar da rede municipal de ensino, visando capacitar por meio de ações educativas desenvolvidas através de temas transversais aos conteúdos curriculares (Salvador, 2019).

Além disso, foram implantados sistemas de sirenes para alerta e alarme e vêm sendo realizados simulados de evacuação de emergência, especificamente nas localidades de Pedro Ferrão, Bom Juá, Mamede, Baixa de Santa Rita, Vila Picasso e Calabetão; locais onde ocorreram graves deslizamentos/desmoronamentos no ano de 2015³.

3 Relatórios disponíveis no *site* da Codesal: <http://codesal.salvador.ba.gov.br/index.php/programa>.

METODOLOGIA

É importante ressaltar que os resultados apresentados não se tratam de um mapeamento de risco, pois isso exigiria cálculos de avaliação da probabilidade e/ou tendência, bem como a definição e a hierarquização de diferentes setores de risco. Este trabalho trata-se de mapear a distribuição das ocorrências de eventos que levam a inferir situações de risco, um procedimento metodológico baseado em Veyret (2007) e em Rojas Vilches e Martínez Reyes (2011).

Dessa forma, o Quadro 1 apresenta os indicadores de situação de risco selecionados a partir da realidade empírica da cidade, comprovada pela análise histórica empreendida e ainda pela experiência da Codesal, assim como os indicadores de ações de resiliência promovidas pelo Estado.

QUADRO 1 – Indicadores de situações de risco e ações de resiliência na temática ambiente construído

Variáveis	Indicador	Período dos dados	Fonte dos dados
Situações de risco	Ocorrências de desabamento de imóvel.	Jan/2013 a Jul/2016	Salvador (2016)
	Ocorrências de deslizamento de terra.		
	Ocorrências de alagamento de área e de imóvel.		
Ações de Resiliência	Existência de ações de infraestrutura, conscientização e mobilização, promovidas pela Prefeitura de Salvador através da Codesal. ⁴	Dez/2015 a Out/2017	Salvador (2017, [201-])
	Existência de obras de contenção de encostas realizadas através do Governo do Estado da Bahia em parceria com o Ministério da Integração ou o Ministério das Cidades.	2017	Bahia ([201-])

Fonte: elaborado pelos autores.

4 Foram georreferenciadas 121 ações.

Todos esses indicadores foram espacializados, culminando na elaboração de três mapas de pontos de situações de risco⁵ e um mapa de ponto de ações de resiliência, sendo que o georreferenciamento usou como mapa base as informações de eixo de logradouro, na escala de 1:2.000.

Os três mapas de situações de risco foram reprocessados na escala de 1:25.000, utilizando como técnica de análise espacial o Estimador de Intensidade de Kernel. Estes, por sua vez, foram fusionados através da técnica de álgebra de mapas, gerando um mapa síntese: “síntese da temática do ambiente construído”. Sobre essa síntese, foram sobrepostas as ações de resiliência.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A operacionalização dos procedimentos metodológicos resultou no mapa “Álgebra de mapas, síntese e reclassificação da temática ambiente construído” (Figura 1) e no mapa “Ações de resiliência e síntese da temática ambiente construído” (Figura 2).

Na Figura 1, a representação cartográfica intitulada “Síntese da temática ‘ambiente construído’” é resultado da soma algébrica dos mapas de densidades das situações de risco de desabamento de imóvel, deslizamento de terra e alagamentos. Considera-se que, dentre estas, o desabamento de imóvel é o que tem o maior potencial de perdas humanas e de patrimônio, tratando-se de uma situação em que é muito difícil ou impossível retornar ao estágio inicial (resiliência). Por isso, foi atribuído um valor de importância duas vezes maior a essa variável (peso dois).

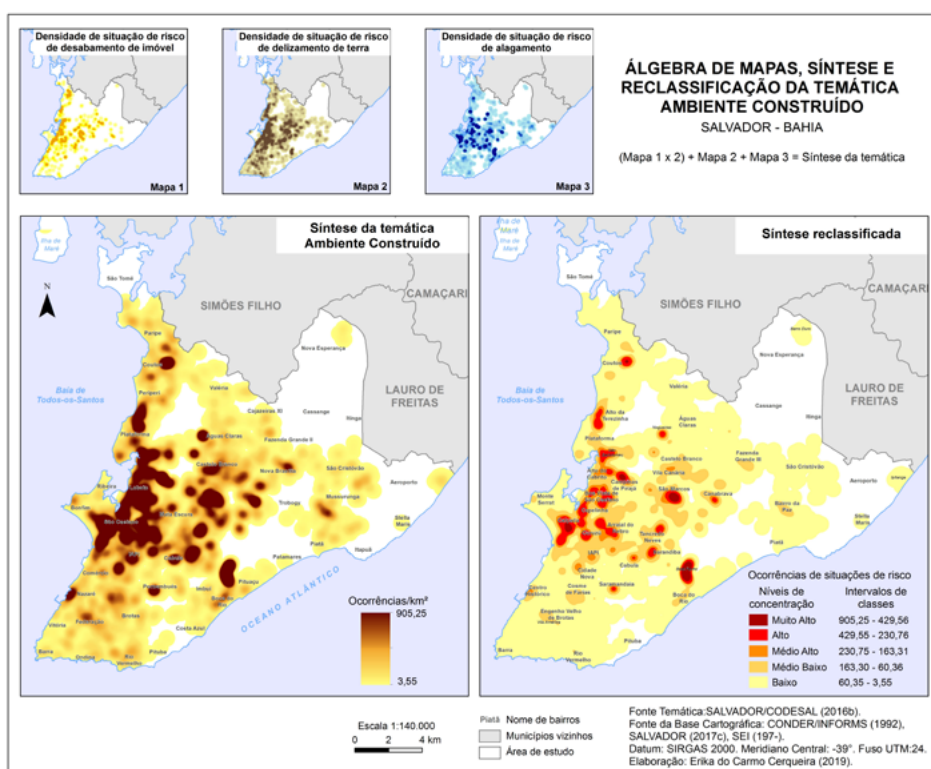
Nesse mapa, percebe-se que há uma considerável sobreposição de diferentes situações de risco em determinados locais da cidade, ilustrando um padrão de concentração espacial. O detalhamento intraurbano dessa concentração é ainda mais notório ao se analisar a síntese reclassificada, na qual o fenômeno é hierarquizado, facilitando a identificação dos lugares mais atingidos.

Os níveis considerados “muito alto” e “alto” marcam o espaço da cidade em bairros e/ou localidades bastante específicos: entre a Calçada e o Alto de Santa Terezinha, estão os bairros do Retiro, Liberdade, Capelinha, São Caetano

5 Foram georreferenciados manualmente 8.220 ocorrências o mais próximo possível do eixo de logradouro indicado, atentando-se para a morfologia do relevo, ou seja, alagamentos em áreas baixas e desabamento/deslizamento em áreas declivosas.

e Pirajá; no Miolo, São Marcos e partes dos bairros de Tancredo Neves e Naran-diba; e na porção sudeste, a localidade do Bate Facho, no bairro da Boca do Rio. Tais concentrações estão localizadas principalmente ao longo da falha geológica de Salvador e no Miolo da cidade, onde predominam encostas com declividade na maioria das vezes superior a 13° que, associada às formas pre-cárias de uso e ocupação do solo, contribui decisivamente para a ocorrência de desabamentos de imóveis e deslizamento de terra. Já na localidade de Bate Facho, destaca-se a densa ocupação informal na área de confluência de impor-tantes rios urbanos que se tornaram canais de drenagem.

FIGURA 1 – Síntese da temática “ambiente construído”



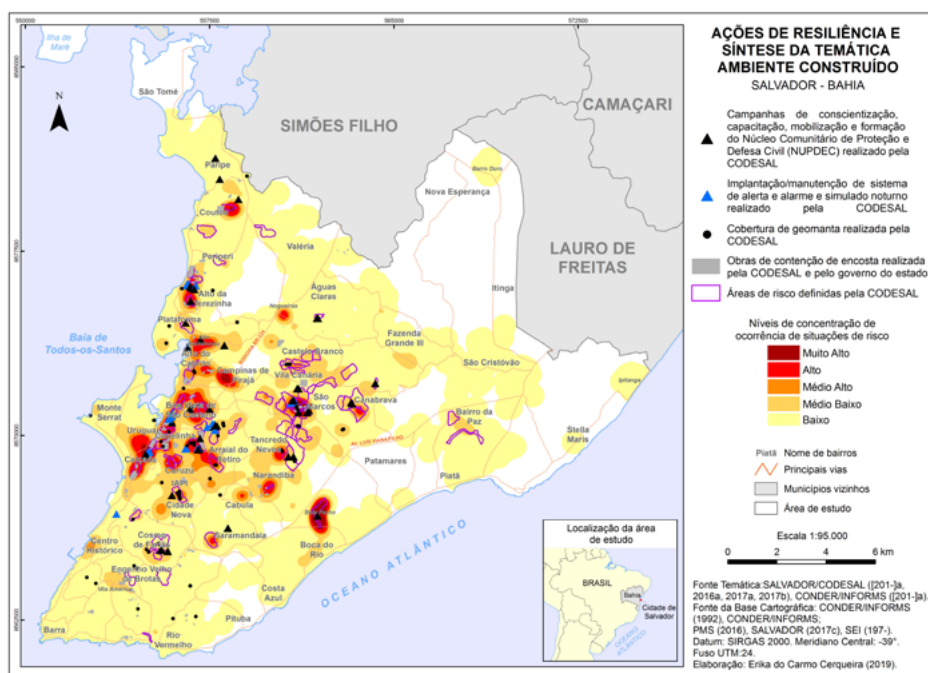
Fonte: elaborada pelos autores.

Portanto, o padrão de distribuição espacial identificado está atrelado à natureza consistente e homogênea dos dados, um conjunto de eventos essencialmente geoespaciais que estão relacionados a atributos do território. Ao mesmo tempo, tal padrão possui elevada correlação espacial com lugares

onde há precariedade da ocupação do solo e da dotação de infraestrutura urbana, correspondendo a espaços urbanos produzidos predominantemente sob a lógica da necessidade (Abramo, 2007), com elevada densidade demográfica e ocupados por grupos socioeconomicamente vulneráveis – aspecto detalhadamente discutido em Cerqueira (2019).

Sobre essa síntese temática reclassificada, foram sobrepostas as ações de resiliência (Figura 2), onde se percebe primeiramente que o resultado da síntese é bastante condizente com as 71 áreas de risco definidas pela Codesal até a data da pesquisa.

FIGURA 2 – Síntese da temática “ambiente construído”



Fonte: elaborada pelos autores.

A maioria dessas ações está localizada na porção centro-oeste da cidade, onde se destaca um vetor entre os bairros de Cosme de Farias até Alto da Terezinha, no Subúrbio Ferroviário, bem como na porção central, especialmente nos bairros de São Marcos e Canabrava. Contudo, algumas áreas se destacam pela relativa ausência de ações de resiliência, a exemplo dos bairros de Coutos, Campinas de Pirajá, Tancredo Neves, Narandiba e nas localidades de

Nogueiras, Saramandaia e principalmente no Bate Facho, que, diante do elevado nível de concentração de situações de risco, mereceriam uma atuação mais propositiva por parte do Estado.

Destarte, verifica-se que as ações de resiliência possuem relativa aderência com a sua hipótese, isso porque, na maioria dos casos, os locais onde têm ocorrido as ações são justamente aqueles em que há altos níveis de concentração de ocorrências de situações de risco. Esta é uma informação importante que deve ser valorizada a fim de que ocorra a manutenção e ampliação das ações, haja vista que Salvador conseguiu desenvolver, embora ainda incipiente, um sistema de ações de resiliência aderente à sua realidade espacial.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sociedade contemporânea, especialmente nos espaços urbanos, convive com situações de perigo que lhe causam sensação de risco e vulnerabilidade, permeada pela incerteza e pelo medo, apesar dos avanços técnico-científicos nas áreas de segurança e proteção. No entanto, é importante constatar que não existe risco zero, nem os riscos podem ser naturalizados ou considerados inevitáveis, pois são historicamente construídos, apropriados politicamente e capitaneados pelo capital que passa a mercantilizar produtos e serviços para a minimização de incertezas, tornando-se um atributo da sociedade urbana cujo estilo de vida, nos dias atuais, é pautado pelo risco.

Ao explicar os arranjos espaciais derivados das situações de risco analisadas, verificou-se um padrão de distribuição bastante concentrado relacionados aos elementos, atributos e relações que se refletem na estrutura urbana. Ao tentar responder como a sociedade vem enfrentando e/ou se preparando para lidar com esses riscos, conclui-se que o fortalecimento e a ampliação das ações de resiliência devem ser um compromisso da sociedade e um dever do Estado, priorizando a eficiência e a sustentabilidade nas soluções propostas.

É importante ratificar que o domínio da incerteza sempre estará presente nesse tema, seja pela imprevisibilidade, seja pela incompletude dos modelos. Assim, o recorte temporal dos dados precisa ser ampliado e é necessário aprofundar qualitativamente os dados sobre as ações de resiliência, visando analisar sua real efetividade ao longo do tempo.

Ademais, outros estudos futuros perpassam pela possibilidade de novas análises a partir de diferentes cruzamentos entre as variáveis, assim como

sobre a percepção da população em relação às situações de risco e às condicionantes que levam os indivíduos a viverem em tais locais.

REFERÊNCIAS

- ABRAMO, P. A cidade COM-FUSA: a mão inoxidável do mercado e a produção da estrutura urbana nas grandes metrópoles latino-americanas. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, Recife, v. 9, n. 2, p. 25-54, nov. 2007. Disponível em: <http://rbeur.anpur.org.br/rbeur/issue/view/19/showToc>. Acesso em: 16 jan. 2017.
- BAHIA. Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado; Sistema de Informações Geográficas Urbanas do Estado da Bahia. *Geópolis visualizador*, Salvador, [201-]. Disponível em: <http://geopolis.ba.gov.br/>. Acesso em: 26 out. 2017.
- CASTRO, C. M.; PEIXOTO, M. N. O.; PIRES DO RIO, G. A. Riscos ambientais e geografia: conceituações, abordagens e escalas. *Anuário do Instituto de Geociências*, Rio de Janeiro, v. 28, n. 2, p. 11-30, 2005.
- CERQUEIRA, E. C.; SANTANA, J. O.; PEREIRA, G. C. Situações de risco e ações de resiliência na cidade de Salvador-Bahia: uma análise sobre desabamentos de imóveis, deslizamentos de terra e alagamentos. In: SALVADOR (BA). Secretaria de Sustentabilidade, Inovação e Resiliência; Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (org.). *Painel Salvador Mudança do Clima – Cadernos Temáticos*. Salvador: SECIS-PMS, 2020. v. 1, p. 177-188.
- CERQUEIRA, E. C. *Vulnerabilidade socioambiental na cidade de Salvador-Bahia: análise espacial das situações de risco e ações de resiliência*. 2019. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2019.
- IBGE. *População em áreas de risco no Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101589.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2024.
- ROJAS VILCHES, O.; MARTÍNEZ REYES, C. Riesgos naturales: evolución y modelos conceptuales. *Revista Universitaria de Geografía*, Bahía Blanca, AR, v. 20, n. 1, p. 83-116, jun. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.org.ar/pdf/reuge/v20n1/v20n1a05.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2018.
- SALVADOR (BA). Prefeitura; 100 Resilient Cities. *Salvador resiliente*. Salvador: SECIS, 2019. Disponível em: <http://salvadorresiliente.salvador.ba.gov.br/pdf/#p=20>. Acesso em: 4 abr. 2019.
- SALVADOR (BA). Secretaria Municipal da Infraestrutura, Habitação e Defesa Civil. *Plano de Contingência para Chuvas*. 2015. Salvador: SINDEC, 2015. Disponível em: http://www.codesal.salvador.ba.gov.br/images/PLANO_DE_CONTINGENCIA_PARA_CHUVAS_2015.pdf. Acesso em: 27 set. 2016.

SALVADOR (BA). Secretaria Municipal de Sustentabilidade, Inovação e Resiliência. Defesa Civil (Codesal). Notícias. *Codesal*, Salvador, [201-]. Disponível em: <http://www.codesal.salvador.ba.gov.br/index.php/noticias>. Acesso em: 01 out. 2017.

SALVADOR (BA). Secretaria Municipal de Sustentabilidade, Inovação e Resiliência. Defesa Civil (Codesal). *Planilhas digitais com as ocorrências de alagamentos, deslizamentos de terra e desabamentos de imóvel entre jan/2013 a jul/2016*. Salvador: Codesal, 2016.

SALVADOR (BA). Secretaria Municipal de Sustentabilidade, Inovação e Resiliência. *Salvador resiliente*. Salvador: SECIS, 2019. Disponível em: https://sustentabilidade.salvador.ba.gov.br/wp-content/uploads/2019/09/SALVADOR_RESILIENTE_versao.pdf. Acesso em: 13 set. 2017.

THE ROCKEFELLER FOUNDATION. 100 resilient cities. *The Rockefeller Foundation*, New York, c2018. Disponível em: <https://www.rockefellerfoundation.org/100-resilient-cities/>. Acesso em: 29 fev. 2024.

UNITED NATIONS. International Strategy for Disaster Reduction. 2009 UNISDR *Terminology on disaster risk reduction*. Genebra: UNISDR, 2009. Disponível em: <https://www.undrr.org/publication/2009-unisdr-terminology-disaster-risk-reduction>. Acesso em: 25 jan. 2024.

VEYRET, Y. (org.). *Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente*. São Paulo: Contextos, 2007.

PARTE 5

TECNOLOGIAS DIGITAIS APLICADAS AO PATRIMÔNIO

A demanda por documentação de patrimônio num Estado cujos sítios tombados são de grande magnitude requer especial atenção no âmbito da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia (FAUFBA), em particular neste laboratório que tem como eixo as tecnologias digitais de representação espacial. Estudar e desenvolver métodos de baixo custo para documentação arquitetônica e urbana, focalizando a aquisição, o processamento e a representação de informações gráficas sobre edificações e sítios urbanos, dizem respeito a objetivos de uma importante área de atuação dos pesquisadores do laboratório.

Visando otimizar o processo de documentação arquitetônica e urbana, ocorrem a ampla experimentação de tecnologias e teste de métodos de trabalho, com a captura de dados através de diferentes técnicas de levantamento cadastral – como fotogrametria digital e varredura *a laser* –, o processamento, a geração e a visualização de modelos geométricos de edificações e sítios históricos, a criação de modelos *Building Information Modeling* - BIM (Modelagem da Informação da Construção) ou *Heritage Building Information Modeling* - HBIM (Modelagem da Informação da Edificação Patrimonial) de edificações existentes, bem como os estudos sobre os processos de reconstrução digital e de integração de modelos BIM com os Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Os capítulos apresentados da Parte 5 representam alguns dos métodos e técnicas que têm proeminência na pesquisa e uma crítica sobre os limites e as potencialidades para a documentação do patrimônio, fazendo também considerações sobre os recursos mais acessíveis, tanto referente a equipamentos quanto a programas, incluindo versões gratuitas e livres de ferramentas.

O capítulo 14, de Gabriela Linhares da Silva e Natalie Johanna Groetelaars, foi publicado na Revista *Gestão & Tecnologia de Projetos* (2021). Analisa a oportunidade para o patrimônio dos avanços tecnológicos e das novas formas de documentação de edificações e sítios de interesse histórico e cultural. O uso de Ambientes Virtuais Interativos 3D (AVI 3D) – cada vez mais estudados para utilização em diversas áreas – e o surgimento de ferramentas gratuitas como os *game engines* permitem a elaboração de formas inovadoras de conhecer e interagir com o patrimônio edificado. Tais formas podem ser compartilhadas *on-line*, disponibilizando amplo acesso a esse bem. Esse capítulo apresenta inicialmente as etapas de criação de AVI 3D voltados ao patrimônio arquitetônico, com foco na etapa de modelagem geométrica de edificações existentes. Depois descreve os resultados de um estudo prático para investigação e análise comparativa de diferentes métodos e técnicas de modelagem geométrica de edificações históricas, usando-se como base o modelo texturizado gerado por restituição fotogramétrica digital. Por fim, analisa e discute os *workflows* estudados, visando ao futuro desenvolvimento de um AVI 3D na ferramenta Unreal Engine 4.

O capítulo 15, escrito por Gabriela Linhares da Silva e Natalie Johanna Groetelaars e publicado nos anais do evento Patrimônio 4.0 (2022), aborda e discute dois fluxos de trabalho – um automatizado e outro interativo – para geração de diferentes tipos de modelos geométricos do Museu Anita Garibaldi, localizado na cidade de Laguna, em Santa Catarina. Utilizam-se como referência para modelagem detalhada do museu os produtos fotogramétricos gerados por equipamentos de baixo custo. São descritas as etapas realizadas, que se inicia com a aquisição e o processamento de dados por meio da fotogrametria digital até os métodos de modelagem geométrica (automatizada e interativa) e texturização dos produtos. Por fim, são analisados e comparados os resultados obtidos nos dois métodos.

O capítulo 16, de Fabiano Mikalauskas de Souza Nogueira e Arivaldo Leão de Amorim, foi publicado nos anais do 3º Simpósio Científico do Icomos¹ Bra-

1 Conselho Internacional de Monumentos e Sítios (Icomos).

sil (2019). Trata-se da larga produção de modelos de reconstrução digital de monumentos, sítios e artefatos históricos, como recurso para salvaguarda da memória diante de recorrentes ações extremistas que ameaçam o patrimônio construído. Desenvolve-se sobre a tese de que essas reconstruções digitais não devem ser vistas apenas como mera recuperação visual, mas também como a materialização (em meio digital) da herança cultural, o que implica na construção de modelos digitais capazes de representar e transmitir valores tanto do patrimônio material como imaterial, apresentando as diferentes versões da história, sem obliterar seu par real e seus significados. Nesse percurso, de maneira respaldada em pesquisas científicas e históricas, retoma as discussões sobre o polêmico tema da reconstrução de monumentos e reposiciona a reconstrução digital como prática aceitável atestada por recomendação internacional, que preserva, assim como no restauro real, o aspecto de autenticidade do objeto. Atualiza a discussão de como deveriam ser tratadas as reconstruções digitais, uma vez que se pretende delas a condição de documento histórico e de modelo de informação histórica, perpassando por estratégias diferenciadas em função da especificidade dos objetos a recuperar.

O capítulo 17 – último texto da Parte 5 –, de Bruna Costacurta Nascimento e Lorena Claudia de Souza Moreira, foi publicado nos anais do evento XXV International Conference of the Ibero-American Society of Digital Graphics (Sigradi) (2021). Apresenta os resultados de uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL), visando à identificação e à análise de estudos existentes sobre aplicações da Realidade Aumentada (RA) para visualização em sítios históricos. É exposta a sistematização de dados sobre áreas de aplicação dessa tecnologia, atividades específicas, programas para modelagem geométrica e para visualização em RA, técnicas para rastreamento (*tracking*) e dispositivos para visualização urbana e de centros históricos. Faz considerações sobre a revisão realizada, destacando a importância da RA para a documentação e visualização da área de preservação do patrimônio histórico, bem como discorre sobre os países com mais trabalhos sobre a temática, os programas mais usados para modelagem geométrica e para visualização em RA, as principais áreas de aplicação dessa tecnologia, entre outras questões.

CAPÍTULO 14

RECONSTRUÇÃO DIGITAL DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO PARA AMBIENTES VIRTUAIS INTERATIVOS 3D

Estudo de métodos para modelagem geométrica
de edificações existentes¹

*Gabriela Linhares da Silva
Natalie Johanna Groetelaars*

INTRODUÇÃO

A documentação do patrimônio cultural é um tema de grande relevância e que vem despertando um interesse crescente de diversos pesquisadores e profissionais em busca de soluções mais eficientes e eficazes para a sua preservação e difusão. As edificações de interesse histórico e cultural, que constituem o

1 Originalmente publicado em: Linhares e Groetelaars (2021).

acervo patrimonial arquitetônico, representam, além de seu valor artístico, a identidade, tradição e memória de uma determinada época, configurando-se como herança insubstituível para as gerações futuras. No Brasil, a maior parte desses bens não possui registros precisos e fidedignos (Groetelaars, 2015) ou sequer foram documentados. Seja pelas ações do tempo e da natureza, junto à impossibilidade de resguardar o acervo arquitetônico em locais protegidos, seja pela degradação proveniente da falta de manutenção e do abandono do próprio ser humano (Amorim, 2011), o patrimônio arquitetônico está sujeito ao desaparecimento.

Nesse contexto, as tecnologias digitais têm proporcionado novas formas e ferramentas para documentar e difundir o patrimônio arquitetônico, possibilitando a reconstrução digital de monumentos ou locais que não mais existem até a representação realista de edificações e sítios existentes. Conforme afirma Nogueira (2010, p. 15), “[...] onde as técnicas tradicionais de documentação e representação se mostram insuficientes, as tecnologias digitais [...] proporcionam uma gama de aplicações”, cujas vantagens vão, segundo o autor, desde a rapidez e precisão na aquisição de dados até a facilidade para atualizar e armazenar informações, assim como para difundi-las.

O uso das tecnologias digitais nesse processo de documentação trouxe o conceito de patrimônio digital (ou virtual), reconhecido em 2003 pela Carta para a Preservação do Patrimônio Digital e descrito por Champion (2015, p. 5, tradução nossa) como “[...] tentativa de transmitir não apenas a aparência, mas também o significado e a importância dos artefatos culturais [...] através da utilização de mídias digitais interativas e imersivas”².

A Carta de Londres de 2009 ressalta a importância de que a visualização computadorizada do patrimônio apresente rigor científico e destaca questões como integridade, fidelidade, documentação, sustentabilidade e acesso. Ressalta também que as formas de documentação e visualização digitais devem melhorar o acesso ao patrimônio cultural, proporcionado “[...] o estudo das mudanças ocorridas ao longo do tempo, ampliações, modificações, manipulação de objetos virtuais, integração em base de dados e imediata distribuição global” (Drenard, 2009, p. 11, tradução nossa)³.

2 No original: “[...] the attempt to convey not just the appearance but also the meaning and significance of cultural artefacts [...] through the use of interactive and immersive digital media”.

3 No original: “[...] the study of change over time, magnification, modification, manipulation of virtual objects, embedding of datasets, instantaneous global distribution”.

Diversas tecnologias digitais vêm sendo estudadas como formas de documentar e difundir o patrimônio, com destaque para o uso de Ambientes Virtuais Interativos (AVI). O uso de AVI na arquitetura simula novas experiências imersivas que dialogam com o espaço em suas diversas escalas, construindo novas narrativas e proporcionando formas renovadas de interação com o usuário por meio de interfaces digitais (Marchi; Hashimoto, 2018).

Com o crescente avanço da tecnologia, novas ferramentas têm surgido para a criação desses AVI, bem como equipamentos para visualização imersiva. A partir do uso de AVI, a realidade virtual ganhou destaque nas últimas décadas, trazendo novas formas interativas de visualizar reconstituições virtuais 3D e de compreensão dos bens tangíveis e intangíveis, deixando de lado a percepção de um patrimônio cultural petrificado e proporcionando diferentes maneiras de experimentar o espaço construído (Ioannides; Magnenat-Thalman; Papagiannakis, 2017).

Outra área que se tornou predominante no desenvolvimento de AVI foi a dos jogos digitais, que têm como características principais serem ambientes virtuais completamente interativos, onde o usuário faz escolhas, toma decisões e controla suas ações. Essas questões são valorizadas no processo de aprendizagem, uma vez que criam uma relação afetiva com esses ambientes e podem favorecer na identificação, valorização e compreensão do patrimônio cultural (Camara, 2018).

Uma das principais etapas no processo de criação de AVI é a geração de modelos geométricos. No contexto do patrimônio arquitetônico, a modelagem geométrica 3D tem por finalidade a representação digital de edificações ou sítios de interesse histórico e cultural (contemplando as características consideradas imprescindíveis para o reconhecimento deles), que pode ser feita em diferentes níveis de detalhe, a depender do objetivo final da aplicação.

A modelagem geométrica de edificações históricas pode ser realizada, fundamentalmente, a partir de duas situações: 1. edificações que não existem mais, quando se usam geralmente documentos históricos, dados cadastrais e fotografias para servirem de base para a reconstituição digital; 2. edificações existentes, quando podem ser utilizadas as tecnologias digitais para a aquisição de dados geométricos e texturas, com destaque para a fotogrametria digital e o *3D laser scanning*.

A criação de modelos geométricos de edificações existentes para o uso em AVI é um processo complexo. Exige a conciliação entre um modelo preciso e

fidedigno à edificação representada (com um nível de detalhe adequado para o seu reconhecimento e a sua compreensão) e um modelo que possa ser facilmente processado pela aplicação interativa em tempo real, o que requer um arquivo de tamanho reduzido e com uma quantidade otimizada do número de polígonos que representam os objetos. Para isso, torna-se necessário o conhecimento de técnicas e softwares para modelagem geométrica que possibilitem a simplificação do modelo sem perder a qualidade visual.

Este capítulo apresenta inicialmente as etapas de criação de AVI 3D voltados ao patrimônio arquitetônico, com foco na etapa de modelagem geométrica de edificações existentes. Apresenta a investigação de diferentes métodos, técnicas e softwares para modelagem geométrica, por meio de um estudo prático com diversos *workflows*, visando à obtenção de diferentes tipos de modelos geométricos fotorrealísticos, tomando-se como base o modelo texturizado gerado por restituição fotogramétrica digital. Por fim, analisa e compara a visualização, em um *game engine*⁴, dos modelos obtidos, com o propósito de identificar qual o *workflow* mais adequado para a representação digital de edificações históricas existentes, considerando-se as seguintes questões: a posterior criação de um AVI; a qualidade gráfica final do modelo; o nível de detalhe e precisão em relação à edificação original; o número total de polígonos do modelo e o tamanho final do arquivo.

AMBIENTES VIRTUAIS INTERATIVOS 3D

Ambientes virtuais podem ser descritos como espaços gerados por um computador ou ambientes sintéticos compostos por objetos virtuais, tendo por objetivo envolver a atenção do usuário (Jerald, 2016). Embora a terminologia tenha surgido a partir da ideia de colocar as pessoas em espaços sintéticos tridimensionais (Rosa Júnior, 2003), a definição de ambientes virtuais hoje inclui diversas características que possibilitam diferentes tipos de classificação, como bidimensionais ou tridimensionais, passivos ou interativos, de uso individual ou compartilhado, entre outros.

4 Motor gráfico desenvolvido para a produção de jogos digitais, popularmente utilizado para o desenvolvimento de diferentes tipos de AVI.

Características dos AVI 3D

O objeto de estudo deste trabalho limita-se aos ambientes virtuais voltados exclusivamente para o patrimônio arquitetônico e que apresentam as seguintes características: interatividade, processamento em tempo real, tridimensionalidade e que busquem proporcionar ao usuário a sensação de presença no ambiente sintético criado. AVI com essas características representam uma parte fundamental das aplicações de realidade virtual, podendo esta ser resumida como um conjunto de métodos, tecnologias e interface usuário-sistema que permite a interação com o AVI, tendo como objetivo principal proporcionar ao usuário a máxima sensação de estar vivenciando o ambiente sintético.

Muitos jogos digitais também funcionam essencialmente a partir de AVI e vêm ganhando, nas últimas décadas, um grande destaque na exibição de ambientes virtuais realistas e imersivos. Esses jogos proporcionam experiências altamente interativas e adaptáveis a diversos aparelhos eletrônicos, desde os computadores de mesa e videogames até *smartphones* e *tablets*. Muitos deles têm apresentado AVI de grande complexidade, diversas possibilidades de interação e grandes cenários tridimensionais exploráveis. Isso foi possível devido aos avanços da computação, que proporcionaram o aumento da capacidade de processamento em tempo real, permitindo a interação dos usuários com cenários realistas e tornando os jogos digitais um grande sucesso (Anderson *et al.*, 2009).

McGonigal (2010) explica que os gráficos imersivos, os sons e o próprio ambiente tridimensional realista aumentam a atenção do usuário à atividade que desenvolvem no jogo, criando uma motivação para o desenvolvimento de ações e para a aquisição de conhecimento dentro desse ambiente virtual. Esse potencial inerente aos jogos digitais, que também é encontrado nas aplicações de realidade virtual, pode ser utilizado também em aplicações voltadas para o patrimônio, como exemplificado em diversas pesquisas realizadas nesse campo (Camara, 2018; Ioannides; Magnenat-Thalmann; Papagiannakis, 2017; Linhares; Groetelaars, 2019a; Mortara *et al.*, 2014; Statham, 2019).

Durante as últimas décadas, as potencialidades dos jogos também vêm sendo exploradas através do processo de gamificação⁵ para o desenvolvimento de aplicações voltadas ao patrimônio. Uma outra aplicação que se desenvolve nesse contexto é o *serious game*, um jogo com o objetivo de levar

5 Do inglês, gamification – aplicação de mecânicas, dinâmicas e estratégias de jogos em contexto de não jogo, buscando envolver e sustentar a participação do usuário (Liarokapis *et al.*, 2017).

o jogador a cumprir metas de aprendizagem de uma forma mais lúdica (Mortara *et al.*, 2014). Diversos tipos de aplicações interativas em 3D trabalham, portanto, com a reconstituição de edificações ou locais existentes, proporcionando cenários realistas e possibilitando uma percepção diferenciada dos espaços, de forma interativa e estimulante, e que podem ser disponibilizados *on-line* para o mundo.

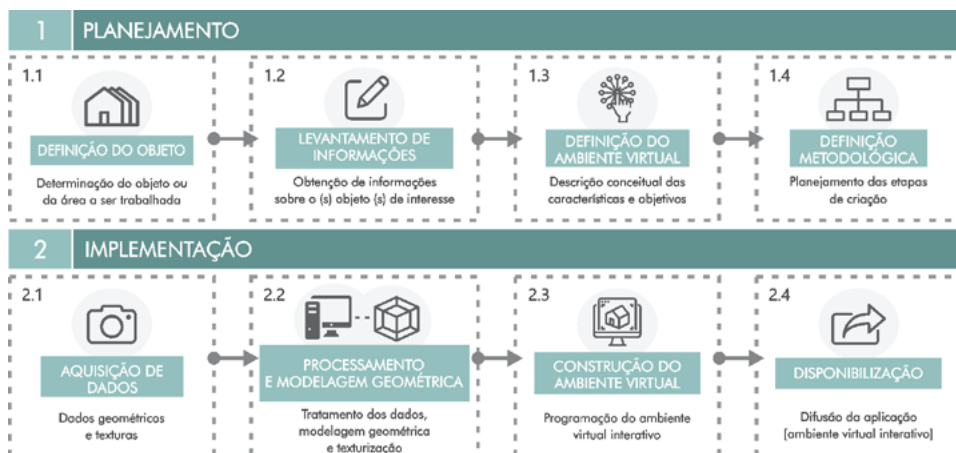
No desenvolvimento desse tipo de aplicação interativa, os *game engines* têm ganhado destaque na geração dos mais diferentes tipos de AVI devido a algumas de suas características, por exemplo: ter interface simplificada e intuitiva; possibilitar a criação do AVI em tempo real; ser uma alternativa de programação mais visual, sem a necessidade de conhecimentos aprofundados em linguagens de códigos; permitir importar modelos geométricos texturizados de diferentes softwares de modelagem, como Blender, Maya, 3DS Max, Rhinoceros, SketchUp, Revit, entre outros; possuir uma vasta comunidade virtual de usuários que fornece tutoriais gratuitos e fóruns de ajuda. Essas características facilitam o uso dos *game engines* por profissionais de diferentes áreas para criar desde jogos digitais e ambientes de realidade virtual imersiva até AVI não imersivos com interações simplificadas.

Assim, os *game engines* permitem a criação de aplicações para visualização 3D interativas de amplos espaços, a exploração imersiva de locais reconstituídos digitalmente, a adição de recursos visuais e de informações, além de possibilitarem um alto grau de controle por parte do usuário para interagir no ambiente virtual (Statham, 2019). Com o uso de *scripts*, *templates* pré-programados e bibliotecas digitais, essas plataformas simplificam e agilizam o desenvolvimento de aplicações gráficas em tempo real.

Etapas para a criação dos AVI 3D

A partir do mapeamento de aplicações de AVI voltados para o patrimônio, realizado em pesquisa anterior (Linhares; Groetelaars, 2019a), foram identificadas as principais etapas para a sua criação. A Figura 1 ilustra essas etapas (ou estágios), dividindo-as em duas grandes fases: planejamento e implementação.

FIGURA 1 – Etapas de desenvolvimento de AVI 3D



Fonte: adaptada de Linhares e Groetelaars (2019a).

A primeira fase consiste no planejamento do AVI 3D, em que são realizadas as seguintes etapas: 1.1. Definição do objeto (edificação ou conjunto urbano de interesse histórico e cultural) a ser trabalhado; 1.2. Levantamento das informações disponíveis sobre o objeto e as suas respectivas análises, de forma a identificar os dados disponíveis, as condicionantes do local e qual a melhor forma de trabalhar com essas informações; 1.3. Definição do ambiente virtual a ser criado (características, objetivos da aplicação e forma de difusão), em função do tempo, recursos e informações disponíveis; 1.4. Definição metodológica, que consiste na escolha dos métodos, técnicas e ferramentas a serem utilizados em cada estágio do desenvolvimento da aplicação.

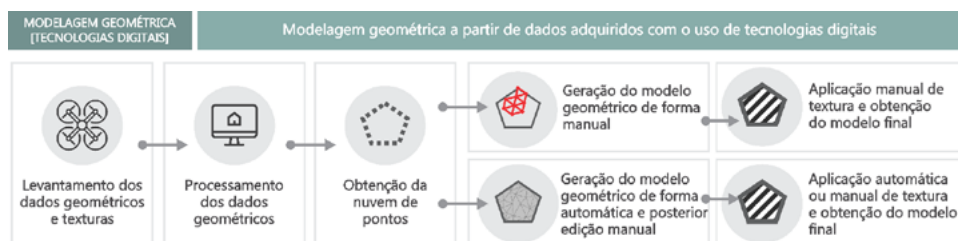
Na segunda fase, são apresentados os estágios do processo de implementação do AVI 3D, cujas particularidades dependem da metodologia definida anteriormente. A etapa 2.1, que corresponde à aquisição de dados, consiste na obtenção de dados geométricos, texturas, detalhes e todas as informações que forem consideradas importantes para a reconstrução digital do objeto, podendo utilizar-se de métodos tradicionais (como a medição direta ou uso de plantas cadastrais como base para a modelagem geométrica) ou de tecnologias digitais, como varredura a *laser* e/ou tomada fotográfica para restituição fotogramétrica na etapa posterior. O estágio 2.2, referente ao processamento e à modelagem geométrica, pode ser resumido ao tratamento dos dados adquiridos na etapa de aquisição (como processamento das imagens para geração de modelos de nuvens de pontos) e ao posterior processo de modelagem

geométrica, que pode ser baseada em processos tradicionais (medidas, desenhos etc.) ou apoiada em modelos gerados por sistemas de varredura.

A etapa 2.3, que é a construção do AVI, pode ser descrita como a estruturação do espaço tridimensional com os modelos geométricos produzidos e a programação da aplicação, em que são elaboradas as formas de interatividade, as informações que serão exibidas e a interface com o usuário. E o estágio 2.4 – disponibilização – representa a difusão do ambiente virtual criado, que pode ser feita de forma *on-line* por meio de *websites*, equipamentos fixos em locais predeterminados ou aplicativos instalados em dispositivos móveis.

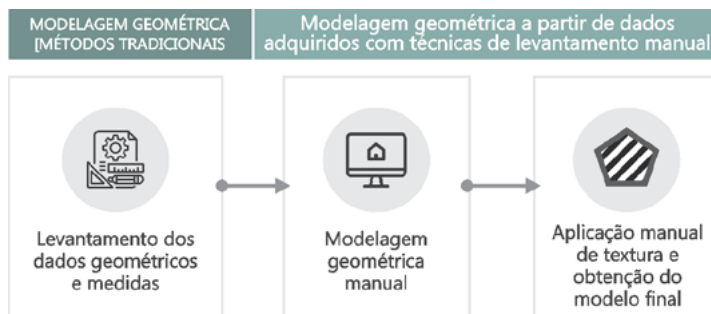
Após o aprofundamento da pesquisa nas etapas de desenvolvimento de AVI 3D, com foco na etapa de modelagem geométrica, foram elaborados dois esquemas gráficos representativos do processo de modelagem de edificações existentes, em função do uso de tecnologias digitais (Figura 2) ou de técnicas manuais para a aquisição de dados (Figura 3).

FIGURA 2 – Etapas da modelagem geométrica com o uso de tecnologias digitais para a aquisição de dados



Fonte: elaborada pelas autoras.

FIGURA 3 – Etapas da modelagem geométrica com o uso de técnicas tradicionais para a aquisição de dados



Fonte: elaborada pelas autoras.

A modelagem geométrica de edificações existentes a partir do uso de dados adquiridos por meio de tecnologias digitais compreende os seguintes processos: 1. levantamento dos dados geométricos e texturas, que pode ser feito com o uso de câmeras fotográficas (seja através de sistemas terrestres ou aerotransportados) ou por meio do *3D laser scanning*; 2. processamento dos dados, que pode ser feito através da técnica *Dense Stereo Matching* (DSM), na qual é realizado o processamento automatizado das fotografias por um software para restituição fotogramétrica; 3. obtenção da nuvem de pontos, resultado do processamento das fotografias (aéreas e/ou terrestres) ou do escaneamento a laser; 4. geração e edição do modelo geométrico, que pode ser obtido de forma automatizada mediante o processamento da nuvem de pontos para geração da Malha Triangular Irregular (TIN)⁶, ou de forma manual, modelando o objeto desde o início com base na nuvem de pontos ou a partir da incorporação de outras etapas de processamento; 5. aplicação da textura no modelo geométrico final (mapeamento da textura), que pode também ser feita de forma automática em modelos originados por meio de processo automático, ou pode ser realizada de modo manual.

Já a modelagem geométrica de edificações existentes a partir do uso de dados adquiridos com técnicas tradicionais de levantamento (como a medição direta), por mais que apresente um fluxo de trabalho com menos etapas, resulta em um procedimento que demanda mais tempo e custo e apresenta maiores limitações. Todo o processo, desde a aquisição de dados até a modelagem, é feito de modo manual, com limitações para aquisição de dados e para a modelagem geométrica, especialmente quando se trata de objetos de grandes dimensões e com formas mais complexas. Esse método compreende as seguintes etapas: 1. levantamento dos dados geométricos e medidas da edificação, feito com o auxílio de trenas e outros equipamentos tradicionais; 2. modelagem geométrica, em que o objeto é inteiramente modelado de forma manual a partir das medidas e informações obtidas na etapa anterior; 3. aplicação manual de texturas genéricas no modelo ou de texturas realistas obtidas de fotografias do objeto.

Ambos os métodos resultam em processos complexos que necessitam de etapas manuais, do conhecimento em softwares de modelagem geométrica e de mapeamento de texturas. Também é necessário entender os diferentes tipos

6 Na sigla em inglês, refere-se a *Triangular Irregular Network* (TIN).

de modelos geométricos que podem ser gerados: modelos de malha densa, com alta contagem de polígonos e que permitem melhor representação de formas geométricas complexas, que são chamados modelos *high-poly*, e os modelos de malha simplificada, com baixa contagem de polígonos e que representam a geometria do objeto de forma mais básica e menos realista, conhecidos como modelos *low-poly*. No entanto, o uso das tecnologias digitais na geração desses modelos permite fluxos de trabalho com etapas automatizadas, possibilitando a obtenção de resultados de modo mais rápido e preciso. Ainda assim, não se elimina a necessidade de análise e edição manual do modelo geométrico em alguma das etapas anteriormente apresentadas, uma vez que se busca a correta representação do objeto a ser digitalmente reconstruído.

A criação de AVI, seja dentro do contexto da gamificação e da produção de serious game, seja para aplicações mais simplificadas voltadas apenas para a visualização interativa, abrange processos complexos que envolvem diversas etapas de desenvolvimento e o domínio de diferentes softwares, métodos e técnicas em cada uma dessas etapas. Por conseguinte, novas ferramentas têm sido desenvolvidas tanto para modelagem geométrica quanto para a criação de ambientes virtuais. Desse modo, ressalta-se a importância de se investigarem novos métodos e tecnologias digitais, a partir de estudos e pesquisas no uso dos *game engines* para visualização e difusão do patrimônio arquitetônico, visando ao desenvolvimento de aplicações interativas.

Outra característica fundamental dos AVI é o seu funcionamento em tempo real, também chamado de tempo de reação do sistema ou latência, definido como “[...] o tempo entre a leitura dos dados de entrada e a respectiva renderização [...]” (Tori; Hounsell; Kirner, 2018, p. 16). A interação no AVI 3D, desde uma simples movimentação para explorar o ambiente até ações mais complexas, precisa acontecer de forma imediata para proporcionar ao usuário a sensação de realidade e não causar desconforto. Nesse sentido e considerando que as aplicações voltadas ao patrimônio devem ser de fácil difusão (baixos requisitos de processamento), os modelos geométricos a serem utilizados no ambiente virtual devem, por consequência, ter um tamanho de arquivo reduzido e uma quantidade otimizada de polígonos para que o processamento possa acontecer de forma rápida, ou seja, é necessário o uso de modelos *low-poly*.

No contexto do patrimônio arquitetônico, a visualização do modelo geométrico deve ser a mais próxima do objeto real (ou seja, ter qualidade gráfica), representando os detalhes imprescindíveis para o seu reconhecimento. No

entanto, conciliar a qualidade gráfica com um modelo *low-poly* requer o conhecimento de técnicas e softwares que possibilitem a geração de um modelo otimizado, sem resultar na perda de informações e detalhes relevantes, mantendo as características essenciais do modelo *high-poly*.

A seguir, são apresentados os estudos realizados envolvendo as técnicas de aquisição de dados geométricos e de texturas a partir da restituição fotogramétrica digital e diferentes processos de edição dos modelos, buscando o equilíbrio entre a qualidade gráfica e o número total de polígonos do modelo, bem como o tamanho final do arquivo.

O *game engine* Unreal Engine 4 (UE4)⁷, desenvolvido pela Epic Games, foi utilizado neste estudo por ser um software de uso gratuito⁸, consolidado no mercado, com possibilidade de programação a partir de uma linguagem visual de *script* chamada Blueprint, ter alta capacidade de processamento e por existirem *plug-ins* e *templates* específicos para a importação de modelos digitais arquitetônicos, compatíveis com os principais softwares de Arquitetura, como SketchUp, Rhinoceros e Revit.

ESTUDO DE MODELOS GEOMÉTRICOS

Este estudo apresenta a investigação de diferentes *workflows* e softwares para a modelagem geométrica de edificações históricas existentes, tendo como base o estudo iniciado em Linhares e Groetelaars (2019b). Parte-se do processamento de 62 fotografias terrestres do objeto de estudo escolhido, no software Agisoft PhotoScan (que trabalha com a técnica DSM), onde foram obtidos: um modelo em malha TIN (Figuras 4a e 4b), uma malha TIN texturizada (Figura 4c) e uma ortofoto da fachada (Figura 4d). Inicialmente, foi selecionada uma edificação de geometria simplificada, focando na reconstrução de sua fachada principal, a fim de melhor compreender os processos a serem testados, o uso das ferramentas e os produtos que podem ser gerados.

7 Ver em: <https://www.unrealengine.com/en-US/>.

8 A desenvolvedora Epic Games disponibiliza o software gratuitamente, sendo necessário pagamento apenas se a aplicação produzida obtiver lucro acima de uma quantia de dólares definida.

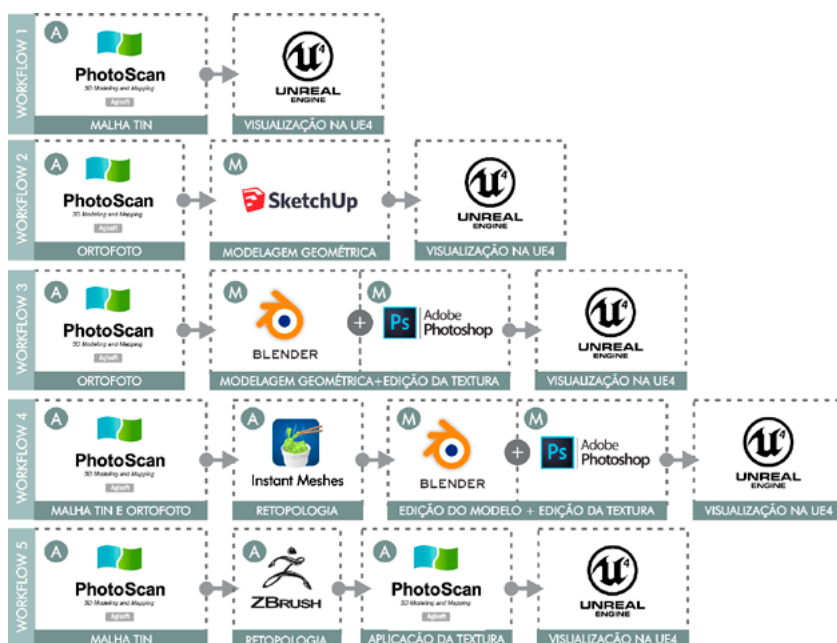
FIGURA 4 – Produtos obtidos no Agisoft PhotoScan após o processamento das fotografias



Fonte: elaborada pelas autoras.

O processamento das fotografias para a geração da malha TIN texturizada e da ortofoto (por DSM) foi descrito como *workflow* 1. A partir desses resultados obtidos, foram definidos mais quatro *workflows* (Figura 5) com diferentes técnicas, que envolvem o pós-processamento desses produtos (malha TIN e ortofoto). Foram indicadas na figura, junto ao nome dos softwares utilizados, as etapas realizadas de forma automatizada com a letra (A) e de modo manual com a letra (M).











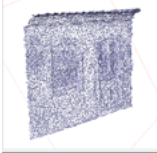



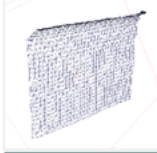
FIGURA 5 – *Workflows* definidos para o estudo da edição dos modelos geométricos



Fonte: elaborada pelas autoras.

Após produção e edição dos modelos geométricos nos cinco *workflows*, estes foram inseridos na UE4 para analisar a qualidade gráfica final, considerando os seguintes elementos: a quantidade total de polígonos do modelo quando importado pela UE4 (que é diferente muitas vezes do arquivo original, uma vez que a UE4 realiza a triangulação de todas as faces do modelo geométrico); o tempo de processamento⁹, desde o produto inicial do *workflow* 1 até o modelo final; o tamanho final do arquivo nos formatos .FBX e .OBJ (Figura 6). Para uma melhor compreensão das geometrias geradas, os modelos também estão apresentados na visualização *wireframe*, a partir de imagens capturadas nos softwares onde foram gerados, sendo possível identificar a composição da malha.

FIGURA 6 – Visualização dos modelos geométricos texturizados na UE4, representação em *wireframe* e dados sobre os modelos gerados em cada *workflow*

WORKFLOW 1	WORKFLOW 2	WORKFLOW 3	WORKFLOW 4	WORKFLOW 5
				
				
				
ORIGINAL 7.684 POLÍGONOS UE4 7.684 POLÍGONOS	ORIGINAL 106 POLÍGONOS UE4 12 POLÍGONOS	ORIGINAL 55 POLÍGONOS UE4 242 POLÍGONOS	ORIGINAL 968 POLÍGONOS UE4 1.906 POLÍGONOS	ORIGINAL 1.980 POLÍGONOS UE4 1.980 POLÍGONOS
TEMPO DE PROCESSAMENTO: Malha TIN 13min 15s Textura 4min 36s Tempo total: 17min 51s	TEMPO DE PROCESSAMENTO: Ortofoto 17min 51s Modelo 1min Textura 43s Tempo total: 19min 34s	TEMPO DE PROCESSAMENTO: Nuvem de pontos + Ortofoto 17min 51s Modelo 1h 10min Textura 23 min Tempo total: 1h 50min 51s	TEMPO DE PROCESSAMENTO: Malha TIN 13min 15s Retopol. Autom. 1 min Retopol. Manual 32 min Textura 25 min Tempo total: 1h 12min 15s	TEMPO DE PROCESSAMENTO: Malha TIN 13min 15s Retopologia 6 min Textura 25s Tempo total: 19min 40s
ARQUIVO (.FBX): COM TEXTURA: 228 KB SEM TEXTURA: 156 KB ARQUIVO (.OBJ): COM TEXTURA: 692 KB SEM TEXTURA: 513 KB	ARQUIVO (.FBX): COM TEXTURA: 15,8 KB SEM TEXTURA: 15 KB ARQUIVO (.OBJ): COM TEXTURA: 1,58 KB SEM TEXTURA: 1,56 KB ARQUIVO (.udatasmith): COM TEXTURA: 2,15 KB	ARQUIVO (.FBX): COM TEXTURA: 37,4 KB SEM TEXTURA: 31,8 KB ARQUIVO (.OBJ): COM TEXTURA: 21,0 KB SEM TEXTURA: 8,54 KB	ARQUIVO (.FBX): COM TEXTURA: 85,3 KB SEM TEXTURA: 81,9 KB ARQUIVO (.OBJ): COM TEXTURA: 138 KB SEM TEXTURA: 93 KB	ARQUIVO (.FBX): COM TEXTURA: 64,4 KB SEM TEXTURA: -- ARQUIVO (.OBJ): COM TEXTURA: 139 KB SEM TEXTURA: 105 KB

Fonte: elaborada pelas autoras.

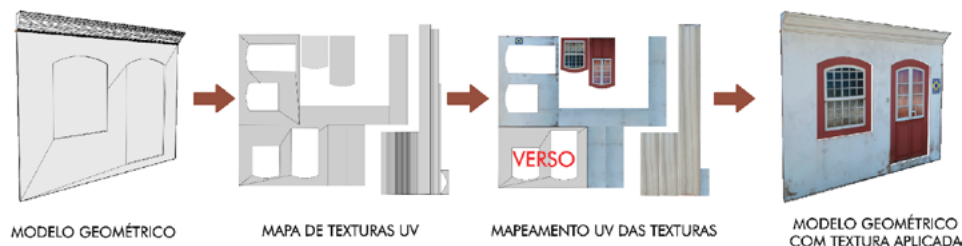
9 Ressalta-se que o tempo de processamento foi computado para fins comparativos deste estudo, podendo variar em função da capacidade de processamento do computador utilizado, do conhecimento técnico, bem como das habilidades do operador no uso das ferramentas.

No *workflow 1*, o modelo *high-poly* de malha TIN gerado inicialmente no Agisoft PhotoScan foi importado diretamente na UE4. Apesar de ser um processo rápido e com pouco ou nenhum trabalho manual, o modelo obtido apresenta uma malha TIN densa e com muitas irregularidades visíveis (em trechos planos da parede), o que torna inadequada a sua utilização direta no *game engine*. O tamanho final do arquivo, com ou sem a textura aplicada, demonstrou ser o mais alto entre os *workflows* estudados.

No *workflow 2*, foi realizada uma modelagem geométrica simplificada no software SketchUp, tendo como base a ortofoto da fachada gerada no *workflow 1*. A mesma imagem foi aplicada no plano principal do modelo, como textura. Para possibilitar a correta importação do modelo na UE4, uma vez que o SketchUp não exporta o mapeamento da textura necessário, foi utilizado o *plug-in* Datasmith, fornecido gratuitamente pela Epic Games¹⁰. O *plug-in* permitiu a exportação completa do modelo do SketchUp com a textura (formato .udatasmith) e reduziu o tamanho do arquivo para 4 KB, sem a geração de arquivos externos adicionais. Para a contagem total do tempo de geração do modelo, considerou-se também o tempo de geração da ortofoto no *workflow 1*. O modelo *low-poly* gerado é o mais simplificado de todos os *workflows* apresentados e o mais limitado, uma vez que considera a fachada completamente plana, desconsiderando detalhes como a cimalha e o beiral.

No *workflow 3*, foi gerado um modelo *low-poly* no software Blender, a partir da ortofoto e da nuvem de pontos, ambas geradas no *workflow 1*. Por não ser um software de domínio das autoras e por ter sido realizada uma modelagem mais detalhada em relação ao *workflow 2*, o processo foi mais demorado. Para a etapa de texturização, foi necessário realizar um mapeamento de textura no próprio Blender, em paralelo com o Adobe Photoshop. O modelo geométrico teve suas superfícies separadas em grupos para depois ter a sua geometria planificada, gerando um mapa de texturas UV (2D). Cada textura referente a uma superfície da edificação, conforme a planificação realizada, foi recortada da ortofoto e aplicada ao modelo (Figura 7).

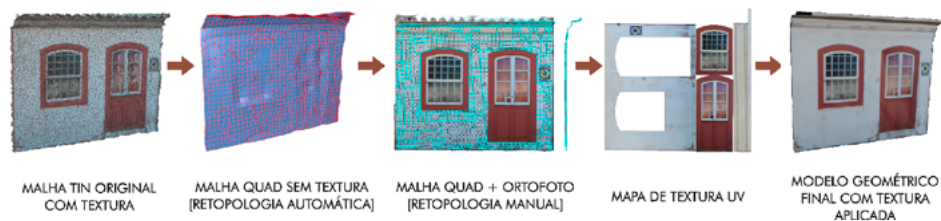
10 Ver em: <https://www.unrealengine.com/en-US/datasmith?sessionInvalidated=true>.

FIGURA 7 – Processo de mapeamento de textura do *workflow 3* (no Blender)

Fonte: elaborada pelas autoras.

Tanto o processo de modelagem quanto o de mapeamento de textura demandaram um tempo de trabalho manual considerável que, embora possa ser reduzido com a prática em utilizar as ferramentas do programa, ainda demonstra ser um *workflow* demorado. O software Blender exporta o mapeamento de textura junto ao modelo geométrico, nos formatos .FBX e .OBJ, não sendo necessário o uso de *plug-in*. Por fim, para a contagem total do tempo de processamento do modelo, também considerou-se o tempo de geração da ortofoto e da nuvem de pontos do *workflow 1*.

No *workflow 4*, optou-se por trabalhar com a malha TIN gerada inicialmente no *workflow 1* (modelo *high-poly*), uma vez que ela já possuía a geometria da edificação, evitando o processo inicial de modelagem. Para tentar corrigir os problemas de irregularidade da malha e de sua alta densidade de representação, realizou-se a retopologia do modelo, ou seja, uma reestruturação da malha com o objetivo de simplificá-la. O modelo *high-poly* foi, então, importado no programa Instant Meshes, que realizou a retopologia de forma automática, resultando em um modelo *low-poly* de malha quadrangular, ou malha quad, com menor densidade. Para deixar o modelo mais próximo à edificação original e para o mapeamento de textura, a nova malha foi importada no Blender, onde a retopologia foi continuada manualmente, ajustando detalhes como o contorno da fachada, a cimalha e as esquadrias. A textura foi mapeada da mesma forma descrita no *workflow 3* e como resultado obteve-se um modelo *low-poly* texturizado (Figura 8).

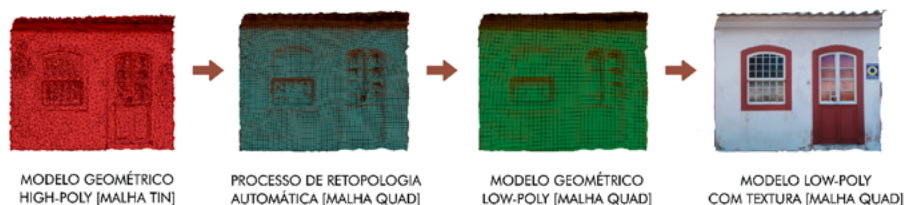
FIGURA 8 – Processamento do modelo geométrico no *workflow 4*

Fonte: elaborada pelas autoras.

No entanto, devido a algumas irregularidades que permaneceram na malha, pequenas deformações são perceptíveis no modelo final. Um processo de retopologia manual mais minucioso poderia corrigir as irregularidades, porém aumentaria consideravelmente o tempo de geração do modelo. Esse *workflow* não apresentou vantagem em comparação ao *workflow 3*, uma vez que o tempo de geração do modelo foi próximo e a contagem de polígonos, bem como o tamanho dos arquivos, maior. Por se tratar de uma geometria simples, o processo de modelagem manual permite a geração mais controlada de um modelo *low-poly*.

No *workflow 5*, o modelo *high-poly* de malha TIN gerado no *workflow 1* foi importado no software Zbrush para o processo de retopologia automática. Esse software permite um maior controle na etapa automatizada por meio da escolha de parâmetros que irão determinar as modificações da malha. Nesse processo, é possível realizar a retopologia automática sem deformações consideráveis na geometria, possibilitando a transformação da malha triangular em uma malha quad, além de reduzir sua densidade, sem prejudicar a forma do objeto. Quanto maior a simplificação da malha, mais deformações irão acontecer, sendo, portanto, necessário encontrar um equilíbrio entre a contagem total de polígonos e a representação adequada da geometria, coerente com as formas reais do objeto e as aplicações do modelo.

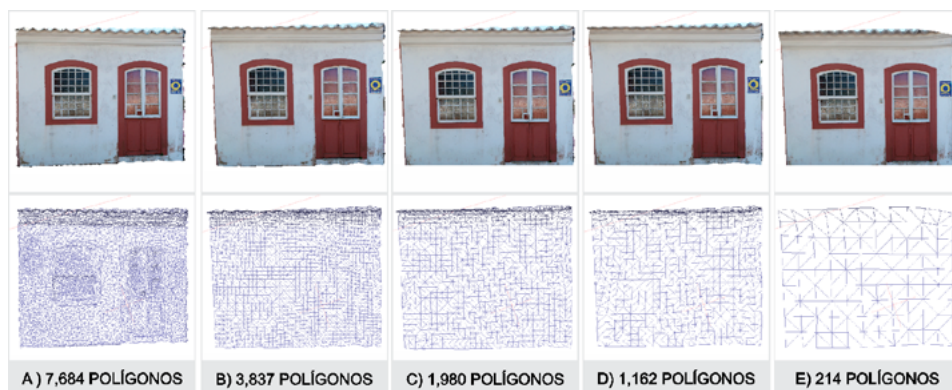
Com o processo de retopologia automática, um novo modelo *low-poly* é obtido e importado novamente no Agisoft PhotoScan, no mesmo arquivo do modelo *high-poly* original. O primeiro modelo (arquivo original *high-poly*) é, então, substituído pelo novo modelo (*low-poly*) e a textura é novamente processada para a aplicação no novo modelo. Nesse processo de texturização, utiliza-se o mapeamento de texturas já salvo do modelo original. Desse modo, as características do modelo *high-poly* são visualmente aplicadas no modelo *low-poly*. Como resultado, tem-se um novo modelo com malha reduzida e tamanho de arquivo menor, porém com a riqueza de detalhes visualmente bem próxima do modelo em malha densa (Figura 9).

FIGURA 9 – Processamento do modelo geométrico no *workflow 5*

Fonte: elaborada pelas autoras.

O processo de retopologia automática do *workflow 5* também corrige algumas das irregularidades de superfícies planas do modelo, o que torna sua visualização no *game engine* mais adequada. Maiores correções também podem ser feitas através de retopologia manual no próprio software Zbrush ou em outros softwares de modelagem geométrica. Para o estudo mais completo do *workflow 5*, diferentes níveis de retopologia foram realizadas no Zbrush, iniciando com a malha original de 7.684 polígonos e reduzindo gradualmente até uma malha de 214 polígonos, gerando quatro modelos de malha com diferentes quantidades de polígonos. Os modelos foram inseridos e texturizados no Agisoft PhotoScan e o resultado final comparado, de forma a identificar, para esse modelo, qual a redução máxima permitida sem deformar a geometria do objeto (Figura 10).

FIGURA 10 – Comparação visual dos modelos gerados no processo de retopologia automática no software Zbrush (B a E), a partir do modelo original (A)



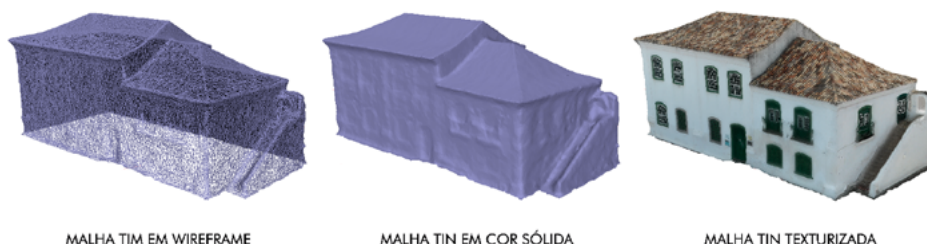
Fonte: elaborada pelas autoras.

Os resultados B e C apresentaram malhas mais adequadas, sem deformar a geometria, tendo como referência a malha original A. Já os modelos D e E apresentaram deformações consideráveis no contorno, nas dimensões da

edificação e nas aberturas, por isso não são adequados para a utilização no *game engine*. O resultado final C foi o escolhido para a inserção na UE4, uma vez que apresentou a menor contagem de polígonos sem deformações significativas na forma do objeto. O tempo de processamento desse *workflow* é baixo e é realizado de forma automática, sendo necessário trabalho manual apenas para a correção de deformações específicas da malha – quando conveniente. Devido à impossibilidade de exportar o modelo no formato .FBX no software Zbrush (modelo final sem textura), foi considerado para a análise o modelo final texturizado que apresentou tamanho significativo, embora menor em comparação com o arquivo do modelo original.

Para o aprofundamento do estudo apresentado, optou-se por testar os *workflows* descritos em um objeto de geometria mais complexa. Foi escolhida uma edificação isolada para o processamento através do *workflow* 1, dessa vez a partir de 116 fotografias aéreas para capturar toda a sua geometria. O modelo *high-poly* obtido no processamento apresentou qualidade final média, uma vez que não havia fotos suficientes para gerar um modelo de alta qualidade, mas a geometria e a texturização foram consideradas satisfatórias para o estudo (Figura 11). Não foram geradas ortofotos para esse modelo, uma vez que elas apresentariam grandes irregularidades devido à má formação do modelo em algumas partes e, por conseguinte, não seriam adequadas para a utilização nos outros *workflows*.

FIGURA 11 – Resultado do processamento do *workflow* 1 com uma edificação de geometria mais complexa



Fonte: elaborada pelas autoras.

Devido à impossibilidade de geração de ortofotos precisas e adequadas, necessárias para o processamento de modelos realistas nos *workflows* 2 e 3, optou-se por testar apenas adaptações dos *workflows* 4 e 5 (que usam retopologia automática) no novo modelo. Ressalta-se que o *workflow* 3 poderia ser

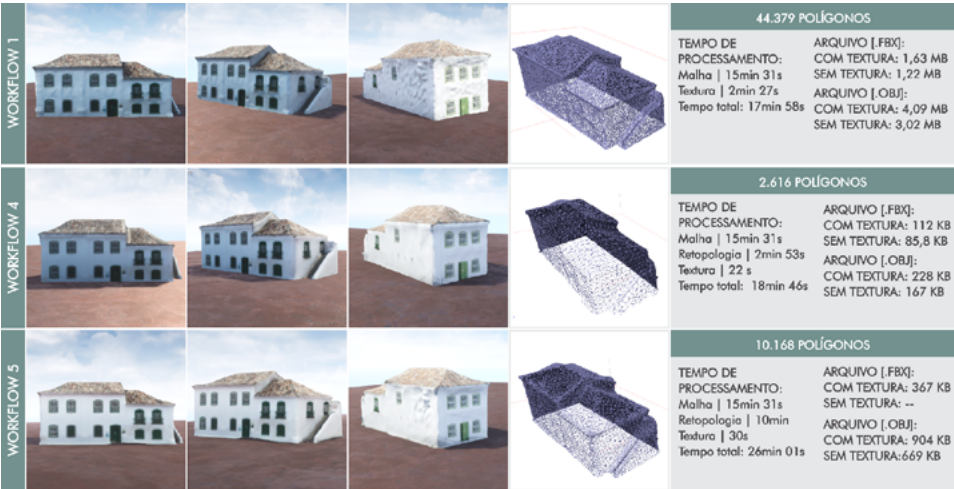
realizado utilizando apenas a nuvem de pontos, mas o mapeamento de texturas com as ortofotos levariam, nesse caso (em razão das deformações das ortofotos), a uma texturização imprecisa. Logo, para esse tipo de edificação, os *workflows* que trabalham diretamente com a malha obtida tornam-se mais adequados.

Para este estudo, portanto, optou-se por testar os métodos de retopologia automática dos *workflows* 4 e 5 (Instante Meshes e Zbrush), seguidos do processo de texturização do *workflow* 5 (Agisoft PhotoScan), uma vez que esses métodos de processamento mostraram-se rápidos, automatizados e com bom resultado quanto à qualidade gráfica final. Os três modelos foram colocados na UE4 e comparados quanto à qualidade da visualização, contagem de polígonos, tempo de processamento e tamanho final dos arquivos (Figura 12).

No *workflow* 1, os modelos dessa nova edificação, assim como da fachada apresentada anteriormente, apresentaram alta contagem de polígonos e inúmeras deformações na malha – são visíveis na UE4 –, comprovando a necessidade de retopologia do modelo. Ressalta-se que a maior diferença entre os softwares de retopologia automática utilizados nos *workflows* 4 e 5 refere-se ao tipo de controle das transformações a serem aplicadas no modelo. Enquanto o Instant Meshes (*workflow* 4) simplifica de forma relevante a malha e a geometria, o Zbrush (*workflow* 5) permite um maior controle nos parâmetros de decimação da malha.

No modelo da edificação completa, a retopologia do *workflow* 4 simplificou os planos das fachadas, fazendo com que algumas deformações fossem atenuadas. No entanto, algumas alterações quanto às dimensões e aos detalhes do modelo original também foram modificadas, fazendo com que o novo modelo *low-poly* não fosse tão preciso, embora visivelmente essas mudanças não sejam muito perceptíveis. Já no *workflow* 5, algumas das deformações geradas foram mantidas, uma vez que o processo de retopologia automática respeita a geometria do *high-poly*. Porém, as dimensões do modelo original não sofreram alterações relevantes (Figura 13).

FIGURA 12 – Visualização do modelo de geometria mais complexa no UE4 e no PhotoScan (em *wireframe*)



Fonte: elaborada pelas autoras.

FIGURA 13 – Visualização de uma parte dos modelos gerados



Fonte: elaborada pelas autoras.

Por fim, para o processamento de um modelo geométrico realista, preciso, com boa qualidade gráfica e otimizado, observa-se que são necessários: 1. um cuidadoso processo de restituição fotogramétrica digital, incluindo uma tomada fotográfica adequada, registrando a edificação em diversos ângulos e em diferentes alturas, para que se possa gerar um modelo *high-poly* preciso

e com texturas de elevada qualidade; 2. processos de retopologia automática para a simplificação da malha; 3. processos de retopologia manual para corrigir eventuais deformações. Os processos de modelagem manual também podem ser utilizados para gerar modelos geométricos de edificações existentes, porém demandam mais tempo e podem, muitas vezes, levar a maiores imprecisões no resultado final, uma vez que dependem da interpretação de imagens (2D) para a geração do modelo (3D).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A modelagem geométrica de edificações históricas existentes, tendo em vista seu uso para a criação de AVI, é um processo complexo que envolve diversas etapas e softwares. A inserção de modelos geométricos em um *game engine* para a criação de AVI 3D voltados ao patrimônio – seja com o objetivo de criar aplicações de realidade virtual não imersiva, um simples tour virtual, até aplicações de realidade virtual imersiva e *serious game* – depende fundamentalmente de modelos geométricos que apresentem: boa qualidade gráfica, de forma a representar todas as características imprescindíveis para o reconhecimento do objeto histórico; geometria otimizada, para que não prejudiquem o processamento da aplicação em tempo real; boa precisão na representação dos objetos reais. Essas características são importantes para que o AVI possa atingir o seu objetivo de fazer com que o usuário se sinta presente no ambiente virtual, ao mesmo tempo em que pode visualizar e interagir com o patrimônio edificado, representado de forma fidedigna.

Este estudo apresentou algumas possibilidades de produção de modelos geométricos de edificações existentes, partindo de produtos obtidos através de técnicas fotogramétricas. O processamento de fotografias, seja para a geração de modelos de malha triangular irregular ou para a produção de ortofotos, é uma técnica automatizada que permite a rápida obtenção da geometria da edificação, bem como de mapas de textura realistas. Apesar das potencialidades desses modelos, quando se trata de AVI, recomenda-se sua manipulação ou edição para gerar versões otimizadas dos modelos geométricos. Entre os métodos de edição, destacam-se os processos de retopologia manual e automática, que possibilitam a obtenção de modelos realistas de modo mais ágil e preciso.

Os *workflows* apresentados expõem apenas alguns métodos e ferramentas para a geração de modelos *low-poly* através de processos de retopologia e modelagem geométrica manual, não existindo uma única forma correta de processamento de edificações históricas existentes. O *workflow* mais adequado dependerá de uma série de fatores, dentre os quais destacam-se: características do objeto a ser virtualmente reconstruído, seu entorno e condicionantes; recursos e equipamentos disponíveis; grau de conhecimento de técnicas de processamento dos modelos e de softwares; nível de detalhe e fidelidade pretendido, em função dos objetivos da aplicação e da forma de difusão do AVI etc.

Portanto, ressalta-se a importância de se investigarem métodos, técnicas e ferramentas para o processamento de modelos geométricos de edificações existentes em *low-poly*, em diferentes escalas e graus de complexidade, de forma a identificar novos fluxos de trabalho que possam ser mais adequados às necessidades específicas de cada objeto.

O método manual de mapeamento de textura realizado nos *workflows* 3 e 4 demandou maior tempo e trabalho do que nos outros métodos, uma vez que necessita o recorte manual de cada face da ortofoto para ser aplicada no modelo. Esse método é também sensível à habilidade e ao cuidado do operador, podendo resultar em modelos imprecisos se não for feito de forma correta. Por outro lado, imagens genéricas podem ser utilizadas para a texturização do modelo, a depender do nível de realismo pretendido, tornando o processo de mapeamento mais rápido. Por fim, para ambos os casos, técnicas de renderização – como uso de mapas espaciais¹¹ para a geração de relevos – podem ser aplicadas para obter um modelo mais realista.

O método utilizado no *workflow* 5 mostrou ser o mais interessante, uma vez que todo o seu processo é realizado de forma automatizada e o resultado final apresentou-se adequado. O mapa de textura gerado no modelo *high-poly*, quando aplicado no modelo *low-poly*, permite a representação visual dos detalhes da geometria complexa na malha simplificada. No entanto, ressalta-se que, para obter um bom resultado nesse *workflow*, é necessário que o modelo *high-poly* apresente boa qualidade (geometria e textura), o que necessita de um processo de restituição fotogramétrica adequado, incluindo a elevada

11 O uso de mapas especiais como Normal Map, Bump Map e Displacement Map é uma técnica de renderização de modelos geométricos utilizada para dar a sensação visual da existência de relevo em uma malha simplificada, sem a necessidade de uso de modelos muito detalhados.

qualidade da tomada fotográfica do objeto de interesse. Quanto menos deformações forem geradas no modelo *high-poly*, maior será a qualidade do modelo final e menor será o trabalho de retopologia manual para corrigir possíveis problemas na malha.

Quanto à contagem final de polígonos do modelo e o tamanho do arquivo, também irão depender de cada situação específica. Em aplicações mais simples, com o uso de poucos modelos geométricos, é possível trabalhar com arquivos maiores e com malhas mais densas, enquanto em aplicações com maiores níveis de interatividade e grande quantidade de modelos geométricos faz-se necessário buscar modelos mais simplificados. O equilíbrio entre qualidade visual (relacionada à forma geométrica e à texturização) e capacidade de processamento mostra-se fundamental em qualquer aspecto do uso de modelos geométricos em AVI 3D. Ressalta-se também que a capacidade de processamento do computador utilizado, o conhecimento específico em métodos de modelagem geométrica, bem como as habilidades do operador nas ferramentas apresentadas, influenciam diretamente nos resultados.

Outro ponto a ser explorado são os recursos oferecidos pelos *game engines* para otimizar o processamento de modelos geométricos em aplicações interativas. Alguns motores de jogos, como a UE4, permitem a vinculação de modelos geométricos com diferentes níveis de detalhe, que vão sendo processados e substituídos à medida que o usuário se aproxima do objeto. Dessa forma, é possível utilizar tanto modelos *high-poly* quanto modelos *low-poly* na aplicação.

Por fim, ressalta-se que, com a demanda crescente de soluções eficientes e eficazes para a preservação e difusão patrimônio arquitetônico e de sítios históricos, além dos constantes avanços tecnológicos e do surgimento de novas ferramentas, se torna imprescindível a realização de estudos visando otimizar e aprimorar o processamento dos modelos geométricos utilizados em AVI.

AGRADECIMENTOS

As autoras registram seus agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio à pesquisa de mestrado em curso.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, A. L. Methodological aspects of architectural documentation. *Geoinformatics FCE CTU*, [s. l.], v. 6, p. 34-39, Dec. 2011.
- ANDERSON, E. F. *et al.* Serious game in cultural heritage. *In: VAST 2009: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON VIRTUAL REALITY, ARCHAEOLOGY AND CULTURAL HERITAGE*, 10., 2009, St. Julians. *Proceedings [...]*. St. Julians: Eurographics Association, 2009. p. 29-48.
- CAMARA, J. Jogos sérios e mediação patrimonial: estratégias de identificação, valorização e transmissão do património cultural imaterial. *Memoriamedia*, [s. l.], v. 3, n. 4, 2018.
- CHAMPION, E. Entertaining the similarities and distinctions between serious games and virtual heritage projects. *Entertaining Computing*, [s. l.], v. 14, p. 67-74, May 2015.
- DENARD, H. (ed.). *The London Charter: for the computer-based visualisation of cultural heritage*. London: The London Charter, 2009. Disponível em: <http://www.londoncharter.org/>. Acesso em: 18 abr. 2019.
- GROETELAARS, N. J. *Criação de modelos BIM a partir de “nuvem de pontos”*: estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica. 2015. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.
- IOANNIDES, M., MAGNENAT-THALMANN, N., PAPAGIANNAKIS, G. (ed.). *Mixed reality and gamification for cultural heritage*. Switzerland: Springer, 2017. E-book.
- JERALD, J. *The VR book: human-centered for virtual reality*. [S. l.]: ACM Books, 2016. E-book.
- LIAROKAPIS, F. *et al.* Multimodal serious game technologies for cultural heritage. *In: IOANNIDES, M.; MAGNENAT-THALMANN, N.; PAPAGIANNAKIS, G. (ed.). Mixed reality and gamification for cultural heritage*. Switzerland: Springer, 2017. E-book.
- LINHARES, G.; GROETELAARS, N. J. Realidade virtual para a visualização e difusão do patrimônio arquitetônico: conceitos e aplicações. *In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO E PATRIMÔNIO CULTURAL*, 1., 2019, São Carlos, SP. *Anais [...]*. São Carlos, SP: IAU-USP, 2019a. p. 200-207.
- LINHARES, G.; GROETELAARS, N. J. Reconstrução digital do patrimônio arquitetônico para ambientes virtuais interativos 3D: estudo de métodos para modelagem geométrica de edificações existentes. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, São Carlos, SP, v. 16, n. 3, p. 61-77, jan. 2021.

- LINHARES, G.; GROETELAARS, N. J. Tecnologias digitais para a representação do patrimônio arquitetônico: estudo de métodos para modelagem geométrica. *In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO E PATRIMÔNIO CULTURAL*, 1., 2019, São Carlos, SP. *Anais [...]*. São Carlos, SP: IAU-USP, 2019b. p. 32-40.
- MARCHI, P.; HASHIMOTO, M. Arquitetura e design. *In: TORI, R.; HOUNSELL, M. S. (org.). Introdução a realidade virtual e aumentada*. Porto Alegre: SBC, 2018. E-book.
- MCGONIGAL, J. *Gaming can make a better world*. TED: Ideas worth spreading, 2010. Disponível em: https://www.ted.com/talks/jane_mcgonigal_gaming_can_make_a_better_world?utm_campaign=tedsread&utm_medium=referral&utm_source=tedcomshare. Acesso em: 16 de jun. 2019.
- MORTARA, M. *et al.* Learning cultural heritage by serious game. *Journal of Cultural Heritage Elsevier*, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 318-325, 2014.
- NOGUEIRA, F. M. S. *A representação de sítios históricos: documentação arquitetônica digital*. 2010. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.
- ROSA JUNIOR, O. *LRVCHAT3D: desenvolvimento de um ambiente virtual tridimensional multiusuário para internet*. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- STATHAM, N. Scientific rigour of online platforms for 3D visualisation of heritage. *Virtual Archaeology Review*, [s. l.], v. 10, n. 20, p. 1-16, 2019.
- TORI, R.; HOUNSELL, M. S.; KIRNER, C. Realidade virtual. *In: TORI, R.; HOUNSELL, M. S. (org.). Introdução a realidade virtual e aumentada*. Porto Alegre: SBC, 2018. E-book.

CAPÍTULO 15

MODELAGEM GEOMÉTRICA DO MUSEU ANITA GARIBALDI A PARTIR DE PRODUTOS FOTOGRAMÉTRICOS¹

*Gabriela Linhares da Silva
Natalie Johanna Groetelaars*

INTRODUÇÃO

No campo do patrimônio cultural, a geração de dados tridimensionais é um subsídio essencial para diversos fins. Os modelos geométricos (3D), bem como os ambientes virtuais imersivos compostos por esses modelos, apresentam diversas vantagens na Arquitetura, conforme ressaltam Champion e Rahaman (2020), por exemplo: a possibilidade de visualizar, interpretar e compreender sítios históricos; a disseminação de informações; o fornecimento de material preciso para estudos científicos e acadêmicos etc.

O processo de modelagem geométrica de edificações históricas pode estar relacionado a edificações não mais existentes, tendo como base documentos

1 Originalmente publicado em: Linhares e Groetelaars (2022).

gráficos e não gráficos sobre o objeto. Pode também estar relacionado a edificações existentes, sendo possível o uso de tecnologias digitais para a aquisição de dados geométricos e texturas em campo (Linhares; Groetelaars, 2019).

Em ambas as situações, modelar com precisão objetos e sítios urbanos reais, sobretudo os de interesse histórico-cultural, pode resultar em um processo custoso, já que a geometria real pode ser complexa e apresentar irregularidades (Król; Hernik, 2020). No entanto, tecnologias como a fotogrametria digital e o 3D *laser scanning* (no caso de edificações existentes) permitem uma aquisição de dados rápida e fidedigna, viabilizando a produção de modelos geométricos de grandes áreas em diferentes níveis de detalhes, seja por meio de métodos mais automatizados ou por técnicas de modelagem interativas.

Nesse sentido, a geração de modelos digitais a partir de fotografias, com precisão, alto detalhamento e o uso de equipamentos de baixo custo, é uma vantagem que as tecnologias mais recentes têm proporcionado e que vêm sendo amplamente utilizadas no campo do patrimônio cultural (Król; Hernik, 2020), como a fotogrametria digital.

Este trabalho apresenta o processo de modelagem geométrica do Museu Anita Garibaldi, localizado na cidade de Laguna, litoral sul de Santa Catarina, tendo como base produtos fotogramétricos obtidos a partir de uma aquisição de dados em campo. Estuda dois métodos de geração de modelos geométricos, automatizado e interativo, comparando os resultados.

FOTOGRAMETRIA DIGITAL

A fotogrametria digital pode ser descrita como uma ciência e tecnologia que permite obter, através de imagens fotográficas, informações confiáveis (Brito; Coelho, 2007), por exemplo: formas, dimensões, posições e texturas dos objetos contidos nas imagens (Groetelaars, 2015).

Pode ser classificada segundo diferentes critérios (Mateus, 2012; Groetelaars, 2015) em relação: 1. à distância da câmera e do objeto; 2. ao número de fotografias utilizadas e ao tipo de restituição. Tais classificações serão abordadas neste trabalho.

Quanto ao primeiro caso, foram utilizados nesta pesquisa a fotogrametria terrestre e aérea (nesse caso específico, foram usadas fotos tomadas de drones). A fotogrametria terrestre ou à curta distância está relacionada à tomada fotográfica sobre a superfície terrestre ou próxima a ela, enquanto e

a fotogrametria aérea ou aerofotogrametria está associada às situações da câmera sendo transportada por aeronaves tripuladas, balões, helicópteros ou por Veículos Aéreos Não Tripulados (Vant) – comumente chamados de drones.

No segundo caso, foi utilizada a monorrestituição, que consiste na restituição de uma única imagem para a obtenção de dados do objeto, geralmente para a produção de fotos retificadas. Também foi usado o *Dense Stereo Matching* (DSM), método automatizado de restituição fotogramétrica. Essa técnica surgiu nos últimos 15 anos a partir de avanços na área da Visão Computacional e da utilização dos princípios da estereorrestituição, permitindo a geração de modelos de nuvens de pontos, Malha Triangular Irregular (TIN)² e outros produtos, por meio de processos de correlação automática de conjuntos de *pixels* homólogos entre imagens tomadas de diferentes ângulos e com grandes áreas de sobreposição (Groetelaars, 2015).

O processo de restituição fotogramétrica pode ser resumido em três grandes etapas:

- Planejamento: análise prévia do local, do objeto e dos recursos disponíveis, em função do objetivo pretendido, a fim de definir as técnicas e equipamentos que serão utilizados;
- Aquisição de dados: tomada fotográfica e coleta de medidas de referência, entre outros dados que possam ser necessários;
- Processamento de dados: análise e manipulação dos dados brutos coletados, transformando-os nos produtos finais desejados.

Serão descritas a seguir as etapas de aquisição e processamento dos dados.

Aquisição de dados

A etapa de aquisição de dados do Museu Anita Garibaldi consistiu nas seguintes etapas:

- Tomada fotográfica terrestre com uma câmera Canon EOS 1200D com lente de 18 mm e tomada fotográfica aérea com uma câmera de lente de 35 mm transportada pelo drone DJI Mavic Air;

2 Na sigla em inglês, refere-se a *Triangular Irregular Network* (TIN).

- Elaboração de *croquis* para anotação de algumas medidas tomadas manualmente com trena de aço e *laser*;
- Consulta de documentação técnica existente sobre a edificação na Prefeitura de Laguna e no Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan).

A tomada fotográfica ocorreu em duas partes. A primeira em julho de 2019, quando foram obtidas fotos aéreas e terrestres da edificação e do seu entorno, bem como algumas medidas de referência. Ao todo, foram tomadas 116 fotografias do exterior do museu. A segunda etapa foi realizada em abril de 2021, momento em que foram obtidas novas fotos aéreas e terrestres, totalizando mais 726 fotografias externas do museu. Nessa segunda etapa, optou-se pela captura de detalhes, com fotografias mais próximas ao edifício.

Quanto à consulta de documentação técnica existente, foi fornecido pela Prefeitura de Laguna o levantamento técnico do museu, realizado pelo escritório Arte Real Arquitetura e Restauro Ltda. em 2008, contendo plantas baixas, cortes e fachadas da edificação. Pelo Iphan, foram fornecidas apenas a planta baixa do museu e algumas fotografias.

Processamento

O processamento dos dados adquiridos do museu pode ser resumido nas seguintes etapas:

- Processamento das fotografias aéreas e terrestres no software Agisoft PhotoScan para obtenção da nuvem de pontos densa;
- Monorrestituição no software PhotoModeler para uma melhor representação de alguns elementos da edificação (que não foram gerados corretamente pela técnica DSM) através de fotos retificadas;
- Análise da documentação técnica existente sobre o museu para seleção de desenhos a serem utilizados para complementação das informações.

Para a obtenção da nuvem de pontos densa, foram inseridas 577 fotografias (aéreas e terrestres) no PhotoScan, processadas em alta qualidade, resultando em um modelo com mais de 10,4 milhões de pontos (Figura 1). O tempo total do processamento foi de aproximadamente 18 horas.

FIGURA 1 – Modelo de nuvem de pontos densa do Museu Anita Garibaldi



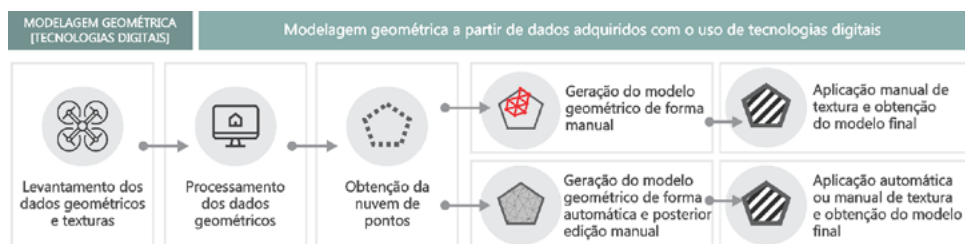
Fonte: elaborada pelas autoras.

Para este trabalho, optou-se por utilizar fundamentalmente os produtos das técnicas fotogramétricas (especialmente a nuvem de pontos gerada por DSM) para a geração dos modelos geométricos do museu. A monorrestituição e alguns desenhos existentes (fornecidos pela prefeitura) foram utilizados somente no método interativo para a obtenção de alguns detalhes, cuja geometria não foi possível extrair das fotografias de forma precisa. Nesses casos, os dados extraídos foram compatibilizados com o modelo de nuvem de pontos para a correta proporção da geometria.

MODELAGEM GEOMÉTRICA

A etapa de modelagem geométrica consistiu na geração do modelo geométrico do Museu Anita Garibaldi. Para esta pesquisa, foram considerados dois métodos de obtenção de modelos geométricos a partir do uso de tecnologias digitais para a aquisição de dados (Figura 2), conforme apresentado em Linhares e Groetelaars (2021). Essas tecnologias podem ser tanto a fotogrametria digital quanto a varredura a *laser*.

FIGURA 2 – Etapas da modelagem geométrica com o uso de tecnologias digitais para a aquisição de dados



Fonte: adaptada de Linhares e Groetelaars (2021).

O levantamento e processamento dos dados geométricos correspondem às etapas apresentadas anteriormente para a obtenção da nuvem de pontos, bem como de outros produtos fotogramétricos. A partir da nuvem de pontos, o modelo geométrico pode ser obtido a partir de dois métodos:

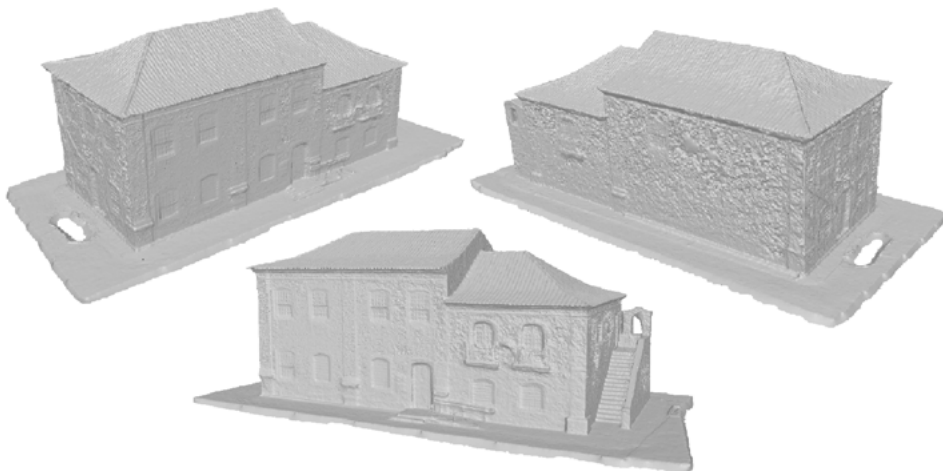
- método automatizado, em que a nuvem de pontos é processada em software específico para a obtenção do modelo de malha TIN, podendo este ser texturizado de forma automática ou manual em outro programa;
- método interativo, em que a nuvem de pontos é utilizada como referência para a geração do modelo de forma manual, em softwares de modelagem geométrica, sendo a aplicação da textura realizada também de forma manual.

Método automatizado

Para a geração do modelo geométrico através do método automatizado, optou-se por continuar o processamento da nuvem de pontos no software Agisoft PhotoScan. Como resultado, foi obtido um modelo de malha TIN com mais de 2 milhões de triângulos (Figura 3).

A etapa de texturização foi feita de forma automatizada no PhotoScan, utilizando as mesmas fotografias da etapa de processamento, resultando em um modelo de malha TIN texturizada e fotorrealista (Figura 4).

FIGURA 3 – Modelo geométrico de malha TIN sem textura



Fonte: elaborada pelas autoras.

FIGURA 4 – Modelo geométrico de malha TIN com textura



Fonte: elaborada pelas autoras.

Método interativo

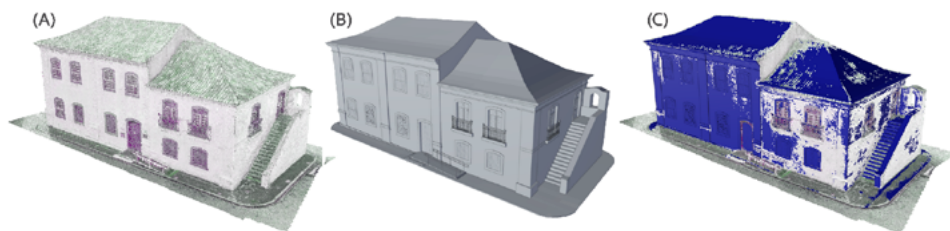
Para a geração do modelo geométrico no método interativo, a nuvem de pontos densa foi inserida no software de modelagem Blender. Para isso, utilizou-se o *plug-in* Point Cloud Visualizer, que permite uma melhor manipulação

da nuvem de pontos no programa, viabilizando ações como seccionar, alterar a densidade, cor, tamanho e transparência dos pontos etc.

Cabe ressaltar que o processo de modelagem pelo método interativo não foi linear. Devido à falta de dados e de conhecimentos aprofundados sobre a ferramenta Blender, no início do trabalho (que ocorreu antes da segunda etapa de aquisição de dados em campo), buscaram-se diferentes alternativas de modelagem que serão descritas nesta seção.

Com o uso de primitivas geométricas, operações booleanas, comandos de varredura (extrusão e revolução de perfis) e outras técnicas de modelagem, o modelo foi gerado de forma manual utilizando a nuvem de pontos como referência (Figura 5). As fotografias, os *croquis* e as visitas em campo auxiliaram no processo.

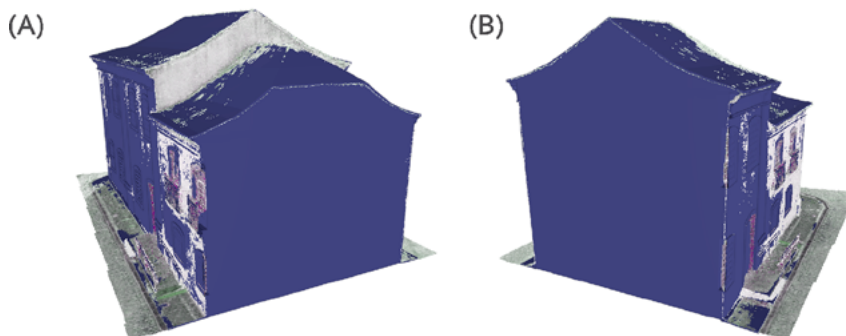
FIGURA 5 – Modelos geométricos do museu, sendo (A) nuvem de pontos, (B) modelo geométrico gerado interativamente, (C) sobreposição do modelo criado no Blender (em azul) com a nuvem de pontos



Fonte: elaborada pelas autoras.

Com o seccionamento da nuvem de pontos, foi possível extrair informações mais precisas, como a inclinação dos planos do telhado. Também foi possível identificar irregularidades, a exemplo de paredes fora do prumo, dentre outras imprecisões que são características de edificações antigas. Por se tratar de irregularidades pequenas e que não interferiam na visualização e compreensão do edifício, elas não foram consideradas na modelagem. Alguns seccionamentos e sobreposições do modelo geométrico com a nuvem de pontos são ilustrados na Figura 6.

FIGURA 6 – Sobreposição do modelo com a nuvem de pontos, ambos seccionados, sendo (A) corte passando pelo volume menor do edifício e (B) corte passando pelo volume maior do edifício



Fonte: elaborada pelas autoras.

Para a modelagem das portas e janelas, optou-se inicialmente por utilizar imagens retificadas (Figura 7a) como referência para extração da geometria (Figura 7b). Após a segunda aquisição de dados e a obtenção de um modelo mais detalhado do museu (malha TIN), foi possível gerar as ortofotos das fachadas (Figura 7c), as quais foram utilizadas como referência para modelar as portas e janelas que ainda não haviam sido modeladas (Figura 7d).

FIGURA 7 – Modelos geométricos das esquadrias e imagens utilizadas como referência, sendo: (a) imagem retificada de uma janela, (b) modelo geométrico feito com base na imagem retificada, (c) ortofoto da fachada principal e (d) modelos feitos com base nas ortofotos



Fonte: elaborada pelas autoras.

Também se utilizou, inicialmente, uma imagem retificada (Figura 8a) para a vetorização (2D) e modelagem geométrica (3D) do gradil do segundo pavimento, cuja geometria não foi registrada através da técnica DSM. Após a aquisição do levantamento técnico do museu fornecido pela prefeitura, optou-se por utilizá-lo para a extração do perfil dos elementos do gradil, já que este apresentava maiores

detalhes (Figura 8b) e era similar ao desenho obtido pela foto retificada. Também se utilizou o levantamento existente para o desenho das cimalthas (Figura 8c). Todos os modelos gerados (Figura 8d) foram ajustados conforme a nuvem de pontos.

FIGURA 8 – Modelos geométricos de ornamentos e imagens utilizadas como referência, sendo: (a) desenho do gradil da sacada feito sobre a foto retificada, (b) desenho do gradil do levantamento existente, (c) desenho dos perfis das cimalthas do levantamento existente e (d) modelos geométricos da grade e da cimalha gerados com base nos desenhos do levantamento existente



Fonte: elaborada pelas autoras.

Para a modelagem de outros detalhes – como as pilastras e seus ornamentos, a rampa de acesso à edificação e a escada lateral –, foram utilizadas somente a nuvem de pontos e as fotografias.

Para a texturização do modelo geométrico, duas opções foram testadas: 1. aplicar cores sólidas aos elementos; 2. aplicar texturas, que podem ser imagens genéricas, procedurais ou retiradas das fotografias do objeto real. A aplicação de cores sólidas foi realizada (Figura 9) utilizando as cores da edificação original como referência.

FIGURA 9 – Modelo geométrico com cores sólidas



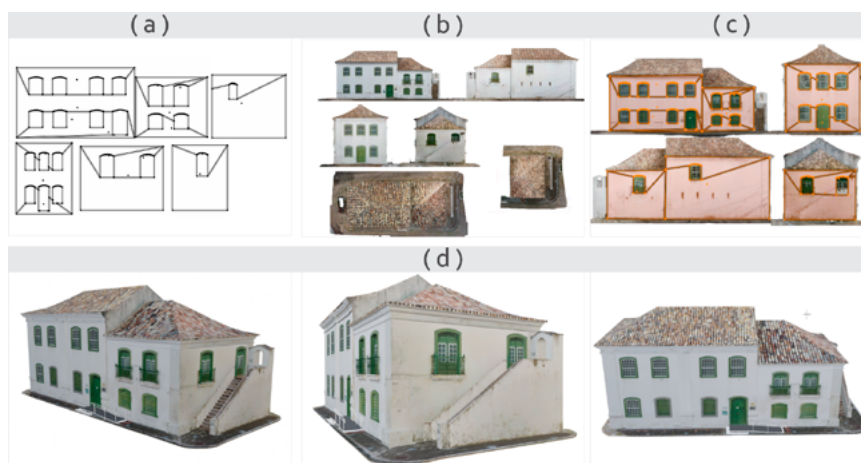
Fonte: elaborada pelas autoras.

Para a aplicação de texturas, tendo em vista o modelo geométrico gerado, é recomendada a realização de um mapeamento de texturas UV (*UV mapping*). Essa etapa pode ser descrita, segundo Kumar (2020), como o processo de mapear os polígonos (faces) do modelo geométrico (coordenadas x , y , z), gerando um mapa bidimensional (coordenadas u , v). O mapa gerado é chamado de mapa UV (*UV map*) e é onde as texturas serão aplicadas, de forma que a visualização no modelo geométrico (3D) fique correta.

A etapa de mapeamento UV é um processo demorado, que requer planejamento e, em muitos casos, o tratamento prévio das imagens a serem utilizadas antes de sua aplicação. Para este estudo, optou-se por testar a utilização das ortofotos para a texturização, permanecendo as cores sólidas em elementos cuja textura não foi possível ser extraída das imagens (como nos gradis e corrimão da rampa). A fim de otimizar o tempo de trabalho desta etapa, as imagens não foram editadas antes da aplicação.

O mapeamento UV foi realizado para cada elemento modelado. Após a obtenção dos mapas UV (Figura 10a), as ortofotos (Figura 10b) foram importadas no software como material (textura) e os mapas UV foram ajustados sobre elas (Figura 10c). Nas partes em que as ortofotos apresentavam deformações, distorções etc., como nas cimalthas, optou-se por utilizar outras partes das imagens que apresentavam o mesmo material. Após a finalização do mapeamento UV, foi possível obter um modelo com uma textura mais realista (Figura 10d).

FIGURA 10 – Etapa de texturização, sendo (a) mapas de texturas UV das fachadas, (b) ortofotos, (c) mapeamento de textura UV sobre as ortofotos e (d) modelo final texturizado



Fonte: elaborada pelas autoras.

O processo de mapeamento UV é necessário para a aplicação de qualquer tipo de imagem como textura. Para este estudo, optou-se por testar a aplicação de ortofotos.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

No modelo de malha TIN obtido pelo método automatizado, foi possível gerar uma geometria com alto nível de detalhes utilizando fotografias aéreas e terrestres no mesmo processamento. No entanto, alguns elementos não tiveram suas formas restituídas adequadamente, como o gradil, que apresenta geometrias pequenas e pouco visíveis nas fotografias. Algumas esquadrias da fachada apresentaram deformações, especialmente nos casos em que havia grande uniformidade de textura. Partes que eram facilmente visíveis nas imagens e que havia maior variação de textura – o telhado, a escada, a calçada e a fachada principal com danos – apresentaram uma formação de geometria mais completa. Apesar das irregularidades, foi possível obter uma representação adequada da edificação através de um modelo fotorrealista, bem como uma nuvem de pontos densa e ortofotos de todas as fachadas.

No método interativo, a junção de diferentes técnicas de modelagem geométrica, combinada à utilização de produtos fotogramétricos como referência, permitiu gerar um modelo detalhado e fidedigno do museu. Foi possível gerar detalhes precisos e obter uma geometria sem irregularidades. No entanto, a interpretação da nuvem de pontos e da geometria dos elementos da edificação nesse método demandou bastante tempo de processamento interativo, o que geralmente ocorre em edificações históricas que apresentam uma maior complexidade geométrica, especialmente em função dos detalhes construtivos, das irregularidades e dos danos existentes. Essas características demandam um maior cuidado na interpretação das nuvens de pontos, para entender melhor a geometria e permitir inclusive diferenciar as irregularidades construtivas reais das deformações devido a problemas na restituição fotogramétrica.

A etapa de texturização através do mapeamento UV também se mostrou trabalhosa, uma vez que foi necessário planificar cada elemento geométrico modelado e associar suas faces à parte correspondente da textura.

Os modelos gerados nos dois métodos apresentaram resultados semelhantes quando visualizados de posições mais distantes. No entanto, a diferença torna-se significativa na medida em que se aproxima deles. O modelo

de malha TIN apresenta falhas em sua geometria, enquanto o modelo gerado pelo método interativo é mais completo e detalhado. No entanto, o modelo de malha TIN apresenta um resultado melhor em relação à textura.

O modelo de malha TIN, com 2 milhões de polígonos, resultou em um arquivo (.obj) maior, com 216 MB, mais o mapa de texturas UV (.png) com 23,4 MB. Ressalta-se que a quantidade de polígonos pode ser reduzida no próprio software de restituição ou em outros programas que permitem a otimização da malha, o que reduziria também o tamanho do arquivo. Já o arquivo (.obj) do modelo gerado pelo método interativo possui 998 mil polígonos com 154 MB, incluindo as texturas vinculadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método automatizado permite a obtenção de um modelo fotorrealista sem a necessidade de modelagem interativa. Embora esse método seja automático e possa resultar em um modelo preciso e fidedigno, a sua qualidade depende fundamentalmente das imagens utilizadas. Diversos fatores podem interferir na qualidade da tomada fotográfica, como geometrias complexas e de difícil acesso para fotografar, condições climáticas, materiais translúcidos e reflexivos, superfícies com textura muito uniforme, elementos que bloqueiem a visão do objeto, equipamentos e configurações utilizadas, posicionamento da tomada fotográfica, entre outros.

Para a obtenção de um modelo detalhado, é necessária a utilização de uma maior quantidade de fotografias, resultando num tempo maior de processamento. O modelo resultante geralmente apresenta (como ocorreu neste estudo) uma alta quantidade de polígonos e uma malha irregular, o que leva à necessidade de otimização para a sua utilização em outras aplicações, como as de processamento em tempo real.

O método interativo, que consiste na modelagem realizada manualmente, resulta em um processo mais demorado, sendo o tempo influenciado significativamente pelas habilidades do modelador no software utilizado. No entanto, é possível obter um modelo completo e sem deformações na geometria.

A depender da complexidade do objeto que está sendo restituído, editar e otimizar um modelo de malha TIN podem resultar num processo muito mais trabalhoso e demorado do que a modelagem interativa. No entanto, o modelo obtido pela técnica DSM apresenta a vantagem de já possuir um mapeamento

de textura UV realizado pelo próprio software de restituição fotogramétrica. Isso é uma grande vantagem, uma vez que a etapa de mapeamento UV pode ser mais complexa e custosa do que a modelagem em si.

Ressalta-se que, para a obtenção de um modelo realista no método interativo, com a utilização de ortofotos como referência na modelagem e aplicação de textura, torna-se necessário realizar todo o fluxo de trabalho do método automatizado para a obtenção dos produtos fotogramétricos.

Por fim, deve-se avaliar qual o melhor fluxo de trabalho a ser seguido em função da finalidade e das aplicações a serem realizadas com o modelo, nível de detalhe pretendido, características do objeto a ser restituído, recursos financeiros e tecnológicos disponíveis, habilidade do(s) operador(es) em utilizar as diferentes técnicas e ferramentas, dentre outras questões.

REFERÊNCIAS

BRITO, J. N.; COELHO, L. *Fotogrametria digital*. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2007.

CHAMPION, E.; RAHAMAN, H. Survey of 3D digital heritage repositories and platforms. *Virtual Archaeology Review*, [s. l.], v. 11, n. 23, p. 1-15, 2020.

GROETELAARS, N. J. *Criação de modelos BIM a partir de “nuvem de pontos”*: estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica. 2015. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

GROETELAARS, N. J. *Um estudo da fotogrametria digital na documentação de formas arquitetônicas urbanas*. 2004. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

LINHARES, G.; GROETELAARS, N. J. Modelagem geométrica do museu Anita Garibaldi a partir de produtos fotogramétricos. In: PATRIMÔNIO 4.0: CONECTANDO DIMENSÕES DA REALIDADE, 1., 2022, Goiânia. *Anais [...]*. Goiânia: UFG, 2022.

LINHARES, G.; GROETELAARS, N. J. Reconstrução digital do patrimônio arquitetônico para ambientes virtuais interativos 3D: estudo de métodos para modelagem geométrica de edificações existentes. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, São Carlos, SP, v. 16, n. 3, p. 61-77, jan. 2021.

LINHARES, G.; GROETELAARS, N. J. Tecnologias digitais para a representação do patrimônio arquitetônico: estudo de métodos para modelagem geométrica. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO E PATRIMÔNIO CULTURAL, 1., 2019, São Carlos, SP. *Anais [...]*. São Carlos, SP: IAU-USP, 2019.

MATEUS, L. M. C. *Contributos para o projecto de conservação, restauro e reabilitação: uma metodologia documental baseada na fotogrametria digital e no varrimento laser 3D terrestres*. 2012. Tese (Doutorado em Arquitectura) – Faculdade de Arquitectura, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2012.

KRÓL, K.; HERNIK, J. *Digital heritage: reflection of our activities*. Krakow: House of the University of Agriculture, 2020. E-book.

KUMAR, A. *Beginning PBR texturing: learn physically based rendering with allegorithmic's substance painter*. Varanasi: Apress, 2020. E-book.

RECONSTRUÇÃO DIGITAL

A materialização em meio digital da herança cultural¹

*Fabiano Mikalauskas de Souza Nogueira
Arivaldo Leão de Amorim*

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, em face dos recorrentes episódios de destruição dos monumentos da herança cultural, tem surgido nos comitês de proteção e salvaguarda da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco) a discussão sobre a reconstrução física desses monumentos. O posicionamento dos órgãos de proteção da herança cultural, apesar de contradizer seus próprios princípios, muitas vezes tem encorajado a reconstrução como forma de posicionamento político e de resiliência para as comunidades locais (Cameron, 2018).

Esse fato parece ser uma das justificativas para a ampla utilização das reconstruções digitais de monumentos e sítios históricos feitas atualmente. Menos polêmico e reversível, o modelo digital tem como objetivo principal

1 Originalmente publicado em: Nogueira; Amorim, 2019.

representar os monumentos, os sítios e/ou artefatos da herança cultural desaparecidos ou em ruínas, “[...] restaurando-os visualmente a um dado momento no tempo [...]” (International Forum of Virtual Archaeology, 2011, p. 3).

Outro fato determinante no uso da reconstrução digital tem a ver com a evolução das tecnologias digitais. Recentemente, com a aplicação das técnicas digitais mais avançadas de coleta de dados – como a varredura a *laser* e o *Dense Stereo Matching* (DSM) – para a produção de modelos de nuvem de pontos, a representação das preexistências históricas, sobretudo as de formas complexas, tem atingido um nível de precisão e de detalhamento até então jamais visto.

As pesquisas recentes nesse campo têm comprovado a eficiência técnica dessas práticas e têm demonstrado a grande demanda da atualidade por esses modelos digitais de reconstrução. Priorizando seu aspecto estético – “[...] o que minimiza os esforços de precisão [...]” (Demetrescu, 2017, p. 102) –, esses modelos digitais de reconstrução estão sendo aplicados em cenários de cinema e jogos eletrônicos, na promoção de locais turísticos, como atrativos “educativos” em museus e sítios arqueológicos e mais recentemente no “jornalismo imersivo”. Enquanto ferramenta científica, pesam sobre estes o rigor científico em sua produção, esforços de precisão e o *status* de “documento histórico”. Tais recursos têm sido comumente utilizados como síntese de projetos de documentação arquitetônica e arqueológica.

Nesse contexto, este capítulo apresenta reflexões e questionamentos teóricos, técnicos, legais e políticos a respeito das reconstruções digitais, surgidas a partir da análise de projetos recentes.

MODELOS DE RECONSTRUÇÃO DIGITAL

É inegável que a principal característica contida dentro de uma reconstrução digital é o de representar o objeto real em sua forma e em seu aspecto (texturas e estado de conservação). Um modelo de reconstrução digital é composto essencialmente por dados geométricos e textura, aparece como uma representação realista e é normalmente utilizado em ilustrações científicas, representações artísticas (cenários de jogos eletrônicos, filmes, *websites* de turismo), apresentação de trabalhos de documentação histórica e narrativas arqueológicas. Demandam por esse tipo de reconstrução digital os museus, as instituições de ensino, a indústria do cinema e de jogos eletrônicos, o meio científico e acadêmico, bem como o *marketing* turístico.

No campo da Ciência da Conservação e Restauro, tem-se incorporado à reconstrução digital uma outra característica: a de modelo digital paramétrico, elaborado em softwares CAD-BIM², podendo ser utilizado para simulações de restauro e gestão de manutenção. Sua composição é feita com elementos construtivos paramétricos (arquitetônicos, estruturais, elétricos, hidráulicos etc.), que contêm informações geométricas e não geométricas. Normalmente é um modelo digital não realista e que visa à operacionalidade, à extração de informações e à constante atualização de dados. O que lhe falta em realismo, sobra em quantidade de informações e interação.

Vale destacar aqui que, desde que a Arqueologia se estruturou como ciência (Leriu, 2001), a publicação escrita ou os documentários em vídeo ou cinema foram as formas adotadas pelos arqueólogos para apresentar seus trabalhos de documentação, suas hipóteses e contar sobre os fatos do passado por eles investigados. A prática dessa “escrita” é conceituada por Joyce (2002, p. 3) como “narrativa arqueológica”.

Com a inserção das ferramentas digitais de coleta de dados e modelagem geométrica no campo da Arqueologia, a síntese dos trabalhos executados pelos arqueólogos tem comumente se apresentado sob a forma de modelos de reconstrução digital.

Esses modelos tendem a ter um aspecto realista, modelados pelos métodos tradicionais e atendem à demanda de publicação impressa (ilustrações) ou digital (multimídia, *website*, animações em documentários). Percebe-se, portanto, que a tecnologia digital incorporada à Arqueologia tem nas reconstruções digitais uma nova forma de narrativa arqueológica.

O uso da tecnologia digital no campo da preservação e conservação da herança cultural tem produzido, segundo Demetrescu (2017), dois tipos de conteúdo digital: 1. modelos baseados na realidade (*reality-based modeling*) obtidos através da captura do mundo real, seja de objetos completos ou fragmentos, através das técnicas de levantamento digital (varredura a *laser*, por exemplo); 2. modelos baseados em fontes documentais (*source-based modeling*) produzidos através de técnicas de computação gráfica, baseadas na interpretação de documentos, na medida em que os objetos reais foram perdidos ou existem parcialmente. Entre os documentos, estão textos, ilustrações e cadastros.

2 Softwares Computer Aided Design e Building Information Modeling (CAD-BIM).

Enquanto o modelo baseado na realidade representa o objeto real em seu estado atual (*as found*), o modelo baseado em fontes representa uma interpretação do objeto real e as hipóteses levantadas na documentação. Dessa forma, os modelos digitais de reconstrução podem ser caracterizados como modelos híbridos, pois podem incorporar evidências e vestígios físicos, combinados com elementos documentais.

Superadas as questões tecnológicas no que tange a equipamentos e software e com a ratificação pelas cartas e recomendações pertinentes à conservação e à documentação da herança cultural, a produção desses modelos digitais tem alcançado um alto nível de realismo.

Levadas para o ambiente digital, questões recorrentes nos trabalhos de conservação e restauro, como as “remoções de adições e reintegração de lacunas”, permitirão uma experimentação diversificada em termos teórico-metodológicos e, o mais importante, não destrutivos. Terão o intuito de “[...] atingir os objetivos da preservação e transmitir o bem cultural da melhor maneira possível ao futuro, respeitando seus aspectos materiais, formais, documentais, pedagógicos, memoriais e simbólicos” (Meneses, 2006, p. 8). Da mesma forma, vale ressaltar a possibilidade da dupla representação a partir de interpretações divergentes de documentos ou evidências, o que se configura como uma grande vantagem em relação à reconstrução física, em que obrigatoriamente é preciso optar por uma das hipóteses.

Apesar do fato de serem uma simulação do real, não exige desses modelos digitais a responsabilidade do *status* de documento científico e histórico e sua utilização como tal (International Forum of Virtual Archaeology, 2011). Dessa forma, os mesmos dilemas teóricos-metodológicos e técnico-operacionais que sempre acompanharam as atuações de restauro em objetos reais são passíveis de investigação nos modelos digitais (Iaonnides *et al.*, 2005), tanto na forma como são produzidos (modelagem) quanto nos modelos em si.

IMPLICAÇÕES TÉCNICAS

As questões técnicas mais relevantes para a discussão neste capítulo se tratam das implicações relativas à produção do modelo digital de reconstrução e como isso tem repercutido nas pesquisas mais recentes.

Enquanto produto da modelagem baseado em fontes (*source-based modeling*), um projeto de reconstrução digital requer dos envolvidos, além do

conhecimento de seu campo de atuação (Arquitetura, História ou Arqueologia, por exemplo), um conhecimento amplo nas ferramentas de modelagem digital, de técnicas de aquisição de dados, processamento e manipulação de nuvem de pontos. Entende-se por conhecimento amplo não só o uso das ferramentas, mas também conhecer seu alcance e suas limitações, além de uma visão crítica sobre os produtos gerados.

Um dos principais atores de um projeto de reconstrução digital é o modelador. A ele, é confiado o papel de utilizar as informações geométricas e não geométricas relativas ao objeto real, interpretá-las e sintetizá-las em um modelo digital ou em versões que representem as diferentes hipóteses (históricas, arqueológicas ou arquitetônicas) levantadas. Já que se trata de um trabalho de interpretação, a *expertise* do modelador influirá no resultado do modelo geométrico, do mesmo modo que ocorre nos trabalhos de documentação, como cadastro ou levantamento. Pois, segundo Oliveira (2008, p. 22), “[...] há que se considerar que, por mais fundamentos teóricos que se obtenham, o resultado leva a uma certa dose de subjetividade [...]”, dependendo do profissional que realizar:

Se fizerem o mesmo levantamento, dois diferentes e experientes profissionais terão muitos pontos em comum na representação, mas darão maior ou menor ênfase em alguns detalhes, em virtude de sua ótica pessoal em entender o monumento e os seus problemas (Oliveira, 2008, p. 23).

Alguns autores e organizações como a The European Centre for Innovation in Virtual Archaeology (INNOVA Center) e a Sociedad Española de Arqueología Virtual (SEAV) evidenciam isso e tratam do assunto propondo a interdisciplinaridade nas equipes de modelagem (International Forum of Virtual Archaeology, 2011) e a necessidade de uma “alfabetização digital e visual” (Kamposiori; Warwick; Mahony, 2018; Watterson, 2015), ampliando assim a crítica sobre os produtos gerados. Dessa forma, espera-se desse profissional uma postura crítica no sentido de minimizar seus conceitos predefinidos ou pontos de vista sobre o objeto ou cultura documentada.

Outra questão que tem sido recorrente, especialmente na reconstrução digital de monumentos em estado de arruinamento, é como lidar com a falta de informação (documentação) que seja suficiente para a produção desses modelos digitais, o que leva o modelador a considerar diferentes probabilidades. Se isso não for cuidadosamente tratado, pode gerar produtos que não

condizem com o rigor científico, podendo levar a um “falso histórico”. Os trabalhos mais recentes que foram pesquisados³ têm tratado dessa questão e as distinções entre evidência e hipótese têm sido claramente demonstradas no modelo digital, através de sistemas de escala de cores que correspondem à evidência histórica ou arqueológica dos elementos representados nos trabalhos de reconstrução digital. Essa escala, com pequena variação entre os trabalhos pesquisados, compreende os seguintes níveis:

- imaginação baseada no contexto histórico e natural;
- conjectura baseada em estruturas similares (arquitetura comparada);
- referência textual simples (apenas indicativa);
- referência textual descritiva (descrição detalhada de dimensões, materiais, cores etc.);
- referência gráfica sumária (representação simples em desenho, pintura ou gravura);
- referência gráfica de pormenor (representação detalhada e objetiva);
- informação arqueológica básica ou plantas simples (esquemáticas);
- forte evidência arqueológica e documental (dados precisos);
- existente (ou parcialmente existente) com modificações;
- existente conforme o original construído.

Outro sistema utilizado para ressaltar as distinções entre evidências e hipóteses é o apresentado por Van Ruymbeke e demais autores (2015, p. 3), que trazem o conceito de versão, “[...] que permite representar múltiplas representações espaciais para o mesmo objeto e consequentemente uma forma de gerenciar a ambiguidade espacial”.

Em virtude das múltiplas interpretações que podem ser produzidas, percebe-se em alguns trabalhos analisados, sobretudo nos que priorizam o aspecto visual nos modelos digitais, a falta de clareza em apresentar quais foram as diretrizes ou decisões tomadas durante a modelagem. Diante disso, surge outra discussão que é a necessidade da transparência dos dados e decisões científicas tomadas (Apollonio; Giovannini, 2015). As principais recomendações

3 Apollonio (2016); Bonde; Coir; Maines (2017); Ortiz-Cordero; León Pastor; Hidalgo Fernández (2018).

da comunidade científica, a Carta de Londres e os Princípios de Sevilha preconizam: “[...] deverá ser documentada e divulgada informação suficiente, de modo a permitir que os métodos e resultados da visualização computadorizada sejam compreendidos e avaliados [...]” (London Charter, 2009, p. 8) e “[...] a incorporação de metadados e paradados é crucial para assegurar a transparência científica de qualquer projeto de arqueologia virtual” (International Forum of Virtual Archaeology, 2011, p. 8). Enquanto os metadados descrevem técnicas observacionais, como configurações de equipamentos, propriedade de dados, hardware e software, o paradado documenta o processo intelectual envolvido em tais práticas (Watterson, 2015) – este é a informação sobre os processos humanos de interpretação e compreensão dos dados.

Em trabalhos de reconstrução digital, os paradados são as descrições armazenadas num conjunto de dados estruturados, mostrando qual foi a evidência do seu uso para interpretar um artefato ou para comentar uma premissa metodológica numa publicação científica. Fica clara a importância dos paradados para garantir a transparência em trabalhos de reconstrução digital, contudo a análise de paradados é uma área de pesquisa ainda pouco explorada no Brasil.

A produção de modelos digitais de reconstrução de monumentos históricos opera com uma grande quantidade de dados e isso também tem sido alvo de discussões nos trabalhos pesquisados. Integrar as informações e dados utilizados – tanto para a produção dos modelos quanto para os registros dos processos dessa modelagem – em um único sistema capaz de ser acessível e facilmente compreendido por todos os envolvidos requer uma “[...] poderosa metodologia capaz de não apenas capturar e reconstruir digitalmente os detalhes geométricos e aparências do objeto real, mas também interpretar sua morfologia para compor representações inteligíveis” (De Luca; Buglio, 2014, p. 36).

Diversos autores (Brusaporci; Maiezza; Tata, 2018; Li *et al.*, 2017; Quattrini; Battini; Mammoli, 2018; Yaagoub *et al.*, 2019; Zhao *et al.*, 2018) têm desenvolvido suas pesquisas utilizando ontologias como uma forma de integrar a semântica na representação digital de artefatos históricos.

Segundo Noor e demais autores (2018, p. 16), na Tecnologia da Informação, “[...] uma ontologia pode ser definida como uma nomeação formal e definição dos tipos, propriedades e inter-relações das entidades que existem real ou fundamentalmente para um domínio particular do discurso”. O conhecimento do domínio da herança cultural é rico e complexo e uma ontologia fornece um meio eficaz para representá-lo (Acierno *et al.*, 2017).

Esses trabalhos, sobretudo as pesquisas de De Luca e Buglio (2014) e Buglio, Lardinois e De Luca (2015), caminham na direção para o desenvolvimento inovador de sistemas de representação (e Tecnologias da Informação) que possam constituir novas ferramentas para investigação e visualização científica, assumindo as dimensões de complexidade e inteligibilidade dentro do mesmo espaço gráfico.

IMPLICAÇÕES TEÓRICAS E ÉTICAS

As tecnologias digitais introduziram a simulação digital no cotidiano, produzindo mudanças no estatuto da experiência e da realidade (Accioly, 2006). A ideia de simulação, “[...] que o senso comum estigmatizava como fingimento ou farsa – exceto na arte e nos jogos –, foi impregnada de uma positividade inédita e ganhou um *status* elevado até mesmo na esfera do saber” (Meneses, 2006, p. 9). Hoje, técnicas de simulação superam largamente outros métodos de aprendizagem, de apoio ao desenvolvimento tecnológico e de produção de conhecimento científico.

Segundo Boccardi e Evers (2018), para todos os benefícios e possibilidades abertas através do desenvolvimento de novas tecnologias e sua aplicação à salvaguarda da herança cultural, surgem questões éticas que justificam uma reflexão e discussão aprofundadas. Como os originais podem ser diferenciados do seu modelo digital na medida em que a tecnologia se torna cada vez mais eficiente?

Segundo Amico e demais autores (2018, p. 120), “[...] as tecnologias digitais no campo da reconstrução digital têm levantado inúmeras questões éticas, como direito e propriedade intelectual, veracidade, originalidade e reprodutibilidade, entre outras [...]”.

Nos trabalhos pesquisados, não se verificaram uma preocupação com o direito e a propriedade dos modelos digitais de reconstrução, tampouco alguma referência sobre os modelos baseados em realidade (*as found*). Contudo, no campo da História e da Museologia, esse é um tema atual, amplamente discutido e polêmico. Dadas as condições que se esperam do modelo digital de reconstrução e de sua ampla utilização e apelos de “identidade nacional”, pode-se vislumbrar, em um futuro não tão distante, polêmicas e processos relativos aos pedidos de “repatriação” desses modelos.

Segundo Amico e demais autores (2018, p. 120), o modelo digital de reconstrução possui uma nova identidade, uma nova biografia:

[...] através da nova identidade do objeto, uma nova biografia é dada: podemos agora introduzir o conceito de 'autenticidade aumentada'. Similarmente à realidade aumentada em que o ambiente virtual é algo mais do que a própria realidade - porque o mundo virtual pode ser enriquecido com dados que no mundo real não existem - as réplicas físicas e digitais representam uma cópia 'aumentada' do objeto real, na qual novas ações podem ser executadas, que de outra forma não seriam possíveis no objeto real.

Sendo assim, o modelo geométrico agrega valor ao seu par físico na medida em que ele oferece outras possibilidades de abordagens e investigações sobre o objeto. No caso das simulações que são possíveis no modelo geométrico, preserva-se o objeto físico e amplia-se a capacidade investigativa sobre ele, revelando-lhe outros aspectos – históricos, morfológicos, topológicos e transformações ocorridas ao longo do tempo.

Nota-se nos trabalhos pesquisados – aqueles notadamente elaborados com maior rigor científico – que a ética na reconstrução digital está conectada com o conceito de “transparência” descrito na Carta de Londres e nos Princípios de Sevilha e no esforço de produção de diferentes versões de modelos digitais de reconstrução, de forma a abarcar todas as hipóteses levantadas na documentação do objeto real.

Mais do que tornar os modelos inteligíveis (Buglio; Lardinois; De Luca, 2015), os projetos que utilizam a modelagem semântica e ontologia têm como premissa na estruturação dos seus dados a transparência (Mallik; Chaudhury, 2017). A ontologia é uma estruturação de conceitos que pertencem a um domínio de conhecimento particular que inclui os significados, a descrição e as relações entre eles, portanto “[...] uma formalização de conteúdo dentro de uma rede lógica que pode ser gerenciada por todos os especialistas envolvidos” (Acierno *et al.*, 2017, p. 125).

Na reconstrução digital assim como no restauro real, o aspecto de autenticidade do objeto (documento) é fundamentado em pesquisas científicas e históricas ((Docci; Maestri, 1994; Jokilehto, 1990; Oliveira, 2008) e diretamente relacionado ao contexto cultural em que se insere, contudo nisso também reside um problema fundamental: a das muitas interpretações possíveis dos dados históricos coletados (Bakker; Meulenberg; Rode, 2003), que é influenciada pela própria noção de valor.

As demandas do capitalismo cultural e de um de seus principais setores econômicos – o turismo – têm sido um dos principais agentes interessados na produção

e na publicação (apresentação) de modelos de reconstrução, priorizando interpretações meramente visuais e institucionalizadas (Alshaikh, 2017). Em muitos casos, essa razão é obviamente mais importante do que qualquer consideração de identidade e multiplicidade cultural, o que reduz a distância entre o que pode ser considerado patrimônio e parques temáticos (Houbart; Dawans, 2011). Desse modo,

[...] ‘refaz-se’ o passado através de uma imagem idealizada, suprimindo suas contradições, chegando-se a extremos da imagem simulada assumir força, em alguns casos excepcionais, a ponto de fazer esquecer sua condição de reprodução e de obliterar o original desaparecido” (Gallo, 2006, p. 115).

Dessa forma, como questionado por Kersten e Bonin (2007, p. 117): “[...] quem deve controlar o significado dos outros?”

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo procurou apresentar as questões mais relevantes do campo da reconstrução digital. A partir das reflexões apresentadas, verificou-se que um projeto de reconstrução digital tem o potencial de ser não apenas uma recuperação visual do objeto real, mas também pode ser utilizado como uma ferramenta científica dentro do campo da Ciência da Conservação e do Restauro.

Com as atualizações constantes e inovações da tecnologia digital nesse campo, o que resta ainda de questões técnicas deverá ser superado em breve espaço de tempo. Entretanto, as questões teóricas merecem ainda uma maior reflexão, levando a um direcionamento no sentido da construção de um código de ética para o campo. Da mesma forma, a digitalização dos monumentos históricos (*reality-based model* e *source-based*) deveria fazer parte de uma política nacional de preservação.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido durante o apoio do Programa Geral de Cooperação Internacional (PGCI), com o programa Probal, resultante da parceria entre Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico (DAAD), no Karlsruher Institut für Technologie, Alemanha, projeto no 88887.144164/2017-00, financiado pela Capes.

REFERÊNCIAS

- ACCIOLY, M. I. A simulação na era da Convergência Digital. *Razón y Palabra*, [s. l.], n. 53, ano 11, 2006. Disponível em: <http://www.razonypalabra.org.mx/>. Acesso em: 12 fev. 2018.
- ACIERNO, M. *et al.* Architectural heritage knowledge modelling: An ontology-based framework for conservation process. *Journal of Cultural Heritage*, [s. l.], v. 24, n. 2, p. 124-133, Apr. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S129620741630262X>. Acesso em: 8 nov. 2019.
- ALSHAIKH, A. B. *The value of authenticity in heritagization: an exploratory case-study on Dubai Historical District (DHD)*. Dubai: Zayed University, 2017. Disponível em: https://www.zu.ac.ae/main/en/library-project-search/_UploadProjects/2016-2017/COM552_AlAnood_Capstone%20II.pdf. Acesso em: 16 nov. 2018.
- AMICO, N. *et al.* Theorizing authenticity–practising reality: the 3D replica of the Kazaphani boat. In: DI FRANCO, P. G.; GALEAZZI F.; VASSALLO V. (ed.). *Authenticity and cultural heritage in the age of 3D digital reproductions*. Cambridge: University of Cambridge, 2018. p. 111-122. Disponível em: https://www.repository.cam.ac.uk/bitstream/handle/1810/279667/Authenticity_chapter9.pdf?sequence=1. Acesso em: 23 maio 2019.
- APOLLONIO, F. I. Classification schemes for visualization of uncertainty in digital hypothetical reconstruction. In: MÜNSTER, S. *et al.* *3D Research Challenges in Cultural Heritage II: how to manage data and knowledge related to interpretative digital 3D reconstructions of cultural heritage*. [S. l.]: Springer Cham, 2016. p. 173-197.
- APOLLONIO, F. I.; GIOVANNINI, E. C. A paradata documentation methodology for the Uncertainty Visualization in digital reconstruction of CH artifacts. *Scientific Research and Information Technology*, [s. l.], v. 5, n. 1, 2015. p. 1-24. Disponível em: <http://www.sciresit.it/article/view/11415>. Acesso em: 20 maio 2019.
- BAKKER, G.; MEULENBERG, F.; RODE, J. Truth and credibility as a double ambition: reconstruction of the built past, experiences and dilemmas. *The Journal of Visualization and Computer Animation*, [s. l.], v. 14, n. 3, 2003. p. 159-167. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/vis.314>. Acesso em: 2 abr. 2019.
- BOCCARDI, G.; EVERS, L. New technologies: the future of reconstruction? *World Heritage Review*, [s. l.], n. 86, 2018, p. 58-61.
- BONDE, S.; COIR, A.; MAINES, C. Construction–Deconstruction–Reconstruction: the digital representation of architectural process at the Abbey of Notre-Dame d’Ourscamp. *Speculum*, [s. l.], v. 92, n. S1, p. 288-320, Oct. 2017.

BRUSAPORCI, S.; MAIEZZA, P.; TATA, A. A framework for architectural heritage HBIM semantization and development. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, [s. l.], v. 42, n. 2, 2018. Disponível em: <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-2/179/2018/isprsarchives-XLII-2-179-2018.pdf>. Acesso em: 5 nov. 2018.

BUGLIO, D. L.; LARDINOIS, V.; DE LUCA, L. What do thirty-one columns say about a “theoretical” thirty-second? *Journal on Computing and Cultural Heritage*, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 6, 2015. Disponível em: <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2700425>. Acesso em: 18 out. 2018.

CAMERON, C. An Interview with Christina Cameron. *World Heritage*, London, n. 86, p. 64-66, 2018.

DE LUCA, L.; BUGLIO, D. L. Geometry vs semantics: open issues on 3D reconstruction of architectural elements. In: IOANNIDES M.; QUAK, E. (ed.). *3D research challenges in cultural heritage: a roadmap in digital heritage preservation*. Berlin: Springer, 2014. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-44630-0_3. Acesso em: 12 mar. 2019.

DEMETRESCU, E. Virtual reconstruction as a scientific tool: the extended matrix and source-based modelling approach. In: CONFERENCE ON DIGITAL ENCOUNTERS WITH CULTURAL HERITAGE, 5.; WORKSHOP ON RESEARCH AND EDUCATION IN URBAN HISTORY IN THE AGE OF DIGITAL LIBRARIES, 1., 2017, Dresden. Proceedings [...]. Dresden: Springer Cham, 2017. p. 102-116. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-76992-9_7. Acesso em: 22 maio 2019.

DOCCI, M.; MAESTRI, D. *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*. Roma: Laterza, 1994.

GALLO, H. Arqueologia, arquitetura e cidade: a preservação entre a identidade e a autenticidade. In: MORI, V. H. et al. (org.). *Patrimônio: atualizando o debate*. São Paulo: IPHAN, 2006. p. 91-116.

HOUBART, C.; DAWANS, S. Identical reconstruction and heritage authenticity. In: INTERNATIONAL FORUM LE VIE DEI MERCANTI, 9., 2011, Capri. *Proceedings* [...]. Italy: SAVE, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Claudine_Houbart/publication/259755749_Identical_Reconstruction_and_Heritage_Authenticity/links/54ec50af0cf2465f532df386.pdf. Acesso em: 8 dez. 2018.

IOANNIDES, M. et al. Standards in cultural heritage: the missing grammar for the digital Documentation of the past. In: CIPA 2005 INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 20., 2005, Torino. *Proceedings* [...]. Torino: ACTA Conferences and Events, 2005.

INTERNATIONAL FORUM OF VIRTUAL ARCHAEOLOGY. *Principles of Seville: international principles of virtual archaeology*. Sevilha: SEAV, 2011. Disponível em: <http://www.arqueologiavirtual.com/carta>. Acesso em: 5 fev. 2019.

- JOKILEHTO, J. I. *A history of architectural conservation*. Brussels: ICCROM, 1990.
- JOYCE, R. A. *et al. The languages of archaeology: dialogue, narrative, and writing*. Oxford: Blackwell, 2002.
- KAMPOSIORI, C.; WARWICK, C.; MAHONY, S. Accessing and using digital libraries in art history. *In: CONFERENCE ON DIGITAL ENCOUNTERS WITH CULTURAL HERITAGE*, 5.; *WORKSHOP ON RESEARCH AND EDUCATION IN URBAN HISTORY IN THE AGE OF DIGITAL LIBRARIES*, 1., 2017, Dresden. *Proceesings [...]*. Dresden: Springer Cham, 2017. p. 83-101. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-76992-9_6. Acesso em: 5 abr. 2019.
- KERSTEN, M. S. A.; BONIN, A. A. Para pensar os museus, ou 'Quem deve controlar a representação do significado dos outros?'. *MUSAS: revista brasileira de museus e museologia*, Rio de Janeiro, n. 3, p. 117-128, 2007. Disponível em: <https://www.museus.gov.br/wp-content/uploads/2011/01/Musas3.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2024.
- LERIOU, N. Constructing an archaeological narrative: the hellenization of Cyprus. *Stanford Journal of Archaeology*, Stanford, n. 1, 2001. Disponível em: <https://web.stanford.edu/dept/archaeology/journal/newdraft/leriou/paper.html>. Acesso em: 15 jun. 2018.
- LI, L. *et al.* Semantic 3D modeling based on CityGML for ancient chinese-style architectural roofs of digital heritage. *International Journal of Geo-Information*, [s. l.], v. 6, n. 5, p. 132, 2017. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2220-9964/6/5/132>. Acesso em: 15 maio 2019.
- LONDON CHARTER for the computer-based visualisation of cultural heritage. [S. l.]. 2009. Disponível em: <https://www.londoncharter.org/index.html>. Acesso em: 10 set. 2017.
- MALLIK, A.; CHAUDHURY, S. Ontology-based narratives of the Girija Kalyana. *In: MALLIK, A. et al. Digital Hampi: preserving indian cultural heritage*. Singapore: Springer, 2017. p. 355-372. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-5738-0_2. Acesso em: 15 nov. 2019.
- MENESES, U. T. B. Cultura política e lugares da memória. *In: SEMINARIO INTERNACIONAL CULTURAS POLÍTICAS, MEMÓRIA E HISTORIOGRAFIA*, 16., 2006, Niterói. *Anais [...]*. Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2006.
- NOGUEIRA, F. M. S.; AMORIM, A. L. Reconstrução digital: a materialização em meio digital da herança cultural. *In: SIMPÓSIO CIENTÍFICO DO ICOMOS BRASIL*, 3., 2019, Belo Horizonte. *Anais [...]*. Belo Horizonte: UFMG, 2019.
- NOOR, S. *et al.* Modeling and representation of built cultural heritage data using semantic web technologies and building information model. *Computational and Mathematical Organization Theory*, [s. l.], v. 25, 2018.
- OLIVEIRA, M. M. *A documentação como ferramenta de preservação da memória: cadastro, fotografia, fotogrametria e arqueologia*. Brasília, DF: IPHAN, 2008.

ORTIZ-CORDERO, R.; LEÓN PASTOR, E.; HIDALGO FERNÁNDEZ, R. E. Proposal for the improvement and modification in the scale of evidence for virtual reconstruction of the cultural heritage: A first approach in the mosque-cathedral and the fluvial landscape of Cordoba. *Journal of Cultural Heritage*, [s. l.], v. 30, p. 10-15, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1296207417303771>. Acesso em: 30 jan. 2024.

QUATTRINI, R.; BATTINI, C.; MAMMOLI, R. HBIM to VR: semantic awareness and data enrichment interoperability for parametric libraries of historical architecture. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, [s. l.], v. 42, n. 2, 2018. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/7320/f29bbced98fff78fb7151c3abf1292fb81df.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2018.

VAN RUYMBEKE, M. *et al.* Towards an archaeological information system: improving the core data model. In: ANNUAL CONFERENCE ON COMPUTER APPLICATIONS AND QUANTITATIVE METHODS IN ARCHAEOLOGY, 42., 2014, Paris. *Proceedings [...]*. Oxford: Archaeopress, 2015. p. 245-253. Disponível em: <https://www.archaeopress.com/Archaeopress/download/9781784911003>. Acesso em: 30 jan. 2024.

WATTERSON, A. Beyond digital dwelling: re-thinking interpretive visualisation in archaeology. *Open Archaeology*, [s. l.], v. 1, n. 1, 2015. Disponível em: <https://www.degruyter.com/view/j/opar.2014.1.issue-1/opar-2015-0006/opar-2015-0006.xml>. Acesso em: 2 fev. 2018.

YAAGOUBI, R. *et al.* SEH-SDB: a semantically enriched historical spatial database for documentation and preservation of monumental heritage based on CityGML. *Applied Geomatics*, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 53-68, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12518-018-0238-y>. Acesso em: 25 set. 2018.

ZHAO, J. *et al.* Mathematical morphology-based generalization of complex 3D Building models incorporating semantic relationships. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, [s. l.], v. 68, p. 95-111, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271612000299>. Acesso em: 13 maio 2019.

CAPÍTULO 17

REALIDADE AUMENTADA E SÍTIOS HISTÓRICOS

Uma revisão sistemática de literatura¹

*Bruna Costacurta Nascimento
Lorena Claudia de Souza Moreira*

INTRODUÇÃO

O tema da Realidade Aumentada (RA) vinculado com a área de Arquitetura tem se tornado cada vez mais expressivo com o passar dos anos por ser, além de um recurso de visualização, um recurso de documentação e preservação do patrimônio histórico. Existem diversas motivações para a reconstrução digital do patrimônio histórico: i. documentação de objetos e edifícios históricos para reconstrução em caso de desastres; ii. criação de recursos educacionais para história e cultura; iii. reconstrução de monumentos históricos que não existem mais ou estão parcialmente destruídos; iv. exploração de cenas de difícil visualização no mundo real; v. aplicação em turismo e exibições virtuais de museu (El-Hakim *et al.*, 2004).

1 Originalmente publicado em: Nascimento e Moreira (2021).

O modo tradicional de documentação – tais como desenhos bidimensionais, mapas e modelos físicos – tem servido como aliado por muito tempo, mas a digitalização de edifícios históricos apresenta uma vantagem significativa: a possibilidade de interação com o patrimônio (Moreira; Amorim, 2012). No estudo de Paladini e demais autores (2019), os resultados observados com visitantes do sítio arqueológico de Bagan mostram que, após a experiência com Realidade Virtual (RV), houve aumento de interesse tanto no objeto de estudo, quanto na importância de conservar o sítio histórico. Em uma experiência semelhante, Condado e demais autores (2019) forneceram aos participantes a oportunidade de avaliar três exposições do Liberty Hall Museum, possibilitando que contribuíssem com os pesquisadores ao analisarem a usabilidade do sistema proposto por eles.

No presente trabalho, há o enfoque no uso da RA aplicada à visualização do patrimônio histórico, tendo como objetivo apresentar os procedimentos e resultados da Revisão Sistemática da Literatura (RSL) envolvendo essa temática. Ademais, foi considerado pertinente relacionar o tema de gestão e manutenção do patrimônio histórico com documentos e normas de órgãos públicos que tratam da área.

CONTEXTUALIZAÇÃO

Uma das consequências mais importantes advindas das tecnologias de digitalização 3D é a possibilidade de usar o computador como um meio de comunicação e disseminação de conhecimento (Garagnani; Manferdini, 2011). Logo, há uma rica variedade de análises, dispositivos de visualização e tipos de rastreamento para a aplicação da RA.

Inserido nesse contexto, tratando-se de experimentos com dispositivos móveis, observa-se o projeto SPIRIT, da Universidade de Ciências Aplicadas Rhein/Main, na Alemanha, e realizado por Winzer e demais autores (2017), no qual os visitantes do Forte Romano de Saalburg foram apresentados a um protótipo de RA e guiados por uma personagem virtual que se referia ao “espírito” de uma moradora da cidade na época da ocupação romana. O referido projeto fez uso de *tablets* e de Sistema de Posicionamento Global (GPS) integrados com reconhecimento de imagem sem marcadores, consequentemente os usuários vivenciaram o Forte Romano de modo interativo, puderam voltar no tempo e serem motivados a conhecer Saalburg.

Seguindo essa mesma linha da metáfora de viagem no tempo e uso de *tablets*, Moreira e Ruschel (2015) fizeram uso da Praça Central da Universidade

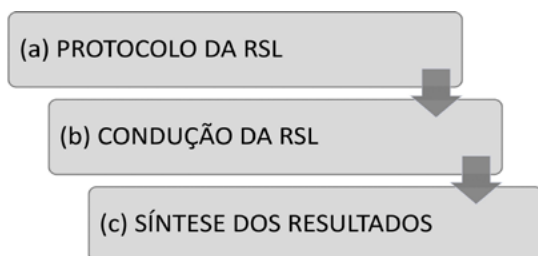
Estadual de Campinas, com o objetivo de informar aos alunos da instituição sobre a história do *campus*. Foram utilizadas imagens sobrepostas em RA do fundador da universidade nos anos 1960 com imagens atuais da praça para fazer um resgate histórico, assim como um vídeo informativo sobre a praça e um panorama 360 desta.

Diante desse cenário, observa-se que há uma atividade intensa na área de reconstrução digital tanto de objetos quanto de monumentos e edificações. Além dos estudos apresentados, as pesquisas e os experimentos que reforçam essas ações de caráter patrimonial foram feitos pelos seguintes pesquisadores: Dall'Asta e demais autores (2016), da Universidade de Parma, na Itália; Dragoni e demais autores (2018), da Universidade Politécnica de Marche, também na Itália; e Münster e demais autores (2017), da Universidade de Würzburg, na Alemanha. No *Dicionário IPHAN de Patrimônio Cultural* (Sotratti, 2021), observa-se que órgãos públicos com esse mesmo caráter de preservação do patrimônio acreditam que a refuncionalização do patrimônio, adjunta à manutenção e à modernização de suas formas originais, possibilitam a inserção de atividades de grande interesse na sociedade contemporânea.

METODOLOGIA

Uma RSL é caracterizada como um meio de identificar, avaliar e interpretar todas as pesquisas relevantes disponíveis acerca de um tema a ser estudado, tópico ou fenômeno de interesse. Para a realização da RSL na presente pesquisa, foram elaboradas três etapas que estão apresentadas na Figura 1.

FIGURA 1 – Processo de desenvolvimento da RSL



Fonte: elaborada pelas autoras.

Na etapa da elaboração do protocolo da RSL, foram estabelecidos os principais parâmetros a serem seguidos nesse processo. Primeiramente, foi determinado o

objetivo da RSL, seguido pelas questões a serem respondidas durante a leitura dos materiais encontrados, áreas de aplicação, bases de dados, idioma dos estudos, tipos de artigos, palavras-chave e, por fim, os critérios de inclusão e exclusão.

O objetivo da RSL foi identificar e analisar pesquisas existentes da tecnologia da RA aplicada à visualização urbana e de centros históricos. A partir desse objetivo, foram desenvolvidas as seguintes perguntas:

- a. Quais são as aplicações de RA utilizadas para a visualização urbana e de centros históricos?
- b. Quais os programas utilizados para modelagem geométrica nas aplicações de RA na visualização urbana e de centros históricos?
- c. Quais são os programas de RA utilizados na visualização urbana e de centros históricos?
- d. Quais as técnicas de rastreamento (*tracking*) utilizadas nas aplicações de RA empregadas na visualização urbana e de centros históricos?
- e. Quais os dispositivos usados nas aplicações de RA empregadas na visualização urbana e de centros históricos?

No que se refere à pergunta A, as áreas de aplicação determinadas foram as de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) e Educação. Também foram identificadas as áreas específicas de aplicação, subdivididas em centro histórico e urbano, bem como atividades específicas de operação, subdivididas em visualização, informação, localização/navegação, aprendizagem e gestão. Na subcategoria de gestão, foi considerada pertinente a procura de documentos e arquivos de órgãos como o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan) e Instituto do Patrimônio Artístico e Cultural da Bahia (Ipac). As bases de dados escolhidas foram Compendex, Scopus e Web of Science, sendo os filtros de idioma e tipo de artigo, respectivamente, inglês, artigos de congresso e periódicos científicos. Quanto às *strings* de busca, fez-se uso das combinações: *augmented reality + urban + heritage*; *augmented reality + historic site*.

Os critérios de inclusão foram: i. trabalhos publicados e disponíveis integralmente em bases de dados científicas; ii. trabalhos publicados entre 2015 e 2019. Quanto aos critérios de exclusão, foram descartados trabalhos com as seguintes características: apresentam essencialmente o algoritmo de aplicação e calibragem de equipamentos; abordam aplicações fora do contexto de AECO; não há disponíveis ou estão incompletos; não há referência à RA ou à RV.

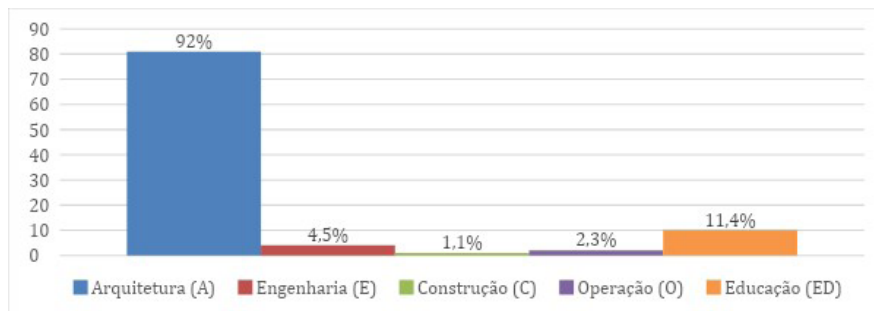
A etapa seguinte foi a de condução da RSL, fase em que ocorreu a listagem dos artigos e a coleta das informações dos estudos sobre o tópico desta pesquisa. O primeiro passo foi realizar buscas nas bases de dados por artigos que se encaixassem nos filtros estabelecidos anteriormente, listando-os por ordem alfabética. Foram encontrados 181 artigos nas três bases de dados escolhidas, mas foi necessária a exclusão de estudos repetidos. Com essa exclusão, restaram 117 artigos para serem lidos de forma analítica e, ao mesmo tempo que era feita essa leitura, eram aplicados os critérios de exclusão e inclusão. Após a aplicação dos critérios, restaram 88 artigos. Para uma maior praticidade no momento da coleta de informações, foram desenvolvidas fichas de controle pelas autoras.

Em seguida, na etapa de síntese dos resultados, os dados coletados nos artigos da fase de condução foram compilados, com a finalidade de resumir e evidenciar o que foi encontrado na leitura analítica. O período de execução da RSL foi de 2 de setembro de 2019 a 5 de novembro de 2019.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para um melhor entendimento das aplicações da amostra analisada, a pergunta A – quais as aplicações de RA são utilizadas para a visualização urbana e de centros históricos? – foi dividida em três categorias: i. Área de Aplicação (AA); ii. Área Específica de Aplicação (AEA); iii. Atividades Específicas de Operação (AEO). Pode-se observar na Figura 2 que a AA de Arquitetura tem dominância nas pesquisas que abordam RA em centros históricos e áreas urbanas, seguida pelas áreas de Educação, Engenharia, Operação e Construção, respectivamente. É necessário pontuar que, durante o processo de análise, um artigo poderia se encaixar em mais de uma das áreas de aplicação, podendo se tratar de uma pesquisa que envolve tanto Arquitetura quanto Educação, por exemplo.

FIGURA 2 – Áreas de aplicação da RA



Fonte: elaborada pelas autoras.

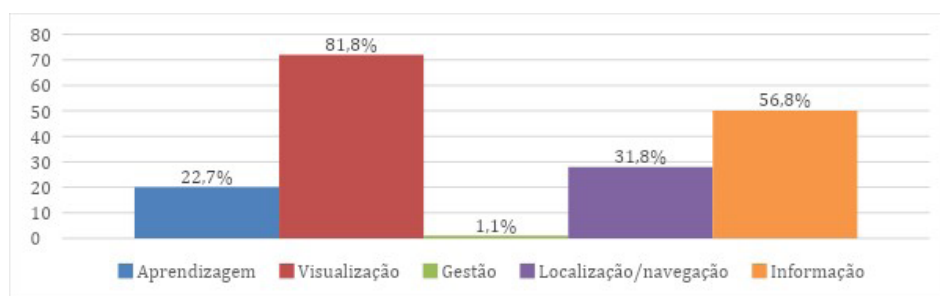
Quanto às AEA, elas foram limitadas a centro histórico e urbano, sendo a de centro histórico maioria nos artigos, presente em 72,7% deles, enquanto a área urbana estava presente em 27,3% da amostra. Na presente pesquisa, o tópico centro histórico também envolveu patrimônios materiais, sítios históricos e itens de museus que estavam presentes nos estudos observados. Essa ressalva surgiu do fato de haver uma gama de objetos de estudo nos artigos, logo viu-se necessidade em aglomerar todos esses objetos em apenas um tópico que envolvesse o tema de herança patrimonial.

As AEO foram subdivididas em cinco subcategorias: visualização, informação, localização/navegação, aprendizagem e gestão. Como no caso das AAs, um mesmo artigo pode envolver mais de uma categoria de AEO, a exemplo do caso de Petrucci e Rossi (2017), da Universidade de Camerino, em Ascoli Piceno, na Itália. Esses autores, em um mesmo estudo, envolveram visualização, localização/navegação e informação. Eles criaram uma plataforma *on-line* chamada Musepick, que permitia aos usuários um acesso remoto em tempo real ao complexo histórico de Annuziata, através de modelos geométricos, imagens 360, mapas e informações históricas do local. Os mapas se adequam à categoria de localização/navegação, enquanto os modelos geométricos e as imagens 360 são inseridos em visualização e as informações históricas pertencem à categoria de mesmo nome.

A subcategoria de aprendizagem se aplica a experimentos com RA que possuem fins educacionais. No âmbito da subcategoria de gestão, foram procurados documentos, normas e procedimentos dos órgãos públicos mencionados anteriormente – Iphan e Ipac – para melhor entendimento de como a RA poderia auxiliar no trabalho de preservação. Verifica-se, de acordo com Tinoco (2013), que projetos de intervenções em edificações históricas são comumente

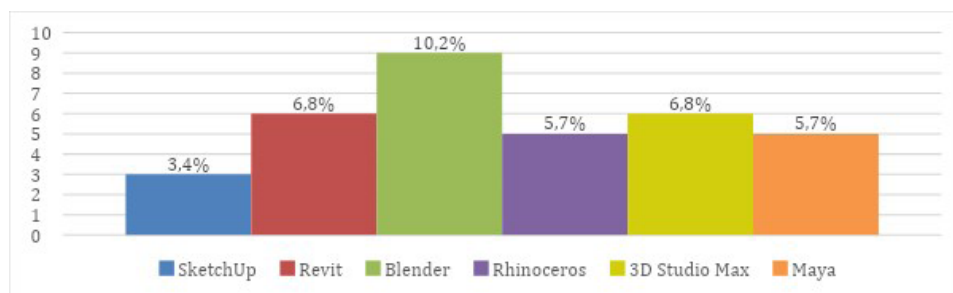
desassociados de propostas que garantam as ações periódicas e contínuas de manutenção do patrimônio histórico, sendo necessárias ações preventivas, corretivas e emergenciais ao longo do tempo. Logo, as construções históricas no Brasil se encontram regularmente em situação de negligência, sendo realizadas tais ações emergenciais apenas para impedir a total deterioração do edifício tombado, sem que ele tenha um uso ou objetivo específico e sem contribuir para a sociedade. A tecnologia da RA se relaciona a esse tema pela documentação dessas construções, pois é uma forma de relatório do estado destas. Durante a RSL, descobriu-se, nesse item de gestão, um grande potencial da RA em diversos usos no patrimônio histórico. Como pode-se observar na Figura 3, a AEO com maior destaque nos estudos é a de visualização.

FIGURA 3 – Atividades Específicas de Operação



Fonte: elaborada pelas autoras.

FIGURA 4 – Programas de modelagem geométrica utilizados nas aplicações de RA na visualização urbana e de centros históricos



Fonte: elaborada pelas autoras.

Quanto aos resultados da pergunta B – quais os programas utilizados para modelagem geométrica nas aplicações de RA na visualização urbana e de centros históricos? –, foram listados seis programas de modelagem geométrica

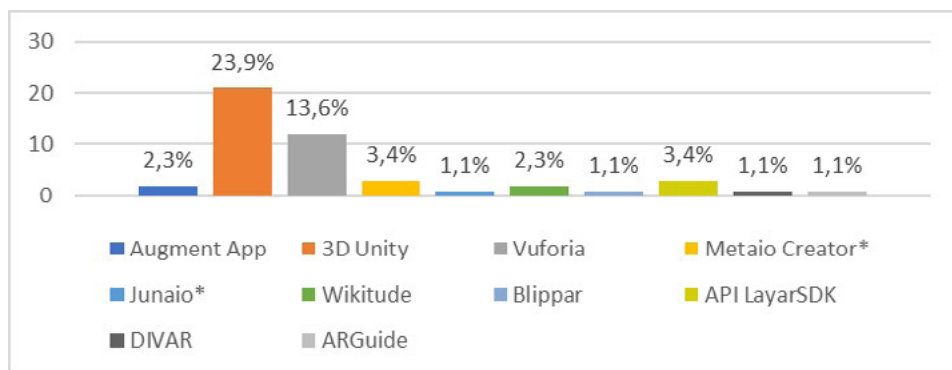
associados às aplicações de RA nos estudos encontrados, como exposto na Figura 4. Os programas Photoshop (2,3%), PhotoScan (11,4%), ReCap (1,1%) e MeshLab (1,1%) foram encontrados na amostra como programas que dão suporte às aplicações de RA, tanto no âmbito de obtenção de dados quanto no de edição de imagens. O Blender, por ser um programa de multiplataformas e de código aberto em que é possível modelar e criar animações, é o programa com maior destaque. Ele é seguido pelo Revit e 3D Studio Max e, por sua vez, o Maya e o Rhinoceros ocupam a terceira posição, estando presentes em 5,7% dos artigos da amostra, enquanto o SketchUp se encontra na última posição com 3,4% dos estudos.

Durante a análise da amostra, percebeu-se uma necessidade de ligação entre as ferramentas de modelagem e os programas de RA, uma vez que, para serem feitas a aplicação e a visualização, tais programas são necessários. O programa de RA mais utilizado em conjunto com os de modelagem, principalmente o Revit, Blender e SketchUp, foi o 3D Unity. A maior parte dos estudos segue uma linha semelhante, em que os dados iniciais dos edifícios ou objetos históricos, objetivando a criação dos modelos geométricos, são comumente adquiridos por *laser scanner* ou Veículo Aéreo Não Tripulado (Vant). Ambos os equipamentos são utilizados para obtenção da nuvem de pontos, seja por meio direto ou por meio da fotogrametria. Os modelos, por sua vez, são elaborados nas ferramentas mencionadas e a visualização é feita com auxílio de programas especializados em RA, como no estudo de Carrión-Ruiz e demais autores (2019), realizado na Universidade de Carlton, Canadá, e na Universidade Politécnica de Valência, Espanha. Foi utilizado como objeto de estudo uma das janelas neogóticas do edifício do parlamento de Ottawa, no Canadá, sendo que as informações para modelagem foram fornecidas através de fotogrametria. O modelo foi desenvolvido no Revit e no Rhinoceros e, por fim, a visualização foi feita através da união do 3D Unity com Vuforia. É importante usar esse estudo também como demonstração que o Revit foi o programa mais utilizado nos artigos da amostra que se referem à Modelagem da Informação da Construção – na sigla em inglês, *Building Information Modeling* (BIM).

Nos resultados da pergunta C – quais são os programas de RA utilizados na visualização urbana e de centros históricos? –, foram identificados sete programas, como exposto na Figura 5, em que a porcentagem não totaliza 100% pelo fato de alguns artigos da amostra não tratarem diretamente de aplicações em RA, mas terem foco em modelagens geométricas ou até em RV. Os programas Junaio e Metaio Creator estão destacados na figura, pois foram

descontinuados pelos fabricantes. Pode-se observar que o 3D Unity é a ferramenta mais utilizada entre os estudos da amostra e infere-se que isso se deve ao fato de a plataforma desenvolver aplicativos próprios, funcionar em associação com diversos outros programas de RA, a exemplo de Wikitude e Vuforia, assim como o Blender.

FIGURA 5 – Programas de modelagem geométrica utilizados nas aplicações de RA na visualização urbana e de centros históricos



Fonte: elaborada pelas autoras.

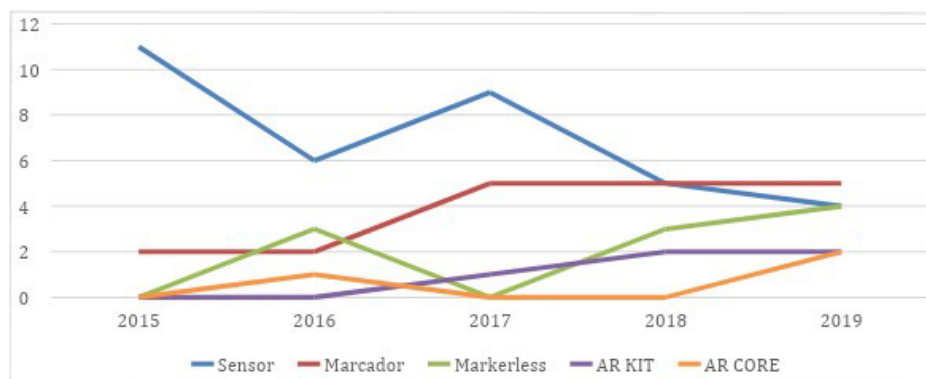
Como mencionado anteriormente, a maioria dos programas de RA encontrados na amostra foi utilizada em conjunto com programas de modelagem, uma vez que, para serem visualizados, os objetos de estudo devem ser desenvolvidos, em alguns casos com aplicação de texturas, número de faces e polígonos reduzidos para maior eficiência da aplicação.

Nos resultados da pergunta D – quais as técnicas de rastreamento (*tracking*) utilizadas nas aplicações de RA empregadas na visualização urbana e de centros históricos? –, foram identificados cinco tipos de técnicas de rastreamento, como exposto na Figura 6. O AR Kit e o AR Core aparecem em destaque na amostra por fazerem parte de algoritmos próprios das plataformas iOS/Android respectivamente. Na categoria sensores, estão incluídas técnicas de rastreamento, tais como GPS e Beacons, justificando o elevado número de artigos que fazem uso desse método na amostra.

Um uso interessante do Beacon foi realizado por participantes voluntários no estudo de Cheng e Chiang (2016). O local de estudo foi a Rua Dihua, em Taipei, Taiwan, onde os Beacons foram posicionados em edificações consideradas importantes para a história do comércio local, e os modelos e informações em

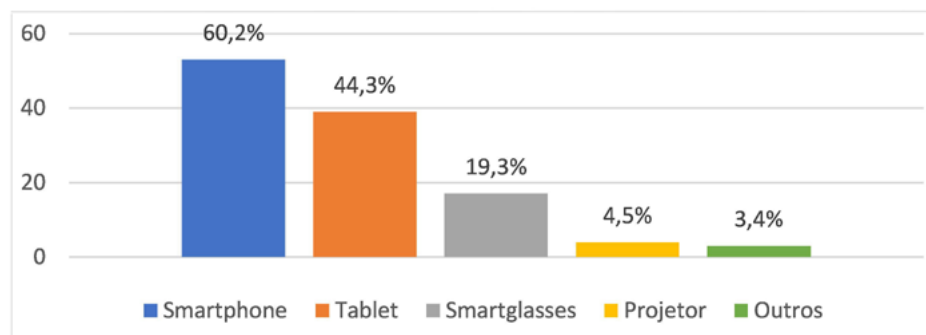
RA foram visualizados através dos smart glasses Moverio. O diferencial do uso do Beacon nesse projeto foi a sua utilização como medidor de interesse do usuário de acordo com a sua distância em relação à construção. Se o usuário se encontra a mais de dez metros da edificação, os smart glasses mostram apenas informações básicas sobre ela, mas caso ele se aproxime aciona um gatilho e o Beacon revela um guia completo da edificação.

FIGURA 6 – Técnicas de rastreamento utilizadas nas aplicações de RA empregadas na visualização urbana e de centros históricos



Fonte: elaborada pelas autoras.

FIGURA 7 – Dispositivos de visualização usados nas aplicações de RA empregadas na visualização urbana e de centros históricos



Fonte: elaborada pelas autoras.

Nos resultados da pergunta E – quais os dispositivos usados nas aplicações de RA empregadas na visualização urbana e de centros históricos? –, foram observados quatro tipos de dispositivos, como exposto na Figura 7. Os *smartphones* e *tablets* ganham destaque por serem, além de dispositivos móveis,

itens mais acessíveis ao uso popular, uma vez que os *smart glasses* ainda possuem um valor elevado se comparados aos demais dispositivos. Foi observado também que a maioria das aplicações com projetores envolve a AEO de aprendizagem, por ser um dispositivo que possibilita a visualização simultânea por várias pessoas.

Além das perguntas elaboradas como parte da metodologia da pesquisa, também foi importante verificar em quais países os estudos foram desenvolvidos, podendo apontar certas regiões como destaque na área de RA e patrimônio histórico. A Itália se apresenta com o maior número de experimentos e estudos, com 23 artigos e representando 26% da amostra. Em seguida, com a mesma quantidade de seis estudos, observam-se Alemanha, Canadá, Espanha, Estados Unidos e Reino Unido. Taiwan e Portugal vêm logo em seguida, com respectivamente 5 e 3 estudos. Austrália, Coreia do Sul e Grécia se encontram na amostra – cada uma com dois artigos. Outros países que apresentam estudos na amostra, com um estudo cada e em alguns casos vinculados com outros países já citados, são Bélgica, Brasil, Chipre, Colômbia, Eslováquia, Filipinas, França, Geórgia, Indonésia, Japão, Letônia, Luxemburgo, Polônia, República Tcheca, Romênia e Turquia.

Como mencionado anteriormente, a síntese dos resultados foi o processo de análise dos dados coletados na fase de condução da RSL demonstrados ao longo do capítulo. Esse processo foi essencial para a pesquisa, pois permitiu acesso à informação de quais dispositivos, programas de modelagem e ferramentas de RA são os mais utilizados na amostra analisada. Uma vez com acesso a essas informações, foi possível uma maior construção de conhecimentos na pesquisa em busca de maior entendimento e preenchimento de lacunas quanto à visualização de centros históricos em RA e, por conseguinte, aproximar-se da preservação patrimonial.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo, inerente a um projeto de pesquisa em andamento, evidenciou os resultados e análises de uma RSL de estudos que têm relação com a visualização de centros históricos em RA. Essa tecnologia tem se mostrado cada vez mais evidente pelo fato de ser um recurso extra de auxílio, documentação e visualização na área de preservação do patrimônio histórico. A amostra constatou nas aplicações a tendência dos estudos de utilizarem o

Blender como principal programa de modelagem, o 3D Unity como programa de RA, o sensor como técnica de rastreamento e o *smartphone* como dispositivo de visualização. No âmbito de locais onde os estudos nessa área são mais explorados, a Europa concentra o maior número de experimentos realizados, sendo a Itália o país com maior evidência. Ademais, foi observado que a área de AECO, a AEA de centro histórico e a AEO de visualização foram as que mais se destacaram. Enquanto isso, a AEO de gestão foi a atividade com menos estudos presentes na amostra, precisando de esforços por ser um campo promissor na preservação do patrimônio histórico.

Diante desse cenário, torna-se necessário reforçar a importância que a aliança existente entre a tecnologia e a preservação do patrimônio histórico e destacar como as diversas tecnologias existentes, a exemplo da RA, atuam na difusão do conhecimento acerca do patrimônio. A tecnologia tem o poder de trazer engajamento para o âmbito patrimonial, uma vez que proporciona diferentes experiências vivenciadas.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (Pibic), da Universidade Federal da Bahia (UFBA), pela bolsa de pesquisa concedida a uma das autoras.

REFERÊNCIAS

- CARRIÓN-RUIZ, B. *et al.* Augmented experience to disseminate Cultural Heritage: House of Commons windows, Parliament Hill National Historic Site (Canada). *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Bergamo, v. 42, n. 2, p. 243-247, Feb. 2019. Trabalho apresentado no evento 8th International Workshop 3D-ARCH: 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 2019, Bergamo. Disponível em: <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLII-2-W9/243/2019/>. Acesso em: 31 jan. 2024.
- CHENG, H., CHIANG, C. The discussion of interactive outdoor guidance and appliance on smart glasses from the aspect of human computer interaction: taking Dihua Street for example. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMAN-COMPUTER INTERACTION, 18., 2016, Toronto. *Proceedings* [...]. Toronto: Springer, 2016. p. 237-247. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-39513-5_22. Acesso em: 31 jan. 2024.

CONDADO, M. *et al.* Integrating historical content with augmented reality in an open environment. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMAN-COMPUTER INTERACTION*, 11., 2019, Orlando. *Proceedings* [...]. Orlando: Springer, 2019. p. 196-205. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-21607-8_15. Acesso em: 31 jan. 2024.

DALL'ASTA, E. *et al.* Photogrammetric techniques for promotion of archaeological heritage: The Archaeological Museum of Parma (Italy). *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Prague, v. 41, n. B5, p. 243-250, 2016. Trabalho apresentado no evento 23rd International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Congress, 2016, Prague. Disponível em: <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLI-B5/243/2016/>. Acesso em: 31 jan. 2024.

DRAGONI, A. F. *et al.* Real scale augmented reality: a novel paradigm for archaeological heritage fruition. *In: INTERNATIONAL AND INTERDISCIPLINARY CONFERENCE ON DIGITAL ENVIRONMENTS FOR EDUCATION, ARTS AND HERITAGE*, 1., 2018, Brixen. *Proceedings* [...]. Brixen: Springer, 2018.

EL-HAKIM, S. F. *et al.* Detailed 3D reconstruction of large-scale heritage sites with integrated techniques. *IEEE computer graphics and applications*, [s. l.], v. 24, n. 3, p. 21-29, 2004.

GARAGNANI, S.; MANFREDINI, A. M. Virtual and augmented reality applications for Cultural Heritage. *In: IBEROAMERICAN CONGRESS OF DIGITAL GRAPHICS – SIGraDi*, 15., 2011, Santa Fé, AR. *Proceedings* [...]. Santa Fé, AR: CuminCAD, 2011.

IPHAN. *Manual interativo de gestão por processos organizacionais*. Brasília, DF: CTEP, 2015. Disponível em: http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Manual_processos.pdf. Acesso em: 1 fev. 2024.

MOREIRA, L. C. S.; AMORIM, A. L. Realidade aumentada e patrimônio cultural: apresentação, tecnologias e aplicações. *In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DOCUMENTAÇÃO DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO COM O USO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS*, 2., 2012, Belém. *Anais* [...]. Belém: LACORE, 2012.

MOREIRA, L. C. S.; RUSCHEL, R. C. Augmented reality promoting time tunnel. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE ASSOCIATION FOR COMPUTER-AIDED ARCHITECTURAL DESIGN RESEARCH IN ASIA*, 20., 2015, Daegu. *Proceedings* [...]. CAADRIA: Hong Kong, 2015.

MÜNSTER, S. *et al.* Urban history in 4 dimensions – supporting research and education. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Ottawa, v. 42, n. 2, 2017. Trabalho apresentado no evento 26th International CIPA Symposium – digital workflows for heritage conservation, 2017, Ottawa.

NASCIMENTO, B. C.; MOREIRA, L. C. S. Augmented reality and historical sites: a systematic literature review. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IBEROAMERICAN SOCIETY OF DIGITAL GRAPHICS*, 25., 2021, Chile. *Proceedings* [S. l.]: CumInCAD, 2021. Disponível em: https://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/sigradi2021_120. Acesso em: 1 fev. 2024.

PALADINI, A. *et al.* Impact of virtual reality experience on accessibility of cultural heritage. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, [s. l.], v. 42, n. W11, p. 929-936, 2019. Trabalho apresentado no evento GEORES 2019 – 2nd International Conference of Geomatics and Restoration, 2019, Milan. Disponível em: <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLII-2-W11/929/2019/>. Acesso em: 1 fev. 2024.

PETRUCCI, E.; ROSSI, D. Musepick: an integrated technological framework to presente the complex of Santissima Annuziata in Ascoli Piceno (Italy). *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, [s. l.], v. 42, n. W1, p. 557-564, 2017. Trabalho apresentado no evento GEOMATICS & RESTORATION – Conservation of Cultural Heritage in the Digital Era, 2017, Florence.

SOTRATTI, M. A. Revitalização. *In: REZENDE, M. B. et al. (org.). Dicionário IPHAN de Patrimônio Cultural*. Brasília, DF: IPHAN, 2015 Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/dicionarioPatrimonioCultural/detalhes/58/revitalizacao>. Acesso em: 15 jul. 2021.

TINOCO, J. E. L. Planos de conservação: do ensino à prática, da academia aos canteiros de obras. Olinda: Centro de Estudos Avançados da Conservação Integrada, 2013.

WINZER, P. *et al.* Learning by imagining history: staged representations in locationbased augmented reality. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GAMES AND LEARNING ALLIANCE*, 6., 2017, Lisbon. *Proceedings* [...]. Lisbon: Springer, 2017.

PARTE FINAL CONCLUSIVA

Esta coletânea comemorativa dos 30 anos do Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD), completados em 2022, instiga projetar qual o porte do desafio do Laboratório para continuar cumprindo o objetivo de oferecer suporte à Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia (FAUFBA) como centro de estudos e pesquisas em tecnologias para a representação, análise e intervenção nos espaços arquitetônico, urbano e geográfico. O Laboratório possui o intuito de cumprir o estabelecido no seu regulamento interno: apoiar cursos e pesquisas e qualificar pesquisadores, profissionais e estudantes na utilização ou na investigação dessas tecnologias nas áreas de análise, planejamento e projeto de Arquitetura e Urbanismo para os próximos anos.

Este foi o convite aos líderes do LCAD, professores Arivaldo Leão de Amorim e Gilberto Corso Pereira: antecipar o Norte para o Laboratório nas próximas décadas, ainda que precisem revolver e retroalimentar seus raciocínios olhando para trás, constatando as grandes transformações vivenciadas nesses 30 anos.

O texto a seguir, correspondente ao capítulo 18 deste livro, traz o pensamento que poderá ajudar a desenhar ou instigar novas pesquisas e ações relevantes e exitosas, permitindo dar continuidade à excelência da contribuição do LCAD na produção de conhecimento e na disseminação do uso das tecnologias digitais para Arquitetura e Urbanismo.

CAPÍTULO 18

TRANSFORMAÇÕES DIGITAIS NA ARQUITETURA E URBANISMO

Um futuro plausível

*Arivaldo Leão de Amorim
Gilberto Corso Pereira*

INTRODUÇÃO

As mudanças tecnológicas em curso afetam os mais diversos aspectos da vida cotidiana. A partir dessa constatação, neste capítulo, as inovações tecnológicas são tratadas não como uma macrotendência dimensional que influencia eventos futuros, mas como metatendências, no sentido que permeiam quase todos os aspectos da vida contemporânea e certamente serão cada vez mais presentes nas próximas décadas.

Da análise da literatura de instituições que investigam as possibilidades futuras (Gaub, 2019; Marcial, 2015; Nações Unidas, 2016; National Intelligence Council, 2021; Shell Global, 2013), pode-se considerar quatro tendências globais que terão impacto sobre as transformações futuras: i. aceleração do desenvolvimento tecnológico com aplicações cada vez mais integradas; ii.

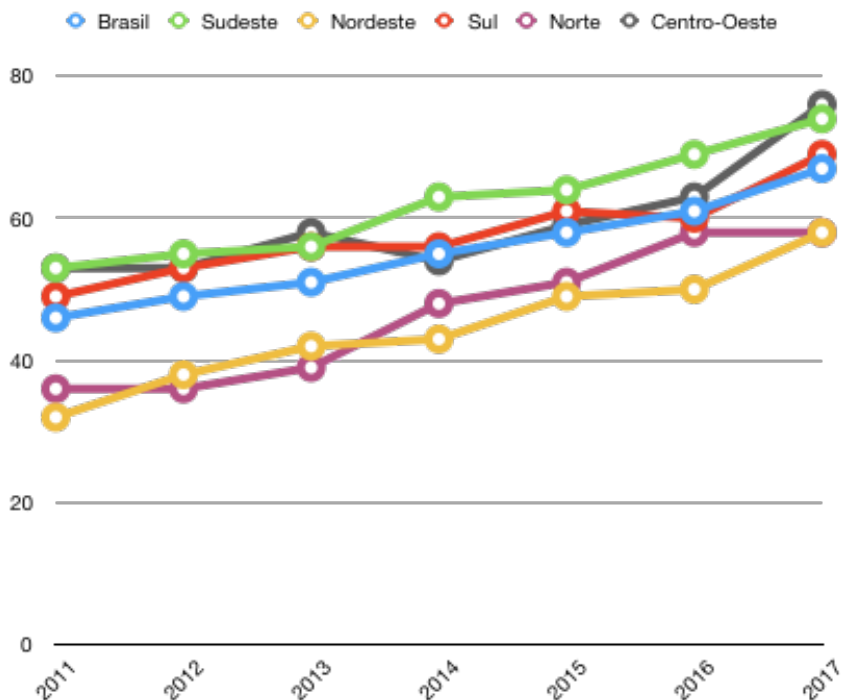
a digitalização (processos, espaços, relações) e o avanço das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) trarão modificações cada vez maiores para a natureza do trabalho, da produção, da educação, da saúde, da mobilidade, da cultura e das relações sociais; iii. haverá grandes investimentos em automação, robótica e inteligência artificial; iv. veremos o desenvolvimento de aplicações em nanotecnologias e biotecnologia.

O desenvolvimento tecnológico ocorre hoje de forma integrada e forçando convergências com diversas disciplinas. A convergência tecnológica amplifica a conectividade com o surgimento de uma gama de produtos e serviços mediada por plataformas digitais e baseada em localização. Existem inúmeros exemplos atuais que ilustram os processos de convergência. Considerando somente as atividades relacionadas com o turismo, setor relevante para Salvador, plataformas de compartilhamento de imóveis, leitos, serviços, viagens, veículos já são hoje disponíveis e desestabilizam as antigas práticas centradas em corporações e regulações definidas em décadas anteriores.

Dados do Comitê Gestor da Internet (CGI) no Brasil mostram o crescimento constante e contínuo da base de usuários de internet no Brasil. A Figura 1 mostra que, embora a Região Nordeste tenha um número de usuários menor que a média brasileira, a região acompanha a tendência consolidada de expansão de usuários. Mostra também que a região brasileira com mais dinamismo econômico – o Sudeste – está bem acima da média brasileira.

É importante considerar que, se as tecnologias digitais não serão tudo que se deve considerar como relevante para o futuro, elas têm, por outro lado, impacto em quase tudo, tornando indispensável desenvolver estratégias para garantir a inserção da metrópole e lidar com os impactos socioeconômicos inevitáveis que resultarão das inovações digitais, incluindo infraestrutura, educação, cultura, serviços e capacitação técnica. Como as novas tecnologias têm um potencial de transformação tão efetivo – em termos positivos ou negativos –, serão necessárias ações e liderança política, pois os usos e as apropriações das TIC, se regulados somente pelo mercado, têm potencial para ampliar as assimetrias locais e regionais.

FIGURA 1 – Crescimento de usuários de internet por regiões brasileiras, 2011-2017



Fonte: Comitê Gestor da Internet (2019).

A própria noção de inclusão digital (e seu reverso exclusão digital), embora ainda válida, é uma visão que tende a ser ultrapassada num futuro cada vez mais próximo, como a Figura 1 demonstra. Por outro lado, o simples acesso à internet não garantirá acesso a todas as potencialidades que a rede oferecerá, tendo em vista que a infraestrutura disponível nas cidades e a velocidade de transmissão de dados provavelmente não serão espacialmente igualitárias se não houver políticas públicas que apontem nessa direção. A implantação das redes 5G, atualmente em curso no Brasil, tem potencial para ampliar as desigualdades se não garantir um acesso universalizado nas áreas metropolitanas.

O termo TIC vem sendo usado por diversos autores para se referirem às tecnologias digitais baseadas em redes de computadores conectados. O termo “tecnologias digitais” será usado neste texto para se referir a tecnologias e inovações além das TIC, pois as inovações, ainda que fortemente ancoradas na conectividade propiciada pelas redes de informação e comunicação, vão muito além disso se considerada a evolução futura num prazo mais

longo, englobando dimensões como inteligência artificial, robótica, automação, nanotecnologias.

Além das transformações nas organizações produtivas, na administração pública e nos serviços, as TIC impactam o cotidiano e a sociabilidade. Em 2050, a população com até 50 anos de idade terá convivido desde o nascimento com a conectividade oferecida por dispositivos de comunicação móveis e por aparelhos que agregam cada vez mais funções seguindo as macrotendências de convergência tecnológicas mencionadas. O acesso às redes digitais será parte integral de atividades cotidianas e ubíquo.

TRANSFORMAÇÕES TECNOLÓGICAS

Estamos próximos da implantação de tecnologia móvel de maior velocidade, as redes 5G, que já estão em uso em diversos países e estão sendo implantadas em meados dos anos 2022 nas metrópoles brasileiras. A situação de Salvador, embora não seja ruim, preocupa por refletir a mesma assimetria que se observa em outros aspectos da infraestrutura urbana, como saneamento e adequação da habitação. Hoje o que se observa é que o acesso a dispositivos móveis aptos a permitir acesso à internet é imprescindível para o habitante da metrópole acessar um conjunto de serviços urbanos cada vez mais amplo – do compartilhamento de bicicletas até acesso a serviços bancários, culturais e de consumo. Em outras palavras, o acesso à rede é cada vez mais o que possibilitará o acesso a serviços, informação, dados, cultura. Considerando que a universalidade do acesso não seja objeto de políticas públicas, mas que o acesso a serviços digitais de banda larga seja somente provido pelos provedores privados atuantes no mercado, podemos crer que amplas parcelas da população da metrópole estarão pobremente integradas a serviços que demandam redes de alta velocidade.

As grandes transformações que a convergência tecnológica trará serão somadas a outras transformações alavancadas pelo envelhecimento populacional e resultarão em mudanças nas formas de trabalho, com grande impacto em uma cidade como Salvador. Quais seriam as formas de adaptação dos trabalhadores a este “novo mundo”? Uma hipótese mais usual é de que os cidadãos devem investir mais tempo, dinheiro, energia em educação. A consequência que parece mais imediata seria o surgimento de uma demanda por novos cursos de atualização ou capacitação profissional, pós-graduações,

especializações, ampliando um mercado já existente e, após a experiência com a pandemia da covid-19, fortemente orientado para ofertas não presenciais. Isso possibilitaria metrópoles como Salvador se posicionarem como um polo de geração de conteúdo ou como consumidor e importador de conteúdos gerados em outros centros.

De modo geral, podemos dizer que aumentará a demanda por novas competências e isso deverá gerar novas ocupações. Se a possibilidade de acesso a novas qualificações não for ampla, os grupos sociais com uma pior formação educacional estarão restritos a trabalhos subvalorizados, à menor renda, além de aumentar a desigualdade na força de trabalho. Por outro lado, os empregos que demandam educação média e oferecem salários médios não devem desaparecer, principalmente trabalhos que não podem ser (totalmente) automatizados, por exemplo, cuidadores de idosos, técnicos de saúde, terapeutas, que serão mais procurados em um mundo cada vez mais envelhecido (Finquelievich *et al.*, 2019).

Os impactos das mudanças tecnológicas não serão iguais em todos os lugares, e a metrópole deve se preparar para as mudanças que foram, de certa forma, aceleradas pela pandemia da covid-19. Alguns pontos estão elencados a seguir:

- i. os níveis de instrução da força de trabalho nas metrópoles brasileiras pressupõem um freio nas possibilidades de adoção de novas tecnologias;
- ii. o baixo custo da mão de obra implica que, para muitas empresas ou projetos, será pouco atrativo substituir essa mão de obra – ainda que pouco qualificada – por inovação tecnológica;
- iii. do mesmo modo resulta pouco atrativo para empresas investirem na qualificação da força de trabalho, pois seria mais simples importar os serviços (ou trabalhadores) de outros centros.

O *ranking* da revista *The Economist* (2018), que analisou 82 países, considerou três categorias para avaliar a preparação dos países para as transformações tecnológicas que podemos considerá-las válidas também para as metrópoles:

- i. o acesso à internet;
- ii. a infraestrutura da economia digital (e-comércio), dos serviços e soluções *on-line* (e- governo) e da segurança na *web*;
- iii. a abertura à inovação, incluindo aqui patentes, investimento em pesquisa e desenvolvimento, infraestrutura de pesquisa e inovação.

Em termos de infraestrutura digital, somos dependentes principalmente de ações de agentes privados, dado que não existe regulação efetiva das redes de alta velocidade privadas e as redes públicas são voltadas ao uso institucional e administrativo, portanto não acessíveis à maioria dos cidadãos. Já as redes móveis, embora tenham uma cobertura razoável, têm áreas de sombra por não serem atrativas para os provedores de serviços de comunicação.

A economia digital – termo que é adotado como uma evolução da denominação “internet economy”, comum nos anos 1990 quando as análises eram centradas na adoção da internet e seus impactos econômicos – hoje se refere às maneiras pelas quais as tecnologias digitais, incluindo serviços, produtos, técnicas e conhecimento estão se difundindo pelas economias. Esse processo é frequentemente referido como digitalização ou transformação digital, enfatizando a referência sobre os modos pelos quais produtos e serviços digitais estão de forma crescente transformando disruptivamente setores tradicionais, como os já mencionados setores de turismo, cultura, transporte, os quais ainda são regulados de forma tradicional na nossa metrópole. O relatório da Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento (Unctad) (2019) sobre economia digital considera que as transformações mais relevantes acontecerão de forma aguda, muito mais pela digitalização dos setores tradicionais do que pela emergência de novos setores digitais, conforme acentuado pelos processos deflagrados pela atual pandemia da covid-19 e suas consequências, a exemplo da necessidade de isolamento social.

Finquelievich e demais autores (2019) consideram que na América Latina enfrentamos limitações tanto de financiamento quanto de capacidade científica e tecnológica para projetar e implementar as mudanças que seriam necessárias. Soma-se a isso um déficit de infraestrutura, como o acesso à banda larga e o enfraquecimento dos sistemas de financiamento de Ciência, Tecnologia e Inovação que foi potencializado pelo Governo Bolsonaro. Embora seja difícil para uma administração local atuar sobre o financiamento de pesquisa e desenvolvimento, ela pode e deve atuar fortemente sobre a oferta e regulação da infraestrutura digital, considerando que, se esse papel for deixado para o mercado, estaremos aprofundando a desigualdade legada pela metrópole do século XX para a metrópole do século XXI.

Outro aspecto que não deve ser ignorado diz respeito aos conjuntos de dados digitais que são produzidos de modo contínuo hoje. A evolução da economia digital se apoia na habilidade de coletar, armazenar, processar, analisar

e usar o grande volume de dados sobre quase qualquer setor ou atividade, produzido por sensores, cidadãos, redes sociais, dispositivos móveis, redes técnicas, em diversas plataformas. O desenvolvimento de políticas sobre o uso desses conjuntos de dados depende basicamente do tipo de dado envolvido: pessoal ou não pessoal; público ou privado; propósitos comerciais ou governamentais; espacial ou não espacial etc. A criação de valor se dá quando o dado é transformado em informação, como – usando novamente exemplos da pandemia da covid-19 – dados de telefonia móvel que são utilizados para monitorar o nível de isolamento social praticado nas grandes cidades.

Numa visão de futuro de prazo um pouco mais longo, parece-nos necessário que as metrópoles futuras se organizem para:

- i. Garantir a oferta de infraestrutura física através de redes cabeadas de alta velocidade e, no futuro próximo, de redes de dados móveis de alta velocidade para seus cidadãos não só através da oferta por fornecedores privados, mas através da regulação e coordenação estatal;
- ii. Criar vantagens ou incentivos para o desenvolvimento de plataformas digitais de raízes locais, considerando que o conhecimento local (hábitos, cultura, instrução, condições de mobilidade) pode dar uma vantagem a serviços customizados para usuários locais;
- iii. Criar ou incrementar instituições e redes de pesquisa e desenvolvimento capacitadas a refinarem o uso de dados digitais, transformando estes em informação e conhecimento sobre a cidade, a população, os negócios, as transações, o transportes, a saúde, o consumo e tantos outros campos de aplicação públicos e privados;
- iv. Garantir arcabouço regulatório que forneça privacidade para os cidadãos e segurança para os conjuntos de dados, que poderão ser disponibilizados na forma de dados abertos nos sistemas de informações públicos;
- v. Considerar formas de taxar a produção de dados locais que são apropriados por plataformas globais, assunto que está na pauta de discussões internacionais (Unctad, 2019), mas que deve também ser considerado localmente.

DADOS E PLANEJAMENTO

As cidades são organizações complexas, por isso planejar e gerir o seu crescimento envolvem necessariamente uma série de conhecimentos diversos e uso de processos e ferramentas sofisticadas. A ideia de planejar o crescimento ou evolução de uma cidade pressupõe a possibilidade de aprender a antecipar e evitar problemas associados ao seu desenvolvimento. Também exige conhecer as necessidades e exigências de instalações ou serviços públicos – habitação, transporte, saneamento, infraestrutura, legislação, energia, comunicações – e as formas de minimizar ou corrigir essas deficiências. Em um mundo cada vez mais urbanizado, a complexidade de variáveis que influenciam a análise a ser feita aumenta à medida que a sociedade urbana se diversifica.

Sennet (2006) constata que as cidades em que desejamos viver deveriam ser limpas, seguras, oferecer serviços públicos eficientes, ter suporte numa economia dinâmica e em um ambiente cultural estimulante. Além dessas características, as cidades deveriam tentar superar as divisões sociais, de classe e raça. A constatação desanimadora é que estas não são as cidades em que vivemos. Ao contrário, as cidades brasileiras vêm se caracterizando por problemas de mobilidade, segurança pública, infraestrutura deficiente e moradia inadequada.

Existem algumas técnicas para diminuir a incerteza sobre as mudanças futuras, projeções ou previsões permitem prever um específico estado do futuro em um dado campo do conhecimento. Projeções da evolução demográfica, por exemplo, permitem estimar a população futura dos centros urbanos, levando em conta dados sobre o crescimento vegetativo da população e estimando movimentos migratórios. Técnicas baseadas em construção de cenários, por sua vez, possibilitam a elaboração de um conjunto de possíveis – ou mesmo improváveis ou extremas – mudanças futuras, especulando “[...] o que poderia acontecer se...” (Lange, 2008), ou seja, manipulando parâmetros e variáveis.

O planejamento urbano é um instrumento sofisticado de poder político porque determina como os moradores da cidade podem ocupar o espaço para decidir quais atividades podem acontecer (e o que não pode) em determinadas áreas. Uma das questões chave para o urbanismo é o fato de que a necessidade de intervenção no espaço urbano transformará o uso e a apropriação desse espaço, levando geralmente a uma apropriação diferenciada do valor

produzido pela intervenção ou à alteração de valor do próprio espaço que será causada pela mudança no seu uso.

Qualquer decisão de planejamento urbano determina, em última instância, quem entre os habitantes terá vantagens ou desvantagens. As consequências são distribuídas de forma assimétrica, porque em uma cidade capitalista geralmente uma produção socializada do espaço permite uma apropriação privada do valor gerado. Por essa razão, não é de surpreender que a participação da sociedade nos processos de planejamento mais avançados seja centrada nas propostas e nos planos de intervenção, procurando influenciar todos os passos do processo de tomada de decisão de qualquer natureza, exigindo amplo acesso a informações sobre operações, planos ou lugares. O Estatuto da Cidade formalizou já em 2001 a necessidade de participação nos processos de planejamento.

A análise espacial urbana executada para fins de planejamento urbano trabalha com um grande volume de dados que, no caso de grandes cidades, apenas computadores podem manipular eficientemente. Os dados digitais são a necessidade básica para a criação de representações digitais. As tecnologias digitais possibilitam tanto a leitura e análise das realidades urbanas quanto a sua comunicação entre os vários atores sociais – cidadãos, organizações, empresas –, permitindo o acesso e uso da informação (Pereira; Silva, 2001).

Hoje existe um conjunto de tecnologias disponíveis para processar uma grande quantidade de informações sobre a cidade provenientes do processamento de dados tanto de atividades humanas quanto de sistemas automatizados. Ao permitir a interação do usuário com representações do ambiente físico e a ampla troca de informações entre eles, as TIC proporcionam envolvimento dos indivíduos em atividades participativas através da internet, a exemplo do mapeamento colaborativo e *crowdsourcing*, do uso de aplicativos de redes geográficas e sociais em dispositivos móveis, das aplicações de realidade aumentada, dentre outros (Pereira; Rocha, 2012).

A representação do espaço é o conceito chave para o entendimento dos usos sociais das tecnologias associadas à manipulação, à apresentação, ao armazenamento e à manutenção da informação geográfica. A informação é apreendida por meio de uma representação que apresenta o “mundo real” e pode ser interpretada. A construção de representações que substituem e simplificam a realidade é usual nas artes e ciências. A representação, no caso do Urbanismo, é frequentemente uma idealização de uma realidade existente (ou

futura, no caso de um projeto) na qual podemos retirar as imperfeições e restrições do mundo real, não esquecendo que as representações servem como uma forma de simplificar o nosso olhar do mundo.

Na Geografia, as nossas representações visam construir uma descrição do mundo e dos territórios. A Cartografia desde o seu início teve fundamentalmente duas funções: garantir a guarda de informações geográficas para fins políticos (fronteiras), militares (guerra), transporte (navegação) ou cadastrais (propriedade); fornecer uma forma de entendimento do mundo e do ambiente que nos cerca. No Urbanismo ou Planejamento Urbano, a Cartografia ou o uso de modelos e outras formas de representação espacial são também uma forma de propor, analisar e apresentar formas de organização do espaço ou de imaginar o futuro.

O uso de modelos para representar a cidade e seus processos não é novo, de fato é algo já bem conhecido. Em 1965, Lowry afirmou que o então crescente entusiasmo com a utilização de modelos computacionais de apoio ao planejamento e à gestão urbana era mais baseado na maior sofisticação dos profissionais de planejamento e sua consciência da inadequação de técnicas tradicionais do que na comprovada adequação de tais modelos (Lowry, 1965). Lowry classificou os modelos em ordem de dificuldade no seu desenvolvimento: modelos descritivos, preditivos ou de planejamento.

Modelos de cidades podem ser limitados a representar os objetos que existem em cidades e suas relações topográficas. Nesse caso, temos uma representação descritiva e icônica da realidade, com modelos focados em construir uma representação geométrica. Eles também podem representar interações sociais e/ou econômicas como modelos simbólicos que podem ser descritivos, preditivos ou prescritivos. Modelos desse tipo poderão ser dinâmicos ou modelos de simulação de eventos.

A criação de representações que descrevem o mundo físico é algo que os arquitetos e engenheiros fazem rotineiramente, são representações de realidades existentes – cadastros – ou realidades futuras – planos ou projetos. Nas Ciências Sociais o uso de modelos como abstração da realidade também tem uma grande tradição. Pode-se dizer que os primeiros modelos destinados à compreensão da estrutura urbana são os da Escola de Ecologia Social de Chicago que resultaram em modelos desenvolvidos nos anos 1920. Com métodos e resultados diversos, os autores da Escola de Chicago representaram os princípios da estruturação urbana de cidades americanas até meados do século XX.

Existem disponíveis hoje técnicas de modelagem computacional paramétrica que podem simular crescimento e expansão das cidades, tais como autômatos celulares, modelos bidimensionais baseados em estruturas matriciais. Essas técnicas de modelagem trazem possibilidades a serem exploradas, mas também limitações a serem estudadas (Santè *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2013).

Sassen (2001) levanta a questão de que as representações topográficas, ou seja, representações da realidade física não conseguem captar a essência das relações econômicas, políticas e culturais da cidade contemporânea. A simples distinção de categorias convencionais – físico x digital – não responde ao que acontece na sociedade de hoje. Voltando à classificação de Lowry (1965), o modelo descritivo, se for utilizado para a análise de processos sociais urbanos, teria que incorporar novas formas de representação, além da semelhança com a realidade que um modelo de cidade digital icônico pode oferecer. Representações digitais com base na descrição geométrica dos aspectos físicos das cidades têm uma enorme importância para um grande número de atividades de Planejamento, Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, mas não conseguem capturar aspectos importantes da vida cotidiana e o surgimento de novos tipos de espaço público.

Em 1995, William Mitchell imaginou Arquitetura e Urbanismo nesse novo contexto que aponta para a revolução das telecomunicações digitais, a miniaturização de dispositivos eletrônicos, a “mercantilização” de *bits* e a predominância crescente do software sobre formas materializadas, vendo o surgimento de cidades ainda invisíveis. E se perguntou: por que isso importa? A resposta é que importa porque as estruturas cívicas emergentes e os arranjos espaciais da era digital afetam o acesso a oportunidades econômicas e serviços públicos, o caráter do discurso público, as formas de atividade cultural, a instituição do poder e as experiências que dão forma e conteúdo às nossas rotinas cotidianas (Mitchell, 2000).

Espaços públicos urbanos sempre foram lugares de movimento e atividades de vários tipos e, conectados por estruturas de transporte, possibilitaram a mobilidade dos cidadãos – as ruas, avenidas, praças, passagens ligando mercados, casas, escritórios. A evolução dos sistemas de transporte urbano permitiu a expansão das cidades horizontalmente chegando até à dispersão que nós experimentamos hoje. Na cultura digital, a distância é medida de forma diferente. O acesso a espaços digitais onde ocorrem as transações, interações sociais e políticas, atividades acadêmicas e culturais é medida em cliques. Se

alguns dos conceitos chave das teorias dominantes sobre a economia global sugerem que o lugar não importa mais, Sassen (2001) observa que o espaço público das cidades acomoda uma grande variedade de atividades políticas, muitas delas visíveis nas ruas. Tal visibilidade é amplificada pelos meios de comunicação digitais que circulam em redes locais e globais.

As representações tradicionais de aspectos sociais e demográficos nas cidades são baseadas na agregação de pessoas ou famílias em áreas definidas e uniformemente representadas (setores censitários, por exemplo) ou no endereço físico de indivíduos como os existentes nos bancos de dados comerciais. Um exemplo desse último caso é o de bancos de dados das operadoras de cartão de crédito ou lojas de varejo, que registram o endereço físico do consumidor e das lojas onde e quando foi consumida a mercadoria ou serviços. No primeiro caso, das aplicações baseadas em geodemografia, a geometria básica associada com a representação social é uma área, enquanto no segundo, que lida com universos mais restritos, o tratamento é pontual (endereço postal, por exemplo). Nos dois casos, é uma representação topográfica que fornece a base para a representação social.

Embora essa forma de tratamento de dados e informações mantenha a sua relevância, as redes sociais digitais contemporâneas começam a desempenhar um papel estrutural na sociedade. Isso traz novos desafios para a construção de representações espaciais da sociedade e de suas relações, com implicações nas áreas que trabalham com dados geodemográficos (Singleton; Longley, 2009) – dentre essas atividades, as de planejamento e gestão urbana. Afinal, para o planejamento urbano, é necessário gerenciar e entender o “fixo” – estrutura e infraestrutura física – e os “fluxos” – mobilidade, transporte e agora acrescentamos também a adição de fluxos de conteúdo digital.

Modelos e técnicas de análise de redes podem ajudar a entender a metrópole futura. Técnicas como as de *spatial syntax* ou análise de grafos trazem novas perspectivas para o estudo de processos de segregação socioespacial (Vaughan, 2007) ou de mobilidade intraurbana (Pereira; Silva; Carvalho, 2017).

Apesar das implicações que esse novo contexto cultural e tecnológico traz para o ambiente construído, os arquitetos e urbanistas não estão muito presentes no debate. As implicações dessas mudanças – que são ao mesmo tempo culturais e tecnológicas, restaurando aqui o velho argumento de McLuhan, “o meio é a mensagem” – devem ser consideradas nas práticas atuais de planejamento urbano e urbanismo. As previsões que apontavam para a irrelevância do senso de localização geográfica, com o espaço geográfico substituído pelo

ciberespaço, e a dicotomia entre o virtual/digital x real/físico foram superadas pela sobreposição ou convergência entre ambientes físicos e digitais.

As atividades de planejamento ainda têm que lidar com a estrutura e infraestrutura física das cidades. Espaços públicos, praças, ruas, espaços privados, a mobilidade, a densidade, a segregação, a regulamentação do uso da terra continuam a ser relevantes para a gestão e exploração da cidade, mas é necessário adicionar novas ferramentas que podem mostrar e gerir os fluxos de informação, conectando negócios, governamentais e não governamentais e, especialmente, os cidadãos. Estes, a partir dessas possibilidades culturais e tecnológicas, podem atuar politicamente e influenciar o modo de pensar e agir sobre essas estruturas físicas e digitais.

REFERÊNCIAS

COMITÊ GESTOR DA INTERNET NO BRASIL. *Pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação nos domicílios brasileiros: TIC domicílios 2018*. São Paulo: CGI.br, 2019. Disponível em: <https://cgi.br/publicacao/pesquisa-sobre-ouso-das-tecnologias-de-informacao-e-comunicacao-nos-domicilios-brasileiros-ticdomicilios-2018/>. Acesso em: jun. 2020.

FINQUELIEVICH, S. *et al.* (org.). *El futuro ya no es lo que era*. Buenos Aires: Instituto de Investigaciones Gino Germani, 2019.

GAUB, F. *Global trends to 2030: challenges and choices for Europe*. [S. l.]: ESPAS – EU, 2019.

LANGE, E. Perceiving and visualizing changing environments. In: THIERSTEIN, A.; FÖRSTER, A. *The image and the region: making mega-city regions visible!* Baden: Lars Müller, 2008.

LOWRY, I. S. A short course in model design. *Journal of the American Institute of Planners*, [s. l.], v. 31, n. 2, p. 158-166, 1956.

MARCIAL, E. C. (org.). *Megatendências mundiais 2030: o que entidades e personalidades internacionais pensam sobre o futuro do mundo?: contribuição para um debate de longo prazo para o Brasil*. Brasília, DF: Ipea, 2015.

MITCHELL, W. J. *City of bits: space, place, and the infobahn*. 7. ed. Cambridge: MIT Press, 2000.

NAÇÕES UNIDAS. Comissão Econômica Para a América Latina. *Horizontes 2030: a igualdade no centro do desenvolvimento sustentável*. Santiago: CEPAL, 2016.

NATIONAL INTELLIGENCE COUNCIL. *Global Trends 2040: a more contested world*. [S. l.]: NIC, 2021. Disponível em: <http://www.dni.gov/nic/globaltrends>. Acesso em: 10 mar. 2021.

- PEREIRA, G. C.; ROCHA, M. C. F. Spatial representations and urban planning. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATICS AND URBAN AND REGIONAL PLANNING, 7., 2012, Cagliari. *Proceedings* [...]. Roma: FrancoAngeli, 2012.
- PEREIRA, G. C.; SILVA, B. C. Geoprocessamento e urbanismo. In: GERARDI, L. H. O.; MENDES, I. A. *Teoria, técnicas, espaços e atividades: temas de Geografia contemporânea*. Rio Claro, SP: AGETEO, 2001, p. 97-137.
- PEREIRA, G. C.; SILVA, S. B. M.; CARVALHO, I. M. M. *Salvador no século XXI: transformações demográficas, sociais, urbanas e metropolitanas – cenários e desafios*. Salvador: Letra Capital, 2017.
- SANTÉ, I. *et al.* Cellular automata models for the simulation of real-world urban processes: a review and analysis. *Landscape and Urban Planning*, [s. l.], v. 96, n. 2, p. 108-122, 2010.
- SASSEN, S. The city: between topographic representation and spatialized power projects. *Art Journal*, [s. l.], v. 60, n. 2, p. 12-20, 2001.
- SENNET, R. The open city. *Urban Age*, Berlin, Nov. 2006.
- SHELL GLOBAL. New lens scenarios: a shift perspective for a world in transition. Shell Global, [s. l.], 2013. Disponível em: <https://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/scenarios/what-are-the-previous-shell-scenarios/new-lenses-on-the-future.html>. Acesso em: 1 fev. 2024.
- SINGLETON, A.; LONGLEY, P. Virtual geodemographics: repositioning area classification for online and offline spaces. *UCL Working Papers Series*, London, v. 147, Apr. 2009. Disponível em: <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/15204/>. Acesso em: 2 fev. 2024.
- THE ECONOMIST INTELLIGENCE UNIT. Preparing for disruption: technological readiness ranking. *EIU*, [s. l.], 2018. Disponível em: https://www.eiu.com/public/topical_report.aspx?campaignid=TechReadiness. Acesso em: 19 ago. 2022.
- UNCTAD. *Digital economy report 2019: value creation and capture: implications for developing countries*. New York: United Nations Publications, 2019. Disponível em: https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/der2019_en.pdf. Acesso em: 10 jun. 2020.
- VAUGHAN, L. The spatial syntax of urban segregation. *Progress in Planning*, [s. l.], v. 67, n. 3, p. 205-294, 2007.
- WANG, H. *et al.* Simulating urban expansion using a cloud-based cellular automata model: A case study of Jiangxia, Wuhan, China. *Landscape and Urban Planning*, [s. l.], v. 110, p. 99-112, Feb. 2013.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

*Maria das Graças Borja Gondim dos Santos Pereira
Natalie Johanna Groetelaars*

O recorte que esta coletânea faz na produção acadêmica dos pesquisadores do Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD) traduz os campos de interesse desses profissionais, representativo dos últimos seis anos. Há outras temáticas trabalhadas no LCAD, mas não representadas aqui, por exemplo: as aplicações das tecnologias digitais para a gestão urbana, seja no planejamento ou na comunicação entre sociedade e gestores, seja nos recursos orientativos para o enfrentamento de eventos climáticos extremos e outras situações de risco; a utilização de dados de *crowdsourcing*; as novas metodologias que possibilitam leituras aprofundadas do ambiente natural e construído; outros programas que seguem sendo revelados com a impregnação das tecnologias digitais aplicadas ao desenho, à gestão urbano-ambiental, ao planejamento e ao projeto de Arquitetura e Urbanismo, à Engenharia de Edificações e a Infraestruturas Urbanas em Rede, Viária e de Transportes.

As transformações expressas na evolução dos conceitos de cidade traduzem a contínua e aprofundada impregnação das tecnologias digitais na vida urbana. Conceitos de cidades compactas e/ou de urbanização difusa

apresentam grandes desafios em função da complexidade que atingiram pelas seguintes razões: o crescimento de áreas informais/precárias, a mobilidade crítica e a exclusão territorial, a relação ambiente natural e construído, a dificuldade para gestão dos recursos, o desperdício nos sistemas urbanos, a violência, entre outras. A análise e compreensão dessa complexidade a fim de encaminhar soluções dependem cada vez mais do processamento de informações de volumes elevados de dados, de informações georreferenciadas, de leituras geoambientais e do uso de demais recursos tecnológicos de representação espacial.

A instrumentalização da cidade com recursos de tecnologia digital para conhecer melhor os usos que a população faz, a identificação de problemas e tipos de remediação vêm favorecendo a conceitos inovadores como a *smart city* e *digital city*, com interação ampliada do cidadão com a cidade. Quando a dimensão ambiental passa a ser priorizada, a cidade é percebida como um sistema socioecológico. Com a proeminência da ecologia urbana, chega-se ao urbanismo inteligente, atualizado como cidades inteligentes, conceito que agrega tecnologias digitais, sustentabilidade e resiliência, com instrumentalização direcionada para monitoramento e gestão dos requisitos de sustentabilidade, controle da operação dos sistemas de infraestrutura, medições de *inputs* e *outputs* (emissões e efluentes).

A depuração e operacionalização dessas novas conceitualizações das cidades fazem parte do material para aprofundamento que o LCAD pode conduzir. Teses e dissertações – de formações de origem diversas – vão ampliando o escopo e delineando um campo de pesquisa de caráter interdisciplinar que já se configura no Laboratório.

Focalizando a Arquitetura, os estudos e as pesquisas já mostraram as diversas possibilidades do uso da modelagem paramétrica, geração automatizada de desenhos, fabricação digital e diferentes recursos para visualização tridimensional, facilitando a geração de diversas alternativas de projetos e simulações, além de viabilizar a concepção, a representação e a fabricação de formas mais complexas. Os ganhos na otimização dos processos de projeto, construção e gerenciamento das informações relativas às edificações em Modelagem da Informação da Construção – na sigla em inglês, *Building Information Modeling (BIM)* – já situam o uso dessa tecnologia como um requisito exigido pelo mercado, de fundamental importância para a produção arquitetônica atual.

Em outra direção, efeitos adversos são constatados nas relações de mercado da produção arquitetônica. Por meio das tecnologias digitais, projetos arquitetônicos – principalmente os habitacionais – são reproduzidos em massa, acessíveis em plataformas privadas, com requintes de customização, uma situação que potencialmente solapa o mercado de projetos, tal como experimentado tradicionalmente. A comercialização e a customização de projetos padrão se constituem em questão estratégica sobre a função exercida pelo arquiteto, a ser melhor situada, tanto em relação à formação do profissional quanto à inserção do profissional no mercado de trabalho. A desigualdade de acesso aos serviços de arquitetura por grande parte da população e o modo como as tecnologias digitais vão ser acionadas para colaborar com o maior alcance dos serviços de arquitetura, sem prejuízo para o profissional, passam a ser pautas de discussão atual que tem as tecnologias digitais na centralidade da questão.

De modo geral, como disse Batty (2017, *apud* Jarret, 2020), “[...] o papel dos computadores no design, controle e transformação da vida pública [e do espaço] é progressivamente dominante, sua presença pervasiva e sua relação com as pessoas é caracterizada por uma complexidade crescente”. Condição essa que resulta em interações complexas de pessoas, lugares e dados e na formação da *digital city*, *smart buildings* e *intelligent urbanism*, como reitera Jarret (2020).

Ante a tantas novas perspectivas, entende-se a importância do LCAD nesse contexto de contínua transformação, de necessidade de atualização e incorporação de novas metodologias de trabalho para uso efetivo e eficaz das tecnologias digitais no campo da Arquitetura e do Urbanismo. Nesse sentido, destaca-se o papel dos pesquisadores do Laboratório no suporte às ações de ensino, pesquisa e extensão visando à formação de estudantes e profissionais conectados, habilitados a atuar não somente localmente, mas também em outros ambientes do Brasil e exterior.

Entende-se que este livro pode, de imediato, contribuir como material para repensar o papel das tecnologias digitais no ensino da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia (FAUFBA), introduzindo fortemente a transformação digital e seus efeitos na reconfiguração das temáticas na Arquitetura e no Urbanismo.

Congratulamos os líderes acadêmicos, os professores que se integraram ao longo do tempo como pesquisadores do LCAD, os bolsistas e voluntários

de iniciação científica, os mestrandos e doutorandos e os parceiros, por suas diversas contribuições nessa trajetória. Contribuições essas que levaram ao delineamento de um campo importante de estudos e pesquisas, assegurando ao ensino da Arquitetura e do Urbanismo na UFBA uma constante atualização de conteúdos, além de enriquecer a profissão com desafios – os mais relevantes e contemporâneos.

REFERÊNCIAS

JARRET, C. Call for abstracts: urban assemblage: the city as architecture, media, AI and Big Data. *Architectural Research Centers Consortium*, Southfield, MI, 2020. Disponível em: <https://www.arcc-arch.org/call-for-abstracts-urban-assemblage-the-city-as-architecture-media-ai-and-big-data/>. Acesso em: 19 ago. 2022.

APÊNDICE A

CRONOLOGIA DAS DISSERTAÇÕES E TESES ORIENTADAS

Apresenta-se a seguir a cronologia das dissertações e teses orientadas ou coorientadas por pesquisadores do Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD) da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia (UFBA). A listagem refere-se a trabalhos desenvolvidos por estudantes de quatro programas de pós-graduação:

- Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPG-AU) da UFBA – 40 trabalhos;
- Programa de Pós-Graduação em Geografia (POSGEO) da UFBA – 6 trabalhos;
- Doutorado Multi-institucional Multidisciplinar em Difusão do Conhecimento (DMMDC) da UFBA, atualmente denominado de Programa de Pós-Graduação em Difusão do Conhecimento (PPGDC) – 1 trabalho;
- Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial (PPG MCTI) do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai) – 1 trabalho.

Na cronologia, são indicadas as seguintes informações: 1. nome do estudante e autor do trabalho (e nome do programa de vínculo do pós-graduando);

2. nome do orientador ou coorientador; 3. título do trabalho; 4. tipo de trabalhos, se mestrado (M) ou doutorado (D).

AUTOR (PROGRAMA)	ORIENTADOR	TÍTULO DO TRABALHO	M/D
2000			
Rejane de Moraes Rego (PPG-AU)	Arivaldo Leão de Amorim (orientador)	Arquitetura e tecnologias computacionais – novos instrumentos mediadores e as possibilidades de mudança no processo projetual	M
2002			
Maria Socorro Daniel Xavier Themoteo (PPG-AU)	Arivaldo Leão de Amorim (orientador)	O direito ao Sol: uma análise do sombreamento de faixas de praias através do uso de simulação por computador	M
Silvana Sá de Carvalho (PPG-AU)	Gilberto Corso Pereira (orientador)	Áreas livres para ocupação urbana no município de Salvador: uma aplicação de tecnologias de geoprocessamento em análise espacial urbana	M
2003			
Thais Borges Sanches (PPG-AU)	Arivaldo Leão de Amorim (orientador)	Uso da simulação computacional em projetos de iluminação interna	M
2004			
Natalie Johanna Groetelaars (PPG-AU)	Arivaldo Leão de Amorim (orientador)	Um estudo da fotogrametria digital na documentação de formas arquitetônicas e urbanas	M
2005			
Christina Araújo Paim Cardoso (PPG-AU)	Arivaldo Leão de Amorim (orientador)	Formas arquitetônicas: possibilidades em ambiente computacional	D

AUTOR (PROGRAMA)	ORIENTADOR	TÍTULO DO TRABALHO	M/D
2007			
Carolina Fialho Silva (PPG-AU)	Arivaldo Leão de Amorim (orientador)	Salvador e as Tecnologias de Informação e Comunicação: um estudo sobre telefonia celular e internet no ambiente urbano	M
Heliana Faria Mettig Rocha (PPG-AU)	Gilberto Corso Pereira (orientador)	Visualização urbana digital: sistema de informações geográficas e históricas para o bairro do comércio – Salvador	M
2008			
Rejane de Moraes Rego (PPG-AU)	Arivaldo Leão de Amorim (orientador)	Educação gráfica para o processo criativo projetual arquitetônico: as relações entre a capacidade visiográfica-tridimensional e a utilização de instrumentos gráficos digitais para a modelagem geométrica	D
2009			
Joelma Araújo Silva da Palma (PPG-AU)	Gilberto Corso Pereira (orientador)	Segregação residencial em Salvador: uma contribuição metodológica	M
2010			
Artur José Pires Veiga (PPG-AU)	Gilberto Corso Pereira (orientador)	Sustentabilidade urbana, avaliação e indicadores: um estudo de caso sobre Vitória da Conquista	D
Fabiano Mikalauskas de Souza Nogueira (PPG-AU)	Arivaldo Leão de Amorim (orientador)	A representação de sítios históricos: documentação arquitetônica digital	M
Luís Gustavo Gonçalves Costa (PPG-AU)	Arivaldo Leão de Amorim (orientador)	Cronidas – Elaboração da base de dados para auxílio em representação de mapas de danos	M

AUTOR (PROGRAMA)	ORIENTADOR	TÍTULO DO TRABALHO	M/D
2012			
Jamile Santos Amaral Oliveira (POSGEO)	Gilberto Corso Pereira (orientador)	Território e Estado: uma leitura da reorganização territorial através das políticas públicas de habitação para o município de Feira de Santana	M
Jorge Ney Valois Rios Filho (POSGEO)	Gilberto Corso Pereira (orientador)	Segregação socioespacial na cidade do agronegócio de Luís Eduardo Magalhães (BA)	M
Magno Erasto de Araujo (PPG-AU)	Gilberto Corso Pereira (orientador)	Água e Rocha na definição do Sítio de Nossa Senhora das Neves, atual cidade de João Pessoa – Paraíba	D
2013			
Ana Paula Carvalho Pereira (PPG-AU)	Arivaldo Leão de Amorim (orientador)	A adoção do paradigma BIM em escritórios de arquitetura em Salvador - BA	M
Anna Karla Trajano de Arruda (PPG-AU)	Arivaldo Leão de Amorim (orientador)	Preservação e Gestão de Sítios Históricos: a contribuição do <i>Heritage Information System</i>	D
2014			
Érica de Sousa Checcucci (DMMDC)	Arivaldo Leão de Amorim (coorientador)	Ensino-aprendizagem de BIM nos cursos de graduação em Engenharia Civil e o papel da expressão gráfica neste contexto	D
Flávia Biccass da Silva Polonini (PPG-AU)	Arivaldo Leão de Amorim (orientador)	A modelagem paramétrica na concepção de formas curvilíneas da arquitetura contemporânea	M

AUTOR (PROGRAMA)	ORIENTADOR	TÍTULO DO TRABALHO	M/D
Heibe Santana da Silva (PPG-AU)	Gilberto Corso Pereira (orientador)	Segregação socioespacial em Salvador - Bahia: uma análise através da cartografia das redes de infraestrutura urbana	M
Humberto Diniz Guerra Santos (PPG-AU)	Arivaldo Leão de Amorim (orientador)	Sistema de informações do patrimônio histórico da cidade de Mucugê - Bahia	M
Rodrigo Cortes Almeida (PPG-AU)	Gilberto Corso Pereira (orientador)	Megaempreendimentos imobiliários residenciais em Salvador/BA: produção e consumo da habitação e do espaço urbano	M
2015			
Andrea Verri Bastian (PPG-AU)	Arivaldo Leão de Amorim (orientador)	Métodos e técnicas de baixo custo para levantamento métrico de sítios históricos	M
Fernando Ferraz Ribeiro (PPG MCTI)	Arivaldo Leão de Amorim (coorientador)	Sistema Generativo de Projeto Aplicado ao Desenho e Otimização da Estrutura de um Shed	M
Natalie Johanna Groetelaars (PPG-AU)	Arivaldo Leão de Amorim (orientador)	Criação de modelos BIM a partir de "nuvens de pontos": estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica	D
2016			
Aline Oliveira Tosta (PPG-AU)	Gilberto Corso Pereira (orientador)	A dimensão espacial do direito à cidade: acesso a equipamentos públicos e infraestrutura no Programa Minha Casa Minha Vida na Região Metropolitana de Salvador (2009-2015)	M

AUTOR (PROGRAMA)	ORIENTADOR	TÍTULO DO TRABALHO	M/D
Nadja Conceição de Jesus Miranda (POSGEO)	Gilberto Corso Pereira (orientador)	População de rua em Salvador: estudo dos territórios e do direito à cidade (2005-2015)	D
Pablo Vieira Florentino (PPG-AU)	Gilberto Corso Pereira (orientador)	Densidade informacional e comunicacional no espaço relacional urbano	D
Roberta Pinto Teles (PPG-AU)	Arivaldo Leão de Amorim (orientador)	Sistema de alocação de espaços para a FAUFBA: uma aplicação de <i>facilities management</i>	M
Silvia Catarina Araújo das Virgens (POSGEO)	Gilberto Corso Pereira (orientador)	<i>Shopping center</i> e a produção do espaço urbano em Salvador-BA	M
2017			
Ana Paula Carvalho Pereira (PPG-AU)	Arivaldo Leão de Amorim (orientador)	Modelagem da Informação da Construção na fase de projeto: proposta de plano de execução BIM para a SUMAI/UFBA	D
Leonardo de Souza Polli (PPG-AU)	Gilberto Corso Pereira (orientador)	Etnomapeamento enquanto método, geoprocessamento enquanto técnica: ferramentas e práticas para o imageamento da territorialidade quilombola	M
Maria das Graças Borja Gondim dos Santos Pereira (PPG-AU)	Gilberto Corso Pereira (orientador)	Salvador pós-metrópole: urbanização dispersa, sustentabilidade e densidade	D
Yse Maria Vinhaes Dantas (PPG-AU)	Gilberto Corso Pereira (orientador)	Sistema multifinalitário de cadastros: contribuição conceitual com ênfase nas restrições ambientais do Brasil	D

AUTOR (PROGRAMA)	ORIENTADOR	TÍTULO DO TRABALHO	M/D
2018			
Jorge Ney Valois Filho (POSGEO)	Gilberto Corso Pereira (orientador)	As “novas” formas espaciais urbanas da agricultura: as cidades do agronegócio do Oeste Baiano e a cidade-campo em Salvador/BA	D
Mônica Martins Andrade Tolentino (PPG-AU)	Arivaldo Leão de Amorim (orientador)	A utilização do HBIM na documentação, na gestão e na preservação do patrimônio arquitetônico	D
Roberio do Nascimento Coêlho (PPG-AU)	Arivaldo Leão de Amorim (orientador)	Decisões projetuais e sua importância no conforto ambiental da edificação: o caso do Nema, na Univasf, em Petrolina-PE	M
2019			
Erika do Carmo Cerqueira (POSGEO)	Gilberto Corso Pereira (orientador)	Vulnerabilidade socioambiental na cidade de Salvador: análise espacial das situações de risco e ações de resiliência	D
Flavia Cristina Bassan Saldanha (PPG-AU)	Gilberto Corso Pereira (orientador)	A produção da cidade segregada refletida na infraestrutura urbana: análise da urbanização do município da Barra dos Coqueiros/SE	M
Harlan Rodrigo Ferreira da Silva (PPG-AU)	Gilberto Corso Pereira (orientador)	Análise geoespacial e desenvolvimento orientado ao transporte para o município de Salvador-BA	M
Heibe Santana da Silva (PPG-AU)	Gilberto Corso Pereira (orientador)	Espaço metropolitano e justiça espacial: cartografia das diferenças espaciais em metrópoles nordestinas	D

AUTOR (PROGRAMA)	ORIENTADOR	TÍTULO DO TRABALHO	M/D
Sérgio Dias Maciel (PPG-AU)	Arivaldo Leão de Amorim	Ensino de projeto em ambiente digital: aspectos pedagógicos, tecnológicos e cognitivos	D
Telma Cavalieri Victorio (PPG-AU)	Natalie Johanna Groetelaars (orientadora)	Documentação digital do patrimônio artístico: caminhos entre o experimento científico e a experiência sensível	M
2021			
Kyane Bomfim Santos (PPG-AU)	Felipe Tavares da Silva (orientador)	Otimização de fachadas fotovoltaicas: integração entre desempenho energético e estética da forma	M
2022			
Alan Souza Mascarenhas (PPG-AU)	Gilberto Corso Pereira (orientador)	Cenários futuros: estudo para a cidade de Salvador (BA) - 2022	M
Gabriela Linhares da Silva (PPG-AU)	Natalie Johanna Groetelaars (orientadora)	Realidade virtual na preservação do patrimônio histórico: estudo de técnicas para a criação de ambientes interativos	M
Laís Simonelli (PPG-AU)	Arivaldo Leão de Amorim (orientador)	Uma contribuição à Modelagem da Informação da Cidade: construção de um modelo geométrico e semântico em LOD 1 e LOD 2 para o Pelourinho, Salvador - BA	M

AUTOR (PROGRAMA)	ORIENTADOR	TÍTULO DO TRABALHO	M/D
2023			
Andrea Verri Bastian (PPG-AU)	Arivaldo Leão de Amorim (orientador)	Morfologia urbana e a geração de energia solar fotovoltaica em Salvador	D
Beth Leite Soares (PPG-AU)	Érica de Sousa Checcucci (orientadora)	<i>Smart campus</i> : uma proposta de planejamento para migração de um <i>campus</i> tradicional para um <i>campus</i> inteligente	M
Fabiano Mikalauskas de Souza Nogueira (PPG-AU)	Arivaldo Leão de Amorim (orientador)	Reconstrução digital: narrativas virtuais e um novo lugar para a memória	D

SOBRE OS AUTORES

ADAILDES MOREIRA DO NASCIMENTO

Arquiteta e urbanista pela Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia (FAUFBA). Participou como bolsista do Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD), através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (Pibic) no período entre 2018 e 2019, com o plano de trabalho “Sistemas para captura de dados e representação de formas existentes”. Também participou, em 2022, do grupo de pesquisa Jardinar: Paisagem, Arquitetura, Cidade.

E-mail: adaildes.mn@gmail.com

ANDREA VERRI BASTIAN

Graduada em Engenharia Química, bem como especialista em Projetos Lumínotécnicos e em Didática do Ensino Superior. Mestre e doutora em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). É professora da Faculdade de Arquitetura da UFBA, atuando na graduação em disciplinas de Informática Aplicada I e II e Instalações I. Tem vínculo com o Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD) desde 2012. Tem interesse nas áreas de planejamento e projetos de interiores e da edificação, informática aplicada ao projeto de Arquitetura e Engenharia, com enfoque em Modelagem da Informação da Construção – na sigla em inglês,

Building Information Modeling (BIM) –, documentação de patrimônio e uso de energias renováveis.

E-mail: andrea.bastian@ufba.br

ARIVALDO LEÃO DE AMORIM

Engenheiro civil, arquiteto, especialista em Gerenciamento de Transportes Urbanos e em Aplicações Pedagógicas dos Computadores. Mestre e doutor em Engenharia de Transportes, respectivamente nas áreas de concentração em projeto e construção de vias de transporte e em informações espaciais, pela Universidade de São Paulo (USP). Realizou pós-doutorado na Univesità Politecnica della Marche (UNIVPM), Itália, e no Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Alemanha. Em 1992, fundou o Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD) da Universidade Federal da Bahia (UFBA), juntamente com o professor Gilberto Corso Pereira, tendo sido coordenador e vice-coordenador do laboratório diversas vezes. Atualmente, é professor titular (aposentado) da Faculdade de Arquitetura da UFBA. Tem interesse em tecnologias digitais aplicadas à Arquitetura e ao Urbanismo nas seguintes áreas: infraestrutura urbana, projeto auxiliado por computador, Modelagem da Informação da Construção (BIM), Modelagem da Informação da Cidade (CIM), cidades inteligentes e documentação arquitetônica.

E-mail: alamorim@ufba.br

BRUNA COSTACURTA NASCIMENTO

Arquiteta e urbanista pela Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia (UFBA). Participou como bolsista do Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD) através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (Pibic) no período 2019-2020 na pesquisa “Visualização de centros históricos em realidade aumentada”. Participou e apresentou vídeo-pôster no Congresso Virtual UFBA 2020, com o trabalho “Visualização de centros históricos em Realidade Aumentada”, bem como em 2021 com o estudo “Realidade Aumentada em centros históricos: exemplos práticos”.

E-mail: brunacnasc@hotmail.com

BRUNO LEÃO DE BRITO

Arquiteto e urbanista, mestre em Engenharia Civil e doutorando em Arquitetura e Urbanismo, todas as titulações obtidas pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). No mestrado, desenvolveu pesquisa relativa à geração de formas com uso de algoritmos generativos para estimativa de custo em fases iniciais de projeto. No doutorado, desenvolve pesquisa com enfoque no estudo de construtibilidade de formas arquitetônicas complexas geradas com uso de ferramentas digitais de *design* paramétrico. Atuou no desenvolvimento de projetos de Arquitetura (residencial, comercial e efêmera) e complementares, participando também de orçamento, gerenciamento e controle de obras na capital baiana. Além disso, atuou como professor universitário em cursos de graduação e pós-graduação *lato sensu* da área de construção civil.

E-mail: leaodebrito@gmail.com

ÉRICA DE SOUSA CHECCUCCI

Arquiteta e urbanista. Mestre em Arquitetura, Crítica e Projeto pela Universidade Politécnica da Catalunha. Doutora em Difusão do Conhecimento pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Professora da Faculdade de Arquitetura da UFBA, atuando na graduação e pós-graduação. Tem vínculo com o Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD) desde 1995, quando foi bolsista de iniciação científica. Foi vice-coordenadora do LCAD em 2019 e coordenadora em 2020. Tem experiência na área de Planejamento e Projetos da Edificação, tendo trabalhado principalmente com informática aplicada ao projeto de Arquitetura e Engenharia, com enfoque em Modelagem da Informação da Construção – na sigla em inglês, *Building Information Modeling* (BIM) –, modelagem paramétrica e fabricação digital.

E-mail: erica.checcucci@ufba.br

ERIKA DO CARMO CERQUEIRA

Licenciada e bacharela em Geografia, mestra em Engenharia Ambiental Urbana e doutora em Geografia, todos pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Professora do Departamento de Geografia da UFBA, nas áreas de

Cartografia e Geotecnologias. De 2003 a 2013, foi professora da Secretaria de Educação do Estado da Bahia; de 2000 a 2007, atuou com geoprocessamento no Sistema de Informações Geográficas do Estado da Bahia; de 2007 a 2010, exerceu como assessora técnica da Diretoria Geral da Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI), participando do projeto de atualização cartográfica do estado. Faz parte do Laboratório de Cartografia (Lacar) do Instituto de Geociências da UFBA e participa do grupo de pesquisa do Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD). Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em cartografia temática, análises socioambientais com ferramentas de geotecnologias e ensino de Geografia.

E-mail: erika.cerqueira@ufba.br

FABIANO MIKALAUSKAS DE SOUZA NOGUEIRA

Arquiteto e urbanista. Mestre e doutor em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Professor da Faculdade de Arquitetura da UFBA, atuando na graduação. Atualmente, é o coordenador do Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD), biênio 2023-2025. Foi vice-coordenador do LCAD no período de 2014 a 2016, tendo vínculo com o laboratório desde 2005. Tem experiência na área de projetos e gestão de construção, com ênfase em projetos de indústrias. É pesquisador atuando principalmente nos seguintes temas: Modelagem da Informação da Construção – na sigla em inglês, *Building Information Modeling* (BIM) –, patrimônio cultural, documentação arquitetônica e de sítios históricos, tecnologias digitais para Arquitetura e ensino de Arquitetura.

E-mail: fabiano.mika@ufba.br

FELIPE TAVARES DA SILVA

Engenheiro civil. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Realizou pós-doutorado em Modelagem Paramétrica e Fabricação Digital na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Atualmente,

é professor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFPB. Foi professor da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia (UFBA) entre 2011 e 2019. Tem experiência na área de Engenharia de Estruturas, com ênfase em concepção e projetos utilizando o método dos elementos finitos e software *Building Information Modeling* (BIM), simulação e análise estrutural estática, dinâmica, modal e interação pessoas-estrutura. Atua em pesquisa sobre modelagem paramétrica, simulações numéricas e fabricação digital com aplicações em edifícios e cidades. Está credenciado como professor permanente no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPGAU) e no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM), ambos da UFPB. Além disso, atua como professor colaborador em ensino, pesquisa e orientação nos seguintes programas: PPGAU-UFBA e Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Tecnologia e Cidade (PPGATC) da Unicamp.

E-mail: felipe.tavares@academico.ufpb.br

FERNANDO FERRAZ RIBEIRO

Arquiteto e urbanista pela Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia (UFBA). Mestre em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial pelo Centro Integrado de Manufatura e Tecnologias, localizado no Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai Cimatec). Atualmente, é professor da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia (UFBA) e do Senai Cimatec, ministrando disciplinas sobre projeto e computação aplicada ao projeto para os cursos de Arquitetura e Urbanismo e Engenharias. Desde 2021, é doutorando do Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente (PPGM) da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS). Tem experiência nas áreas de arquitetura e projetos, detalhamento de projetos arquitetônicos e de estruturas, *Building Information Modeling* (BIM), algoritmos generativos, modelagem paramétrica, modelagem computacional, programação e análise de dados.

E-mail: fernando.ribeiro@ufba.br

GABRIELA LINHARES DA SILVA

Arquiteta e urbanista pela Universidade do Estado de Santa Catarina (Udesc) e mestre pela Universidade Federal da Bahia (UFBA), tendo defendido a dissertação *Realidade Virtual para a visualização e difusão do patrimônio arquitetônico: estudo de métodos e técnicas para a criação de ambientes virtuais interativos 3D*. Ingressou no grupo de pesquisa do Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD) da UFBA em 2019. Integrante do grupo de pesquisa do Núcleo de Estudos de Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia Aplicada (Nauta) da Udesc. Pesquisa e trabalha com captura de realidade, modelagem geométrica, ambientes virtuais interativos 3D e outras tecnologias aplicadas à Arquitetura. Atualmente trabalha como artista 3D.

E-mail: gabils.arq93@gmail.com

GILBERTO CORSO PEREIRA

Arquiteto, mestre em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal da Bahia (UFBA) e doutor em Geografia pela Universidade Estadual Paulista (Unesp). Em 1992, fundou o Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD) da Faculdade de Arquitetura da UFBA (FAUFBA), juntamente com o professor Arivaldo Leão de Amorim, tendo sido coordenador e vice-coordenador do laboratório diversas vezes. Atualmente, é professor titular (aposentado) da Faculdade de Arquitetura da UFBA, participando do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPG-AU) e do Programa de Pós-Graduação em Geografia (POSGEO), ambos da UFBA. Além disso, é professor visitante do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Design (PPGAU+D) da Universidade Federal do Ceará (UFC). Atua nas linhas de pesquisa Linguagem, Informação e Representação do Espaço (com ênfase em modelos urbanos, informação geográfica, geoprocessamento e análise espacial) e Processos Urbanos Contemporâneos (com ênfase em segregação socioespacial, vazios urbanos e dinâmica metropolitana), tendo várias publicações sobre esses temas. Foi coordenador do PPG-AU-UFBA por dois mandatos (2006 a 2010) e do Núcleo Salvador do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) – Observatório das Metrôpoles. Atua na área de Arquitetura e Urbanismo e Planejamento Urbano e Regional, com ênfase em análise urbana e sistemas de informação geográficas, tratando

principalmente dos seguintes temas: modelos urbanos, informação geográfica, segregação socioespacial, visualização e representação do espaço, Salvador e sua região metropolitana.

E-mail: curso@ufba.br

INAIÁ MARIA MOREIRA DE CARVALHO

Possui graduação em Ciências Sociais, mestrado em Ciências Sociais – Sociologia pela Universidade Federal da Bahia (UFBA) e doutorado em Sociologia pela Universidade de São Paulo (USP). Atualmente, é professora do Programa de Pós-Graduação em Ciências Sociais (PPGCS) da UFBA, além de pesquisadora do Centro de Estudos e Pesquisas em Humanidades (CRH) da mesma universidade. Tem experiência na área de Sociologia Urbana, atuando principalmente em temas como dinâmica e transformações urbanas, mercado de trabalho, pobreza e questões sociais.

E-mail: inaiammc@ufba.br

JULIA CRUZ GASPARI VERAS

Arquiteta e urbanista pela Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia (FAUFBA), tendo experiências no campo da fabricação digital e modelagem paramétrica desde 2016. Participou como estagiária do Projeto Maquete dos Campi da UFBA pelo Núcleo de Requalificação Urbana e Projeto (RUP) em 2017. Foi bolsista do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (Pibiti) no Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD) da UFBA, através do plano de trabalho “Modelagem paramétrica e fabricação digital da parte física de um diafragma cinético para para-sol montado em *gridshell*” (2018). Atualmente, atua como arquiteta na área de concepção de projetos de Arquitetura e Urbanismo.

E-mail: jcgveras@gmail.com

JULIET OLIVEIRA SANTANA

Licenciada em Geografia pela Universidade Federal da Bahia (UFBA), com mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia (POSGEO) da UFBA. Atualmente, é bolsista da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) na área de Cartografia e Geoprocessamento. Durante a formação, atuou em projetos de pesquisa voltados para análises ambientais, com ênfase em cartografia, geoprocessamento e geotecnologias. Participou do grupo de pesquisa Cartografia Aplicada a Estudos Ambientais e de Ensino, vinculado ao Laboratório de Cartografia (Lacar) da UFBA, onde realizou diversas atividades na área, incluindo atividades de extensão.

E-mail: juliet.oliveira@ufba.br

KYANE BOMFIM SANTOS

Arquiteta e urbanista pela Universidade Salvador (Unifacs), especialista em Master em Arquitetura e Lighting pelo Instituto de Pós-Graduação & Graduação (Ipog), mestre em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal da Bahia (UFBA), tendo defendido a dissertação: *Otimização de fachadas fotovoltaicas – integração entre desempenho e estética da forma*. Em 2016, ingressou no grupo de pesquisa do Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD) da UFBA. Em 2017, trabalhou como professora substituta da Faculdade de Arquitetura da UFBA. Além disso, atuou em projetos de arquitetura (residencial, comercial e efêmera) complementares e visualização de arquitetura para o mercado imobiliário. Atualmente, atua como arquiteta na empresa LW Design. Tem experiência na área de concepção de projetos de Arquitetura e Urbanismo, modelagem geométrica, modelagem paramétrica, simulação numérica, Archviz, fotogrametria digital, fabricação digital e *design* gráfico.

E-mail: kyanebomfim@gmail.com

LARISSA GONÇALVES MAIA DA SILVA

Arquiteta e urbanista pela Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia (FAUFBA). Experiência em *design* computacional, modelagem paramétrica e fabricação digital desde 2015, com participação em congressos,

workshops e cursos livres. Monitoria acadêmica de fabricação digital na disciplina Práticas em Tecnologias Inovadoras, através de trabalho de fabricação digital para fôrmas de argamassa armada. Publicação e apresentação de trabalho resultante da monitoria no SIGraDi 2020 e integração na mesa “Fabricação digital na FAUFBA” do Congresso Virtual UFBA 2021.

E-mail: larissagmaias@gmail.com

LORENA CLAUDIA DE SOUZA MOREIRA

Arquiteta e urbanista, com especialização em Projeto Auxiliado por Computador pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Mestre em Arquitetura pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (Pós-ARQ) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e doutora em Arquitetura, Tecnologia e Cidade pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), em cotutela com a Missouri State University. Pós doutoranda na Norwegian University of Science and Technology (NTNU). É professora da Faculdade de Arquitetura da UFBA FAUFBA). Foi vice-coordenadora de 2018 a 2020, e coordenadora acadêmica da graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUFBA no período entre 2020 e 2022. Em 2000, iniciou no Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD) da UFBA como discente do curso de especialização, retornando como docente e pesquisadora em 2010. Tem interesse na área de Arquitetura e Urbanismo e Patrimônio Cultural, com ênfase em realidades mistas (realidade virtual e aumentada), *Building Information Modeling* (BIM), *City Information Modeling* (CIM) e *Facilities Management* (FM).

E-mail: lorenasm@ufba.br

MAINA PIRAJÁ SILVA

Licenciada e bacharel em Geografia pela Universidade Federal da Bahia (UFBA), mestre (2012) e doutora (2017) em Geografia pela UFBA. Realizou pós-doutorado em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Social da Universidade Católica do Salvador (UCSal). Atualmente é professora permanente e pesquisadora da Pós-graduação em Território, Ambiente e Sociedade (PPGTAS) da Universidade Católica do Salvador (UCSAL). É professora do Curso de Geografia da UCSal, e coordena o Grupo de estudos de Áreas Metropolitanas

(GAM) desta universidade. Pesquisadora associada ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) – Observatório das Metrópoles. Desenvolve pesquisas nas áreas da Geografia Urbana e Planejamento Urbano e Regional, com ênfase em análises sobre Gestão, Governança, Dinâmicas e Transformações Urbanas em Áreas Metropolitanas, Política Urbana e Justiça Social e Espacial, atuando ainda nas temáticas sobre Análise de dados e de Informação Geográfica, Cartografia Temática e Geoprocessamento.

E-mail: mainapiraja@yahoo.com.br

MARCELO FILGUEIRAS BASTOS

Arquiteto e urbanista. Bacharel em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Tem foco nas áreas de projeto paramétrico e patrimônio cultural. Criador do Projeto Içar, além de ser estudioso das embarcações tradicionais brasileiras. Já recebeu prêmio de patrimônio cultural no município de Salvador e foi convidado a fazer parte do Comitê Náutico da Sociedade Brasileira de Engenharia Naval (Sobena), bem como teve o projeto endossado por importantes instituições como a Marinha do Brasil, Texas A&M University, Projeto Rumar e Associação Viva Saveiro.

E-mail: bastos.mf@hotmail.com

MARIA DAS GRAÇAS BORJA GONDIM DOS SANTOS PEREIRA

Arquiteta e urbanista. Mestre em Desenvolvimento Sustentável pela Universidade de Brasília (UnB). Especialista em Desenho Urbano pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Doutora em Arquitetura e Urbanismo, também pela UFBA. Entre 1982 e 2011, atuou no planejamento regional do turismo em sua dimensão urbanístico-ambiental. Entre 2007 e 2011, foi superintendente de Desenvolvimento Urbanístico da Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia (Conder). Tem atividades como consultora e elabora projetos de Arquitetura e Urbanismo por meio do escritório Santos Pereira Arquitetos Associados Ltda. É professora da Faculdade de Arquitetura da UFBA, pesquisadora do Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD) da mesma instituição e do Núcleo Salvador do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) – Observatório das Metrópoles. Foi

coordenadora do LCAD-UFBA no biênio 2021-2023, tendo vínculo com o laboratório desde 2013. Tem interesse nas seguintes áreas: planejamento urbano-ambiental, arquitetura e turismo sustentável.

E-mail: mariagbgsp@ufba.br

MARINA MOREIRA SANTOS PEREIRA

Arquiteta e urbanista, com pós-graduação em Design de Produtos pelo Centro Integrado de Manufatura e Tecnologias, localizado no Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai Cimatec). Mestranda em Projeto Integrado na Construção de Edifícios na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto desde 2020. Atua como formadora do software *Building Information Modeling* (BIM), Archicad, além de ser arquiteta e urbanista no escritório Batata Studio. É BIM *manager* certificada pela Graphisoft. Tem interesse pelas áreas de BIM, levantamento cadastral e reabilitação de edifícios.

E-mail: marinamoreirasp@gmail.com

NATALIE JOHANNA GROETELAARS

Arquiteta e urbanista. Mestre e doutora em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal da Bahia (UFBA), tendo defendido a tese *Criação de modelos BIM a partir de “nuvens de pontos”: estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica*. É professora da Faculdade de Arquitetura da UFBA, atuando na graduação e pós-graduação. Foi coordenadora do colegiado do curso de graduação noturno de Arquitetura e Urbanismo da UFBA no período de 2018 a 2020. Vice-coordenadora do Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD) da UFBA, biênios 2021-2023 e 2023-2025, tendo vínculo com o local desde 1996, quando foi bolsista de iniciação científica e, a partir de 2000, como docente e pesquisadora. Tem interesse pelas seguintes áreas: fotogrametria digital, varredura a *laser*, *Computer Aided Design* (CAD), *Building Information Modeling* (BIM), *Heritage Building Information Modeling* (HBIM), modelagem geométrica, documentação arquitetônica com tecnologias digitais e representação gráfica.

E-mail: natgroet@ufba.br

PABLO VIEIRA FLORENTINO

Graduado em Ciência da Computação e mestre em Engenharia de Sistemas e Computação pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Em 2016, concluiu o doutorado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal da Bahia (UFBA), trabalhando com análise de redes sociais e o espaço urbano. Professor do Instituto Federal da Bahia (IFBA), *campus* Salvador, desde 2006, atuando como docente e coordenador do curso superior de Análise e Desenvolvimento de Sistemas. Também é membro dos grupos de pesquisa Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD) e Educação, Cultura e Processos Sociais (GPEC), ambos vinculados à UFBA. Vem atuando em projetos e publicações do Núcleo Salvador do Observatório das Metrópoles. Faz parte dos coletivos Mobicidade Salvador e Observatório da Mobilidade de Salvador. Concentra sua pesquisa na área de Sistemas de Informação, com ênfase em dados urbanos e dados abertos.


E-mail: pablovf@ifba.edu.br

SERGIO DIAS MACIEL

Arquiteto e Urbanista pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Possui também licenciatura plena em Matemática pela Universidade Estadual Paulista (Unesp). Mestre em Geografia pela Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT) e doutor em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal da Bahia (UFBA), tendo defendido a tese *Ensino de projeto em ambiente digital: aspectos pedagógicos, tecnológicos e cognitivos*. É professor no curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Estado de Mato Grosso (Unemat) desde 2006, atuando nas disciplinas de Informática Aplicada e Projeto de Arquitetura. Tem interesse pelas áreas *Computer Aided Design* (CAD), *Building Information Modeling* (BIM) e *Geographic Information System* (GIS).

E-mail: sergio.maciell@unemat.br

Formato: 510 x 709 px
Fontes: Ubuntu, Bebas Neue, Calibri
Extensão digital: PDF



Maria das Graças Borja Gondim dos Santos Pereira é arquiteta e urbanista, mestre em Desenvolvimento Sustentável pela Universidade de Brasília (UnB), doutora em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Atuou no planejamento regional do turismo (1982 a 2007), e foi superintendente de Desenvolvimento Urbanístico da Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia (Conder), no período de 2007 a 2011. É professora da Faculdade de Arquitetura da UFBA (FAUFBA), pesquisadora do Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD) e do Núcleo Salvador do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) – Observatório das Metrôpoles. Foi coordenadora do LCAD/UFBA (biênio 2021-2023), ao qual está vinculada desde 2013. Tem interesse nas seguintes áreas: planejamento urbano-ambiental, arquitetura e turismo sustentável.

Natalie Johanna Groetelaars é arquiteta e urbanista, mestre e doutora em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). É professora da Faculdade de Arquitetura da UFBA (FAUFBA), atuando na graduação e na pós-graduação. É vice-coordenadora do Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD), biênios 2021-2023 e 2023-2025, tendo vínculo com o Laboratório desde 1996, quando foi bolsista de iniciação científica, e a partir de 2000, como docente e pesquisadora. Tem interesse nas seguintes áreas: fotogrametria digital, varredura a laser, CAD, BIM, HBIM, modelagem geométrica, documentação arquitetônica com tecnologias digitais.

O panorama dos conteúdos trazidos nos capítulos selecionados nesta coletânea comemorativa dos 30 anos do Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD) da Faculdade de Arquitetura da UFBA (FAUFBA) permite ao leitor uma noção da diversidade de temas e o caráter interdisciplinar e multivariado dos trabalhos realizados pelo grupo de pesquisadores do Laboratório na utilização ou na investigação das tecnologias digitais para representação e intervenção nos espaços arquitetônico, urbano e geográfico. Manter-se na fronteira do conhecimento tem sido o desafio desse grupo de profissionais que estão atentos à inovação tecnológica para suporte e formação de profissionais na área de arquitetura e urbanismo, planejamento urbanístico-ambiental e gestão urbana, há 30 anos.

