



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA

**AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE ESCADARIAS E RAMPAS DRENANTES
IMPLANTADAS EM ASSENTAMENTOS ESPONTÂNEOS NA CIDADE DO
SALVADOR - BAHIA**

LÚCIO SÉRGIO GARCIA MANGIERI

Salvador
2012



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA

**AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE ESCADARIAS E RAMPAS DRENANTES
IMPLANTADAS EM ASSENTAMENTOS ESPONTÂNEOS NA CIDADE DO
SALVADOR – BAHIA**

LÚCIO SÉRGIO GARCIA MANGIERI

Dissertação apresentada a Escola Politécnica da
Universidade Federal da Bahia como requisito
parcial para obtenção do título de Mestre em
Meio Ambiente, Águas e Saneamento.

Orientador: Prof. PhD. Lafayette Dantas da Luz

Salvador
2012

M277 Mangieri, Lúcio Sérgio Garcia

Avaliação dos sistemas de escadarias e rampas drenantes implantadas em assentamentos espontâneos na cidade do Salvador – Bahia / Lúcio Sérgio Garcia Mangieri. - Salvador, 2012.

130 f. : il. color.

Orientador: Prof. Dr. Lafayette Luz

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, 2012.

1.Escadarias-rampas drenantes. 2. Energia-dissipação. 3. Águas pluviais. 4. Assentamentos espontâneos. I Luz, Lafayette. I.Universidade Federal da Bahia. II. Título.

CDD721.832

Lúcio Sérgio Garcia Mangieri

**AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE ESCADARIAS E RAMPAS
DRENANTES IMPLANTADAS EM ASSENTAMENTOS
ESPONTÂNEOS NA CIDADE DO SALVADOR – BAHIA.**

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Meio Ambiente, Águas e Saneamento.

Salvador, 26 de março de 2012.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Lafayette Dantas da Luz
Universidade Federal da Bahia - UFBA

Prof. Dr. Luiz Roberto Santos Moraes
Universidade Federal da Bahia - UFBA

Prof. Dr. Vladimir Caramori Borges de Souza
Universidade Federal de Alagoas - UFAL



A
João, meu pai.
Aláide, minha mãe.
Rita, minha amada esposa.

A mente que se abre a uma nova ideia, jamais voltará ao seu tamanho original.

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais João e Alaíde Mangieri pela dedicação, compreensão e por sempre acreditarem em mim.

A minha grande companheira Rita Bourlakov Mangieri, pelo seu amor, paciência e incentivo, fundamental, sobretudo nos momentos mais difíceis.

Ao meu orientador Prof. Dr. Lafayette Dantas da Luz que com brilhantismo, indicou o caminho correto a ser seguindo, além de contribuir com seu conhecimento e grande experiência acadêmica.

Ao Doutorando André Luiz Andrade Simões, pela relevante contribuição e esclarecimentos, bem como pela disponibilização de importante bibliografia.

Ao Engenheiro Robério Bezerra pela gentileza e atenção, concedendo-me algumas entrevistas, além de documentos de caráter histórico, e que foram de grande valia para a realização deste trabalho.

Aos Engenheiros Paulo da Hora Oliva e José Enock Santana, renomados projetistas hidráulicos e que com experiência e visão prática colaboraram para a conclusão da pesquisa.

Aos estudantes da UFBA Udson, Neilson e Tiago Mattos pela colaboração nas visitas a campo e coletas de dados.

A todos os professores do MAASA que direta ou indiretamente contribuíram para realização do trabalho e, em especial, à Coordenadora Prof^{fa}. Dr^a. Viviana Zanta, pelas sugestões durante o seminário de pesquisa.

Aos dirigentes e colegas da Superintendência de Conservação e Obras Públicas do Salvador, que de alguma forma tenham colaborado para realização desta dissertação.

Por fim, meu agradecimento especial ao grande Mestre Professor Jorge Eurico Ribeiro Matos, que esteve presente nos momentos de alegria, de incertezas e inseguranças. Seus excepcionais conhecimentos em hidráulica, hidrologia e drenagem urbana foram de fundamental importância no desenvolvimento e conclusão da pesquisa. Ao longo desta jornada a relação entre aluno e professor evoluiu para uma sólida amizade. Obrigado meu Mestre!

AUTORIZAÇÃO

Autorizo a reprodução e/ou divulgação total ou parcial da presente obra, por qualquer meio convencional ou eletrônico, desde que citada a fonte.

Nome do Autor: Lúcio Sérgio Garcia Mangieri

Assinatura do Autor: _____

Instituição: Universidade Federal da Bahia

Local: Salvador, Ba

Endereço: Rua Aristides Novis, 02 – 4º andar, Federação – Salvador-BA – CEP 40210-630

E-mail: luciomangieri@gmail.com

RESUMO

Nos assentamentos espontâneos, densamente ocupados, situados em regiões de topografia acidentada, é comum a implantação de redes de drenagem superficial associadas a escadarias de pedestres, minimizando processos erosivos, e tornando a via acessível durante precipitações. Como alternativa aos sistemas tradicionais, foram desenvolvidas em 1979, na cidade de Salvador-Bahia, as escadarias e rampas drenantes, atuando simultaneamente na coleta, condução de águas pluviais e como via de pedestres, assemelhando-se hidraulicamente aos vertedouros em degraus utilizados em barragens, promovendo a dissipação da energia cinética em excesso e reduzindo a velocidade de escoamento. O Poder Público Municipal, sem efetuar avaliação técnica sistemática, promoveu modificações no modelo original e implementou novos modelos, com vistas à recuperação e substituição do dispositivo. O presente trabalho buscou avaliar as escadarias e rampas drenantes originais, as modificações propostas pelo Poder Público e outros cinco tipos de escadarias com drenagem associada identificados na Cidade do Salvador, a partir de aspectos hidráulicos, hidrológicos e construtivos. O desempenho desses sistemas de drenagem e acesso foi avaliado mediante comparação entre os diferentes modelos, sendo a escadaria drenante também comparada aos vertedores de barragens. Constatou-se que a escadaria drenante apresenta desempenho quanto à dissipação de energia superior aos demais modelos, sendo capaz de dissipar em média 55% da energia cinética total a montante. Para as escadarias com drenagem associada, foram verificadas velocidades de escoamento muito elevadas, devido especialmente às condições de implantação, o que pode conduzir ao desgaste prematuro das estruturas. Quanto aos modelos que utilizam tubos e caixas coletoras, a maior preocupação reside na possibilidade dos condutos trabalharem pressurizados, podendo levar a ruptura e danos ao dispositivo. Na definição do tipo de escadaria a ser implementada é fundamental avaliar aspectos hidrológicos, hidráulicos, de custos e as condições físicas para a implantação, caso-a-caso.

Palavras-chave: escadarias e rampas drenantes; dissipação de energia; águas pluviais; assentamentos espontâneos.

ABSTRACT

Spontaneous and densely populated settlements, situated in regions of steep topography of some cities, commonly hold surface drainage systems associated to stairways for pedestrians. These systems also aim to minimize erosion and to make comfortable access to people during precipitations. As an alternative to traditional systems, special draining stairways and ramps were developed in 1979, in Salvador-Bahia. This system aimed to work simultaneously for rainfall collection and conveyance and as pedestrian access as well. These devices are hydraulically similar to stepped spillways used in dams to promote the dissipation of kinetic energy in excess and to reduce flow velocities. The municipal administration has altered the original model and has implemented different systems of drainage, aiming restoration and replacement of such devices, however without making systematic technical evaluation. This study evaluated the original drainage stairs and ramps system, analyzed the changes proposed by the administration and five other types of stairways associated with drainage systems that were identified in the city of Salvador, considering hydraulic, hydrological and social aspects. The performance of these systems was evaluated by comparing the different models and also by comparison between the original system to dam steeped spillways. It was found that the draining stairways and ramps perform energy dissipation superior to the other models, being able to dissipate 55% in average of total upstream kinetic energy. Flow rates were observed extremely high for the stairways combined with drainage devices, especially due to the conditions of implementation, what can also lead to premature wear of the structures. The major concern related to the models that use tubes and collecting boxes is the possibility of flows above atmospheric pressure, which may lead to breakage and damage of the devices. For defining the type of drainage and stairway system to be implemented, it is essential to assess hydrological, hydraulic and costs aspects, case by case.

Keywords: drainage stairways and ramps; dissipation of energy; rainwater; spontaneous settlements.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Escadaria drenante e rampa drenante em argamassa armada.....	10
Figura 2 - Primeira escadaria drenante em argamassa armada. Nordeste de Amaralina, 1980.	11
Figura 3 - Módulos drenantes	12
Figura 4 - Alcance do jato	13
Figura 5 - Degradação das escadarias e rampas drenantes. (a) Avenida Glicério, Pernambués, 2007. (b) Ladeira Santo Antônio, Santa Mônica, 2003.....	14
Figura 6 - Programa de intervenções nas escadarias e rampas drenantes. (a) Desenho esquemático da seção transversal da calha drenante. (b) Rua São Roque, Tancredo Neves, 2009	15
Figura 7 - Escadaria drenante danificada após projeto de recuperação. Travessa Gilson Fonseca, Tancredo Neves, 2010	17
Figura 8 - Escadaria da Travessa Dom Pedro II, Cosme de Farias, 2011. (a) Detalhe da elevada inclinação da escadaria. (b) Detalhe das grelhas de concreto	18
Figura 9 - Rua Glicério, Pernambués, 2008. (a) Escadarias drenante modelo original. (b) Implantação do tubo de Ribloc. (c) e (d) Detalhe da nova escadaria	19
Figura 10 - Escadaria em San Rafael Unido, Caracas-Venezuela	22
Figura 11 - Desenho esquemático da linha de energia na escadaria com sistema de drenagem	29
Figura 12 - Ressalto Hidráulico.....	33
Figura 13 - Desenho esquemático dos regimes de escoamento em degraus. (a) <i>nappe flow</i> ; (b) <i>transition flow</i> ; (c) <i>skimming flow</i>	36
Figura 14 - Comparação entre metodologias para definição do regime de escoamento para canais em degraus	37
Figura 15 - Ponto de início da aeração	40
Figura 16 - Dimensões dos módulos drenantes avaliados.	49
Figura 17 - Alcance do Jato	50
Figura 18 - Escadarias tipos 02, 03A e 03B. Linha de energia.....	52

Figura 19 - Bacia delimitada na Jaqueira do Carneiro. (a) Situação em 1976. (b) Situação em 2006	57
Figura 20 - Bacia delimitada no Calabar. (a) Situação em 1976. (b) Situação em 200658	
Figura 21 - Localização das bacias delimitadas	60
Figura 22 - Ocupação na Jaqueira do Carneiro / Bom Juá, 2011.....	62
Figura 23 - Ocupação no Calabar, 2011	63
Figura 24 - Bacia delimitada no Bom Juá / Jaqueira do Carneiro.....	64
Figura 25 - Bacia delimitada no Calabar	65
Figura 26 - Estado de conservação das escadarias nas áreas de estudo. (a) 1ª Travessa São Jorge, Jaqueira do Carneiro. (b) Travessa 18 de Maio, Jaqueira do Carneiro	66
Figura 27 - Jardins da Rua Marlene Souza, Jaqueira do Carneiro, 2011	67
Figura 28 - Grelhas modificadas pelos moradores, Calabar, 2011.....	68
Figura 29 - Caixa coletora da 3ª Tv. Ranulfo Oliveira, Calabar, 2011	69
Figura 30 - Velocidades de escoamento das escadarias tipos 02, 03A, 03B, 04A e 04B, em escoamento livre, para diferentes relações espelho/piso	76
Figura 31 - Vazões das escadarias tipos 02, 03A, 03B, 04A e 04B, em escoamento livre, para diferentes relações espelho/piso.....	77
Figura 32 - Diferentes declividades para tubo e escadaria.....	77
Figura 33 - Ocorrência dos regimes <i>nappe flow</i> e <i>skimming flow</i> na escadaria tipo 04C	82
Figura 34 - Análise da dissipação de energia para escadaria drenante no regime <i>skimming flow</i>	83
Figura 35 - Análise da dissipação de energia para escadaria drenante no regime <i>nappe flow</i>	84

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Dimensões dos módulos drenantes	12
Quadro 2 - Área Limite de aplicação do método racional.....	28
Quadro 3 - Regimes de escoamento em função da declividade	31

Quadro 4 - Relações geométricas de seções transversais típicas	32
Quadro 5 - Subregimes do <i>nappe flow</i>	38
Quadro 6 - Total de escadarias drenantes recuperadas por localidade entre 1999 e 2010..	43
Quadro 7 - Bairros visitados.....	44
Quadro 8 - Tipos de escadarias identificados e nomenclatura proposta	45
Quadro 9 - Seções transversais médias dos tipos de escadas identificadas.....	46
Quadro 10 - Características da escada padrão.....	47
Quadro 11 - Configurações das escadarias drenantes avaliadas	49
Quadro 12 - Valores para coeficiente K de perda de carga de poços	53
Quadro 13 - Valores do coeficiente de escoamento superficial.....	56
Quadro 14 - Vazões e velocidades máximas da escadaria tipo 01	73
Quadro 15 - Vazões e velocidades máximas para as escadarias avaliadas	74
Quadro 16 - Vazões e velocidades máximas para as escadarias tipos 02, 03A e 03B, para diferentes condições hidráulicas de funcionamento.	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de coeficientes de descarga.....	52
Tabela 2 - Valores calculados para o tempo de entrada	70
Tabela 3 - Intensidades de chuvas para diferentes períodos de retorno	71
Tabela 4 - Vazões nas Ruas Teixeira Mendes e José Falcão em 1976 e 2006	71

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área da seção transversal do canal [m^2]
A'	Parâmetro da equação de Chamani e Rajatnam (1984) [-]
A_b	Área de bacia de contribuição [km^2]
A_c	Área do conduto [m^2]

A_j	Alcance horizontal do jato [m]
B	Largura do canal [m]
C	Coeficiente de escoamento superficial [-]
C_d	Coeficiente de descarga [-]
D	Diâmetro do conduto [m]
D_{eq}	Diâmetro do conduto equivalente [m]
E	Energia disponível a montante do vertedor [m]
E_E	Energia específica [m]
f	Fator de resistência de Darcy-Weisbach [-]
F_r	Número de Froude [-]
F_{R1}	Número de Froude calculado pela equação proposta por Straub (1978) para canais circulares [-]
g	Aceleração da gravidade [m.s ⁻²]
h	Altura do degrau [m]
H	Desnível geométrico ou carga hidráulica da escadaria ou vertedor [m]
H_{dam}	Altura do canal em degraus desde o topo até a base [m]
H_j	Altura de lançamento do jato [m]
H_M	Altura dos muros laterais da escada hidráulica [m]
H_{med}	Altura hidráulica média = A/B [m]
H_{max}	Energia total disponível no topo do vertedor [m]
H_{res}	Energia residual na base do vertedor [m]
i	Inclinação do canal [m.m ⁻¹]
I	Intensidade da chuva [mm.h ⁻¹]
i_c	Inclinação crítica do canal [m.m ⁻¹]
K	Coeficiente de perda de carga atribuída a caixa coletora [-]
K_c	Índice de compacidade [-]
K_f	Fator de forma [-]
l	Comprimento do degrau [m]

L	Comprimento do talvegue [m]
L'	Comprimento do maior curso d'água da bacia [m]
L_E	Comprimento da escadaria [m]
L_c	Comprimento do conduto [m]
L_j	Comprimento do ressalto [m]
n	Coeficiente de rugosidade de Manning [$\text{s.m}^{-1/3}$]
N	Número de degraus [-]
p	Pressão hidrostática [N.m^{-2}]
P	Perímetro da bacia [m]
P'	Potência hidráulica [kw]
q	Vazão específica [$\text{m}^3.(\text{s.m})^{-1}$]
Q	Vazão do canal [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$]
Q_{max}	Vazão máxima de escoamento do conduto [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$]
Q_P	Vazão de projeto calculada pelo Método Racional [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$]
Rey	Número de Reynolds
R_h	Raio hidráulico [m]
S	Declividade do talvegue [m.m^{-1}]
t	Tempo de deslocamento do jato [m]
t_c	Tempo de concentração [min]
t_e	Tempo de entrada [min]
t_p	Tempo de percurso [min]
T_R	Tempo de retorno [anos]
V	Velocidade média do escoamento [m.s^{-1}]
v_j	Velocidade de deslocamento do jato em queda livre [m.s^{-1}]
V_{max}	Velocidade máxima do conduto [m.s^{-1}]
x	Alcance horizontal do jato [m]
y	Altura normal do escoamento [m]
y_1, y_2	Alturas conjugadas do ressalto hidráulico [m]

y_c	Altura crítica do escoamento [m]
z	Energia de posição [m]
α	Ângulo de inclinação do canal [graus]
α_1	Coeficiente de Coriolis [-]
γ	Peso específico da água [N.m ⁻³]
θ	Ângulo formado entre 02 raios consecutivos na seção circular [rad]
ΔE	Energia dissipada [m]
Δh	Perda de carga [m]
ΔH	Energia dissipada ao longo do canal em degraus [m]
ε	Rugosidade relativa [mm]
ν	Viscosidade cinemática [m ² .s]

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	5
2.1 Objetivo geral	5
2.2 Objetivos específicos.....	5
3. ESCADARIAS DE PEDESTRES ASSOCIADAS A SISTEMAS DE DRENAGEM SUPERFICIAL	6
3.1 Importância da drenagem superficial na estabilidade de encostas	7
3.2 Como surgiram as escadarias drenantes de Salvador-Bahia.....	8
3.2.1 Concepção hidráulica	11
3.2.2 Degradação do sistema	13
3.2.3 Modificações no projeto original.....	15
3.2.4 Soluções alternativas às escadarias e rampas drenantes praticadas pela Prefeitura Municipal do Salvador	17
3.3 Escadarias versus a rua asfaltada.....	19
3.4 Experiências em outras cidades	21
3.5 Aspectos hidrológicos de dimensionamento	23
3.5.1 Relação intensidade, duração e frequência de dados pluviométricos	24
3.5.2 Determinação de vazões de projeto.....	27
3.6 Aspectos hidráulicos de dimensionamento	28
3.6.1 Dimensionamento de galerias.....	29
3.6.2 Ressalto hidráulico.....	33
3.6.3 Escoamento em degraus	34
4. METODOLOGIA	42
4.1 Seleção das áreas de estudo	42
4.2 Identificação de diferentes tipos de escadarias com drenagem associada utilizadas como objeto de estudo	44
4.3 Análise do desempenho hidráulico dos tipos de escadarias identificados	47

4.3.1 Escadaria tipo 01	49
4.3.2 Escadarias tipo 02, 03A e 03B	51
4.3.3 Escadarias tipo 04A e 04B	54
4.3.4 Escadaria tipo 04C	54
4.4 Avaliações hidrológicas	54
4.4.1 Determinação do tempo de concentração das bacias	54
4.4.2 Cálculo das vazões contribuintes para as escadas identificadas	55
4.5 Análises	59
5. ÁREAS DE ESTUDO	60
5.1 Caracterização das Áreas de Estudo	60
5.1.1 Jaqueira do Carneiro/Bom Juá	60
5.1.2 Calabar	61
5.2 Condições de Ocupação	61
5.2.1 Jaqueira do Carneiro/Bom Juá	62
5.2.2 Calabar	62
5.3 Delimitação das bacias	63
5.4 Condições de funcionamento das escadarias identificadas no Calabar e Jaqueira do Carneiro	66
6.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
6.1 Cálculos hidrológicos a partir das bacias estudadas	70
6.2 Capacidade de condução dos tipos de escadarias avaliados	72
6.3 Análise do desempenho da escadaria drenante (tipo 01) como dissipador de energia	81
6.4 Implicações no funcionamento hidráulico devido ao uso e manutenção	85
7.0 CONCLUSÃO	86
7.1 Recomendações quanto às condições de implantação e modificações nos dispositivos	88
REFERÊNCIAS	90
ANEXOS	95

ANEXO A – Metodologia proposta por ohtsu <i>et al.</i> (2004) para dimensionamento de canais em degraus em regime <i>skimming flow</i>	96
ANEXO B – Relação de solicitações encaminhadas à Superintendência de Conservação e Obras Públicas do Salvador referentes a serviços de recuperação e manutenção de escadarias, utilizadas na identificação de diferentes tipos de escadarias.....	101

1. INTRODUÇÃO

O crescimento urbano desordenado e acelerado nos países em desenvolvimento tem impactado negativamente o ambiente e a qualidade de vida das pessoas. A falta de controle do espaço urbano é refletida pela ocupação irregular de áreas inundáveis e encostas íngremes, trazendo graves problemas para a população, sobretudo na ocorrência de chuvas intensas.

A dinâmica das ocupações promove a ampliação de áreas impermeáveis, por meio da construção de telhados e pavimentos, refletindo diretamente na drenagem da bacia, tendo como principais consequências o aumento das vazões e velocidades superficiais de escoamento.

Em regiões de topografia acidentada, a supressão da vegetação existente e a execução de cortes e aterros, como parte do processo de implantação de novas moradias, interceptam e/ou alteram os cursos dos canais naturais de drenagem. Para permitir acesso às habitações que vão surgindo, vias de pedestres são criadas, de maneira improvisada, acompanhando o perfil natural do terreno, sob forma de rampas e escadarias. Os novos caminhos tornam-se preferenciais ao escoamento das águas, que em função do elevado gradiente hidráulico, deslocam-se com grandes velocidades.

O incremento na velocidade de escoamento superficial aliado a menor resistência oferecida pelo solo, devido à remoção da vegetação natural, potencializam os efeitos das tensões tangenciais do escoamento sobre a superfície, intensificando processos erosivos, e, por conseguinte, o carreamento de partículas. Tal fato, associado à precariedade das condições sanitárias, com o lançamento de resíduos sólidos e esgotos de forma inadequada, contribuem para instabilidade dos maciços e assoreamento de córregos e mananciais situados nos fundos dos vales, elevando o risco de deslizamentos e inundações.

Como solução, tradicionalmente são adotadas medidas estruturais, que implicam na construção de redes de microdrenagem de modo a conduzir de forma mais controlada o escoamento oriundo das áreas altas até os canais de macrodrenagem situados nos fundos dos vales.

Entretanto, os elevados desníveis topográficos e a densidade das áreas ocupadas estabelecem limitações de ordem construtiva que impactam no funcionamento hidráulico dos sistemas drenantes. A impossibilidade de executar escavações profundas pela proximidade e fragilidade das habitações, que em sua maioria são erguidas sem qualquer tipo de acompanhamento técnico, impõe aos condutos e calhas de drenagem severas inclinações, implicando em velocidades de escoamento bastante elevadas.

Tendo em vista a redução da velocidade de escoamento são utilizados dispositivos de dissipação que promovam a redução da energia cinética em excesso, com vistas a minimizar os processos de erosão sobre o talude e a própria estrutura de drenagem.

Como alternativa aos sistemas convencionais de drenagem, isto é, tubos e calhas lisas, foram desenvolvidas em 1979, na Cidade do Salvador, as escadarias e rampas drenantes, para atuar simultaneamente como dispositivo de microdrenagem e via de pedestres em áreas de encostas ocupadas irregularmente. Consistem basicamente em uma calha de seção retangular, pré-moldada em argamassa armada, sobre a qual são apoiados degraus ou placas de cobertura, também pré-moldados. A coleta das águas de chuvas ocorre através de orifícios laterais e por aberturas entre as placas de coberturas.

O lançamento de esgotos sanitários e resíduos sólidos no interior das calhas, aliada a falta de manutenção, dentre outros fatores, propiciou a degradação do sistema, comprometendo a capacidade de drenagem, dissipação de energia e de locomoção de pedestres. As escadarias e rampas apresentadas até então como solução tecnológica de drenagem e mobilidade nos assentamentos humanos nas encostas da Cidade, passaram a abrigar vetores transmissores de doenças, colocando em risco a integridade dos usuários.

Como forma de recuperar as escadarias e rampas drenantes, o Poder Público Municipal promoveu modificações no dispositivo, resultando em alterações do seu comportamento hidráulico. Dentre as intervenções realizadas, foram inseridos 02 tubos de 200mm no interior da calha em degraus, o que reduziu, significativamente, a capacidade de dissipação de energia que o sistema original apresentava. A seção equivalente dos condutos, inferior a área da calha existente, possibilitou o

estabelecimento de escoamento forçado, causando destacamento de degraus e comprometendo o acesso de moradores em algumas localidades.

Em decorrência dos problemas ocorridos, a Prefeitura do Salvador, tem realizado a substituição das estruturas pré-moldadas por dispositivos tradicionais, que correspondem à construção de escadarias moldadas *in loco* associadas à redes de drenagem. A solução atualmente adotada compreende a implantação sob a escadaria de condutos tipo Ribloc¹ com diâmetro de 400mm, e a construção de caixas com grelhas nos patamares, para coleta das águas pluviais. A baixa rugosidade característica do Ribloc e as elevadas declividades de assentamento do conduto favorecem regimes supercríticos de escoamento, com velocidades muito acima do limite admissível, estabelecendo uma energia cinética elevada.

O atual sistema de escadaria com drenagem associada é mais uma tentativa do Poder Público Municipal para equacionar o problema de drenagem e locomoção nas áreas pauperizadas e íngremes da Cidade intensificados com a densificação das áreas ocupadas.

Com o crescimento dos assentamentos informais, casas de um pavimento vêm sendo substituídas por sobrados, ou alargadas em direção à via, tornando-as ainda mais estreitas. Grandes invasões se transformaram em bairros, e as escadarias em ruas, passando a abrigar postes de iluminação pública, redes de distribuição de água e de coleta de esgotos sanitários, dentre outras.

Portanto, as escadarias e rampas drenantes desempenham um importante papel no contexto urbano e social de Salvador. De um lado servem como elemento de mobilidade urbana permitindo a articulação entre as partes altas e baixas, encurtando caminhos entre bairros e integrando as comunidades mais carentes ao sistema viário da cidade. Por outro, atuam como coletores primários de um grande e intrincado sistema de drenagem, quer seja de forma isolada ou interligadas em malhas. Funcionam como alimentadores de grande resposta às chuvas intensas, contribuindo com volumes de escoamento significativos, além de minimizar os

¹ Ribloc é a denominação dada a um tipo de tubo plástico estruturado, produzido pelo processo de enrolamento helicoidal de perfis de PVC, e indicado para aplicação em sistemas de drenagem pluvial e de esgotamento sanitário, operando sob ação da gravidade e sem pressurização interna (DRENARTEC, 2010).

efeitos erosivos que têm impacto direto na estabilidade das encostas, nas redes e canais de macro-drenagem situadas nos fundos de vales.

Contudo, diferentemente do modelo proposto em 1979 quando foram realizados estudos envolvendo aspectos construtivos, hidrológicos e hidráulicos, a nova solução, bem como as modificações realizadas nos últimos anos, foram implementadas sem avaliação técnica sistemática e sem observância das necessidades da população. Diante dos questionamentos e fatos apresentados torna-se fundamental uma ampla análise dos diferentes modelos de escadarias e rampas drenantes de Salvador a partir de abordagem sistêmica dos parâmetros e aspectos que concorrem para o funcionamento desses dispositivos, o que justifica a realização desta dissertação.

Com tal análise, é esperada a identificação de adequações e a indicação de soluções que respondam aos aspectos quanto à eficiência da drenagem, preservação do sistema drenante e conforto à locomoção das pessoas por essas vias.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar escadarias e rampas drenantes na sua função como dispositivos de drenagem, que também funcionam como vias de acesso, em assentamentos espontâneos nas áreas de encostas de Salvador, Bahia.

2.2 Objetivos específicos

- I. Identificar e caracterizar tipos de escadarias e rampas com sistemas de drenagem associados, a partir de critérios hidráulicos, hidrológicos e construtivos.
- II. Avaliar os tipos identificados, correlacionando concepção hidráulica e construtiva com parâmetros normatizados.
- III. Comparar os tipos quanto ao desempenho hidráulico e capacidade de atendimento ao usuário na condição de dispositivo de drenagem.
- IV. Identificar condições apropriadas para implantação dos tipos analisados.

3. ESCADARIAS DE PEDESTRES ASSOCIADAS A SISTEMAS DE DRENAGEM SUPERFICIAL

Na presente pesquisa a expressão escadaria e rampa drenante foi utilizada como referência ao dispositivo criado em 1979 por um grupo de engenheiros e técnicos da Prefeitura Municipal do Salvador para realizar dupla função: drenagem de águas pluviais e via de locomoção de pedestres. Os demais tipos de escadarias foram denominados de escadarias com drenagem associada, pois embora atuem de forma integrada, se constituem em estruturas independentes.

Não foram identificados registros da implantação de escadarias drenantes em nenhuma outra cidade além de Salvador sendo, portanto, alternativa tecnológica única e pioneira.

A quase totalidade das escadarias e rampas drenantes de Salvador estão situadas em ocupações espontâneas, as quais o IBGE (2010) denomina de aglomerados subnormais. Os termos favelas, invasões, ou ocupações subnormais são utilizados frequentemente como sinônimos, embora alguns autores adotem abordagens distintas (DIAS, 2003).

Não é foco deste trabalho discutir os diferentes conceitos ou processos de formação atribuídos a cada um dos termos anteriormente citados, sendo adotada na presente dissertação a denominação “ocupação espontânea” definida por Dias (2003):

[...] qualquer área que tenha surgido por meio de um processo informal, constituído inicialmente por habitações improvisadas com padrão construtivo precário e problemas de infra-estrutura urbana, não importando se constituída ilegalmente em terras de terceiros, e podendo localizar-se também em regiões centrais da cidade. (DIAS, 2003, p.11).

Segundo IBGE (2010), Salvador é a terceira capital mais populosa do País com 2.668.078 habitantes. Desse total, 882.204 habitantes, ou seja, cerca de 33,1% da população do Município vivem em ocupações espontâneas, que compreendem 242 áreas. Em razão da topografia extremamente acidentada da Cidade, pode-se afirmar que em parte considerável das ocupações, as escadarias se constituem na principal via acesso. Ao longo dos últimos 32 anos, com o crescimento, densificação e consolidação das ocupações as escadarias ganharam *status* de ruas. Portanto, o que se discute não são apenas escadarias, e sim vias públicas, que se diferenciam das convencionais por estarem implantadas sob severas inclinações.

3.1 Importância da drenagem superficial na estabilidade de encostas

Na visão de Bittencourt *et al.* (2006), a ocupação de forma precária de áreas íngremes, associada à inexistência ou deficiência de sistemas de drenagem pluvial, coleta de águas servidas e resíduos sólidos, contribuem substancialmente para a elevação dos riscos de deslizamentos. A infiltração de água nos maciços, através de trincas e fissuras, reduz a resistência do solo, podendo acarretar a ruptura de cortes e aterros, sobretudo na ocorrência de chuvas intensas e prolongadas (CUNHA, 1991).

Os sistemas de drenagem implantados em áreas de encostas cumprem importante papel na estabilidade do maciço, captando e conduzindo adequadamente as águas pluviais, evitando seu acúmulo e deslocamento sob grandes velocidades. Devido às altas declividades, a dissipação de energia se torna aspecto de grande importância na implantação dos sistemas de drenagem nas encostas.

Os dispositivos normalmente utilizados para drenagem superficial em regiões de encostas são: canaletas² moldadas *in loco*, canaletas pré-moldadas, tubos de concreto, escadas d'água. Cunha (1991) adverte que diante da impossibilidade de implantação de escadas hidráulicas, a utilização de calhas e tubos deve ser vinculada a construção de caixas de dissipação ou transição, com vistas à redução da velocidade de escoamento.

Alguns métodos utilizados no controle do escoamento superficial e erosão em áreas agrícolas são também aplicáveis a áreas urbanas com pequeno índice de urbanização. Dentre eles, destacam-se os chamados *checkwalls*, que consistem em pequenas barragens escalonadas geralmente construídas de concreto ou pedras (WHO, 1991). Este de tipo solução ao adotar o conceito da escada hidráulica promove a redução da velocidade de escoamento. Por outro lado, as pequenas barragens funcionam como mini-bacias de retenção contribuindo para atenuação das vazões de pico.

² Canaletas são canais abertos, podendo apresentar diferentes seções: retangular, trapezoidal, triangular ou semicircular. São geralmente executadas em concreto, podendo ser pré-moldadas ou moldadas *in-loco*.

Em áreas densamente ocupadas, é comum o uso de dispositivos associados a vias e escadarias de pedestres, de modo a permitir o acesso às residências durante as precipitações. A reduzida largura das vias, consequência da ocupação não planejada, a topografia do local e a precariedade das habitações, dentre outros aspectos, são limitantes quanto à escolha do sistema a ser implementado.

3.2 Como surgiram as escadarias drenantes de Salvador-Bahia

Na década de 1970, as condições sanitárias nas comunidades carentes de Salvador eram extremamente precárias, com lançamento de resíduos sólidos e esgotos sanitários diretamente sobre o solo. As construções informais se espalhavam pelos taludes e áreas alagadiças da Cidade.

Os cortes e aterros e a remoção da cobertura vegetal, modificando a drenagem superficial, contribuíram para o processo de instabilidade nos morros. Vários deslizamentos foram registrados pela Defesa Civil do Município, com destaque para o ocorrido no mês de abril de 1971, com 104 vítimas fatais e 2.200 feridos (SALVADOR, 2010).

O relatório do então Órgão Central de Planejamento, em 1981 (OCEPLAN, 1981), intitulado “Encostas: Porque e Onde Caem” destacava a necessidade de um sistema eficiente de drenagem de águas superficiais nas encostas de Salvador, com vistas não apenas à minimização dos efeitos erosivos sobre o solo, como também para redução nas taxas de infiltração, sobretudo nas partes mais elevadas do maciço.

As escadarias e rampas drenantes surgiram no final da década de 1970, como solução integrada a outros elementos urbanísticos, com intuito de mitigar a problemática da ocupação espontânea nos morros e vales da capital baiana. Foram idealizados dispositivos pré-moldados para os sistemas de macro e micro-drenagem, vias de acesso e coleta de resíduos sólidos (lixodutos), buscando minimizar os riscos de acidentes nas áreas de encostas, bem como melhorar a qualidade de vida das comunidades mais carentes.

A concepção adotada era a de realizar intervenções com o mínimo impacto, dadas as dificuldades construtivas de implantação de sistemas convencionais de drenagem em locais de topografia bastante irregular e de ocupação precária (SALVADOR, 1980b).

O planejamento, fabricação e implantação dos dispositivos foram realizadas pela Companhia de Renovação Urbana de Salvador (RENURB). Ressalta-se que o grande mentor do projeto foi o arquiteto João Filgueiras Lima³, que desenvolveu as peças utilizando a tecnologia da argamassa armada⁴

A partir de um modelo em tijolos maciços executado na ocupação do Calabar, no ano de 1979, foram desenvolvidas as escadarias e rampas. O protótipo consistia em um canal com fundo em concreto e laterais em tijolos maciços, coberto por placas de concreto armado. No fundo da calha foi aplicada camada de argamassa, estabelecendo declividade mínima de modo a assegurar ao escoamento capacidade de transporte de sedimentos.

As escadarias e rampas drenantes são compostas por calhas moldadas em argamassa armada que operam por encaixe tipo ponta e bolsa, sendo cobertas por placas e degraus pré-moldados em concreto armado. Devido à esbelteza das peças, o peso final é relativamente baixo, permitindo transporte e montagem inteiramente manual. Sob a ótica construtiva foi considerada a facilidade executiva, o baixo custo de conservação e a capacidade de adaptação às características da topografia local (SALVADOR, 1980a).

Os módulos apresentavam boa adaptabilidade ao perfil natural dos locais de implantação, devido ao sistema de encaixe. Estudos topográficos e geométricos possibilitaram estabelecer duas dimensões padrão para os degraus: 1,50m x 0,178m x 0,27m e 1,50m x 0,199m x 0,24m (largura x altura x comprimento). Peças especiais também foram desenvolvidas visando contemplar mudanças de direção longitudinal do sistema.

³ João da Gama Filgueiras, arquiteto, nascido em 10 de janeiro de 1932 na cidade do Rio de Janeiro. É conhecido popularmente como Lelé. Desenvolveu importantes projetos utilizando o conceito de pré-fabricados em concreto e argamassa armada, com destaque para os hospitais da Rede Sarah de reabilitação.

⁴ A argamassa armada é uma variação do ferro cimento inventado há cerca de 70 anos pelo engenheiro italiano Pier Luigi Nervi. Diferentemente do concreto convencional, não é utilizado material pétreo em sua composição, tendo-se apenas areia como agregado. Além disso, o teor de cimento é da ordem de 750kg.m^{-3} mais que o dobro em relação ao concreto comum. A armação é difusa, composta por telas e arames de diâmetros reduzidos e com densidade em torno de 150kg.m^{-3} . Tais fatores possibilitam a redução do recobrimento e, por conseguinte, a fabricação de peças mais leves.

A coleta das águas pluviais, nos trechos em rampa, ocorre por meio de orifícios nas laterais das calhas e juntas entre as placas de cobertura. Nos trechos em degraus a captação é feita lateralmente por um sistema tipo guelra de peixe, conforme mostrado na Figura 1.

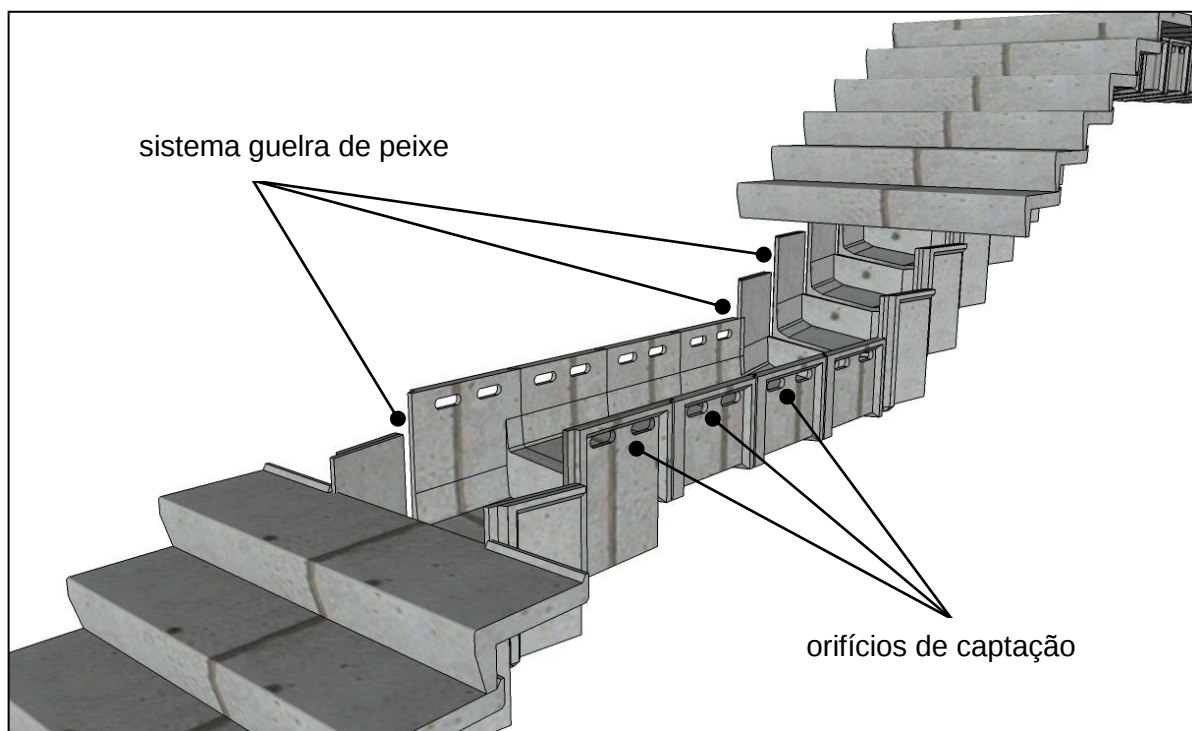


Figura 1 - Escadaria drenante e rampa drenante em argamassa armada

Foi prevista a pavimentação em solo-cimento das áreas adjacentes ao dispositivo, formando calhas de seção triangular semelhante a uma sarjeta. O objetivo era aumentar a eficiência na coleta das águas pluviais, e reduzir erosões no solo, evitando assoreamento prematuro da calha drenante e desnivelamento das peças pré-moldadas.

Inicialmente as escadarias e rampas drenantes foram totalmente pré-moldadas em argamassa armada. Entretanto, o reduzido peso dos pré-moldados, especialmente as placas de cobertura nos trechos em rampa, favorecia o furto das peças. Os degraus e placas passaram então a ser fabricados em concreto convencional, restando somente às calhas drenantes a moldagem em argamassa armada.

No início da década de 1980 foi implantada no bairro do Nordeste de Amaralina a primeira escadaria, e que serviu para realização de testes hidráulicos (Figura 2). Com uso de um caminhão pipa realizou-se a verificação da capacidade de condução

da calha drenante. Mesmo não havendo total controle na vazão de entrada, a qual não era constante, foi possível medir, com régua de madeira, a altura normal de funcionamento. O teste foi importante para realização de ajustes na geometria das peças, chegando-se a conclusão da necessidade de alargamento da área de captação lateral (OLIVA, 2011).

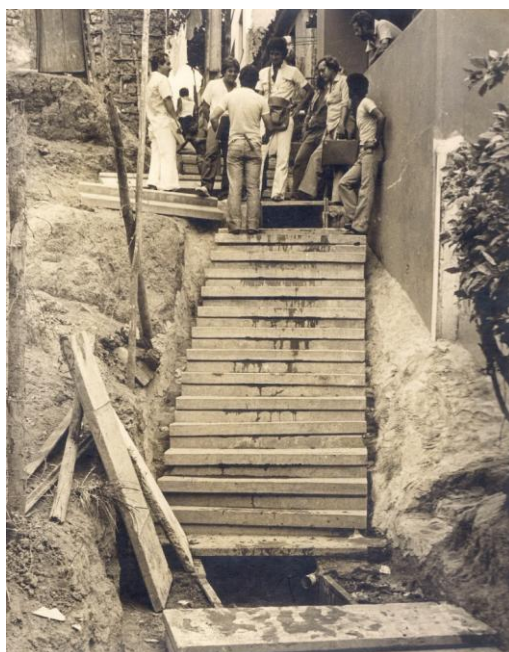


Figura 2 - Primeira escadaria drenante em argamassa armada. Nordeste de Amaralina, 1980.

Fonte: Bezerra (1980)

A implantação dos dispositivos ocorreu entre os anos de 1979 e 1983. Inicialmente apenas a RENURB realizava a fabricação e montagem dos pré-moldados. Entretanto, a necessidade de contemplar o maior número de comunidades no menor tempo possível, fez com que a tecnologia fosse também repassada a empresas privadas, para confecção das peças e execução das obras.

3.2.1 Concepção hidráulica

A metodologia para dimensionamento hidráulico das escadarias e rampas drenantes encontra-se descrita de maneira simplificada no caderno de projetos da RENURB (SALVADOR, 1980a) e no memorial do Projeto Nordeste de Amaralina (SALVADOR, 1980b). Informações adicionais foram obtidas por meio de consultas a engenheiros e técnicos envolvidos no Projeto.

Com base na análise das possíveis contribuições de vazões, a partir de estudos hidrológicos realizados em diversas bacias hidrográficas da Cidade foram definidas seções tipo para as calhas, batizadas de módulos R, R1, R2 e R3 que compunham os trechos em rampa, e os módulos E e E2, específicos para os trechos de escadarias, conforme mostrado na Figura 3. No Quadro 1 são apresentadas as respectivas dimensões de cada módulo.

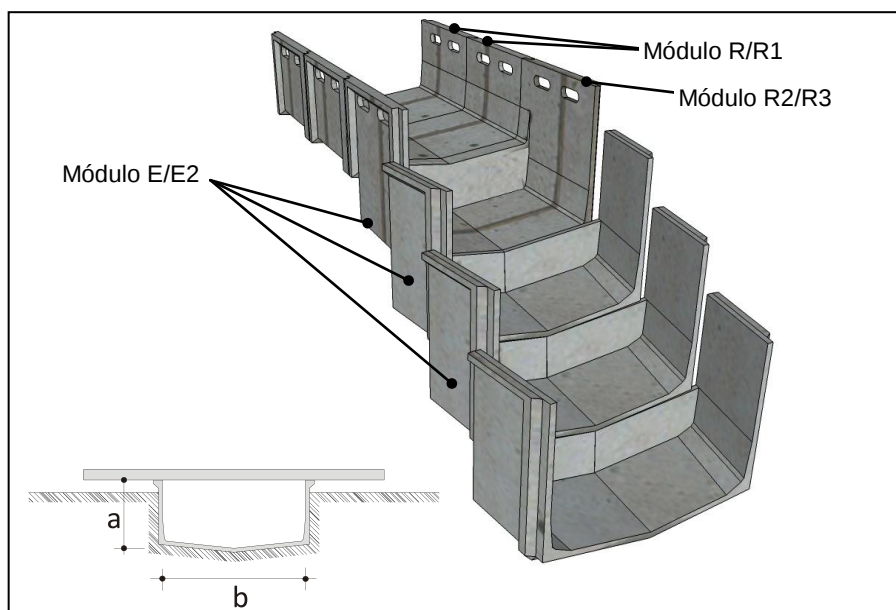


Figura 3 - Módulos drenantes

Módulo	a (m)	b (m)
R	0,340	0,71
R1	0,340	1,11
R2	0,478	0,71
R3	0,478	1,11
E	0,478	0,71
E2	0,478	1,11

Quadro 1 - Dimensões dos módulos drenantes

Fonte: Salvador (1980a).

No dimensionamento hidráulico do sistema observaram-se dois aspectos: capacidade de condução e de captação, sendo que a condição hidráulica limitante ocorre na entrada do trecho em degraus.

A máxima capacidade da rampa drenante quando acoplada ao trecho em degraus é limitada não apenas pela altura útil, como pelo alcance do jato, cuja colisão pode causar o deslocamento de degraus à jusante. Assumiu-se movimento do jato em queda livre na entrada da escadaria, sendo seu alcance máximo determinado pela

análise da trajetória da massa líquida, com base nas equações da cinemática vetorial:

$$x = v_j \cdot t \quad (1)$$

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot H_j}{g}} \quad (2)$$

Onde x é o alcance horizontal (m), v_j a velocidade de deslocamento da massa líquida em queda livre (m.s^{-1}), t o tempo de deslocamento (s), H_j a altura de lançamento (m) e g a aceleração da gravidade (m.s^{-2}). O valor adotado para a altura total do lançamento (H_j) corresponde à soma dos valores do espelho do degrau e da altura normal no trecho em rampa.

Ajustes na modulação das peças possibilitaram a definição duas configurações com vistas à ampliação do alcance máximo do jato e, por conseguinte da capacidade de vazão da calha, como mostrado na Figura 4. O dimensionamento hidráulico do dispositivo é apresentado com maiores detalhes no item 4.4.3.

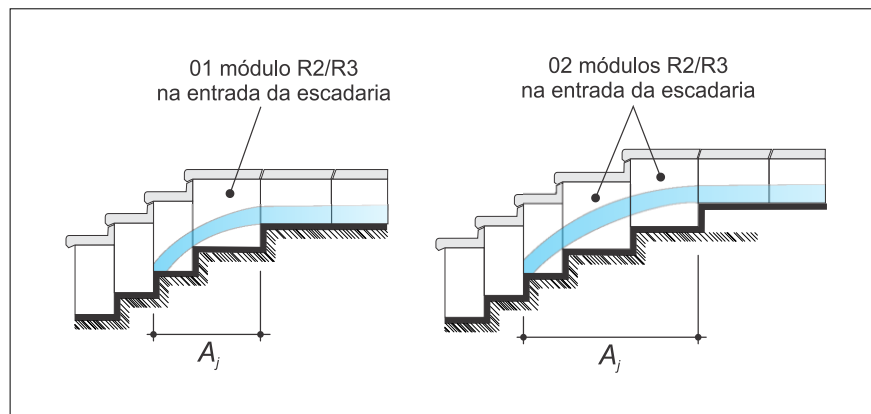


Figura 4 - Alcance do jato
Fonte: adaptado de SALVADOR (1980a).

3.2.2 Degradação do sistema

Alguns anos após a implantação, as escadarias e rampas drenantes apresentaram problemas. Moraes *et al.* (1995) avaliaram dez quilômetros de estruturas drenantes em diversas localidades da Cidade, indicando falhas na concepção, execução e, sobretudo, na manutenção dos dispositivos.

Os projetistas trabalharam com a hipótese da veiculação de efluentes oriundos do tratamento primário de esgoto doméstico. As águas oriundas de cozinha, por exemplo, deveriam previamente passar por caixas de gordura. O dispositivo não foi dimensionado para coleta e condução de esgoto bruto. Infelizmente os usuários não foram devidamente informados quanto ao uso correto do equipamento, o que contribuiu para a redução de sua vida útil (OLIVA, 2011).

Outro fator relevante para a degradação prematura do sistema, foi a não implementação do projeto em sua plenitude. A pavimentação nas áreas laterais foi executada apenas em algumas escadarias, o que favoreceu os processos erosivos e a perda de material de base das calhas, culminando com o desnivelamento dos módulos. O encaixe das peças foi comprometido, tornando as placas de cobertura passíveis de movimentações, submetendo os transeuntes a situações de risco (Figura 5).



Figura 5 - Degradação das escadarias e rampas drenantes. (a) Avenida Glicério, Pernambuco, 2007. (b) Ladeira Santo Antônio, Santa Mônica, 2003

O projeto das escadarias drenantes contemplava também medidas de cunho social. A fase de implantação contava com assistentes sociais, buscando desenvolver ações de educação sócio-ambiental. Além disso, o arquiteto João Filgueiras Lima idealizou um tipo de carrinho que subia as escadarias impulsionado pela força humana. A intenção era treinar pessoas da comunidade que, mediante pagamento mensal, seriam responsáveis por coletar diariamente os resíduos sólidos domiciliares gerados, evitando que fossem jogados na própria escadaria. A falta de

recursos, a descontinuidade administrativa, dentre outros fatores, impossibilitou que esta etapa fosse executada.

3.2.3 Modificações no projeto original

Em 1999, a Prefeitura Municipal do Salvador iniciou programa de intervenções nas escadarias e rampas drenantes, visando à recuperação das vias de acesso e reformulação dos sistemas de drenagem. O programa contemplava o nivelamento e realinhamento de placas e degraus, além da substituição das peças danificadas.

Nos trechos em degraus foram instalados no interior das calhas dois tubos de PVC com diâmetro de 200mm, operando como condutos em paralelo. Os espaços vazios entre os tubos e a calha eram preenchidos com material argiloso. Nos trechos em rampas, as calhas drenantes eram rejuntadas com argamassa cimentícia, sendo aplicada sobre as placas de cobertura camada de concreto com espessura de 4cm.

Os degraus passaram a ser fixados em suas laterais com pavimentação em concreto simples, com espessura de 5cm, formando rampas em toda extensão da escadaria. A cada 20 metros e nos pontos de mudança de direção eram dispostas caixas coletoras com grelhas de concreto, destinadas a captação das águas pluviais. As intervenções também contemplavam a implantação de sistema separador absoluto, com a construção de redes de coleta de esgotos sanitários nas áreas laterais à escadaria (Figura 6).



Figura 6 - Programa de intervenções nas escadarias e rampas drenantes. (a) Desenho esquemático da seção transversal da calha drenante. (b) Rua São Roque, Tancredo Neves, 2009

As intervenções executadas modificaram o comportamento hidráulico da estrutura. A concretagem das placas de cobertura das rampas e das laterais no trecho em degraus alterou a forma de coleta das águas pluviais. Os orifícios e aberturas entre placas destinados a captação em percurso foram substituídos por grelhas de concreto, executadas a cada 20m. Em consequência houve o aumento do escoamento na superfície da escada, tornando a via menos acessível aos transeuntes na ocorrência de precipitações.

Mesmo após a implantação do sistema separador absoluto, os condutos destinados exclusivamente às águas pluviais ainda veiculavam esgotos sanitários, em face da não conclusão das ligações intra-domiciliares ou de ligações clandestinas realizadas pelos moradores. A fim de evitar que odores característicos dos esgotos sanitários exalassem pelas caixas coletoras, instaladas nos patamares e próximas as residências, alguns moradores, concretaram as grelhas, reduzindo e/ou anulando a capacidade de engolimento do dispositivo, contribuindo para o aumento das vazões na superfície da escadaria.

As alterações hidráulicas mais significativas ocorreram com a substituição da calha drenante em degraus por 02 tubos de PVC de seção equivalente inferior, o que muito provavelmente reduziu a capacidade de condução e de dissipação de energia cinética promovida pelo sistema. O diâmetro do tubo foi definido de modo a possibilitar a remontagem dos degraus apoiados sobre as calhas, aproveitando-se a estrutura da escadaria e minimizando custos das intervenções. Não há registros de estudos hidráulicos e hidrológicos que tenham sido realizados de modo a referendar o diâmetro escolhido.

Ressalta-se que as intervenções foram executadas cerca de 20 anos após a implementação do sistema original, com a Cidade muito mais urbanizada e impermeabilizada. Portanto, o sistema deveria ser capaz de conduzir maiores vazões e não o contrário.

Em razão de elevadas precipitações, da provável redução da capacidade de condução do sistema modificado e da inexistência de manutenção preventiva, os tubos passaram a operar como condutos forçados. Como consequência da pressão no interior da tubulação, algumas escadarias foram danificadas. Na Figura 7 é apresentada a escadaria localizada na Travessa Gilson Fonseca, no Bairro de

Tancredo Neves, onde vestígios mostram que a dano causado ao dispositivo foi devido a elevada pressão a qual foi submetida a tubulação.



Figura 7 - Escadaria drenante danificada após projeto de recuperação. Travessa Gilson Fonseca, Tancredo Neves, 2010

Devido aos problemas ocorridos, a Prefeitura Municipal do Salvador decidiu em 2004 pela alteração do programa de intervenções, deixando de implementar a tubulação no interior das calhas, as quais passaram a ser restauradas com tijolos maciços e rejuntadas com argamassa. Algumas escadarias anteriormente recuperadas passaram por nova intervenção, dessa vez, para retirada dos tubos e recuperação da calha em degraus.

É importante salientar que as primeiras alterações no funcionamento hidráulico do sistema original foram realizadas pela população usuária, fruto do processo de crescimento desordenado e consolidação das ocupações. A capacidade de coleta das águas pluviais foi comprometida pelo tamponamento dos orifícios laterais, em razão da expansão das residências para as laterais das escadarias.

3.2.4 Soluções alternativas às escadarias e rampas drenantes praticadas pela Prefeitura Municipal do Salvador

Como alternativa ao modelo original das escadarias e rampas drenantes foram construídas em 1988, no bairro de Cosme de Farias, cinco escadarias em alvenaria de blocos, revestidas em argamassa, associadas a tubos de concreto e caixas coletoras, dispostas nos patamares.

As galerias com diâmetro de 0,30m foram implantadas seguindo a topografia local, com declividades muito acentuadas, a exemplo da Travessa Dom Pedro II, mostrada na Figura 8, sendo observadas inclinações superiores a 30 graus. Por outro lado, esta solução apresenta como aspecto positivo a construção em toda a largura da via. Tal fato impediu o desenvolvimento de processos erosivos que poderiam comprometer a estabilidade do maciço e da própria escadaria. Destaca-se ainda, que a construção das caixas coletoras com comprimento igual à largura da escadaria pode propiciar maior capacidade de engolimento das águas pelo sistema.



Figura 8 - Escadaria da Travessa Dom Pedro II, Cosme de Farias, 2011. (a) Detalhe da elevada inclinação da escadaria. (b) Detalhe das grelhas de concreto

A partir da alternativa apresentada em 1988, a Prefeitura Municipal do Salvador propôs nova solução, iniciando no ano de 2008 a substituição das escadarias e rampas em argamassa armada. Conduitos de PVC, tipo Ribloc, com diâmetro de 400mm, são implantados sob escadaria de concreto convencional moldada no local. Caixas coletoras com grelhas em concreto são construídas a uma distância máxima de dez metros de extensão e nos pontos de mudança de direção (Figura 9). O sistema também prevê a construção de redes coletoras de esgotos sanitários, sendo a rede de 400mm destinada exclusivamente à coleta de águas pluviais.



Figura 9 - Rua Glicério, Pernambués, 2008. (a) Escadarias drenante modelo original. (b) Implantação do tubo de Ribloc. (c) e (d) Detalhe da nova escadaria

Para as condições de difícil acesso impostas, sobretudo pela topografia irregular, o tubo de Ribloc mostra-se vantajoso em relação ao de concreto em função da facilidade de transporte e implantação. Comparativamente, 01 metro de galeria de Ribloc com 400mm de diâmetro pesa aproximadamente 5kg, enquanto que o equivalente em concreto é cerca de 30 vezes mais pesado.

A partir do histórico aqui apresentado verifica-se que as modificações e proposições alternativas aos dispositivos desenvolvidos em 1979 resultaram em diferentes tipos de escadarias, sendo possível caracterizá-los, bem como identificar aspectos que interferiram ou interferem em seu adequado funcionamento. Tais informações são fundamentais para as avaliações a que se propõe essa dissertação.

3.3 Escadarias versus a rua asfaltada

A escadaria drenante foi concebida para desempenhar dupla função: dispositivo de drenagem e via de locomoção de pedestres. Contudo, enquanto via de acesso torna-se muitas vezes limitada para atender as necessidades e expectativas da população. O jornal Correio da Bahia (edição de 02/06/02) publicou matéria com o

título: “Construção de escadaria causa polêmica”, na qual retrata a insatisfação de uma comunidade da Cidade:

A construção de uma escadaria na Rua 18 de Janeiro, no bairro de Cosme de Farias, virou motivo de polêmica entre moradores e técnicos [...]. Os habitantes da área repudiam a escada e preferem uma rampa que permita o acesso de viaturas, táxis e ambulâncias para atender às necessidades dos cerca de 30 idosos que moram por lá. Por sua vez, o engenheiro responsável pela obra [...], alega que não existem condições técnicas favoráveis para a construção da rampa, pois a inclinação do terreno não permite [...] (CORREIO DA BAHIA, 2002, p.3).

Técnicos envolvidos no projeto e implantação das escadarias drenantes de 1979, quando consultados, destacaram o que chamaram de “desespero pelo veículo” como uma das causas da destruição das escadarias. Segundo eles, em algumas comunidades, moradores quebravam as escadarias como forma de pressionar o Poder Público para asfaltar a rua, de modo a possibilitar acesso de veículos nas proximidades das residências.

Fica evidente que a participação da população é fundamental para sucesso e vida útil da intervenção. O desenvolvimento do projeto deve ser feito de forma conjunta, buscando adequação e respeito às especificidades da cada comunidade. A solução apresentada para um local, não será necessariamente boa para outro. Portanto, cabe ao Poder Público ouvir a comunidade e não subestimar o conhecimento que a população tem da sua própria realidade.

No processo decisório quanto ao tipo de via a ser adotada, a topografia do local é sem dúvida o principal fator a ser analisado. Para definição da inclinação máxima são considerados aspectos como: a potência do motor, peso dos veículos, além do coeficiente de atrito entre pneu e pavimento. Na visão de Farah (2003) existem controvérsias no meio técnico quando ao limite máximo de declividade para vias de veículos, sendo observados em alguns bairros da cidade de São Paulo valores acima dos 20% (o que corresponde a uma inclinação de cerca de 11,5°). Na cidade de Belo Horizonte são identificadas ruas que superam a inclinação de 47% (cerca de 25°), a exemplo da Rua Copérnico Pinto Coelho, no Bairro Santo Antônio, com inclinação de 55%, sendo considerada a rua pavimentada mais íngreme da capital Mineira.

Em Salvador a situação não é diferente, sendo facilmente encontradas “ladeiras” com inclinações bastante elevadas. Ressalta-se que em tais situações o Poder Público estabelece restrições quanto ao limite máximo da carga dos veículos que circulam nestas vias.

Nas ocupações desordenadas e consolidadas situadas em encostas íngremes, as estreitas escadarias são na maioria dos casos a única alternativa para permitir acesso às residências. Entretanto, algumas cidades tem implementado soluções como forma de melhorar a mobilidade nesses locais. Dentre elas destacam-se os *metro cable* implantados inicialmente na cidade de Medellin na Colômbia e, posteriormente, em outros locais como Caracas na Venezuela e Rio de Janeiro. A cidade do Salvador por sua vez possui sistemas de transporte vertical que poderiam ser adaptados a realidade das comunidades mais carentes, a exemplo dos planos inclinados Gonçalves e Pilar e do Elevador Lacerda.

Mesmo diante destas limitações e da impossibilidade de implementação de outras soluções, as escadarias e rampas se constituem em elementos essenciais de mobilidade urbana nas ocupações espontâneas em áreas de topografia acidentada, devendo ser implementadas de forma integrada e complementar ao sistema viário da Cidade.

3.4 Experiências em outras cidades

As ocupações espontâneas em áreas de encostas vêm se tornando um problema para várias cidades no mundo. Várias soluções vem sendo adotadas de forma a integrar o assentamento informal com a cidade formal. Na visão de Bueno (2000), a urbanização de assentamentos precários deve fazer parte de um conjunto de soluções, contemplando ações no sistema viário, de macro e microdrenagem, além de esgotamento sanitário. A ocupação informal e o seu entorno devem ser estudados, no intuito de possibilitar a execução de áreas de lazer e tratamento paisagístico, havendo integração por meio de rampas e escadarias ao sistema viário ou lote contíguo.

Em San Rafael Unido, situado em Caracas, capital da Venezuela, foi adotada uma solução integrada para minimizar os problemas da comunidade. Como em outros

assentamentos informais, a população enfrentava problemas de acessibilidade a serviços e equipamentos públicos pela inexistência de infraestrutura mínima.

O projeto contemplou melhoramentos nas vias e escadarias de acesso, que passaram a trabalhar de forma integrada ao sistema de transporte público. Foi estabelecido um novo *design* para as escadarias, que passaram a funcionar como “recipientes de serviços”, realizando drenagem, além de abrigar redes de águas, esgotamento sanitário e energia de forma sistemática (Figura 10). Os degraus das escadarias foram padronizados, sendo estabelecido número máximo de 20 degraus por lance e largura mínima de 1,00m. Além disso, foram previstos corrimãos em todos os trechos (JAYAWARDENA, 2006).



Figura 10 - Escadaria em San Rafael Unido, Caracas-Venezuela
Fonte: Holcim (2006).

Bajo Tejada, um bairro operário, encontra-se situado em íngreme encosta em La Paz, capital boliviana. O local não dispunha de calçadas, sistemas de drenagem ou escadarias e as ruas de terra do bairro estavam se deteriorando e apresentavam risco de desabamento. A solução adotada pela prefeitura local foi a construção de escadarias em concreto, dispostas sobre redes de drenagem e esgoto, com vários patamares, proporcionando acesso às casas. Em cada patamar foram previstos jardins, para que os moradores pudessem plantar hortaliças e flores (CONSTANCE, 2005).

Várias cidades brasileiras apresentam situações similares as da capital baiana, com enormes ocupações informais instaladas em áreas de risco e com sérios problemas infraestruturais. As medidas mitigadoras adotadas contemplam ações localizadas ou integradas com o contexto urbano da cidade.

Bastos (2003) destaca que os projetos desenvolvidos para o assentamento informal Jardim Floresta, Região Sul de São Paulo, foram concebidos para integrar as vielas secundárias às vias principais de fundo de vale. O sistema de drenagem nas vias secundárias, especialmente escadarias, foi dirigido para córregos situados nos fundos de vales e as redes de esgoto, interligadas à rede oficial.

As intervenções realizadas em San Rafael Unido na Venezuela, Bajo Tejada na Bolívia e em Jardim Floresta, Brasil, guardam dentre outros aspectos em comum, a observância às dimensões espaciais e sociais. Dentro deste contexto nota-se que a solução adotada em determinada região ou localidade, poderá não ser a mais adequada para outra. Além disso, as medidas buscaram não apenas mitigar as deficiências de acesso a infraestrutura básica como também resgatar a identidade das comunidades.

Independente do tipo de solução adotada a participação da comunidade é fundamental para o sucesso da intervenção, não apenas no processo decisório e implantação das medidas, como também na utilização, manutenção e conservação dos equipamentos e sistemas implantados. Valle (2009) ressalta a grande importância da educação ambiental para informar e sensibilizar as comunidades beneficiadas, sobretudo quanto aos limites do meio ambiente em relação às intervenções propostas.

3.5 Aspectos hidrológicos de dimensionamento

Dentre as diversas fases do ciclo hidrológico, o escoamento superficial é a de maior importância para o dimensionamento de estruturas de drenagem urbana.

Porto (1995) destaca que a análise criteriosa do escoamento superficial é essencial para o sucesso de um projeto de drenagem e erros cometidos poderão conduzir ao sub ou superdimensionamento das obras. O autor também ressalta que os valores obtidos serão sempre aproximados, em razão das incertezas hidrológicas, dos métodos e critérios adotados.

O escoamento superficial é significativamente alterado pelo processo de urbanização, que produz modificações nas características fisiográficas da bacia hidrográfica. Segundo Tucci (2005), o crescimento urbano aumenta a impermeabilização do solo, por meio de telhados, ruas, calçadas, diminuindo a parcela de infiltração. Devido ao aumento das áreas impermeáveis, ocorre também a redução do tempo de concentração da bacia. Em regiões de topografia irregular e com altas declividades, a exemplo de Salvador, o tempo de deslocamento das partículas de água até a seção de controle é ainda menor. Como consequência ocorre aumento no volume e velocidade de escoamento, impactando diretamente no dimensionamento das estruturas hidráulicas.

3.5.1 Relação intensidade, duração e frequência de dados pluviométricos

Chuvas intensas são causadoras de grandes problemas no meio urbano, a exemplo de inundações⁵ e deslizamentos de encostas. Sendo assim, o conhecimento das relações entre intensidade, duração e frequência das chuvas intensas é fundamental para o projeto de obras de controle de erosão e de estruturas hidráulicas de fluxo para águas pluviais.

A análise da frequência das chuvas intensas é feita com base no tempo de retorno, definido como o número médio de anos que uma dada precipitação seja igualada ou superada (WILKEN, 1978). A partir da análise estatística de séries com 15 ou mais anos de dados pluviométricos, é possível estabelecer relações que se traduzem nas chamadas curvas IDF (intensidade, duração e frequência).

Pfaffstetter (1957) realizou um amplo estudo de chuvas intensas no Brasil. Os resultados foram apresentados sob forma de gráfico bilogarítmico, sendo plotados para cada duração os valores de total precipitado em função do período de recorrência.

Com base nos trabalhos de Pfaffstetter, o engenheiro Henrique Browne (*apud* SALVADOR, 1980a) desenvolveu uma equação de chuvas para Salvador (equação 3). Matos (2006) após estudos sobre chuvas intensas na Bahia estabeleceu novas

⁵ Consistem no transbordamento da calha natural de rios, mares, lagos, açudes ou acúmulo de água em razão de precipitações intensas em conjunto com drenagem deficiente, em áreas não habitualmente submersas (RECESA, 2008).

relações para diversas localidades do Estado, dentre elas a capital baiana (equação 4). Os resultados foram dispostos sob forma de tabelas e gráficos.

Ressalta-se que a equação desenvolvida por Matos (2006) para Salvador foi estabelecida a partir de uma série histórica com 49 anos de informações, enquanto que a equação de Browne foi obtida com base no trabalho de Pfafstetter (1957), utilizando 23 anos e oito meses de dados.

$$I = \frac{2960,16 \cdot T_R^{0,163}}{(t_c + 24)^{0,743}} \quad (3)$$

$$I = \frac{157,861 \cdot T_R^{0,2443}}{(t_c + 22)^{0,94 T_R^{0,0355}}} \quad (4)$$

Onde: I é a intensidade (mm.h^{-1}), T_R é o tempo de retorno (anos) e t_c é o tempo e concentração (min).

O tempo de concentração tem influência direta na intensidade da chuva de projeto, impactando na vazão e, portanto no dimensionamento hidráulico dos dispositivos de drenagem. Segundo Chow *et al.* (1988), em sistemas de drenagem urbana, o tempo de concentração corresponde à soma do tempo de entrada (tempo que o escoamento superficial leva até chegar à entrada da galeria) e do tempo de percurso (tempo de escoamento dentro da galeria):

$$t_c = t_e + t_p \quad (5)$$

Onde t_c é o tempo de concentração (min), t_e é o tempo de entrada (min) e t_p é o tempo de percurso (min) calculado pela equação 6.

$$t_p = \frac{L_c}{V \cdot 60} \quad (6)$$

Onde L_c é o comprimento do conduto (m) e V a velocidade do escoamento (m.s^{-1})

O tempo de entrada pode ser obtido por meio de observações experimentais, ou estimados a partir de fórmulas empíricas.

Mata-Lima *et al.* (2007) classificam os métodos para determinação do tempo de concentração em: estritamente empíricos e semi-empíricos. Os métodos estritamente empíricos são rígidos e estáticos, pois não consideram a heterogeneidade espacial e temporal da bacia. Entretanto, são expeditos, não exigindo dados de entrada detalhados, sendo importantes em estudos preliminares

da bacia. Por sua vez, os métodos semi-empíricos caracterizam-se pela inclusão de parâmetros que variam em função de características de ocupação, possibilitando análise do comportamento hidrológico em diferentes cenários.

Dentre as inúmeras equações estritamente empíricas existentes uma das mais utilizadas é sem dúvida a de Kirpich (equação 7):

$$t_c = 3,989 \frac{L^{0,77}}{S^{-0,385}} \quad (7)$$

Onde t_c é tempo de concentração (min), L é o comprimento do talvegue (m) e S é a declividade do talvegue ($m.m^{-1}$).

A equação de Kirpich foi desenvolvida em 1940, a partir de dados de sete pequenas bacias rurais do Estado Americano do Tennessee com área de até $0,5km^2$ e declividade entre 3% e 10% (KIBLER, 1992).

Nos estudos hidrológicos para implantação das escadarias e rampas drenantes, o tempo de concentração adotado resultou na aplicação da equação de Kirpich cujos resultados adicionou-se mais cinco minutos (SALVADOR, 1980b).

Porto (1995) ressalta que o uso de fórmulas empíricas deve ser feito em condições muito semelhantes daquelas em que foram determinadas. As escadarias drenantes de Salvador estão localizadas em bacias que se caracterizam pela intensa urbanização, implicando em elevada impermeabilização do solo, e pela topografia bastante acidentada, com declividades superiores a 10%. Sob tais condições, o uso da equação de Kirpich poderá conduzir a tempos de concentração superestimados, refletindo, no dimensionamento das escadarias.

Para bacias com elevado índice de urbanização, com grande parte do escoamento sobre superfícies de concreto e asfalto, Kibler (1992), recomenda a multiplicação dos valores calculados pela equação de Kirpich pelo fator redutor 0,4. Apesar de considerar os efeitos da urbanização sobre o tempo de concentração, a adoção de um fator fixo, despreza as modificações na ocupação da bacia ao longo do tempo.

A partir do modelo hidrológico IPH II com base em dados de 28 bacias brasileiras (em seis diferentes cidades) com características rurais, urbanas e semi-urbanas, Germano *et al.* apresentaram a equação 8 para o cálculo do tempo de concentração.

$$t_c = 5,32 \frac{L^{0,882}}{IMP^{0,272}} \quad (8)$$

Onde t_c é tempo de concentração (min), L é o comprimento do talvegue (km) e IMP é a área impermeável da bacia (km^2).

Segundo Tucci (2000), uma das limitações da equação 8 é o fato de ter sido determinada com base em bacias com tamanho superior ao de aplicabilidade do Método Racional.

3.5.2 Determinação de vazões de projeto

A metodologia adotada para dimensionamento de dispositivos de drenagem urbana consiste na determinação da vazão máxima que é associada ao período de retorno da precipitação de projeto. A escolha do período de retorno deve observar a natureza da obra a ser executada, além dos riscos envolvidos quanto à segurança da população e perdas materiais. De acordo com CETESB (1986), para estruturas de micro-drenagem, são adotados períodos de retorno entre dois e dez anos.

Segundo Porto (1995), na estimativa das vazões de projeto duas abordagens são de uso consagrado: o Método Racional e os métodos baseados na teoria do hidrograma unitário, sendo o primeiro aplicável a bacias com área inferior a 3km^2 e o segundo para bacias de maior porte.

Em razão das pequenas áreas contribuintes para escadarias e rampas drenantes, a vazão de projeto pode ser calculada a partir do Método Racional, que fornece apenas a descarga de pico do hidrograma, sendo expresso pela equação:

$$Q_p = \frac{C \cdot I \cdot A_b}{3,6} \quad (9)$$

Sendo Q_p a vazão de projeto ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), C o coeficiente de escoamento superficial (adimensional), I a intensidade da chuva ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$), A_b a área da bacia (km^2).

Ressalta-se que na literatura técnica existem divergências quanto à área limite para aplicação dessa equação. O Quadro 2 apresenta os valores limites de área recomendados por diferentes autores para aplicação do método.

Fonte	Limite Recomendado
WILKEN, 1978	Área < 5km ²
CETESB, 1986	Área ≤ 1km ²
PORTO, 1985	Área ≤ 2km ²
FENDRICH, 1997	Área < 0,50km ²
GODOI, 2006	Área < 3km ²

Quadro 2 - Área Limite de aplicação do método racional

A discrepância quanto ao valor máximo da área da bacia a ser adotada na aplicação do método é de certa forma, reflexo das suas premissas básicas. A imprecisão aumenta na medida em que também cresce a área da bacia. Pinto (1976) alerta que ao ser chamado de racional, esse método passa uma primeira impressão de segurança, porém apresenta diversas simplificações e coeficientes, o que torna sua avaliação subjetiva. Segundo CETESB (1986), a equação racional assume em sua concepção as premissas:

- O tempo de duração da chuva geradora da vazão de projeto é igual ao tempo de concentração da bacia.
- O deflúvio máximo ocorre quando toda a área da bacia, a montante da seção de projeto, passa a contribuir para o escoamento.
- A permeabilidade do solo da bacia mantém-se constante durante a chuva.

O Método Racional assume, portanto, que a chuva geradora do deflúvio é invariável no tempo e espaço, o que implica em uma chuva uniforme sobre toda bacia, o que de fato não acontece.

O coeficiente de escoamento superficial empregado no método racional corresponde à relação entre o volume escoado e o volume total precipitado na bacia. Tucci (1995) destaca que este coeficiente, também conhecido como coeficiente de deflúvio, ou de *runoff*, depende de alguns aspectos como: características do solo, tipo de cobertura da bacia, tipo de ocupação, dentre outros.

3.6 Aspectos hidráulicos de dimensionamento

As estruturas hidráulicas utilizadas na drenagem superficial em áreas de encostas compreendem canais condutores de seções abertas e fechadas. Na condição de sistemas de micro-drenagem, são de modo geral, dimensionados para operação sob regime livre de escoamento atuando, na superfície do líquido, a pressão atmosférica.

Nos canais fechados, mesmo aqueles dimensionados como condutos livres, é necessária a verificação para condição de operação em carga. O escoamento forçado pode ser estabelecido mediante ocorrência de chuva excepcional, superior ao valor assumido em projeto (CETESB, 1986), ou em função de obstruções na rede, com redução da seção de escoamento.

Os condutos utilizados em associação a escadarias ou rampas de pedestres apresentam-se geralmente sob forma de calhas com seções retangulares ou semicirculares ou como tubos de seções circulares. Por essa razão será dada especial atenção ao estudo hidráulico dessas geometrias.

3.6.1 Dimensionamento de galerias

Segundo GEORIO (2000), o dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem é feito com base no regime que se estabelece no canal condutor, que está correlacionado à quantidade de energia associada ao fluxo. A energia total (H) numa dada seção do canal é expressa pela equação 10:

$$H = z + y + \alpha_1 \frac{V^2}{2g} \quad (10)$$

Sendo H a energia total, z a energia de posição, y a profundidade do escoamento, α o coeficiente de Coriolis e $V^2/2g$ a parcela correspondente a energia cinética. A perda de carga ou perda de energia (Δh) entre duas seções consecutivas corresponde à diferença de energia entre elas, como ilustrado na Figura 11.

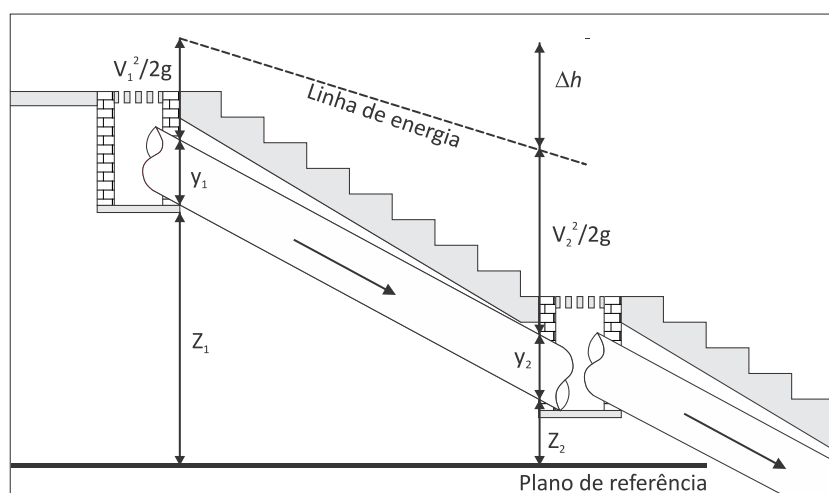


Figura 11 - Desenho esquemático da linha de energia na escadaria com sistema de drenagem

No dimensionamento de sistemas de drenagem operando em regime de escoamento livre, admite-se que a linha de energia seja paralela ao canal condutor. Assumem-se como perdas de carga aquelas distribuídas ao longo do percurso e as localizadas nos poços de visitas e caixas de passagem (CETESB, 1986).

Considerando como plano de referência o fundo do canal e assumindo-se o coeficiente de Coriolis igual a um, a energia específica em uma seção qualquer do canal é obtida pela equação 11.

$$E_E = y + \frac{V^2}{2g} \quad (11)$$

Em que y corresponde à altura d'água no interior do canal e V a velocidade média do escoamento. Combinando-se a equação 11 com a equação da continuidade, obtém-se:

$$E_E = y + \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot A^2} \quad (12)$$

Onde Q e A são respectivamente a vazão e área da seção transversal do canal. Na condição de escoamento permanente, observa-se que a energia específica varia com a altura ou profundidade do escoamento, ou seja, $E_E = f(y)$, pois a área molhada também depende da altura. O número adimensional Froude, é utilizado para classificar os tipos de escoamentos em canais tendo como dimensão característica a altura da seção (PORTO, 2006), sendo definido pela seguinte equação:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot H_{med}}} \quad (13)$$

Onde H_{med} é a altura hidráulica média da seção e que corresponde a razão entre a área e largura da seção, ou seja, $H_{med} = A/B$.

Para valores de Froude maiores que a unidade, o regime de escoamento é classificado em supercrítico. O regime será crítico se o número de Froude for igual a um e subcrítico se for menor que um.

A profundidade crítica (y_c) corresponde à altura do escoamento na qual a energia específica é mínima. Para canais retangulares é obtida por meio da equação 14, na qual q corresponde a vazão específica e g a aceleração da gravidade.

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad (14)$$

Para seções circulares e semicirculares a altura crítica é determinada por meio da equação 15, com uso de iterações, assumindo-se valores para y_c .

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{\left\{ \frac{D^2}{8} \left[2\arccos\left(1 - 2\frac{y_c}{D}\right) - \sin\left(2\arccos\left(1 - 2\frac{y_c}{D}\right)\right) \right] \right\}^3}{2\sqrt{y_c(D - y_c)}} \quad (15)$$

Sendo D o diâmetro do conduto e y_c a profundidade crítica.

O regime crítico é bastante instável, pois a menor variação na energia específica promove alteração na altura do escoamento e, por conseguinte o regime de escoamento. O regime de escoamento pode sofrer modificação em razão de alteração na declividade do conduto, sendo este parâmetro também utilizado como indicador do tipo de escoamento (PORTO, 2006).

Condição	Regime de escoamento
$i < i_c$	Regime subcrítico ou fluvial
$i = i_c$	Regime crítico
$i > i_c$	Regime supercrítico

Quadro 3 - Regimes de escoamento em função da declividade

Fonte: Porto (2006).

A verificação da capacidade de escoamento em condutos de sistemas de drenagem é geralmente feita considerando regime permanente e uniforme. Assume-se portanto, que a vazão, a área molhada, a profundidade e velocidade média do escoamento são constantes ao longo do canal condutor. A fórmula de Manning (equação 16) combinada com a equação da continuidade (equação 17) resulta na equação 18 que é a mais utilizada para o cálculo da vazão, em canais sob regime livre:

$$V = \frac{1}{n} \cdot R_h^{2/3} \cdot \sqrt{i} \quad (16)$$

$$Q = A \cdot V \quad (17)$$

$$Q = A \cdot \frac{1}{n} \cdot R_h^{2/3} \cdot \sqrt{i} \quad (18)$$

Sendo V a velocidade média do escoamento (m.s^{-1}), n o coeficiente de rugosidade de Manning ($\text{s.m}^{-(1/3)}$), R_h raio hidráulico (m) e i a declividade (m/m). O raio hidráulico e a área molhada são fatores que dependem da forma da seção. Para seções circulares e semicirculares estes parâmetros podem ser obtidos em função do ângulo interno θ , formado entre 02 raios consecutivos, conforme mostrado no Quadro 4.

Seção	Área molhada (A)	Perímetro molhado (P)	Raio Hidráulico (R_h)	Largura do topo (B)	Profundidade do escoamento (y)
Retangular	$B \cdot y$	$B + 2 \cdot y$	$\frac{B \cdot y}{B + 2 \cdot y}$	B	y
Circular	$\frac{D^2}{8} (\theta - \sin\theta)$	$\frac{\theta \cdot D}{2}$	$\frac{D}{4} \cdot \left(1 - \frac{\sin\theta}{\theta}\right)$	$2\sqrt{y(D - y)}$	$\frac{1}{8} \left[\frac{\theta - \sin\theta}{\sin(0,5\theta)} \right]$
$\theta = 2\arccos\left(1 - 2\frac{y}{D}\right)$, sendo θ expresso em radianos.					

Quadro 4 - Relações geométricas de seções transversais típicas

Nas seções circulares, em razão da geometria, a vazão máxima ocorre para uma altura normal correspondente a 94% do diâmetro. Porto (2006) recomenda a fixação da lâmina d'água em 75% do diâmetro, pelo fato da altura na seção máxima ser muito próxima ao diâmetro e qualquer instabilidade no escoamento poderá provocar o regime forçado.

O coeficiente de rugosidade de Manning se traduz na resistência ao escoamento que é oferecida pelo material que constitui o conduto. A disposição de esgotos sanitários nas redes de drenagem contribui para alteração da rugosidade do conduto. Segundo a *American Concrete Pipe Association* (ACPA, 2007), tubos de PVC, por exemplo, tem sua rugosidade aumentada devido à aderência de lodos, gorduras e graxas.

A partir da análise da equação 14 percebe-se que a velocidade de escoamento e o coeficiente de Manning mantêm relação inversa. Em outras palavras, para uma mesma seção e inclinação do conduto, o aumento do coeficiente de Manning (o que corresponde a uma maior rugosidade) conduz a diminuição da velocidade de escoamento e vice-versa.

No dimensionamento das estruturas devem ser observados os limites quanto à velocidade de escoamento. O estabelecimento de valores mínimos de velocidade do escoamento, denominada velocidade de auto limpeza, visa garantir a capacidade de

transporte de materiais sedimentáveis no interior dos condutos. A não observância a este limite pode ocasionar a sedimentação de partículas em suspensão, reduzindo a seção útil do conduto e, por conseguinte, a capacidade de vazão.

A velocidade de escoamento é limitada pela possibilidade de erosão por abrasão do canal condutor e das estruturas hidráulicas associadas. Garcias (1997) destaca divergências quanto ao limite máximo estabelecido por diversos autores, recomendando o valor de $5,0\text{m.s}^{-1}$. A Associação Brasileira de Fabricantes de Tubos de Concreto (ABTC, 2003) não recomenda valores superiores a $5,0\text{m.s}^{-1}$.

3.6.2 Ressalto hidráulico

O ressalto hidráulico se caracteriza pela passagem de forma brusca do regime supercrítico para o subcrítico. Nesta transição, a superfície da água eleva-se de maneira abrupta, normalmente havendo formação de rolos d'água pela mistura intensa com ar, ocorrendo dissipação de grande quantidade de energia (CHAUDHRY, 2008).

USDOT (2006) apresenta a análise do fenômeno por meio do gráfico da energia específica. Com base na Figura 12 verifica-se que antes da ocorrência do ressalto predomina a energia cinética, sendo o regime supercrítico. À medida que aumenta a profundidade de escoamento, a energia específica sofre redução, ocorrendo mudança para o regime subcrítico. No final do ressalto a energia potencial torna-se predominante.

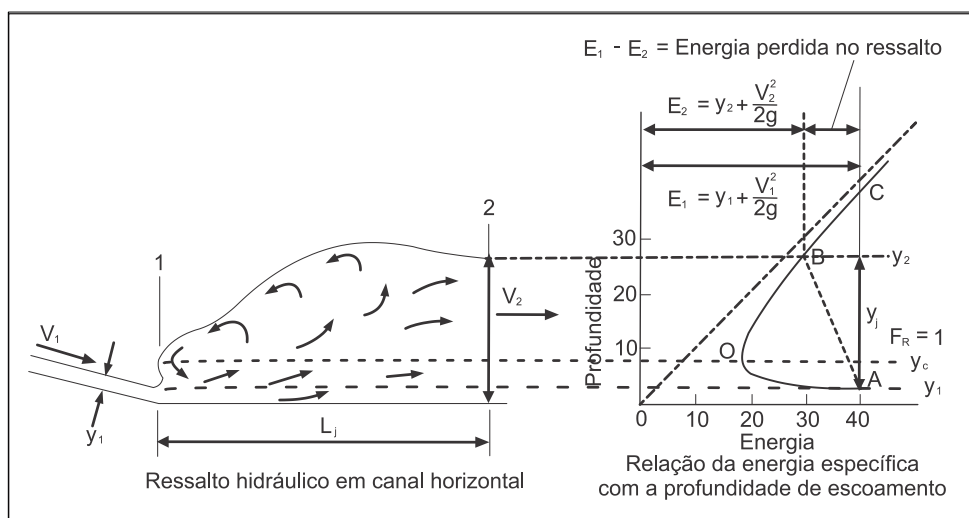


Figura 12 - Ressalto Hidráulico.

Fonte: USDOT (2006)

O aspecto do ressalto varia de acordo com o número de Froude, o qual depende da velocidade de escoamento. Os tirantes d'água y_1 e y_2 mostrados na Figura 12 correspondem às alturas ou profundidades conjugadas do ressalto, sendo a diferença entre elas intitulada altura ou profundidade do ressalto. A aplicação do teorema da quantidade de movimento (a um dado volume) em um trecho reto de canal de seção retangular conduz a equação 19 utilizada na determinação das alturas do ressalto.

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left[\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1 \right] \quad (19)$$

A equação 18 é válida apenas para seções retangulares. French (2004) destaca que para canais não retangulares e prismáticos também podem ser desenvolvidas expressões com base no princípio da quantidade de movimento, a serem resolvidas por tentativa e erro. Straub (1978) *apud* French (2004) propôs duas expressões semi-empíricas para a determinação da altura conjugada y_2 em canais circulares em função do número de Froude.

$$F_{R1} = \left(\frac{y_c}{y_1} \right)^{1,93} \quad (20)$$

$$y_2 = \frac{y_c^2}{y_1} \quad (21)$$

$$y_2 = \frac{y_c^{1,8}}{y_1^{0,73}} \quad (22)$$

Sendo F_{R1} o número de Froude a montante do ressalto, y_1 e y_2 as alturas conjugadas do ressalto e y_c a altura crítica. A equação 21 é válida para números de Froude (F_{R1}) menores que 1,7 e a equação 22 deve ser aplicada para valores de Froude (F_{R1}) acima de 1,7.

3.6.3 Escoamento em degraus

O deslocamento de água em regime supercrítico pode provocar rápido desgaste de estruturas quer seja por atrito ou impacto, o que pode ocorrer, por exemplo, em descarregadores de barragens e na saída de bueiros.

O escoamento rápido das águas é também fator causador de processos erosivos em taludes íngremes desprotegidos, devido ao elevado gradiente hidráulico e que se

traduz em grande energia potencial. Pelo princípio da conservação, a energia potencial transformar-se-á em energia cinética, imprimindo à massa de água grande velocidade. Em tais situações é necessário prever dispositivos que promovam a redução da velocidade de escoamento mediante a dissipação da energia cinética em excesso.

Toscano (1999) define a dissipação de energia como um fenômeno no qual a energia cinética associada ao movimento da massa fluída é transformada em energia de turbulência e logo após em térmica, em face da agitação interna do fluído.

Em obras de drenagem urbana são utilizados alguns dispositivos com a finalidade de dissipação de energia, dentre os quais podem ser destacadas as descidas d'água em degraus, sendo também conhecidas como escadas hidráulicas.

As escadas hidráulicas assemelham-se geometricamente aos extravasores, descarregadores ou vertedores em degraus utilizados em barragens, apresentando funcionamento hidráulico análogo. A comparação se deve a eficiência apresentada pelos dispositivos na dissipação de energia. No entanto, existem diferenças quanto às vazões de entrada, sendo observados valores muito superiores nos descarregadores de barragens, o que impõe maior robustez a essas estruturas.

Na parte final do dispositivo haverá sempre uma energia residual, sendo necessária a utilização de bacias de dissipação dimensionadas para conter completamente ou parcialmente o ressalto hidráulico que se forma.

Segundo Khatsuria (2005), nas últimas décadas tem havido um grande interesse em todo o mundo no estudo de canais em degraus. Isto se deve em parte ao uso de concreto compactado a rolo (CCR) em vertedouros de barragens e a grande capacidade de dissipação promovida pela estrutura em degraus, reduzindo significativamente o tamanho da bacia de dissipação.

Vários pesquisadores têm realizado estudos nos quais comprovam a maior eficiência das calhas em degraus na dissipação da energia em relação às calhas de fundo liso. Simões (2008) destaca que canais com calha lisa dissipam cerca de 5% da energia a montante do vertedor. Por outro lado Prá (2004) a partir de estudos experimentais comprovou que canais em degraus são capazes de dissipar até 90% da energia total disponível a montante.

O estudo do escoamento em degraus apresenta certa complexidade, especialmente pela incorporação de ar à massa líquida. A aeração provoca dentre outros fenômenos o aumento da profundidade do escoamento, dissolução e liberação de gases, aumento da compressibilidade e diminuição da resistência oferecida ao escoamento (SIMÕES, 2008).

Regimes de Escoamento

O escoamento ao longo de um canal em degraus pode ser classificado em três diferentes regimes: *nappe flow*, *transition flow* e *skimming flow* (SIMÕES, 2008), como mostrado na Figura 13. Optou-se nesse trabalho na manutenção da nomenclatura original, embora existam traduções propostas para os referidos termos.

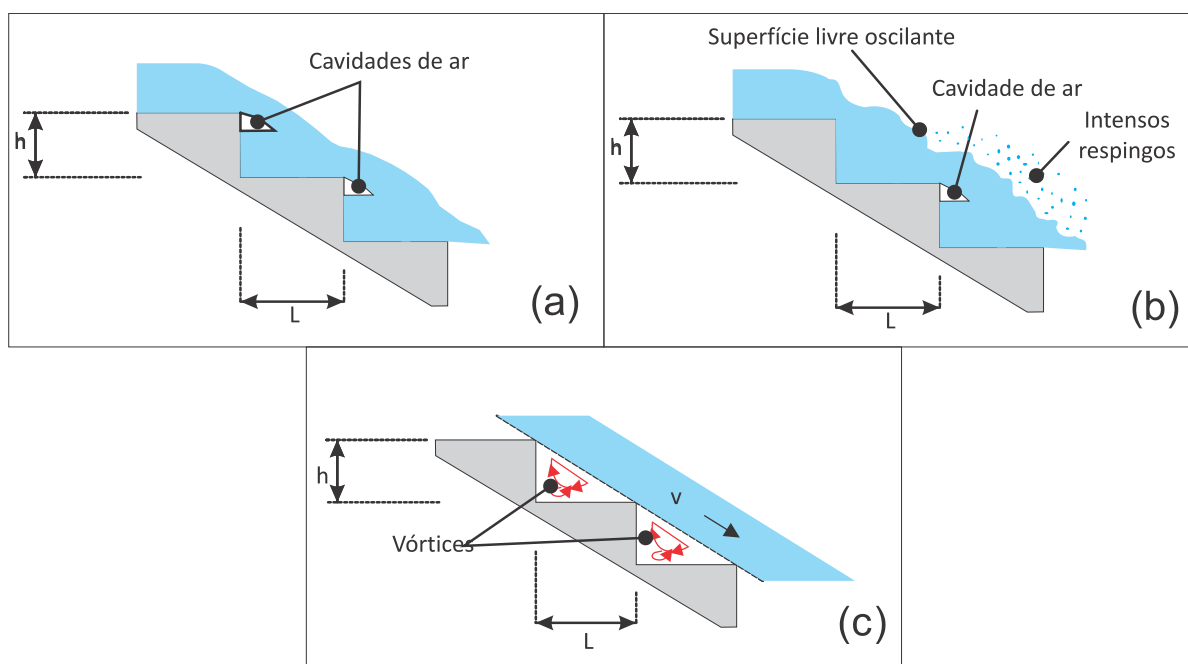


Figura 13 - Desenho esquemático dos regimes de escoamento em degraus. (a) *nappe flow*; (b) *transition flow*; (c) *skimming flow*
 Fonte: Adaptado de Simões (2008).

As condições de fluxo em escoamento em degraus são regidas pela altura e comprimento do degrau, inclinação da rampa com a horizontal e vazão unitária (KHATSURIA, 2005).

Para uma dada geometria do canal em degraus, à medida que as vazões específicas forem aumentando, poderá ser observada a ocorrência dos outros

regimes de escoamento: *transition* e *skimming flow*. Vários autores propuseram expressões para determinação dos diferentes regimes de escoamentos, com base nas relações adimensionais: h/l e y_c/h (h a altura e l o comprimento do degrau).

Simões (2008) comparou as expressões propostas por alguns autores tendo encontrado razoável consistência entre os resultados obtidos para diferentes metodologias, conforme pode ser observado na Figura 14.

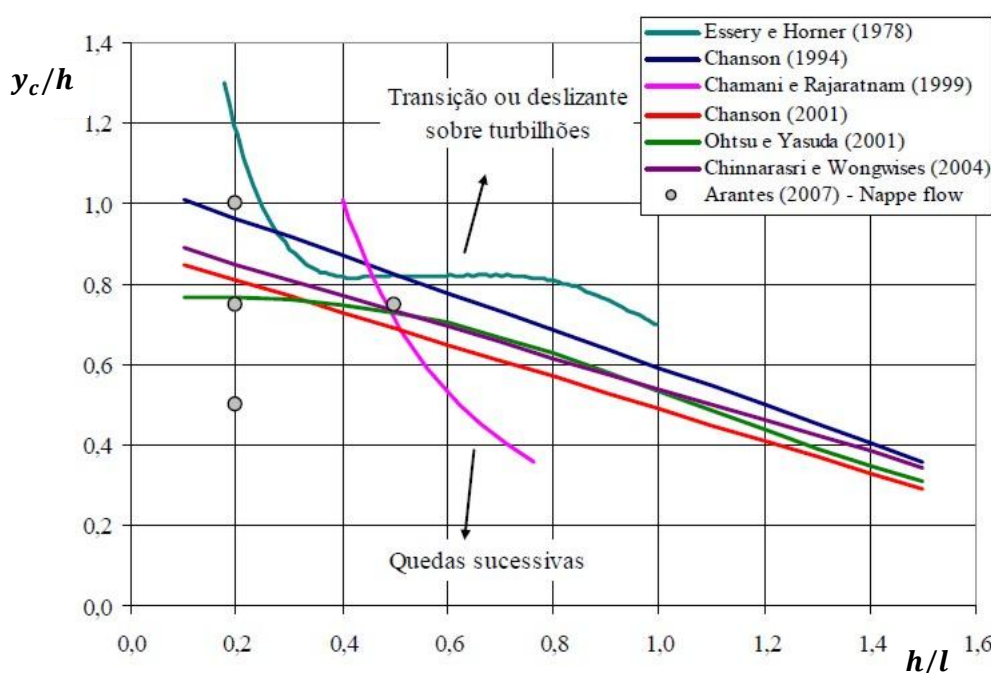


Figura 14 - Comparação entre metodologias para definição do regime de escoamento para canais em degraus

Fonte: Adaptado de Simões (2008).

- Regime *nappe flow*

No regime *nappe flow* ocorre uma sucessão de quedas livres do jato d'água, o qual colide com o degrau imediatamente a jusante. A energia é dissipada pela dispersão do jato no ar, pelo impacto com o piso do degrau, seguido ou não de ressalto hidráulico, total ou parcialmente desenvolvido (KHATSURIA, 2005).

O regime *nappe flow* é observado para pequenas vazões específicas (função da largura do canal) e baixas declividades do canal (CHANSON, 1994a). O mesmo autor (CHANSON, 2002) propôs a subdivisão do regime em 03 subregimes conforme a formação ou não do ressalto hidráulico (Quadro 5).

Subregime	Característica
NA1	Ocorrência de ressalto hidráulico plenamente desenvolvido
NA2	Ocorrência de ressalto hidráulico parcialmente desenvolvido
NA3	Sem a ocorrência de ressalto hidráulico

Quadro 5 - Subregimes do *nappe flow*

Fonte: Chanson (2002).

Sendo a largura do piso maior que a soma do alcance do jato e do comprimento do ressalto, ocorrerá formação de ressalto pleno, caso contrário, parcial. Na ocorrência de vazões unitárias maiores, para pisos mais curtos ou em declive o ressalto poderá não ser formado, caracterizando o subregime NA3 (SIMÕES, 2008).

Para escoamentos uniformes ou quase uniformes e com a relação espelho/piso (h/l) variando entre 0,05 e 1,7, Chanson (2001b) propôs a equação 23 que define o limite superior para ocorrência do regime *nappe flow*.

$$\frac{y_c}{h} = 0,89 - 0,4 \frac{h}{l} \quad (23)$$

– Dissipação de energia no regime *nappe flow*

A energia dissipada ao longo do canal em degraus (ΔH) corresponde à diferença entre a energia total disponível no topo ($H_{máx}$) e a energia residual na base do dispositivo (H_{res}).

$$\Delta H = H_{máx} - H_{res} \quad (24)$$

As investigações de Chamani e Rajaratnam (1994) conduziram a equação 25 que permite estimar a perda de energia relativa no regime *nappe flow*, para canais com degraus horizontais:

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{\left\{ (1 - A')^N \left[1 + 1,5 \left(\frac{y_c}{h} \right) + \sum_{i=1}^{N-1} (1 - A')^i \right] \right\}}{N + 1,5 \left(\frac{y_c}{h} \right)} \quad (25)$$

Sendo,

$$A' = \left[0,30 - 0,35 \left(\frac{h}{l} \right) \right] - \left[0,54 - 0,27 \left(\frac{h}{l} \right) \right] \log \left(\frac{y_c}{h} \right) \quad (26)$$

Onde ΔE é a energia dissipada, E a energia disponível a montante do canal em degraus, y_c a profundidade crítica, h a altura do degrau, l o comprimento do degrau e N o número de degraus.

Em condições de fluxo semelhante, a dissipação de energia no regime *nappe flow* com ressalto parcialmente desenvolvido corresponde a cerca de 10% da energia dissipada na condição de ressalto plenamente desenvolvido (CHANSON, 1993)

- Regime *Transition Flow*

Sendo o escoamento *nappe flow*, o aumento da vazão específica, mantidas constantes as características geométricas do canal, conduzirá a um novo regime: *transition flow*. Como o próprio nome sugere, este regime situa-se na transição entre o *nappe* e o *skimming flow*.

Khatsuria (2005) destaca que o *transition flow* é caracterizado por aeração significativa, por intensos respingos d'água, e aparência caótica, sendo observada a variação de suas propriedades degrau a degrau.

A equação 23 proposta por Chanson (2001b) estabelece o limite entre os regimes *nappe* e *transition flow*. O mesmo autor propôs equação 27 na qual é possível estabelecer o limite entre os regimes *transition* e *skimming flow*. As equações 23 e 27 são válidas para relações h/l entre 0,05 e 1,7, com escoamentos uniformes ou quase uniformes. Para escoamentos rapidamente variados os resultados fornecidos são imprecisos (CHANSON, 2001b).

$$\frac{y_c}{h} = 1,2 - 0,325 \frac{h}{l} \quad (27)$$

As características instáveis do *transition flow*, podem gerar esforços adicionais sobre a estrutura do canal, devido às flutuações nos níveis de pressão. Chanson (2002) recomenda que vertedores de barragem operem sob *transition flow*, apenas para pequenas vazões, sendo neste caso necessárias verificações em modelos físicos, quanto aos esforços adicionais sobre a estrutura.

- Regime *Skimming Flow*

No *skimming flow* ocorre à formação de vórtices (turbilhões) de líquido retido entre os cantos inferiores dos degraus, formando um pseudo fundo, sobre o qual desliza o fluxo principal. Os vórtices são mantidos por meio da transmissão de tensão de cisalhamento turbulenta entre o fluxo deslizante e o fluido de recirculação abaixo

(CHANSON, 1994b). Neste regime, a maior parte da dissipação de energia cinética ocorre pela recirculação dos vórtices formados entre os degraus. É observado para maiores vazões específicas e inclinações da calha em degraus, sendo predominante em vertedores de barragens (SIMÕES, 2008).

As condições do escoamento em canais em degraus são afetadas pela incorporação de ar. Segundo Simões (2008), o aumento na profundidade do escoamento interfere diretamente no dimensionamento dos muros laterais do canal em degraus.

Na condição de regime *skimming flow*, nos degraus iniciais a superfície livre do escoamento é lisa, não havendo incorporação de ar. A partir do ponto onde a profundidade da camada limite atinge a superfície livre, o escoamento torna-se turbulento com incorporação de ar (CHANSON, 1994b). A jusante do ponto de aeração o escoamento torna-se gradualmente variado, em relação ao aumento de concentração de ar. Se o canal for suficientemente longo o escoamento aerado quase-uniforme é estabelecido, conforme mostrado na Figura 15.

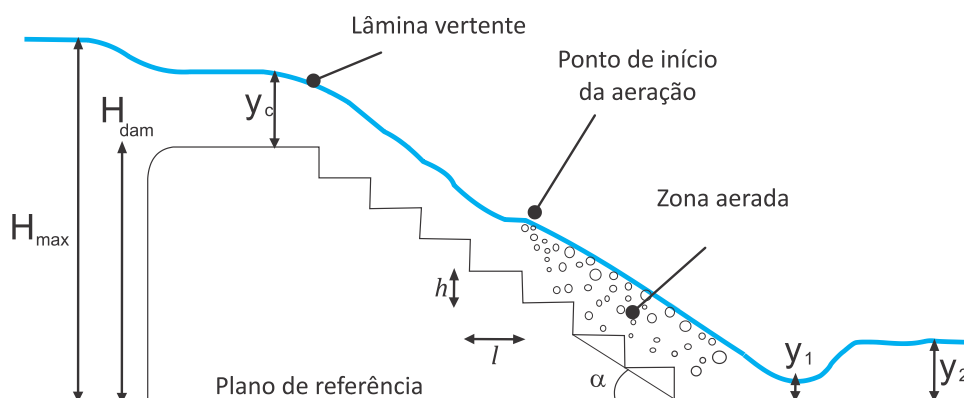


Figura 15 - Ponto de início da aeração

Fonte: Adaptado de Chanson (2001a).

Para escadarias urbanas em razão das pequenas extensões dos trechos em degraus compreendidos entre os patamares, é esperado que o regime quase-uniforme não seja estabelecido. Contudo, para patamares muito curtos com comprimentos próximos aos dos degraus, formando uma longa escada, é possível a ocorrência deste regime. Verificações se fazem necessárias para confirmar essa suposição.

A determinação da concentração média de ar é de suma importância para o dimensionamento dos muros laterais do canal, pois a inserção de ar provoca a elevação da altura do escoamento.

– Dissipação de energia no regime *skimming flow*

Ohtsu *et al.* (2004) apresentaram metodologia que permite avaliar a energia residual em vertedores em degraus em regime *skimming flow*. Segundo os autores, para inclinações de calha entre $5,7^\circ$ e 55° , o escoamento mostra características distintas.

Para declividades da calha (α) entre 19° e 55° , o escoamento na chamada região quase-uniforme é independente da relação h/y_c (altura do degrau/altura crítica) e a superfície do escoamento é quase paralela ao pseudo fundo. Para declividades menores, entre $5,7^\circ$ e 19° este comportamento não é observado. Os procedimentos de cálculos da metodologia proposta por Ohtsu *et al.* (2004) encontram-se descritos no Anexo A.

Cabe comentar que neste item foram abordados apenas alguns aspectos do escoamento em degraus, de relevância para o embasamento desta dissertação. Um maior aprofundamento sobre o tema é feito em Simões (2008), que faz análise mais detalhada do estudo dos vertedores em degraus, estrutura similar as escadarias drenantes.

4. METODOLOGIA

Com vistas ao atendimento dos objetivos propostos, a pesquisa foi desenvolvida em três etapas: seleção das áreas de estudo, identificação de diferentes tipos de escadarias com drenagem associada utilizadas como objeto de estudo e análise do comportamento dos tipos de escadarias identificados.

4.1 Seleção das áreas de estudo

Em virtude da inexistência de cadastro dos sistemas de drenagem de Salvador, com informações sistematizadas das escadarias e rampas drenantes, realizou-se inicialmente consulta a técnicos envolvidos em atividades relacionadas ao projeto, execução e manutenção dessas estruturas. Foram obtidas informações quanto a locais de implantação dos dispositivos, detalhes construtivos, fatos históricos relevantes, além de materiais iconográficos como fotos, plantas e ilustrações.

A pesquisa em planilhas de medições das obras de recuperação das escadarias e rampas drenantes realizadas a partir de 1999, pela Prefeitura Municipal do Salvador, possibilitou a identificação de 51 localidades em que foram implantados os dispositivos, conforme apresentado no Quadro 6.

A partir dessas informações foram escolhidas as áreas de estudos, com base nos seguintes critérios:

- extensão territorial, sendo priorizadas áreas menores de modo a viabilizar os levantamentos de campo;
- facilidade de acesso;
- elevada densidade de ocupação;
- características topográficas;
- quantidade e densidade de escadarias e rampas drenantes;
- possibilidade de identificação de diferentes tipos de escadarias com drenagem associada;
- disponibilidade de informações quanto às intervenções realizadas nas escadarias;

- proximidade das escadarias ao sistema de macrodrenagem da região.

BAIRRO/LOCALIDADE	ESCADARIAS OU RAMPAS DRENANTES RECUPERADAS	BAIRRO/LOCALIDADE	ESCADARIAS OU RAMPAS DRENANTES RECUPERADAS
Acupe de Brotas	05	Jaqueira do Carneiro	17
Alto das Pombas	08	Liberdade / Pero Vaz	37
Amaralina	01	Luis Anselmo	05
Arenoso	03	Macaúbas	08
Avenida Peixe	35	Marotinho	06
Baixa da Égua	10	Mata Escura	02
Baixinha de Santo Antônio	11	Nordeste de Amaralina	17
Boa Vista de São Caetano	10	Pernambués	80
Bom Juá / Retiro	31	Pela Porco	03
Brotas	15	Pirajá / Marechal Rondon	27
Cabula	02	Rótula do Abacaxi	01
Calabar	22	San Martin	01
Calabetão	03	Santa Cruz	23
Campinas de Pirajá	19	Santa Mônica	18
Chapada do Rio Vermelho	14	São Caetano	16
Cidade Nova	19	São Gonçalo do Retiro	24
Cosme de Farias	74	São Tomé de Paripe	01
Curuzú	08	Saramandaia	16
Djalma Dutra	01	Sussuarana	08
Engenho Velho da Federação	13	Tancredo Neves	55
Engenho Velho de Brotas	42	Vale da Muriçoca	10
Engomadeira	09	Vale das Pedrinhas	17
Fazenda Grande do Retiro	09	Vale do Matatu	06
Federação	09	Vasco da Gama	03
Iapi / Pau Miúdo	31	Vila Antônio Balbino	02
Ilha de Maré	01		

Quadro 6 - Total de escadarias drenantes recuperadas por localidade entre 1999 e 2010

Na seleção buscaram-se localidades da Cidade que pudessem representar diferentes características de ocupação. Os bairros que melhor se enquadraram nos critérios estabelecidos foram Bom Juá (Jaqueira do Carneiro) e Calabar.

Outro aspecto de relevância para escolha foi a importância histórica que esses locais tem para o projeto escadarias e rampas drenantes da Prefeitura Municipal do Salvador. O Calabar corresponde ao local de implantação do protótipo desenvolvido

em 1979 e o Bom Juá, por sua vez, recebeu os primeiros dispositivos após o teste hidráulico, descrito no item 3.2.

4.2 Identificação de diferentes tipos de escadarias com drenagem associada utilizadas como objeto de estudo

Para identificação de diferentes tipos de escadarias com drenagem associada foram analisadas solicitações referentes à recuperação e manutenção de escadarias, encaminhadas sob forma de ofícios, à Superintendência de Conservação e Obras Públicas do Salvador (SUCOP). A leitura de 374 ofícios realizada entre os dias 21 e 30/12/2010, possibilitou apenas informações quanto à localização das escadarias, inexistindo dados referentes à tipologia do dispositivo.

As ruas identificadas foram registradas em planilha eletrônica e que após filtragem, com eliminação de repetições quanto à localização, resultaram em um total de 312 logradouros (ANEXO B).

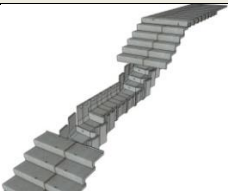
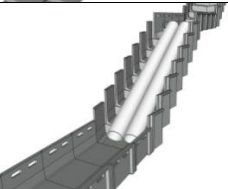
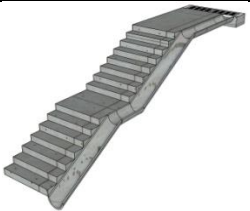
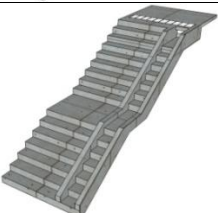
A consulta a técnicos da SUCOP foi de suma importância para o refinamento das informações e, por conseguinte, definição dos demais locais a serem visitados. No Quadro 7 são apresentados os bairros selecionados para inspeções e as respectivas datas de realização.

BAIRRO	DATA DA VISITA
Castelo Branco	10/01/2011
Nazaré	10/01/2011
Bom Juá (Jaqueira do Carneiro)	11/01/2011
Calabar	14/01/2011
Bom Juá (Jaqueira do Carneiro)	18/01/2011
Bom Juá (Jaqueira do Carneiro)	25/01/2011
Calabar	28/01/2011
Bom Juá (Jaqueira do Carneiro)	03/02/2011
Calabar	15/02/2011
Bom Juá (Jaqueira do Carneiro)	02/03/2011
Cosme de Farias	01/04/2011
Bom Juá (Jaqueira do Carneiro)	14/04/2011
Calabar	24/05/2011

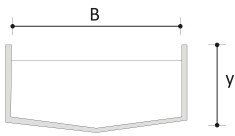
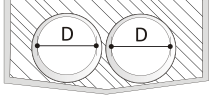
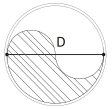
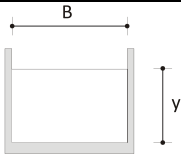
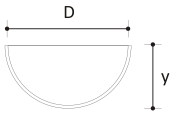
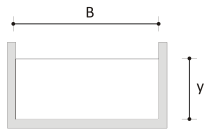
Quadro 7 - Bairros visitados

O maior número de visitas realizadas ao Bom Juá/Jaqueira do Carneiro e Calabar justifica-se pela necessidade de caracterização das áreas de estudos e de observação quanto aos aspectos de ordem construtiva e manutenção das escadarias identificadas.

Por meio das visitas a campo, identificaram-se quatro tipos básicos de escadarias, com algumas variações entre eles. Com base nas características construtivas e similaridades entre as escadarias observadas propôs-se a nomenclatura apresentada no Quadro 8. As inspeções de campo possibilitaram também a definição das seções médias e parâmetros hidráulicos necessários para as avaliações, conforme mostrado no Quadro 9.

NOMENCLATURA PROPOSTA			DESCRIÇÃO
Tipo 01			Escadaria drenante pré-moldada em argamassa armada.
Tipo 02			Escadaria drenante pré-moldada em argamassa armada modificada com tubos de PVC de 200mm associados em paralelo.
Tipo 03	A		Escadaria convencional em alvenaria de blocos, com drenagem em tubo de concreto de 300mm.
	B		Escadaria convencional em concreto simples, moldada in loco com drenagem em tubo de PVC (tipo <i>Ribloc</i>) de 400mm.
Tipo 04	A		Escadaria convencional em concreto simples com calha de drenagem lisa e seção retangular.
	B		Escadaria convencional em concreto simples com calha de drenagem lisa, pré-moldada em concreto, e seção semi-circular.
	C		Escadaria convencional em concreto simples com calha de drenagem com fundo em degraus, e seção retangular.

Quadro 8 - Tipos de escadarias identificados e nomenclatura proposta

Modelo	Seção transversal	Dimensões	Características das paredes
Tipo 01		$B = 0,71\text{m}$ $y = 0,25\text{m}$	Calha pré moldada em argamassa armada
Tipo 02		$D = 0,20\text{m}$	Tubo de PVC
Tipos 03A		$D = 0,30\text{m}$	Tubo de concreto
Tipos 03B		$D = 0,40\text{m}$	Tubo de PVC (tipo Ribloc)
Tipo 04A		$B = 0,30\text{m}$ $y = 0,30\text{m}$	Calha com revestimento em argamassa de cimento
Tipo 04B		$D = 0,30\text{m}$ $y = 0,15\text{m}$	Calha com revestimento em concreto
Tipo 04C		$B = 0,35\text{m}$ $y = 0,23\text{m}$	Calha com revestimento em argamassa de cimento

Quadro 9 - Seções transversais médias dos tipos de escadas identificadas

Devido a semelhanças na geometria e nas características construtivas e com vistas a otimizar cálculos e análises dos resultados, os modelos identificados foram agrupados da seguinte forma:

- Tipo 01 e 4C: o sistema de drenagem consiste em canal com fundo em degraus. No tipo 01 o canal localiza-se sob a escadaria e no tipo 04B na lateral.
- Tipos 02, 03A e 03B: o sistema de drenagem consiste em condutos circulares dispostos sob a escadaria e interligados por caixas coletoras localizadas nos patamares.
- Tipo 04A e 04B: o sistema de drenagem consiste em calhas de fundo liso dispostas nas laterais da escadaria.

4.3 Análise do desempenho hidráulico dos tipos de escadarias identificados

Nas análises foram considerados aspectos hidráulicos, hidrológicos, construtivos e de uso e manutenção, visando compreender de que forma interferem no funcionamento das escadarias. Objetivando reduzir a complexidade das análises, em face da não uniformidade das situações observadas e com vistas a possibilitar comparações entre os diferentes tipos identificados, adotou-se um modelo padrão de escadaria. Elegeu-se a escadaria drenante desenvolvida em 1979, objeto central deste estudo e na condição de dispositivo dissipador de energia cinética, como referência para definição do modelo padrão, cujas características são apresentadas no Quadro 10.

Largura dos degraus e patamares	1,50m
Altura dos degraus	0,178m
Número máximo de degraus por trecho	23
Comprimento dos degraus	0,27m
Comprimento mínimo dos patamares	1,00m

Quadro 10 - Características da escada padrão

Embora tenham sido projetadas duas possíveis dimensões de degraus para a escadaria drenante, conforme apresentado no item 3.2, adotaram-se os valores 0,178m x 0,27m (espelho x piso) por terem sido os únicos observados nas inspeções de campo.

A fim de realizar comparação com vertedores de barragens e, portanto, aplicar equações de dimensionamento desenvolvidas para essas estruturas assumiu-se a escadaria padrão com degraus horizontais e perfil reto.

O estudo do comportamento hidráulico das escadarias identificadas foi feito por meio da comparação com modelos conhecidos. As canaletas de fundo liso foram avaliadas como canais operando sob escoamento livre. As calhas com fundo em degraus foram comparadas a vertedores em degraus utilizados em barragens. Os condutos fechados foram avaliados sob três possíveis condições de operação: conduto livre, conduto forçado e tubo curto. Na condição de dispositivos de microdrenagem e estando, portanto, sujeitos a variabilidade temporal das chuvas, a altura normal de funcionamento do conduto pode variar até o valor máximo que

corresponde ao diâmetro do tubo. Sendo assim, a condição de operação passaria de escoamento livre para forçado. Por outro lado, como o comprimento dos condutos é geralmente pequeno, podem ser considerados como tubos curtos, desde que seja satisfeita a condição $5,0 < L_c/D \leq 100$, onde: L_c e D são o comprimento e o diâmetro do conduto, respectivamente.

Ressalta-se que embora exista escoamento sobre os degraus em todas as escadarias identificadas, apenas o tipo 01 e 04C se constituem de fato em escadas hidráulicas, pois suas calhas de drenagem são canais em degraus. No escoamento das escadarias avaliadas busca-se que o volume de águas pluviais sobre a via de pedestres seja mínimo, de modo a assegurar condições de locomoção à população.

Nas análises hidráulicas foram assumidas as seguintes hipóteses simplificadoras:

- a) as características geométricas e construtivas são constantes ao longo da escadaria, ou seja, a largura, inclinação e dimensões dos degraus não variam;
- b) o escoamento é permanente;
- c) para os modelos que utilizam caixas coletoras (tipo 02, 03A e 03B), a capacidade de engolimento é plena, isto é, todo volume à montante da caixa é captado;
- d) a inclinação dos tubos e calhas associados às escadarias é igual a relação espelho/piso.

As verificações hidráulicas consistiram, inicialmente, na determinação das vazões e velocidades de escoamento máximas, considerando as características geométricas da escada padrão.

Posteriormente, foram calculadas vazões e velocidades para diferentes relações espelho/piso, que resultam em alteração nas inclinações das calhas e condutos. Adotou-se como referência a faixa de valores recomendada para escadarias de pedestres prevista na Norma NBR9050 (ABNT, 2004), que estabelece pisos entre 0,28m e 0,32m e espelhos variando entre 0,16m e 0,18m. Ressalta-se que este tipo de verificação se justifica devido à implantação dos dispositivos, que em geral acompanha o perfil natural do terreno, implicando em alterações das relações espelho/piso como forma de adequação às condições topográficas.

As velocidades de escoamento calculadas foram comparadas com os limites máximos e mínimos recomendados. Com base na revisão de literatura, adotou-se como faixa de valores: $0,75\text{m.s}^{-1} \leq V \leq 5,0\text{m.s}^{-1}$.

4.3.1 Escadaria tipo 01

Na verificação hidráulica foram consideradas duas configurações do dispositivo, conforme especificado no caderno de Projetos da RENURB (SALVADOR, 1980a). No Quadro 11 são mostradas as configurações avaliadas e na Figura 16 as dimensões da calha drenante. A configuração 02 distingue-se da 01 pela existência de 02 módulos R2 na entrada do trecho em degraus, o que possibilita maior alcance do jato.

Configuração	Descrição	Alcance máximo do jato (m)
1	01 módulo R2 na entrada do trecho em degraus	0,90
2	02 módulos R2 na entrada do trecho em degraus	1,30

Quadro 11 - Configurações das escadarias drenantes avaliadas

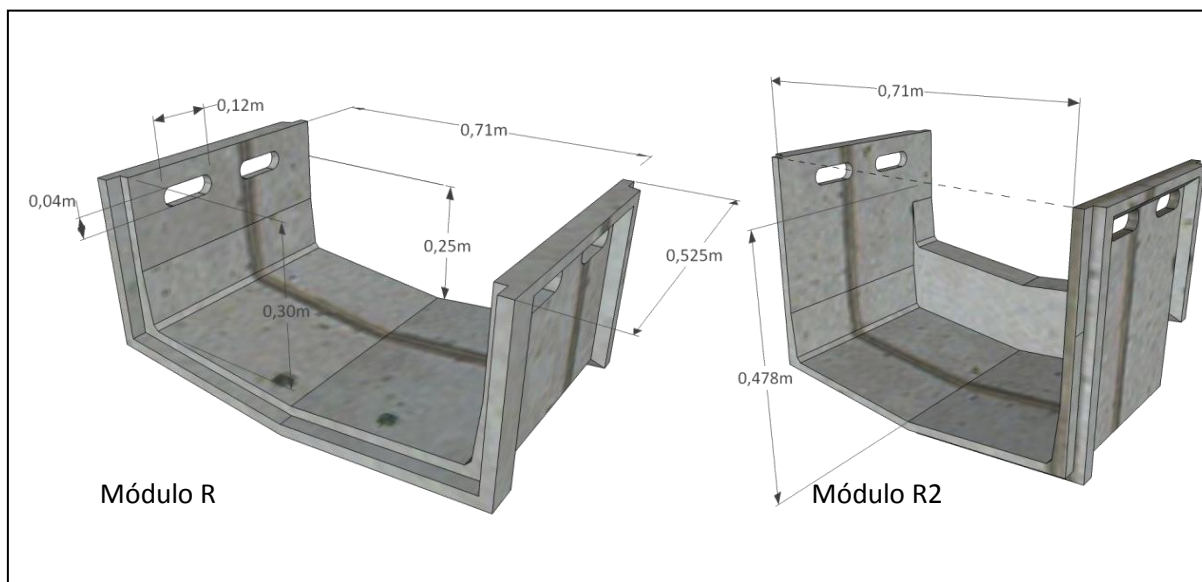


Figura 16 - Dimensões dos módulos drenantes avaliados.

A vazão máxima do dispositivo foi calculada para o trecho em rampa de modo a evitar que o jato atingisse o degrau imediatamente a sua frente (Figura 17). A altura

de lançamento do jato na entrada do trecho em degraus (H_j) é calculada pela equação 28.

$$H_j = y_b + h \quad (28)$$

Onde h é a altura do degrau (m) e y_b a altura na borda do degrau (m).

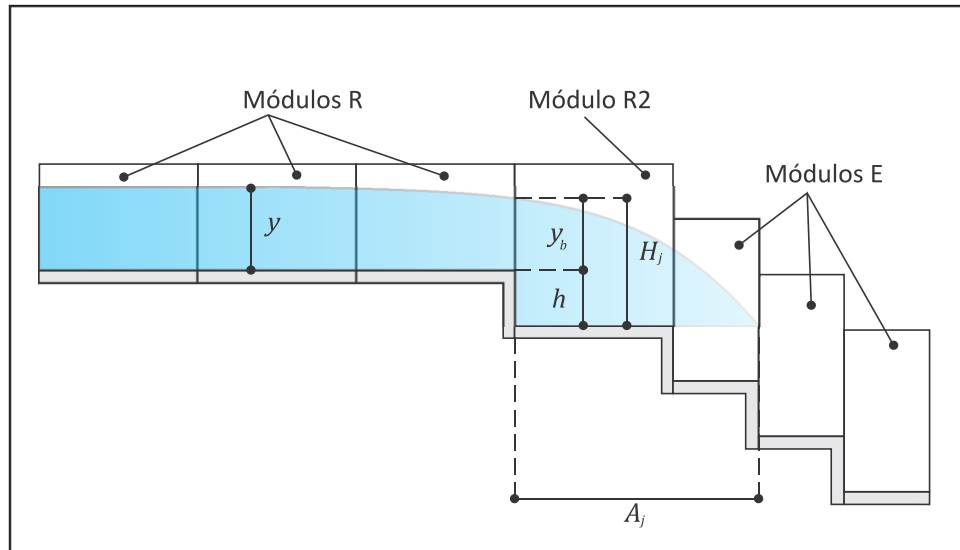


Figura 17 - Alcance do Jato

Rand (1955) analisou a estrutura de um degrau horizontal e constatou que nas proximidades da borda, sendo o escoamento subcrítico, a profundidade na borda do degrau é igual a $y_b = 0,715y_c$, onde y_c é a altura crítica do escoamento.

A partir da combinação das equações da cinemática vetorial (equações 01 e 02) com as equações de Manning e da continuidade (equações 16 e 17) obteve-se a equação 29, que relaciona o alcance do jato com a vazão da calha.

$$A_j = \left(\frac{1}{n} \cdot \left(\frac{B \cdot y}{2 \cdot y + B} \right)^{2/3} \cdot i^{1/2} \right) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (y_b + h)}{g}} \quad (29)$$

Onde A_j é o alcance do jato (m), n é a rugosidade de Manning ($s \cdot m^{-1/3}$), y é a altura normal (m), B é a largura da calha drenante (m), i é a declividade da calha ($m \cdot m^{-1}$), g é a aceleração da gravidade ($m \cdot s^{-2}$) e h é a altura dos degraus (m).

A equação 29 foi resolvida por tentativas, fixando-se a altura normal no limite de transbordamento da calha, que corresponde à altura dos orifícios laterais ($y = 0,25m$) e variando-se as inclinações (i) do trecho em rampa.

Por meio das equações propostas por Chanson (equações 23 e 27) avaliou-se o regime de escoamento do dispositivo. Na condição de dispositivo de microdrenagem a escadaria drenante está sujeita a variabilidade temporal das chuvas, acarretando alterações na vazão de escoamento e que podem implicar na mudança do regime de escoamento. Tal situação foi considerada na avaliação do tipo de escoamento.

Para estimativa da dissipação promovida pelo dispositivo em regime *nappe flow* utilizou-se as equações 25 e 26 desenvolvidas por Chamani e Rajaratnam (1994). A energia dissipada em regime *skimming flow* foi avaliada mediante a metodologia proposta por Ohtsu *et al.* (2004), apresentada no Anexo A.

O uso da metodologia de Ohtsu *et al.* (2004), justifica-se pela faixa de valores de inclinações estudadas pelos autores, as quais se aproximam dos observados para as escadarias drenantes.

4.3.2 Escadarias tipo 02, 03A e 03B

Adotou-se procedimento análogo na verificação destes 03 modelos. Para a escadaria tipo 02, foi calculado o diâmetro equivalente, resultante da associação em paralelo dos 02 tubos de PVC de 200mm no interior da calha drenante, utilizando-se a equação de Darcy-Weisbach (equação 30).

$$\Delta h = 0,0827 \cdot \frac{f \cdot L_c \cdot Q^2}{D^5} \quad (30)$$

Onde, Δh é a perda de carga (m), f é o fator de atrito de Darcy-Weisbach, L_c é o comprimento do conduto (m), Q é a vazão ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) e D é o diâmetro do tubo (m)

Nas verificações consideraram-se três condições de operação: como conduto livre, como tubo curto e como conduto forçado.

Para determinação das velocidades e vazões máximas na condição de conduto livre, utilizou-se as equações de Manning (equação 15) e da continuidade (equação 16). O tirante máximo foi fixado em 75% do diâmetro do conduto, conforme recomendações de Porto (2006).

A verificação como tubo curto foi feita a partir da aplicação da lei dos orifícios, definida pela equação 31.

$$Q = C_d \cdot A_c \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (31)$$

Onde Q é a vazão (m^3), C_d é o coeficiente de descarga, A_c é a área do conduto (m^2), g é aceleração da gravidade (m.s^{-2}) e H a carga hidráulica (m).

O valor da carga hidráulica foi considerado aproximadamente o resultado da multiplicação entre a altura e o número de degraus no trecho ($H \cong N \cdot h$). O comprimento do tubo no trecho da escadaria foi obtido pela equação 32.

$$L_c = N \cdot \sqrt{l^2 + h^2} \quad (32)$$

Onde L_c é o comprimento do tubo (m), N é o número de degraus, l é o comprimento dos degraus (m) e h é a altura dos degraus (m).

Os coeficientes de descarga foram obtidos por meio de interpolação com os valores apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores de coeficientes de descarga

L_c	<D	D	2D	3D	12D	24D	36D	48D	60D	100D
C_d	0,62	0,62	0,82	0,82	0,76	0,73	0,68	0,63	0,60	0,50

Fonte: Neves (1979).

Na verificação do conduto sob pressão, considerou-se a caixa coletora como perda de carga localizada, conforme mostrado na Figura 18.

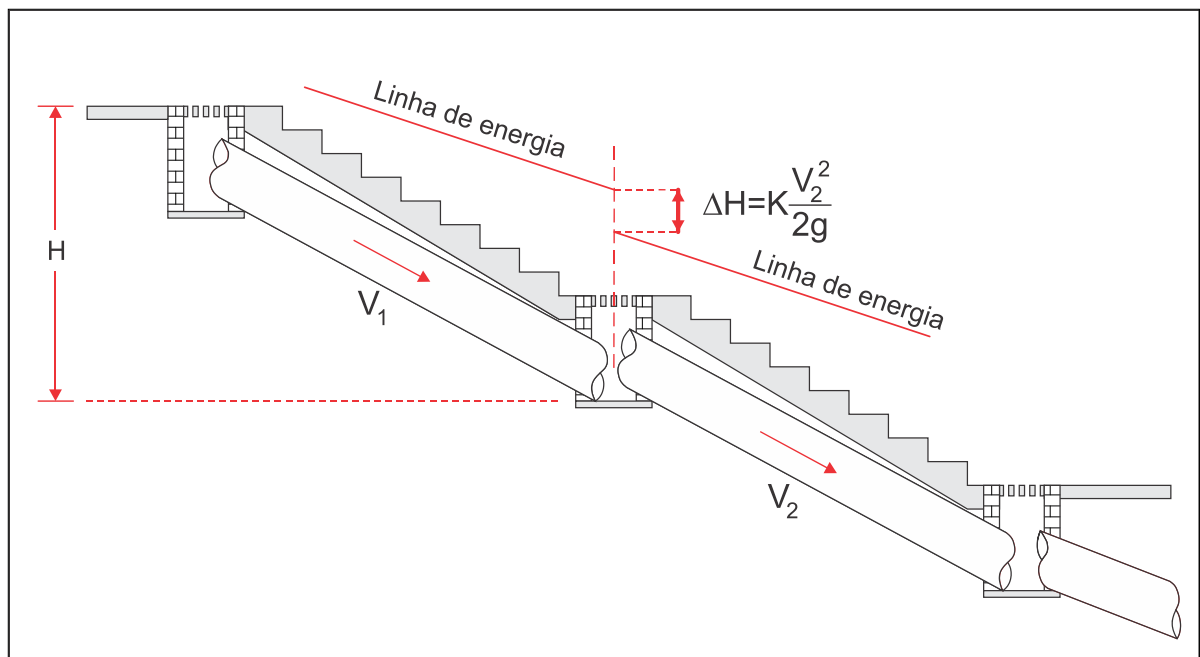


Figura 18 - Escadarias tipos 02, 03A e 03B. Linha de energia

A velocidade do escoamento após a singularidade foi calculada a partir da equação da energia (equação 33).

$$H = \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot \left(1 + K + \frac{f \cdot L_c}{D} \right) \quad (33)$$

Onde H é a carga hidráulica (m), V é a velocidade do escoamento (m.s^{-1}), g é aceleração da gravidade (m.s^{-2}), K é coeficiente de perda de carga atribuído a singularidade (poço), f é o fator de atrito de Darcy-Weisbach, L_c é o comprimento do conduto (m) e D é o diâmetro do tubo (m).

O coeficiente K de perda de carga foi estimado com base nos estudos realizados por Sangster *et al.* (1958) *apud* Hare (1980), apresentados no Quadro 12. Assumiu-se como valor da constante de perda de carga atribuída a caixa $K = 0,6$.

Características do poço	K
Tubulação em linha reta através do poço, sem contribuição lateral ou mudança de diâmetro.	0,1- 0,2
Tubulação em linha reta através do poço, sem contribuição lateral e com mudança de diâmetro.	0,5
Tubo a montante em linha com o tubo de saída e com 20% do fluxo pela grelha.	0,6
Tubo a montante em linha com o tubo de saída e com tubo lateral a 90° contribuindo com 20% do fluxo total.	0,5
Duas laterais opostas, com 1/3 do fluxo proveniente da lateral como maior velocidade.	0,7
Duas laterais opostas deslocadas (sem alinhamento), com 2/3 do fluxo oriundo do tubo lateral mais próximo da saída.	1,5-1,9
Ângulo de 90° entre os tubos, sem alteração no diâmetro e sem contribuição lateral.	1,6
Tubo a montante alinhado com o tubo de saída, com contribuição lateral a 90°. Fluxos igualmente divididos entre os tubos à montante	1,2

Quadro 12 - Valores para coeficiente K de perda de carga de poços

Fonte: adaptado de Hare (1980).

Determinou-se o fator de atrito (f) por meio da equação 34 desenvolvida por Swamee (1993) e que reproduz o diagrama de Moody.

$$f = \left\{ \left(\frac{64}{Rey} \right)^8 + 9,5 \left[\ln \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{Rey^{0,9}} \right) - \left(\frac{2500}{Rey} \right)^6 \right]^{-16} \right\}^{0,125} \quad (34)$$

Onde, Rey é o número de Reynolds expresso por $Rey = (V \cdot D)/\nu$, ν a viscosidade cinemática da água ($m^2.s$), ε é a rugosidade relativa (mm) e D é o diâmetro do tubo (m).

4.3.3 Escadarias tipo 04A e 04B

As análises consistiram na determinação das vazões e velocidades de escoamento. Considerou-se nas verificações, bordos livres de 40% em relação à profundidade do canal. Este fator de segurança foi adotado em razão da possibilidade de transbordamento das calhas de drenagem. Por se tratar de escoamento livre, utilizou-se nos cálculos as equações de Manning e da Continuidade (equações 16 e 17).

4.3.4 Escadaria tipo 04C

Em razão da similaridade, adotou-se as mesmas equações empregadas na avaliação do tipo 01. Todavia, como a estrutura do canal é monolítica, não houve necessidade de verificar a possibilidade de arrancamento de degraus.

4.4 Avaliações hidrológicas

Os estudos hidrológicos realizados nas áreas delimitadas na Jaqueira do Carneiro e Calabar possibilitaram a verificação do desempenho dos tipos de escadarias identificados frente a prováveis descargas, estimadas para precipitações com tempos de retorno de 5, 10 e 25 anos.

4.4.1 Determinação do tempo de concentração das bacias

A estimativa dos tempos de concentração, necessários para determinação das intensidades das chuvas foi realizada por meio da equação de Kirpich (equação 07). Em razão do elevado índice de urbanização das bacias em estudo, implicando em grande parte do escoamento sobre superfícies de concreto e asfalto, seguiu-se a

recomendação de Kibler (1992), com a multiplicação dos valores calculados pelo fator redutor 0,4.

Apesar de existirem diferentes equações para a determinação do tempo de concentração, estas não são aplicáveis às bacias delimitadas no Calabar e Bom Juá/Jaqueira do Carneiro, pois foram obtidas a partir estudos de bacias com características diferentes. A equação de Kirpich muito embora desenvolvida em condições distintas das bacias adotadas no presente estudo, foi escolhida para o cálculo do tempo de concentração, por ser muito utilizada na prática junto com o Método Racional. Ressalta-se que esta equação foi adotada nos estudos hidrológicos realizados na década de 1980 para implantação das escadarias e rampas drenantes de Salvador.

4.4.2 Cálculo das vazões contribuintes para as escadas identificadas

Essa etapa compreendeu inicialmente o registro em base cartográfica (escala 1:1000) de todas as escadarias e rampas drenantes ou com drenagem associada identificadas nas áreas delimitadas. Posteriormente foram determinadas as áreas de drenagem contribuintes para cada dispositivo com base na subdivisão em polígonos, por meio de bissetrizes traçadas a partir de pontos de intersecção entre as escadarias e/ou rampas.

As vazões das micro-bacias de drenagem contribuintes aos sistemas de escadarias foram calculadas pelo Método Racional (equação 9), para chuvas com diferentes períodos de retorno e condições distintas de urbanização.

Por meio das equações de chuvas de Salvador desenvolvidas por Browne (equação 3) e Matos (equação 4), estimou-se as intensidades das precipitações, considerando-se períodos de retorno de 5, 10 e 25 anos. O uso das duas equações tem como objetivo a obtenção dos valores máximos para intensidades de chuvas, de modo a avaliar os dispositivos em condições extremas de funcionamento. É importante salientar que a equação de Browne foi utilizada nos estudos hidrológicos realizados entre 1979 e 1983 para implantação das escadarias drenantes, sendo ainda hoje empregada em projetos de drenagem na cidade. Entretanto, a equação de chuvas desenvolvida por Matos (2006) e que utiliza uma série histórica de dados

maior, possivelmente expressará valores de intensidades de chuvas com menor incerteza.

Analisou-se mapas e ortofotos obtidos na Prefeitura Municipal do Salvador e na Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia (CONDER), referentes aos anos de 1976 e 2006, o que possibilitou definição de percentuais dos tipos de ocupação (Figuras 19 e 20).

A partir dos parâmetros apresentados por Wilken (1978), mostrados no Quadro 13 foram estimados os coeficientes de escoamento superficial das bacias para as duas épocas. Segundo informações dos projetistas das escadarias drenantes, geralmente era adotado um valor médio para coeficiente de escoamento superficial nas localidades onde os dispositivos seriam implantados, sendo o valor máximo estimado para época igual a 0,70. O objetivo de avaliar as descargas máximas para condições de ocupação distintas é avaliar o provável aumento nas vazões e velocidades de escoamento, decorrentes do processo de urbanização, e os possíveis danos causados aos dispositivos em razão deste aumento.

OCUPAÇÃO DO SOLO	COEFICIENTE (C)
DE EDIFICAÇÃO MUITO DENSA Partes centrais densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas	0,70 a 0,95
DE EDIFICAÇÃO NÃO MUITO DENSA Partes adjacentes ao centro de menor densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas	0,60 a 0,70
DE EDIFICAÇÃO COM POUCAS SUPERFÍCIES LIVRES Partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas	0,50 a 0,60
DE EDIFICAÇÃO COM MUITAS SUPERFÍCIES LIVRES Partes residenciais tipo Cidade-Jardim ruas macadamizadas ou pavimentadas	0,25 a 0,50
DE SUBÚRBIOS COM ALGUMA EDIFICAÇÃO Partes de arrabaldes e subúrbios com pequena densidade de construções	0,10 a 0,25
DE MATAS, PARQUES E CAMPOS DE ESPORTES Partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esporte sem pavimentação	0,05 a 0,20

Quadro 13 - Valores do coeficiente de escoamento superficial

Fonte: Wilken (1978).



Figura 19 - Bacia delimitada na Jaqueira do Carneiro. (a) Situação em 1976. (b) Situação em 2006

Fonte: BAHIA (1976); SALVADOR (2006c)



Figura 20 - Bacia delimitada no Calabar. (a) Situação em 1976. (b) Situação em 2006
Fonte: BAHIA (1976); SALVADOR (2006c)

4.5 Análises

Na análise do desempenho hidráulico dos dispositivos, foram realizadas comparações entre as vazões e velocidades de escoamento calculadas para o modelo original (tipo 01) e demais tipos identificados, considerando condições hidráulicas de funcionamento semelhantes. As velocidades de escoamento calculadas foram comparadas com limites recomendados, conforme revisão bibliográfica, sendo analisadas as consequências quanto ao funcionamento e durabilidade dos dispositivos devido à ocorrência de valores muito elevados.

A dissipação de energia promovida pela escadaria drenante foi avaliada por meio da comparação com vertedores em barragens, assumindo-se condições ideais de implantação e funcionamento.

Com o objetivo de avaliar o possível deslocamento de degraus pela colisão do jato e/ou transbordamento da calha da escadaria drenante original, foram simuladas vazões para diferentes períodos de retorno e comparadas como o valor máximo admissível para o dispositivo, limitado pelo alcance do jato. Foram consideradas condições distintas de urbanização, antes e após a implantação, com vistas a avaliar a necessidade ou não de aumento de seção das calhas drenantes, como forma de adequação às vazões atuais.

5. ÁREAS DE ESTUDO

Os estudos realizados em duas áreas de Salvador, Calabar e Bom Juá/Jaqueira do Carneiro (Figura 21), tiveram como objetivo, além da identificação de diferentes tipos de escadarias com drenagem associada e respectivas características construtivas, a observação de possíveis interferências no funcionamento hidráulico dos dispositivos. Possibilitaram comparações entre os modelos, além da avaliação das escadarias na condição de dispositivos de micro-drenagem.

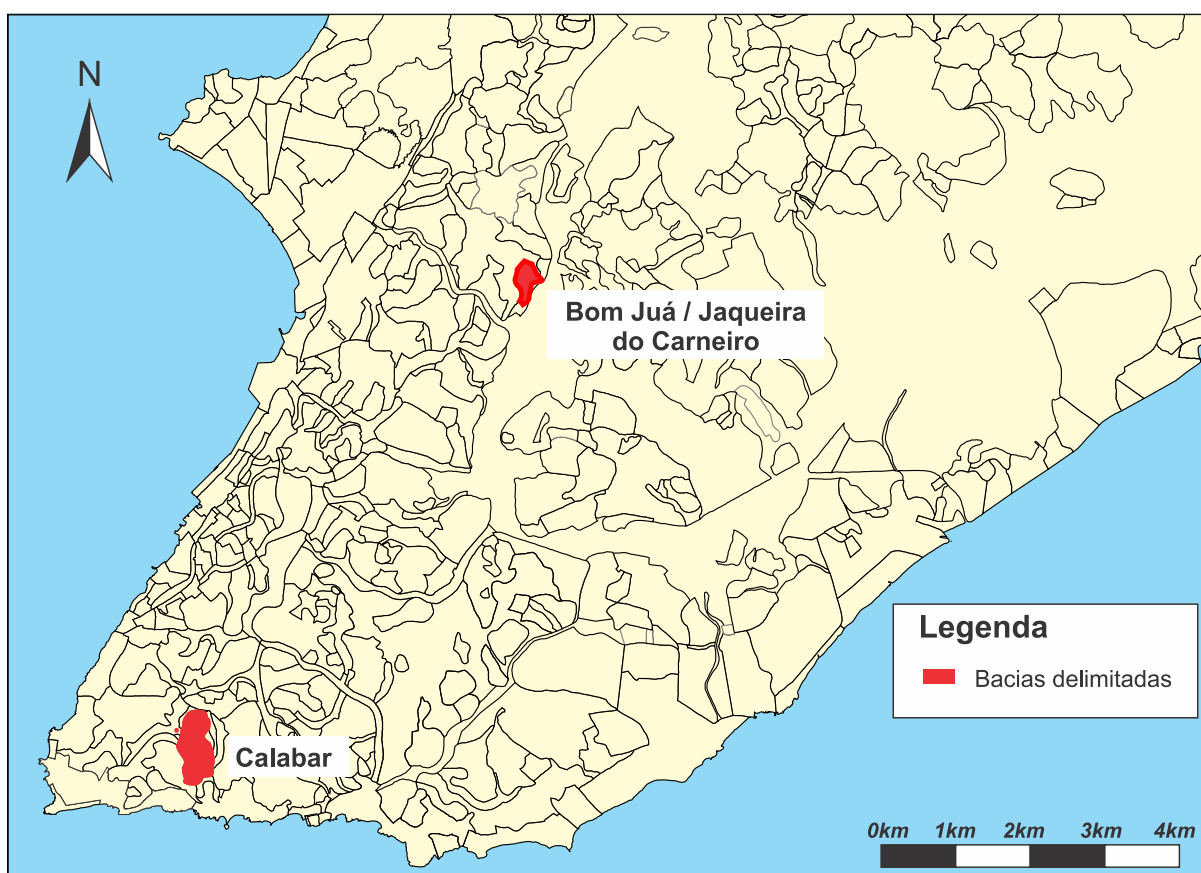


Figura 21 - Localização das bacias delimitadas

5.1 Caracterização das Áreas de Estudo

5.1.1 Jaqueira do Carneiro/Bom Juá

O bairro do Bom Juá surgiu na década de 1940, a partir de ocupações espontâneas. Entre os anos de 1950 e 1960 ocorreu aumento populacional (SANTOS *et al.*, 2010). Ao Norte faz fronteira com os bairros do São Caetano e Fazenda Grande do Retiro,

sendo limitado ao Sul pela BR 324. Devido à sua grande extensão, decidiu-se pela delimitação de uma subárea na localidade conhecida como Jaqueira do Carneiro.

A subárea em estudo possui aproximadamente 0,19km² de área e 2.040m de perímetro. Constituem-se em um pequeno vale cercado por encostas íngremes, compondo uma bacia hidrográfica de resposta rápida às precipitações. O fundo do vale abriga trecho do rio Camarajipe, altamente degradado com lançamento de esgotos e resíduos sólidos, sendo também conhecido como canal do Bom Juá.

Na década de 1980, foram implantadas cerca de 25 escadarias e rampas drenantes (tipo 01), tendo sido o primeiro bairro a ser contemplado com o projeto. Em 1999, dez escadarias foram recuperadas, sendo convertidas para o modelo tipo 02.

5.1.2 Calabar

A localidade Calabar teve início no Quilombo Kalabari, construído por um grupo de escravos refugiados. O rápido crescimento populacional ocorreu no fim dos anos 60, motivado dentre outros fatores, pela migração de famílias da zona rural (SANTOS *et al.*, 2010). O Calabar está situado entre os bairros do Jardim Apipema, Ondina, Alto das Pombas e Federação.

A região delimitada possui área de 0,30km² e perímetro de 2.454m. Caracteriza-se por uma bacia hidrográfica alongada, delineada por linhas de cumeadas bem definidas. A topografia acidentada, com elevadas inclinações, possibilita escoamentos rápidos e que convergem para os canais das ruas do Riacho e Nova do Calabar.

Entre os anos de 1981 e 1982, foram implantadas no bairro cerca de três quilômetros de escadarias e rampas drenantes em argamassa armada (tipo 01). Em 2008, foram feitas intervenções em 24 escadarias do bairro, com a substituição do modelo em argamassa armada (tipo 01), pelo modelo em concreto convencional com rede de PVC associada (tipo 03B).

5.2 Condições de Ocupação

5.2.1 Jaqueira do Carneiro/Bom Juá

A Jaqueira do Carneiro apresenta como característica marcante o alto índice de urbanização, com predomínio de casas de dois ou três pavimentos. O acesso às residências ocorre, sobretudo, por meio de escadarias e caminhos de pedestres, que compreendem aproximadamente 50% das vias existentes. As condições de impermeabilização da bacia são agravadas pela quase inexistência de áreas verdes, como se observa na Figura 22.



Figura 22 - Ocupação na Jaqueira do Carneiro / Bom Juá, 2011

5.2.2 Calabar

A região é ocupada na quase totalidade por habitações residenciais de um ou mais pavimentos, com poucas áreas verdes, caracterizando-se como uma bacia altamente impermeabilizada, como mostrado na Figura 23.

A grande proximidade entre as casas, fruto da ocupação densa e desordenada, se reflete nos estreitos becos e escadarias existentes. Os acessos constituem-se essencialmente por escadarias, rampas e caminhos de pedestres, que correspondem a cerca de 75% do total das vias. Desse total, parcela significativa é composta por escadarias construídas pelos moradores, sem qualquer elemento de drenagem acoplado, e que se caracterizam pela inexistência de padrões construtivos, resultando em acessos de má qualidade.



Figura 23 - Ocupação no Calabar, 2011

5.3 Delimitação das bacias

Embora as figuras 24 e 25, estejam apresentadas nas escalas 1:4000 e 1:5000 respectivamente, a delimitação inicial das bacias foi realizada a partir de plantas topográficas na escala 1:1000. Visitas a campo possibilitaram ajustes até a delimitação final, como pode ser visto nas Figuras 24 e 25.

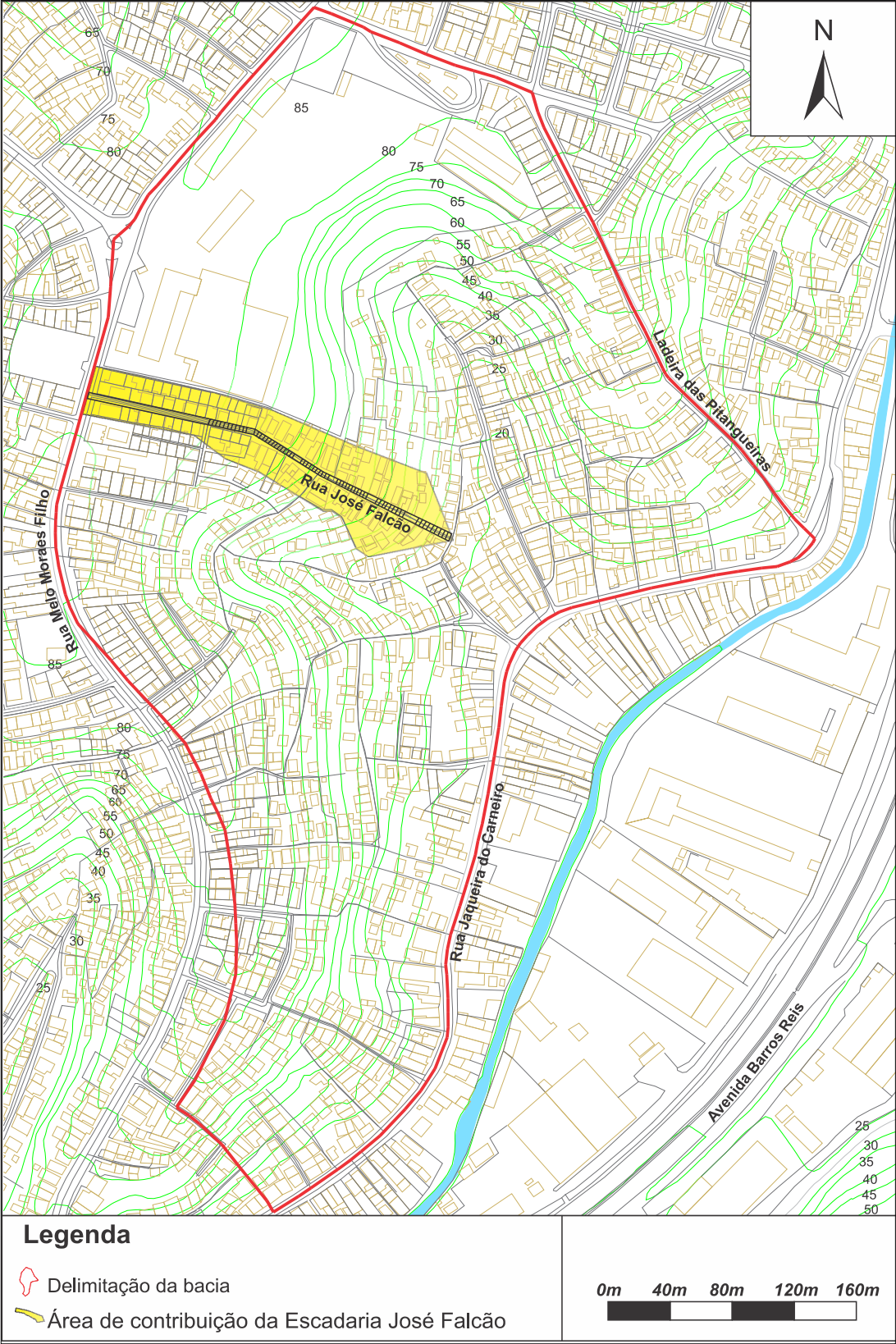


Figura 24 - Bacia delimitada no Bom Juá / Jaqueira do Carneiro

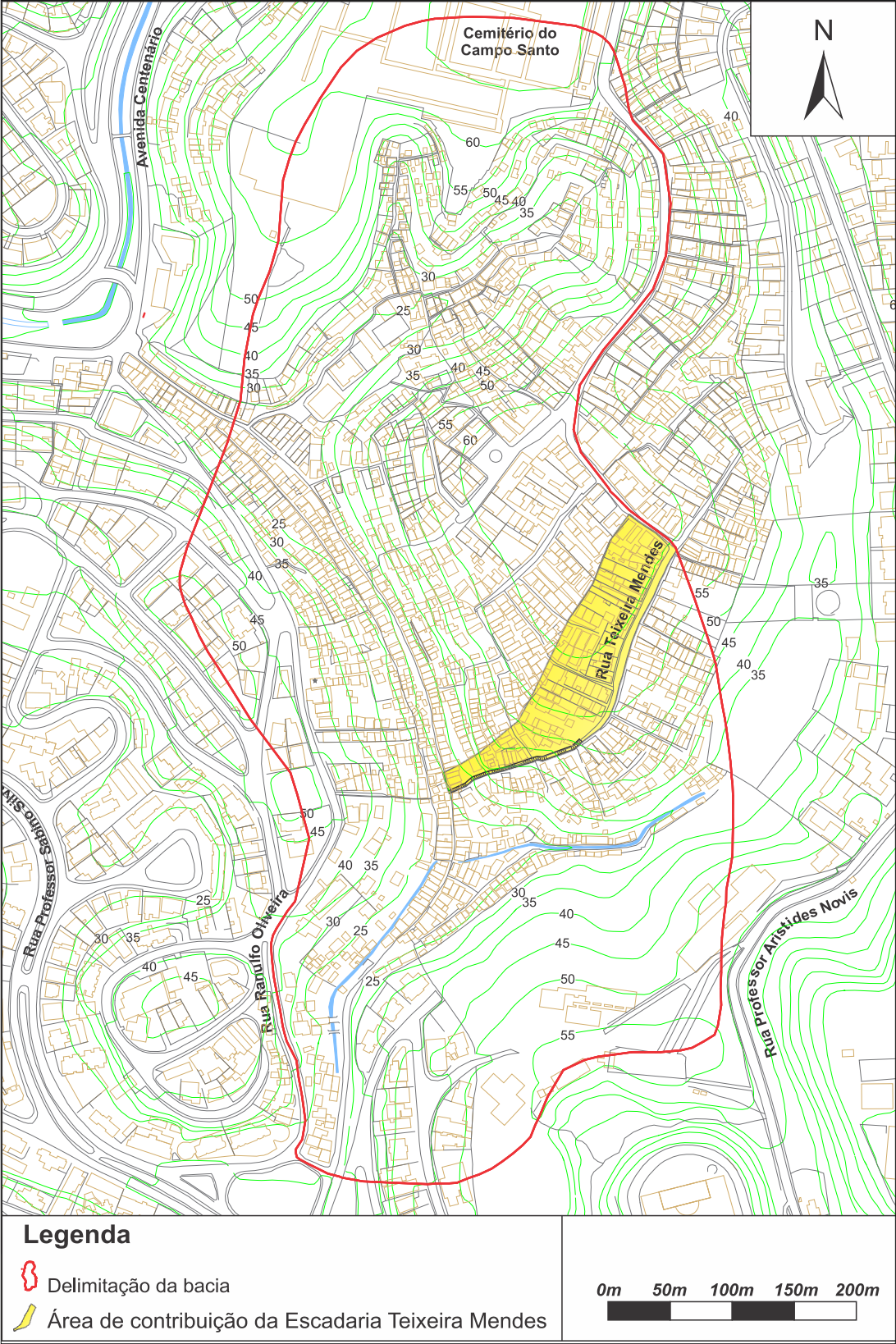


Figura 25 - Bacia delimitada no Calabar

5.4 Condições de funcionamento das escadarias identificadas no Calabar e Jaqueira do Carneiro

De um modo geral, observa-se que a manutenção preventiva e rotineira por parte do Poder Público Municipal é precária, o que se reflete no péssimo estado de conservação de algumas escadarias, como mostrado na Figura 26.



Figura 26 - Estado de conservação das escadarias nas áreas de estudo. (a) 1ª Travessa São Jorge, Jaqueira do Carneiro. (b) Travessa 18 de Maio, Jaqueira do Carneiro

As escadarias do Calabar recuperadas em 2008 preservam ainda boas condições de acesso, embora não tenham sofrido qualquer tipo de manutenção desde então. Em contrapartida, nos trechos em rampa, sobretudo aqueles situados nas cotas mais baixas, as caixas coletoras encontram-se em sua grande maioria obstruídas, comprometendo o funcionamento enquanto elemento de drenagem. Nas caixas situadas nos trechos em degraus, a presença de resíduos sólidos é pequena, o que se justifica pelas elevadas velocidades de escoamento, carreando a quase totalidade dos resíduos para as áreas mais baixas.

É importante comentar que nesses locais, considerados áreas de difícil acesso, a limpeza urbana é realizada por agentes comunitários que recolhem o resíduo até o *container* mais próximo e recebem, da empresa prestadora do serviço, remuneração pela atividade desenvolvida. Contudo é evidente a falta de educação ambiental de inúmeros moradores que continuam descartando de forma inadequada diversos tipos de resíduos, os quais acabam indo para as caixas coletoras.

Ressalta-se que as obstruções são consequência não apenas do lançamento de resíduos sólidos, como também das contribuições de esgotos sanitários para rede de drenagem, mesmo após a implantação de sistema separador absoluto.

Diante da ausência de conservação e manutenção por parte do Poder Público Municipal, a participação das comunidades é fundamental para o adequado funcionamento dos dispositivos. A Rua Marlene Souza, na Jaqueira do Carneiro é exemplo quanto à preservação do equipamento público, possuindo jardins, implementados pelos próprios moradores, o que torna o local bastante aprazível (Figura 27).

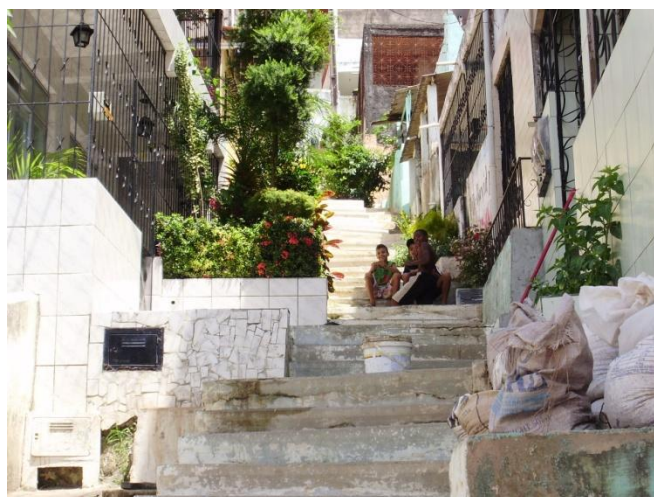


Figura 27 - Jardins da Rua Marlene Souza, Jaqueira do Carneiro, 2011

Nota-se que para alguns moradores a escadaria representa muito mais do que a via de acesso. Ela é parte integrante de sua residência, cujo patamar serve como *hall* de entrada, sendo comumente revestido de piso cerâmico. Do ponto de vista hidráulico, essa modificação resulta na alteração pontual da rugosidade na superfície da escadaria, causando mudança na velocidade de escoamento.

Nas escadarias tipo 02, 03A e 03B, as contribuições de esgoto sanitário para as redes de drenagem de águas pluviais têm motivado moradores a realizarem o tamponamento total ou parcial das grelhas de captação, como forma de minimizar os odores que exalam das caixas.

Constata-se também preocupação quanto às dimensões das aberturas, justificada pela possibilidade de acidentes com crianças e com vistas a reduzir e/ou impedir a entrada de resíduos sólidos e ratos. Em algumas escadarias e rampas observa-se soluções implementadas pela comunidade, e que consistem na diminuição das

aberturas a partir da inserção de pedaços de cabos de vassouras, canos de PVC, barras de ferro e telas, como mostrado na Figura 28. Se por um lado a redução das aberturas minimiza a possibilidade de acidentes, por outro diminui a capacidade de engolimento dos dispositivos, comprometendo o seu desempenho hidráulico.



Figura 28 - Grelhas modificadas pelos moradores, Calabar, 2011

Como se pode observar na Figura 28, as grelhas de concreto encontram-se fixadas ao pavimento, dificultando a limpeza das caixas coletoras por parte dos moradores e até mesmo pelo Poder Público Municipal, pois durante a remoção é muito provável que sejam danificadas, sendo necessária a substituição, o que implica no aumento dos custos de operação.

A sinuosidade e irregularidade nas dimensões das escadarias implantadas de modo a acompanhar o perfil natural do terreno, os espaços existentes entre as casas e as interferências causadas pela comunidade, a exemplo da construção de rampas para

acesso de motos e carrinhos de mão, propiciam escoamento superficiais desordenados. Por esse motivo, o posicionamento e tamanho das caixas coletoras devem ser observados a fim de maximizar o desempenho na captação das águas das chuvas.

Durante as inspeções constatou-se que não existe critério quanto à distância mínima da grelha em relação ao último degrau do trecho à montante. A depender da velocidade de escoamento, o jato em queda a partir do último degrau à montante poderá ser projetado à frente da caixa, comprometendo a captação.

A deficiência quanto à captação das caixas é tão evidente que em algumas escadarias observam-se adaptações executadas pelos moradores com vistas a solucionar o problema, e que consistem em pequenos diques construídos em argamassa dispostos à frente da grelha, como mostrado na Figura 29. Ressalta-se que a reduzida largura do patamar, sendo observados valores em torno de 50cm, torna-se obstáculo para o adequado posicionamento da grelha.

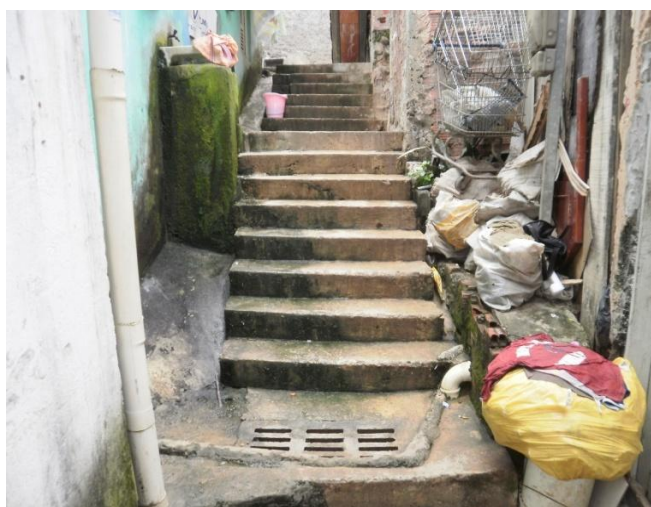


Figura 29 - Caixa coletora da 3ª Tv. Ranulfo Oliveira, Calabar, 2011

6.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos na pesquisa com base na metodologia proposta, compreendendo quatro partes: cálculos hidrológicos a partir das áreas de estudo, capacidade de condução dos tipos de escadarias avaliados, análise do desempenho da escadaria drenante como dissipador de energia e implicações no funcionamento hidráulico devido ao uso e manutenção.

Os valores de velocidades e vazões calculadas foram obtidos com base nas características da escadaria adotada como padrão, descrita no item 4.3, tendo sido avaliadas condições limites quanto à capacidade de condução e velocidade de escoamento.

6.1 Cálculos hidrológicos a partir das bacias estudadas

Na tabela 2 são apresentados os valores calculados para o tempo de entrada (t_e) das bacias delimitadas no Calabar e Bom Juá/Jaqueira do Carneiro, por meio da equação de Kirpich (equação 7).

Tabela 2 - Valores calculados para o tempo de entrada

Localidade	Área (m ²)	Perímetro (m)	L Comprimento do curso d'água principal (m)	Declividade média (m.m ⁻¹)	tp Tempo de entrada (min)
Jaqueira do Carneiro	195.298	2.045	634	0,264	1,88
Calabar	290.649	2.472	810	0,245	2,33

Em função das elevadas velocidades de escoamento e das extensões das escadarias inspecionadas, cujo valor máximo observado foi aproximadamente igual a 100m, os tempos de percurso (t_p) calculados, resultaram em valores muito pequenos. Considerando-se, por exemplo, uma escadaria drenante (tipo 01) cuja velocidade máxima de escoamento calculada é igual a 5,65m.s⁻¹ (conforme será abordado no item 6.2), o tempo de percurso resulta em 0,30min. Para as duas localidades estudadas, os tempos de concentração ($t_e + t_p$) resultaram em valores inferiores a cinco minutos.

Apesar dos cálculos conduzirem a valores muito pequenos, adotou-se para o tempo de concentração das bacias, cinco minutos. Segundo WSDOT (2010) valores de tempo de concentração inferiores a cinco minutos podem conduzir ao aumento das incertezas na determinação da intensidade da chuva e consequentemente da vazão de projeto, dada a necessidade de extrapolação das curvas IDF. Ressalta-se que nos estudos realizados por Matos (2006) e que resultaram na equação de chuvas de Salvador foi adotado como limite mínimo de duração da chuva, cinco minutos.

Na Tabela 3 são apresentadas as intensidades de chuvas calculadas para períodos de retorno de 5, 10 e 25 anos para duração 5 minutos.

Tabela 3 - Intensidades de chuvas para diferentes períodos de retorno

Período de retorno (anos)	Intensidade (mm/h)
5	125,42
10	159,51
25	218,62

A fim de avaliar as situações mais críticas, dentre as escadarias identificadas nas duas áreas, selecionou-se aquelas com maiores bacias de drenagem resultando, portanto, nas maiores vazões. Com base neste critério foram escolhidas as escadarias da Rua José Falcão no Bom Juá/Jaqueira do Carneiro e da Rua Teixeira Mendes no Calabar.

Como resultado do processo de urbanização verificou-se aumento nas vazões superficiais nas duas escadarias. A partir das análises das ortofotos de 1976 e 2006 foram estimados os coeficientes de escoamento superficial em 0,80 e 0,95, respectivamente. Foram adotados valores iguais para as duas ruas, pois apresentaram taxas de ocupação semelhantes. Observando-se a Tabela 4, constata-se que ao longo de três décadas, houve incremento de aproximadamente 19% nas vazões dessas escadarias.

Tabela 4 - Vazões nas Ruas Teixeira Mendes e José Falcão em 1976 e 2006

Bacia	Escadaria	Área de contribuição (km ²)	Vazão (m ³ .s ⁻¹)			
			T _R 5 anos		T _R 10 anos	
			1976	2006	1976	2006
Calabar	Rua Teixeira Mendes	0,011600	0,32	0,38	0,41	0,49
Jaqueira do Carneiro	Rua José Falcão	0,008146	0,23	0,27	0,29	0,34

As vazões calculadas para as Ruas Teixeira Mendes e José Falcão apresentam muitas incertezas relacionadas à estimativa dos tempos de concentração e de retorno, à definição dos coeficientes de escoamento superficial, à determinação da chuva de projeto a partir de uma relação IDF e quanto à delimitação das áreas de contribuição de drenagem. Neste sentido, não se pode garantir plenamente se de fato o incremento nas vazões foi 19%, ou se a vazão máxima calculada para a Rua Teixeira Mendes, considerando-se período de retorno de 10 anos, é $0,49\text{m}^3.\text{s}^{-1}$. Portanto, enquanto dispositivos de micro drenagem, as escadarias drenantes e/ou com drenagem associada tem a probabilidade de falhar caso ocorra, por exemplo, uma chuva superior à estabelecida em projeto.

Tendo em vista a possibilidade de falha das escadarias é de fundamental importância para escolha do período de retorno da chuva de projeto, análise criteriosa dos possíveis riscos e danos associados à falha. Embora classificadas como dispositivos de micro drenagem, as escadarias drenantes diferenciam-se dos sistemas convencionais, cuja falha em geral resulta no alagamento da via, sem maiores consequências. Para as escadarias em estudo, a possibilidade de falha do sistema de drenagem pode resultar na destruição da via, pela colisão do jato com os degraus pré-moldados, no caso do tipo 01, ou pela pressurização dos condutos, o que pode ocorrer nos tipos 02, 03A e 03B. O maior risco é associado aos deslizamentos de encostas, pela possibilidade de infiltrações de água nos maciços, em razão, sobretudo, do transbordamento de seção.

6.2 Capacidade de condução dos tipos de escadarias avaliados

No Quadro 14, são apresentadas as vazões e velocidades calculadas para escadaria drenante (tipo 01). Foi adotado para o coeficiente de rugosidade da calha $n = 0,014\text{s.m}^{-1/3}$. Nota-se que a configuração que utiliza dois módulos R2 na entrada do trecho em degraus, possibilita maior alcance do jato e, por conseguinte maior vazão para o sistema, igual a $Q = 0,71\text{m}^3.\text{s}^{-1}$. É importante salientar que a declividade do trecho em degraus ($i = h/l = 0,178\text{m}/0,27 = 0,66\text{m.m}^{-1}$) não teve qualquer influência na determinação da vazão máxima, sendo limitada pelo alcance do jato de modo a evitar o impacto contra os degraus pré-moldados e o possível deslocamento dos mesmos.

Configuração	Alcance do jato (m)	Valores calculados			
		Vazão máxima ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Declividade da calha no trecho em rampa ($\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$)	Velocidade no trecho em rampa ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	Velocidade no trecho em degrau ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
01 módulo R2 na entrada do trecho em degraus	0,90	0,53	0,022	2,97	9,44
02 módulos R2 na entrada do trecho em degraus	1,30	0,71	0,041	4,02	9,82

Quadro 14 - Vazões e velocidades máximas da escadaria tipo 01

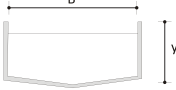
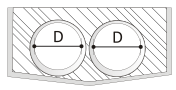
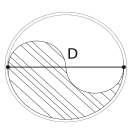
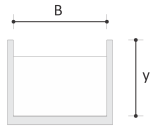
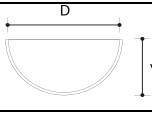
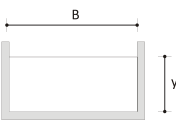
As velocidades no trecho em degraus apresentadas no Quadro 15 foram calculadas a partir da equação de Bernoulli, considerando um desnível $\Delta H = 23 \times 0,178 = 4,09\text{m}$, que corresponde ao desnível máximo atribuído à escadaria padrão, o qual foi estabelecido mediante observações realizadas nas áreas de estudo. Contudo, em razão da topografia bastante acidentada de Salvador, não é descartada a existência de escadarias na cidade com trechos que apresentem maiores desníveis do que o adotado na pesquisa.

Os valores de velocidades calculados pela equação de Bernoulli (Quadro 15) foram superestimados na medida em que se desprezou a dissipação de energia atribuída aos degraus, os quais desempenham um papel de macro rugosidade.

Assumindo-se a condição de semelhança geométrica entre a escadaria drenante padrão (tipo 01) e os modelos de vertedores em degraus estudados por Chanson (1993) e Ohtsu *et al.* (2004) foi possível, com base nas equações propostas por esses autores, estimar a dissipação de energia promovida pela estrutura e calcular a velocidade ao final do trecho em degraus. Para a vazão máxima igual a $0,71\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a velocidade obtida por meio da metodologia de Ohtsu *et al.* (2004) corresponde a $5,65\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. O desempenho do dispositivo quanto à dissipação de energia é analisado no item 6.3.

No Quadro 15 são apresentados os resultados das vazões e velocidades máximas de escoamento para os demais modelos, calculados para as mesmas condições de operação da escadaria padrão, isto é, escoamento livre, inclinação do trecho em degraus $i = 0,66 \text{ m} \cdot \text{m}^{-1}$, desnível total por trecho $H = 4,09\text{m}$. Salienta-se que os valores foram obtidos com o uso da equação de Manning e da continuidade (equações 15 e 16), desprezando-se perdas de carga localizadas. A exceção se

deve aos tipos 01 e 04C, cujos valores foram obtidos pela metodologia de Ohtsu *et al.* (2004).

Modelo	Seção	Dimensões (m)	Condição Hidráulica	Vazão Máxima ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Velocidade ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
Tipo 01 (padrão)		$B = 0,71$ $y = 0,25$	escoamento livre	0,71	5,65
Tipo 02		$D = 0,20$ $Deq = 0,26$	escoamento livre	0,69	16,15
Tipo 03A		$D = 0,30$	escoamento livre	0,67	11,70
Tipo 03B		$D = 0,40$	escoamento livre	2,18	21,52
Tipo 04A		$B = 0,30$ $y = 0,30$	escoamento livre	1,13	12,50
Tipo 04B		$D = 0,30$ $y = 0,15$	escoamento livre	0,37	12,32
Tipo 04C		$B = 0,35$ $y = 0,23$	escoamento livre	0,26	8,15
Coeficientes adotados: $n \text{ (PVC)} = 0,00922 \text{m} \cdot \text{s}^{-1/3}$ $n \text{ (concreto)} = 0,014 \text{m} \cdot \text{s}^{-1/3}$					

Quadro 15 - Vazões e velocidades máximas para as escadarias avaliadas

Como se observa no Quadro 16, as velocidades calculadas, especialmente para os tipos 02, 03A, 03B, 04A e 04B são bastante elevadas, excedendo ao limite máximo recomendado de $5,00 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. Admitindo-se a ocorrência dessas velocidades, haveria o desgaste prematuro, além da provável destruição das estruturas, sobretudo nos trechos de cotas mais baixas, devido à elevada energia cinética do escoamento.

Para utilização da equação de Manning assumiu-se o escoamento permanente, uniforme e turbulento, tendo as escadarias rugosidade e inclinação constantes, além de comprimento suficiente para que a condição uniforme seja estabelecida. Admitiu-se, portanto, que a profundidade de escoamento é constante, o que implica em considerar que a área e o perímetro molhado e a velocidade se mantêm constantes ao longo do trecho.

Cabe salientar que o trecho de escadaria adotado na avaliação possui elevada declividade ($0,66\text{m.m}^{-1}$) e pequena extensão (aproximadamente igual a 7,44m), sendo improvável que o regime uniforme seja estabelecido. Em razão da elevada declividade das calhas e condutos, a condição uniforme deixa de ser observada, havendo variação da altura normal de escoamento. De acordo com Chow (1994), o escoamento uniforme se torna instável quando a velocidade é muito elevada ou o canal muito íngreme, surgindo ondulações na superfície do escoamento. Além disso, supondo ser possível que o regime uniforme supercrítico se estabeleça, em razão das perdas de cargas localizadas (caixas coletoras e mudanças bruscas de declividade) ele deixará de ser uniforme a jusante da singularidade, necessitando de trecho longo o suficiente para que as condições uniformes sejam reestabelecidas.

Observando-se novamente o Quadro 15, constata-se que as velocidades mais elevadas foram obtidas para as escadarias que têm como canal condutor tubos e calhas lisas (tipos 02, 03A, 03B, 04A e 04B), sendo comparáveis às descidas tipo rápido utilizadas na drenagem superficial de taludes em estradas.

De acordo com manuais de drenagem de rodovias consultados (BRASIL, 2006; COLOMBIA, 2009), pode-se assumir nas descidas tipo rápido fluxo supercrítico gradualmente variado, sendo a velocidade teórica máxima ao final do dispositivo, isto é, desprezadas as perdas, calculada de forma simplificada pela aplicação da equação da energia entre o topo e o final do canal (equação 10). Para a escadaria tipo 03B, considerando o desnível adotado para escadaria padrão (4,09m), a aplicação da equação da energia conduz a uma velocidade de escoamento $9,28\text{m.s}^{-1}$.

As vazões e velocidades, das escadarias em estudo, calculados pela equação de Manning devem ser cuidadosamente analisados, em razão das simplificações assumidas e das incertezas associadas aos parâmetros adotados, o que pode conduzir a valores superestimados. Incertezas quanto à escolha do coeficiente de rugosidade e na determinação da declividade dos condutos impactam nos resultados obtidos.

O valor de rugosidade de Manning é variável e depende de alguns fatores, como altura do escoamento, irregularidades no canal condutor, dentre outros. Segundo a ABTC (2004), os valores de coeficiente de Manning para condutos, são obtidos em

laboratório com a utilização de água limpa e seções retas, sem considerar trechos curvos, poços de visita, ou qualquer outro tipo de interferência no escoamento. As condições de implantação e utilização dos condutos associados às escadarias são bastante diferentes das adotadas em laboratório, dada à existência de inúmeras caixas de transição, além de contribuições de esgoto sanitário e lançamento de resíduos sólidos no interior dos condutos, o que modifica o coeficiente de rugosidade.

As velocidades e vazões apresentadas anteriormente (Quadro 15) consideraram apenas a inclinação da escadaria padrão ($i = 0,66\text{m.m}^{-1}$), o que difere das condições observadas em campo, tendo sido identificadas diferentes declividades para os condutos e calhas. Pelo fato dos condutos apresentarem valores de declividades aproximadamente iguais à relação espelho/piso, alterações nas dimensões dos degraus implicam em modificações nas velocidades e vazões de escoamento, conforme mostrado nas Figuras 30 e 31.

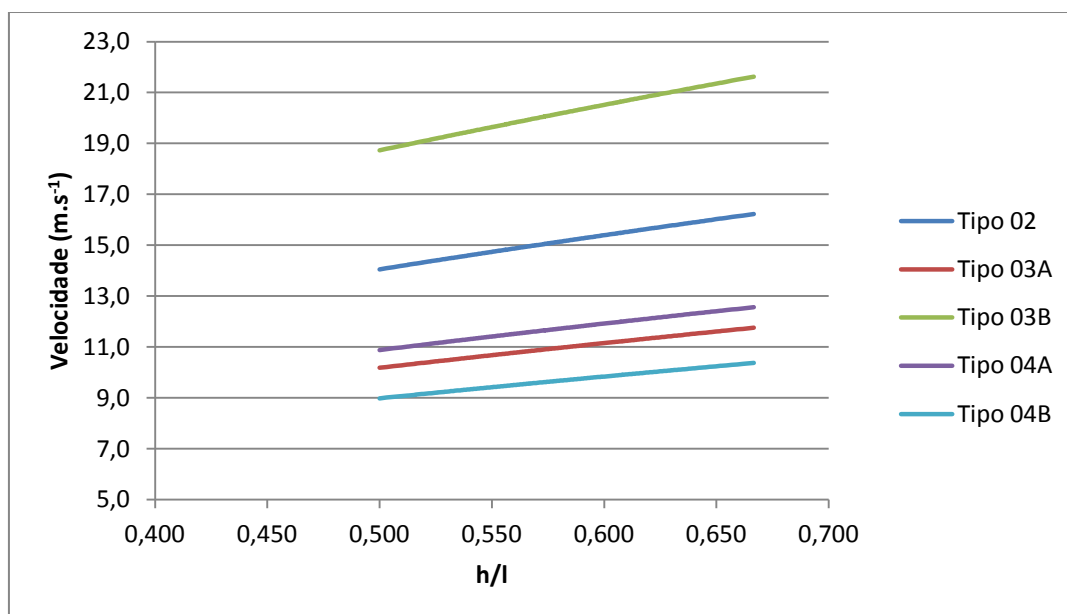


Figura 30 - Velocidades de escoamento das escadarias tipos 02, 03A, 03B, 04A e 04B, em escoamento livre, para diferentes relações espelho/piso

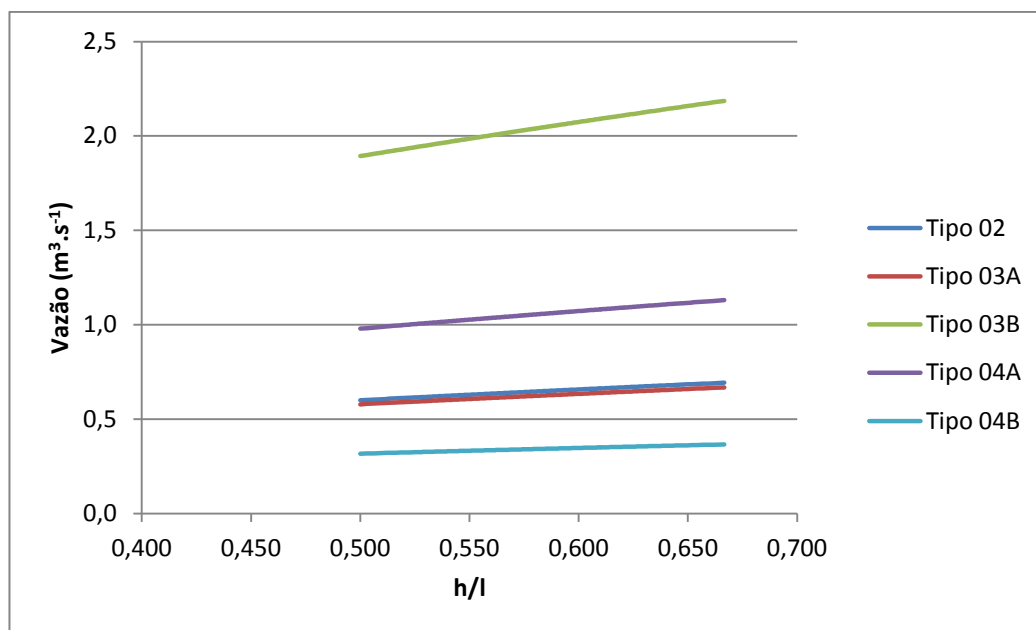


Figura 31 - Vazões das escadarias tipos 02, 03A, 03B, 04A e 04B, em escoamento livre, para diferentes relações espelho/piso

Embora tenha sido adotada como hipótese que a relação espelho/piso corresponde à declividade dos condutos, é importante ressaltar que nos locais de implantação isso nem sempre acontece. Para os tipos 02, 04A e 04B constatou-se a partir das inspeções de campo a validade desta suposição, sendo os tubos e calhas implantados seguindo a linha de inclinação da escadaria. Contudo, para os tipos 03A e 03B, em razão da inexistência de caixas em todos os patamares a declividade dos tubos dificilmente coincidirá com a da escadaria. Esta situação é ilustrada na Figura 32, sendo apresentada como exemplo uma escadaria com dois trechos, em que a declividade do tubo é menor que a do trecho em degraus.

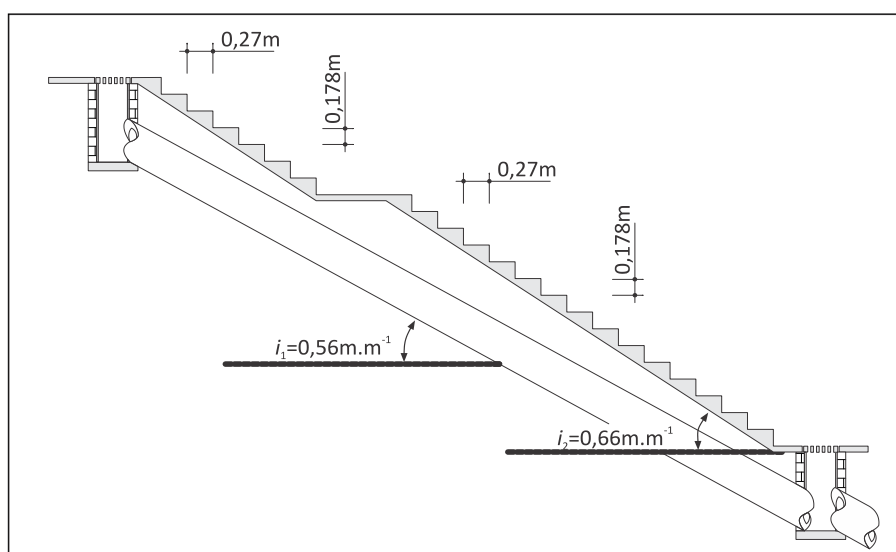


Figura 32 - Diferentes declividades para tubo e escadaria

Analisando-se o caso mais crítico, quanto à velocidade de escoamento, obtido para a escadaria tipo 03B, e considerando-se, por exemplo, a declividade de $0,56\text{m.m}^{-1}$, conforme anteriormente discutido, e coeficiente de rugosidade do conduto $n = 0,012\text{s.m}^{-1/3}$, superior ao valor inicial adotado, obtém-se para vazão e velocidade de escoamento, respectivamente $1,54\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ e $15,23\text{m.s}^{-1}$, o que corresponde a uma redução em relação aos valores primeiramente apresentados de aproximadamente 30%.

Diferente da condição teórica adotada para a escadaria padrão observou-se nos dispositivos inspecionados, variações de declividade, largura, dimensões dos degraus e quanto ao tipo de revestimento (resultando em trechos com rugosidades distintas). A não uniformidade dos aspectos construtivos, associados às interferências da comunidade, a exemplo do lançamento de resíduos sólidos e esgoto sanitário no interior das calhas e condutos, se constitui em perdas de carga localizadas, que promovem redução da vazão e velocidade de escoamento.

As tubulações oriundas de bicas de telhados e de aparelhos sanitários, conectadas nas calhas e caixas coletoras, contribuem com pequenos incrementos de vazão ao longo das escadarias, promovendo dissipação de energia cinética em virtude da turbulência formada pela entrada de fluxo transversalmente ao escoamento principal.

A topografia dos locais de implantação e a necessidade de adequação a esses locais resultam na construção de escadarias constituídas por trechos com diferentes alinhamentos, e que se interceptam com angulações diversas, compondo perfis levemente sinuosos. O ponto de transição entre os alinhamentos origina uma resistência ao escoamento, ocasionando ondas transversais e provável elevação do fluxo, devido à força centrífuga atuante na parte externa do canal.

Diante das interferências identificadas no funcionamento hidráulico dos dispositivos e das incertezas e simplificações assumidas nos cálculos, é improvável que velocidades de $21,52\text{m.s}^{-1}$ sejam verificadas nas escadarias de Salvador. Para que velocidades nessa magnitude sejam estabelecidas são necessários trechos bastante longos para que o regime uniforme seja estabelecido, além de vazões elevadas. Entretanto, devido às pequenas áreas de contribuição, normalmente observadas, é esperado que os dispositivos conduzam vazões inferiores às suas capacidades

máximas, resultando em velocidades de escoamento menores se comparados aos valores apresentados no Quadro 15.

Na análise dos resultados é importante considerar que os cálculos realizados restringem-se a um trecho de escadaria de comprimento 7,44m e desnível 4,09m, com patamares entre os trechos de comprimento mínimo igual a 1,0m, resultado das observações de campo, nas quais se constatou que as escadarias são normalmente compostas por trechos relativamente curtos, com comprimentos geralmente inferiores a 8m.

Considerando-se, portanto que as escadarias são constituídas por trechos curtos e que as vazões de contribuição são da ordem de $0,49\text{m}^3.\text{s}^{-1}$, verifica-se mediante a teoria do movimento gradualmente variado para os modelos que utilizam tubos e calhas lisas (tipo 02, 03A e 03B, 04A e 04B), uma diminuição da linha d'água no sentido do escoamento, resultando para a vazão apresentada velocidades de do trecho de ordem de $10\text{m}.\text{s}^{-1}$. Com relação as escadarias tipo 01 e 04C, a depender da vazão de entrada, poderão ocorrer regimes de escoamento distintos, conforme será abordado no item 6.2.

Ainda que os aspectos anteriormente discutidos contribuam de forma isolada ou conjunta para a redução das velocidades de escoamento, a possibilidade de ocorrência de velocidades superiores ao limite de $5\text{m}.\text{s}^{-1}$ não pode ser descartada. Sendo assim, sobretudo para os canais lisos, o uso de dispositivos de dissipação é fundamental para assegurar velocidades aceitáveis ao final das estruturas, de modo a evitar danos à própria escadaria e a população usuária.

Na análise das velocidades limites é fundamental considerar o principal objetivo de implantação de um sistema de drenagem associado a uma via de pedestres, que é permitir condições de acesso durante as precipitações. Velocidades de escoamento muito elevadas põem em risco não apenas as estruturas de drenagem como a condição de acesso da população.

Em um sistema ideal supõe-se que o escoamento na superfície seja mínimo, de modo a assegurar condição de locomoção pela via. Diferentemente de vias tradicionais em que a água precipitada é geralmente conduzida por meio de sarjetas nas laterais do pavimento até as galerias coletoras, nos dispositivos em estudo, a

própria superfície da escadaria funciona como sarjeta. Sendo assim, não se pode desprezar a ação dos degraus na dissipação de energia.

A exceção dos tipos 01 e 04C, que se constituem fundamentalmente em canais em degraus, os demais tipos analisados podem ser considerados estruturas mistas, havendo ação combinada da superfície da escadaria, com os elementos de drenagem, ou seja, calhas, tubos e caixas coletoras, promovendo de forma conjunta à dissipação de energia.

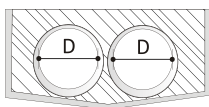
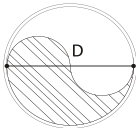
É conveniente que a energia cinética em excesso seja dissipada trecho a trecho, evitando-se velocidades muito elevadas no trecho final da escadaria. Nota-se que as reduzidas dimensões dos patamares, que em algumas escadarias é em média 0,60m, dificultam ou mesmo impedem a implantação de dispositivos dissipadores, e que promoveria a redução da velocidade de escoamento. Sob este aspecto, as escadarias tipo 01 e 04C, mostram-se vantajosas, dissipando a energia cinética degrau a degrau, resultando em menores velocidades de escoamento ao final do dispositivo.

No dimensionamento hidráulico das escadarias tipos 02, 03A e 03B é necessária à verificação na condição de funcionamento como tubos curtos e condutos sob pressão. A análise como tubo curto se justifica pela relação L_c/D (comprimento sobre diâmetro do conduto) situar-se na faixa entre 5 e 100, conforme abordado na revisão de literatura. Por outro lado, o regime forçado deve ser avaliado dada a possibilidade de ocorrência de chuvas excepcionais. Além disso, o fato dos condutos serem implantados com elevadas declividades, o que conduz a velocidades de escoamento elevadas, favorece a incorporação de ar à massa líquida, podendo resultar na elevação da lâmina d'água e, por conseguinte, no regime forçado.

A possibilidade de regime forçado é preocupante, na medida em que o tipo de tubulação adotada não é recomendada para esta condição, podendo ocorrer a ruptura do conduto e, em consequência, danos à estrutura da escadaria, comprometendo o acesso dos moradores. É importante ressaltar que os tubos Ribloc utilizados no tipo 03B são recomendados expressamente pelo fabricante, para aplicações em condições de operação sem pressão interna, ou seja, escoamento livre.

Esta situação se agrava na medida em que a manutenção quase inexistente das escadarias contribui para redução da seção útil do tubo, por conta de obstruções, o que aumenta a possibilidade de pressões internas elevadas. Durante a pesquisa foram identificados 03 casos de escadarias danificadas pela ruptura dos condutos, sendo que em todos eles a escadaria era do tipo 02 e a ruptura ocorreu entre o topo e a parte central da escadaria. É bastante provável que a ruptura tenha ocorrido em razão da grande quantidade de movimento da massa líquida, resultado das elevadas velocidades de escoamento.

No Quadro 16 são apresentados os resultados obtidos para as escadarias tipo 02, 03A e 03B na condição de tubos curtos e condutos forçados, para a mesma inclinação da escadaria padrão.

Modelo	Seção	Dimensões (m)	Condição Hidráulica	Vazão Máxima (m3/s)	Velocidade (m/s)
Tipo 02		D = 0,20 Deq = 0,26	Tubo curto	0,32	6,09
			Sob pressão	0,56	10,55
Tipo 03A		D = 0,30	Tubo curto	0,43	6,09
Sob pressão			0,48	6,79	
Tipo 03B		D = 0,40	Tubo curto	0,82	6,54
			Sob pressão	1,54	12,32
Coeficientes adotados: n (PVC) = 0,00922m.s ^{-1/3} n (concreto) = 0,014m.s ^{-1/3} ε (PVC) = 0,010mm ε (concreto) = 0,16mm					

Quadro 16 - Vazões e velocidades máximas para as escadarias tipos 02, 03A e 03B, para diferentes condições hidráulicas de funcionamento.

6.3 Análise do Desempenho da Escadaria Drenante (tipo 01) como Dissipador de Energia

Embora o conceito da escada hidráulica tenha sido utilizado na concepção da escadaria drenante, nenhuma informação quanto à dissipação de energia promovida pelo dispositivo foi identificada nos materiais analisados e nas consultas a técnicos envolvidos na sua concepção. Buscou-se realizar uma avaliação com a finalidade de responder a seguinte questão: até que ponto as dimensões de espelho e piso

utilizadas em escadarias de pedestres são eficientes para dissipação de energia cinética?

Inicialmente se fez necessário a determinação dos regimes de escoamento, os quais têm influência no total de energia cinética dissipada. Assumindo-se a ocorrência da vazão máxima $0,71\text{m}^3.\text{s}^{-1}$, discutida no item 6.2, e aplicando-se a equação 26 desenvolvida por Chanson (2001b), constata-se que o regime de escoamento é *skimming flow*, pois a relação altura crítica/altura do degrau ($y_c/h = 2,64$) é maior que a condição limite imposta pelo segundo membro da equação, cujo valor é 0,99.

$$\frac{y_c}{h} = 1,2 - 0,325 \frac{h}{l} = 1,2 - 0,325 \frac{0,178}{0,27} = 0,99$$

Para que o regime de escoamento seja *nappe flow* a condição imposta pela equação 22 (CHANSON, 2001b) não pode ser superada ($y_c/h \leq 0,63$), o que corresponde a uma profundidade crítica igual a 0,11 m e vazão $0,081\text{m}^3.\text{s}^{-1}$

$$\frac{y_c}{h} = 0,89 - 0,4 \frac{h}{l} = 0,89 - 0,4 \frac{0,178}{0,27} = 0,63$$

A Figura 32 ilustra a ocorrência dos dois regimes mencionados na escadaria tipo 04C durante intensa precipitação em Salvador (na escadaria de pedestres o regime é *nappe flow* e na calha de drenagem o regime é *skimming flow*). Vale lembrar que as equações utilizadas na escadaria drenante tipo 01 foram também aplicadas no tipo 04C, o qual também se constitui em uma escada hidráulica.

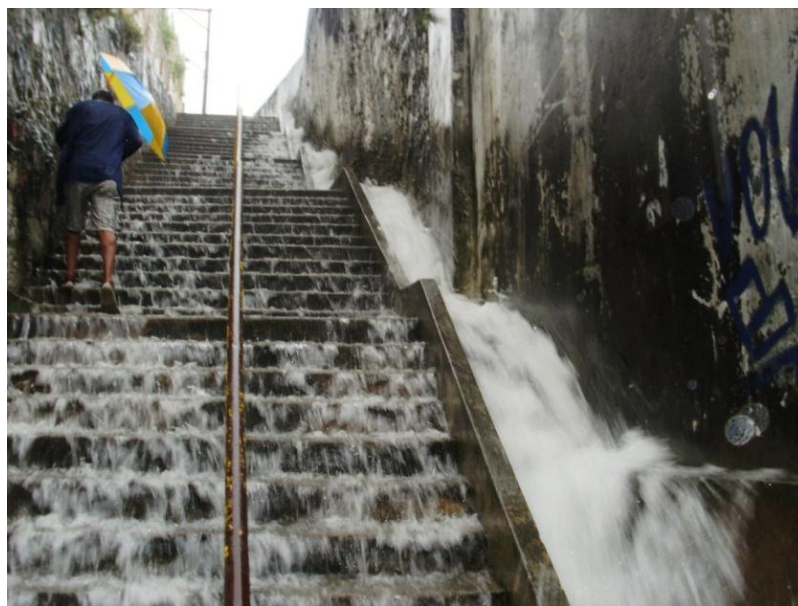


Figura 33 - Ocorrência dos regimes *nappe flow* e *skimming flow* na escadaria tipo 04C

A partir da Metodologia proposta por Ohtsu *et al.* (2004), foi avaliada a dissipação de energia promovida pela escadaria drenante (trecho com 23 degraus) em regime *skimming flow*, conforme mostrado na Figura 33. Foram avaliadas três alturas de degraus (0,178m, 0,19m e 0,20m), sendo mantida a declividade e largura da escadaria padrão. A definição das alturas dos degraus foi feita com base nas inspeções de campo, sendo adotados os valores mais recorrentes.

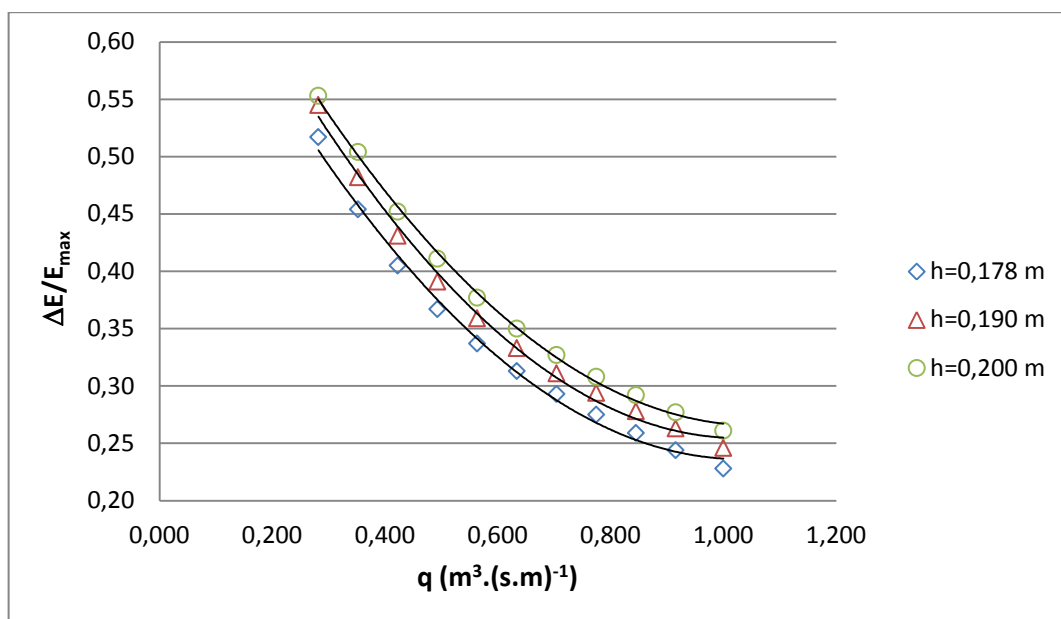


Figura 34 - Análise da dissipação de energia para escadaria drenante no regime *skimming flow*

Analisando-se a Figura 34 nota-se a influência das dimensões dos degraus na dissipação de energia. A partir da comparação entre as três alturas de degraus avaliadas, constata-se que o percentual de energia dissipada aumenta na medida em que também crescem os espelhos dos degraus. Por outro lado, percebe-se relação inversa entre a vazão específica e a energia dissipada, a qual diminui com o aumento da vazão.

Evidencia-se que a capacidade de dissipação de energia da escadaria drenante é limitada pela necessidade de atendimento a acessibilidade do usuário, devido à dupla função que desempenha. Dentre as alturas de degraus avaliadas as que promoveram maior dissipação de energia foram 0,19m e 0,20m e que, no entanto, situam-se fora da faixa recomendada pela norma de acessibilidade, NBR 9050 (ABNT, 2004).

Para condição de funcionamento em regime *nappe flow*, a capacidade de dissipação do dispositivo foi avaliada pelas equações propostas por Chamani e Rajaratnam (1994), cujos resultados são apresentados na Figura 35. Na ocorrência do regime *nappe flow*, constata-se a tendência da redução da energia dissipada com o aumento da vazão específica. Verifica-se também que o aumento no comprimento do degrau promove maior dissipação de energia pelo dispositivo. Tal fato se justifica pela possibilidade de formação de pequenos ressaltos hidráulicos, ainda que parcialmente, o que aumenta a dissipação de energia. Da mesma forma que a altura, o comprimento do degrau é limitado pelo tamanho do passo do transeunte quando se desloca pela escadaria, sendo, portanto inviável estabelecer comprimentos de degraus superiores aos recomendados pela norma NBR 9050 (ABNT, 2004).

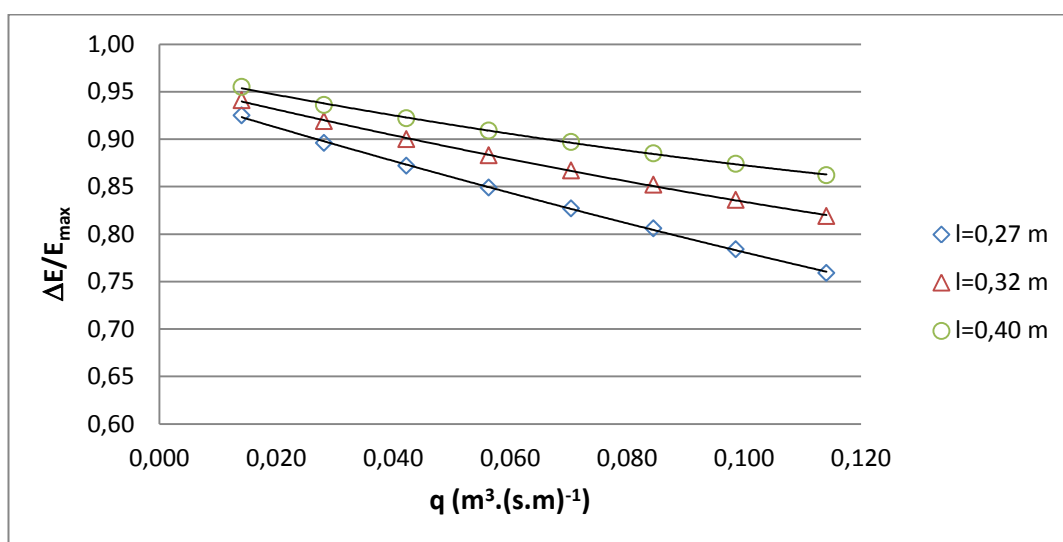


Figura 35 - Análise da dissipação de energia para escadaria drenante no regime *nappe flow*

Comparando-se as Figuras 33 e 34, nota-se maior dissipação de energia quando o regime de escoamento é *nappe flow*. Os valores obtidos mostram-se coerentes com os resultados apresentados por Chanson (1994a) em que compara a dissipação de energia entre os dois tipos de escoamento. Tal fato justifica-se pelo pequeno comprimento do trecho avaliado (aproximadamente 7,50m), o qual é insuficiente para estabelecimento no regime *skimming flow* da chamada região de escoamento quase-uniforme, na qual se verifica a maximização de incorporação de ar à massa líquida, o que aumenta a dissipação nesse regime.

Ressalta-se que a avaliação realizada refere-se à inclinação, relação espelho/piso e largura estabelecida para a escadaria padrão, com perfil retilíneo e desnível igual a 4,09m, a qual foi comparada aos modelos estudados por Chanson e Ohtsu. No entanto, conforme anteriormente referido, em condições reais a escadaria drenante apresenta geometria variável como forma de adequação aos locais de implantação. Dentre as escadarias vistoriadas, constatou-se predomínio de perfis sinuosos e desníveis totais superiores ao do trecho avaliado. A sinuosidade no canal em degraus modifica a forma da superfície livre, o que possibilita o surgimento de ondas transversais e que por sua vez podem conduzir ao transbordamento da calha. Desta forma os resultados apresentados foram obtidos considerando situação ideal. Estudos em modelos reduzidos em escala poderiam conduzir a resultados mais próximos da situação real.

6.4 Implicações no funcionamento hidráulico devido ao uso e manutenção

As condições hidráulicas avaliadas para os diferentes tipos de escadarias são modificadas em função do uso e manutenção. A inexistência de limpeza periódica pode resultar na redução da capacidade de condução dos dispositivos devido à obstrução de caixas e condutos. Tal situação também pode favorecer ao estabelecimento de regimes forçados nos tubos, que em condição limite podem romper e comprometer a via de acesso.

Foram identificadas em diversas escadarias contribuições de esgotos sanitários para a rede de drenagem, o que pode causar modificação na rugosidade das paredes dos condutos e consequentemente das velocidades e vazões de escoamento. Contudo esta situação do ponto de vista sanitário é extremamente desfavorável, pois as caixas com grelhas além de exalarem odores, transformam-se em abrigos de vetores transmissores de doenças e que são atraídos pelos esgotos sanitários presentes na rede pluvial.

Nos modelos tipo 02, 03A e 03B, a obstrução das caixas coletoras compromete o funcionamento do sistema de drenagem e, por conseguinte, a qualidade do acesso durante as precipitações, devido ao aumento da vazão e velocidade do escoamento na superfície da escadaria. Esta situação pode conduzir ao maior desgaste superficial da escadaria, especialmente o tipo 03, construída em concreto moldado *in loco* e, geralmente, sem o controle tecnológico adequado.

7.0 CONCLUSÃO

Evidencia-se que independente do modelo adotado, a implantação de escadarias com dispositivos de drenagem associados deve ser precedida de avaliações técnicas sistemáticas, envolvendo aspectos de ordem hidrológica, hidráulica e construtiva, buscando a adequação da solução proposta ao local de execução.

A implantação de escadarias sem realização de estudos prévios e sem o envolvimento da comunidade a ser beneficiada, tem resultado na necessidade de sucessivas intervenções em uma mesma localidade, implicando em desperdícios de recursos públicos e na insatisfação da população. Além disso, a negligência quanto aos aspectos técnicos pode comprometer o adequado funcionamento hidráulico dos dispositivos, bem como a redução de sua vida útil. Cabe salientar que não foram encontradas informações quanto ao limite de vida útil estabelecido pelo Poder Público para as estruturas avaliadas. As operações de manutenção têm sido realizadas apenas de forma corretiva e na maioria das vezes quando as estruturas já ultrapassaram seu limite de utilização.

Dentre os dispositivos avaliados, nota-se que aqueles que fazem uso de calhas em degraus (tipo 01 e 04C) mostram-se vantajosos em relação aos demais, quanto à dissipação, pois promovem redução gradual da velocidade de escoamento. Para o trecho avaliado, de comprimento 7,44m e desnível 4,094, as avaliações realizadas mostraram que a velocidade teórica máxima ao final do trecho é da ordem de 10m.s^{-1} , sendo esperada a redução desse valor em razão das interferências identificadas.

No que diz respeito à escadaria drenante (tipo 01) constatou-se que para a geometria avaliada e com base em vazões estimadas a partir dos estudos hidrológicos, há predominância do regime *skimming flow*, que possibilita dissipação em torno de 55% da energia total à montante. Esse valor indica a necessidade de estrutura auxiliar para dissipação da energia residual ao final da escadaria, o que nem sempre é possível devido às condições de ocupação.

Constata-se que o modelo tipo 03B atualmente adotado pelo Poder Público Municipal como substituto às escadarias drenantes (tipo 01) apresenta vantagens sob alguns aspectos, denotando preocupação quanto a outros. Diante da quase inexistência de espaços e das reduzidas larguras das vias, o uso de condutos sob a

escadaria surge na maioria dos casos como a melhor alternativa a ser implantada. Por outro lado, a substituição do canal em degraus por um conduto de baixa rugosidade, conduz a velocidades de escoamento maiores, tornando as caixas coletoras dispositivos fundamentais nesses modelos de escadarias.

Análises complementares se fazem necessárias quanto à avaliação da dissipação promovida pelas caixas coletoras, sobretudo quando o regime de escoamento for supercrítico. Ainda assim, modificações nas mesmas se fazem necessárias, com vistas à minimização dos efeitos do jato sobre as paredes, para melhorar a captação das águas pluviais e maior dissipação de energia e a consequente redução da velocidade de escoamento.

A necessidade de adequação das grelhas utilizadas nas caixas de captação é evidente, cujas características atuais comprometem o funcionamento das escadarias na condição de vias de acesso, em razão das dimensões das aberturas, colocando em risco a integridade dos transeuntes.

Ainda em relação aos tipos que utilizam tubos, a grande preocupação é quanto à possibilidade do estabelecimento do regime forçado, o que pode conduzir à ruptura dos condutos e destruição da escadaria. Essa possibilidade aumenta, para tubos de menor diâmetro, devido às prováveis vazões de contribuição, quanto pela inexistência de manutenção, o que favorece obstruções e reduções de seção.

Ressalta-se que as simplificações adotadas e a utilização de equações empíricas conduzem a incertezas nos valores obtidos na pesquisa. Dessa forma, de modo a complementar e aprofundar este trabalho recomenda-se para pesquisas futuras a realização de:

- estudo em modelos reduzidos com objetivo de avaliar a capacidade de dissipação de energia de escadarias de pedestres com perfis não retilíneos;
- verificação da capacidade de dissipação promovida por caixas coletoras com reduzidas dimensões e com condutos trabalhando em regime supercrítico; e
- análises mais detalhadas do tempo de concentração em bacias altamente impermeabilizadas e com severas declividades.

7.1 Recomendações quanto às condições de implantação e modificações nos dispositivos

Não foi objetivo deste trabalho discutir aspectos quanto aos custos de implantação dos dispositivos. Contudo, este fator é de grande relevância quanto à escolha do tipo a ser adotado. As recomendações aqui apresentadas fundamentam-se nas avaliações hidráulicas e hidrológicas, bem como nas inspeções de campo realizadas.

Os modelos que utilizam calhas nas laterais da escadaria (tipo 04A, 04B e 04C) não são adequados para locais com largura reduzida, pela falta de espaço para implantação. A norma NBR 9050 (ABNT, 2004) recomenda a largura mínima para escadarias igual a 1,20m. Nessas condições os modelos que utilizam tubos mostram-se vantajosos na medida em que são implantados sob a via.

Diante de velocidades de escoamento muito elevadas é importante considerar a quantidade de movimento associada à massa líquida, especialmente, nos modelos que utilizam condutos de PVC que são estruturas muito leves. Para trechos longos de tubo (superiores a 10 metros) é recomendável a construção de estruturas de concreto (conhecidas como gigantes de ancoragem) de modo a ancorar o conduto no solo e minimizar a possibilidade de ruptura na junção tubo/tubo ou tubo/caixa.

Para as escadarias tipo 02, 03A e 03B é possível também a diminuição da velocidade de escoamento mediante a redução da declividade do conduto, o que implica em maiores escavações. Portanto, as condições estruturais das habitações próximas aos condutos devem ser observadas a fim de não comprometer a estabilidade das mesmas. Por outro lado, em razão das condições de acesso e da execução manual dos serviços, o aumento no volume de escavação poderá implicar em aumento nos custos de implantação.

Ainda com relação às caixas coletoras fazem-se necessárias alterações quanto à largura, de modo a possibilitar maior capacidade de engolimento. O ideal é que sejam construídas com a mesma largura da escadaria, o que foi verificado apenas no tipo 03A.

É importante que seja observado o posicionamento da caixa em relação ao último degrau do trecho à montante, de modo a evitar que na ocorrência de intensas precipitações o jato lançado a partir de último degrau alcance distância superior a

posição da grelha, comprometendo a captação do sistema. Sendo assim, deve-se evitar a implantação das caixas muito próximas aos degraus, o que pode reduzir sua capacidade de captação.

Dentre os problemas construtivos observados para os modelos que utilizam caixas coletoras, os relativos às grelhas foram os mais recorrentes. As grelhas utilizadas não apresentam um padrão definido, tendo sido observadas 4 tipos diferentes. Além disso, as aberturas das grelhas não estão compatíveis com a função de via de acesso que a escadaria também desempenha. Sugere-se a substituição das grelhas de concreto por ferro, com aro metálico tipo basculante de modo a facilitar abertura e, por conseguinte, limpeza das caixas. Na parte superior a grelha poderá ser dotada de tela tipo moeda, de modo a reduzir as aberturas sem, no entanto, comprometer a capacidade de captação.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE PIPE ASSOCIATION. **Concrete pipe design manual**. United States Of America. 2007. Disponível em: < <http://www.concrete-pipe.org/designmanual.htm> >. Acesso em: 18 mai. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5683**: Tubos de PVC – verificação da resistência à pressão hidrostática interna. Rio de Janeiro, 1999. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050**: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2004. 97p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FABRICANTES DE TUBOS DE CONCRETO. **Avaliação comparativa de desempenho entre tubos rígidos e flexíveis para utilização em obra de drenagem de águas pluviais**. São Paulo. 2003. Disponível em: <<http://www.abtc.com.br>>. Acesso em: 25 nov. 2010.

BAHIA. Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia. **RMS 1976-1977**: foto aérea. Salvador, 1976. 1 fotografia aérea. Escala 1:8.000.

BASTOS, P. Urbanização de favelas. **Revista Estudos Avançados**. São Paulo: USP, n. 47, p. 212-221, jan./abr. 2003.

BEZERRA, R. R. **Primeira escadaria drenante em argamassa armada – Nordeste de Amaralina**. 1980. 1 fotografia, PB. 29,7cm x 42cm.

BITTENCOURT, J. L. *et al.* **Prevenção de riscos de deslizamentos em encostas – guia para elaboração de políticas municipais**. Ministério das Cidades, Brasília: Editora Brasil, 2006, 111p.

BUENO, L. M. de M. **Projeto e favela: metodologia para projetos de urbanização**. 2000. 176f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

CETESB. **Drenagem Urbana, Convênio ASCETESB DAEE**. São Paulo, 1986.

CHAMANI, M. R.; RAJARATNAM, N. Jet flow on stepped spillways. ASCE, **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 120, n.2, p.254-259, feb. 1994.

CHANSON, H. Stepped Spillway Flows and Air Entrainment. **Canadian Journal of Civil Engineering**. v.20, n.3, p.422-435, jun. 1993.

CHANSON, H. Comparison of energy dissipation between nappe and skimming flow regimes on stepped chutes. **Journal of Hydraulic Research**, IAHR, v. 32, n.2, p.213-218, oct. 1994a.

CHANSON, H. Hydraulics of Skimming Flows over Stepped Channels and Spillways. **Journal of Hydraulic Research**, IAHR, Delft, v.32, n.3, p.445-460, 1994b.

CHANSON, H. **Experimental investigations of air entrainment in transition and skimming flows down a stepped chute**, Research report no CE 158; Queensland: The University of Queensland, Australia. 2001a.

CHANSON, H. Hydraulics design of stepped spillway and downstream energy dissipaters. **Dam Engineering**, v.11, n.4, p. 205-242, 2001b.

CHANSON, H. **The hydraulics of stepped chutes and spillways**. The Netherlands: A. A. Balkema Publishers, 2002. 384 p.

CHAUDHRY, M. H. **Open channel flow**. 2. ed. Columbia: Springer, 2008.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1988. 572p.

CONSTANCE, P. **Apoio firme para áreas de risco**. BIDAMÉRICA; A Revista do Banco Interamericano de Desenvolvimento, mar. 2005. Disponível em: <<http://www.iadb.org/idbamerica/index.cfm?thisid=3331>>. Acesso em: 01 jun. 2010.

CORREIO DA BAHIA. **Construção de escadarias causa polêmica**. Salvador: Caderno aqui Salvador, jun. 2002. p.3.

CUNHA, M. A. **Manual de ocupação de encostas**. São Paulo: IPT, 1991.

DIAS, M. C. **Índice de salubridade ambiental em áreas de ocupação espontânea: estudo em Salvador, Bahia**. 2003. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2003.

DRENARTEC. **Manual técnico tubos estruturados de pvc ribloc**. Disponível em: <http://www.drenartec.com.br/manual%20tecnico%20RIB%20LOC.htm>. Acesso em: 4 abr. 2010.

FARAH, F. **Habitação e encostas**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2003. 312p.

FENDRICH, R.; Tópicos de hidrologia e hidráulica em obras hidráulicas de combate à erosão urbana. In: _____. **Drenagem e Controle da Erosão Urbana**. 4.ed. Curitiba: Editora Champagnat, 1997. Cap.5, p.271-327.

FRENCH, R. H. **Hydraulics of open channel flow**. In: _____. **Hydraulic Design Handbook**. Arizona: McGraw-Hill, 1999. Cap.3.

GARCIAS, C. M. **Drenagem Urbana**. In: _____. **Drenagem e Controle da Erosão Urbana**. 4.ed. Curitiba: Editora Champagnat, 1997. Cap.5, p.271-327.

GEORIO. **Manual técnico de encostas – Drenagem e proteção superficial**. 2.ed. Rio de Janeiro: Insitutek Consultores Ltda., 2000.

GERMANO, A; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. Estimativa dos parâmetros do modelo IPH II para algumas bacias urbanas brasileiras. RBRH, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.3, n.4, p.89-101, out. dez. 1998.

GODOI, A. A. de C. **Desempenho de equipamentos de drenagem urbana da cidade de Franca**. 2006. 156f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

HARE, C.M. **Energy losses and pressure head changes at storm drain junctions**. 1980. Master of Engineering Thesis-NSW Institute of Technology, Sydney.

HOLCIM FOUNDATION. **San Rafael-Unido, urban integration project**. JPEG. 2006. Altura: 1154 pixels. Largura: 1736 pixels. 300 dpi. Disponível em: <<http://www.holcimfoundation.org/T375/ProjectGallery-SanRafael-UnidoCaracas.htm>>. Acesso em: 25 set. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010: Aglomerados subnormais**. Rio de Janeiro, 2010. 259p.

JAYAWARDENA, A. **Upgrading living standards in slums: Lessons from Venezuela**. 2006. Disponível em: < [http://buildaschool.co.uk/what we do/PDFs/10-Upgrading-Living.pdf](http://buildaschool.co.uk/what_we_do/PDFs/10-Upgrading-Living.pdf)>. Acesso em: 23 jun. 2010.

KHATSURIA, R. M. **Hydraulics of spillways and energy dissipaters**. New York: Marcel Dekker, 2005. 629 p.

KIBLER, D. F. Desk-top methods for urban stormwater calculation, chap.4 In: Urban stormwater hydrology, ed. by D. F. KIBLER, water resources monography 7. Washington, D.C.; American Geophysical Union, 1982.

MATA-LIMA, H.; VARGAS, H.; CARVALHO, J.; GONÇALVES, G.; CAETANO, H.; MARQUES, A.; RAMINHOS, C. Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso. REM: **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v.60, n.3, p.525-536, jul. set. 2007.

MATOS, J. E. R. **Chuvas Intensas na Bahia, equações e metodologias de regionalização**. Salvador: EDUFBA, 2006.

MORAES, L. R. S. *et al.* Rampas e escadarias drenantes como alternativa tecnológica para áreas de encostas: uma avaliação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 18., 1995, Salvador. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1995.

NEVES, E. T. **Curso de hidráulica**. 6 ed. Porto Alegre: Editora Globo, 1979. 567p.

OLIVA. P. H. **Publicação eletrônica** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <luciomangieri@gmail.com> em 24 fev. 2011.

OHTSU, I.; YASUDA, Y.; TAKAHASHI, M. Flows characteristics of skimming flows in stepped channels. **ASCE, Journal of Hydraulic Engineering**. v.130, n.9, p.860-869, Sept. 2004.

PFAFSTETTER, O. **Chuvas intensas no Brasil**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Obras de Saneamento, 1957. 419p.

PINTO, N. L. de S. *et al.* **Hidrologia básica**. São Paulo: Edgard Blucher, 1976. 278 p.

PORTO, R. L. L. **Escoamento superficial direto**. In: _____. **Drenagem Urbana**. 1 ed. Porto Alegre: ABRH, Editora da UFRGS, 1995.

PORTO, R. M. **Hidráulica básica**. 4. ed. São Carlos: EESC-USP, 2006. 540 p.

PRÁ, M. D. **Características do escoamento sobre vertedouros em degraus de declividade 1V:1H**. 2004. 152 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

RAND, W. **Flow geometry at straight drop spillways**. Journal of the Hydraulics Division, Proceedings, ASCE, v.81, n.791, p. 1-13, sept. 1955.

RECESA. Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental. **Águas pluviais – planejamento setorial em drenagem urbana**. Ministério das Cidades, Brasília: Fast Design, 2008, 89p

SALVADOR. Defesa Civil. **Histórico de acidentes**. Disponível em: <http://www.defesacivil.salvador.ba.gov.br/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=29&Itemid=82>. Acesso em: 5 mai. 2010.

_____. Fundação Mário Leal Ferreira. Salvador 2006: foto aérea. **Salvador - ortofotos, 2006**. 1 fotografia aérea. Escala: 1:2000.

_____. Órgão Central de Planejamento – OCEPLAN. **Encostas: redefinindo a questão**. Salvador, 1981. Não publicado.

_____. RENURB. **Caderno de projeto**. Salvador, 1980a. Não Publicado.

_____. RENURB. **Projeto Nordeste de Amaralina – estudos de projetos**. Salvador, 1980b. Não Publicado.

SANGSTER, W. M., WOOD, H. W., SMERDON, E. T.; BOSSY, H. G. **Pressure changes at storm drain junctions**. Missouri: Engineering Experiment Station, University of Missouri, 1958. Engineering Series Bulletin No. 41

SANTOS, E. *et al.* **O Caminho das águas de Salvador: Bacias hidrográficas, bairros e fontes**. Salvador: CIAGS/UFBA; SEMA, 2010. 486p

SIMÕES, A. L. A. **Considerações sobre a hidráulica de vertedores em degraus – Metodologias adimensionais para pré-dimensionamento**. 2008. 286 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

SANAGIOTTO, D. G. **Características do escoamento sobre vertedouros em degraus de declividade 1V:0,75H**. 2003. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

STRAUB, W. O. **A quick and easy way to calculate critical and conjugate depths in circular open channels**. Civil Engineering, 70–71, dez. 1978.

SWAMEE, P. K. **Design of a submarine pipeline**. Journal of Transportation Engineering. New York, v. 119, n. 1, p. 159-170, jan. 1993.

TOSCANO, M. **Estudo dos dissipadores de energia para obras hidráulicas de pequeno porte**. 1999. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. RBRH, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.5, n.1, p.61-68, jan. mar. 2000.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades, 2005.

UNITED STATES DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. **Hydraulic design of energy dissipators for culverts and channels**. 3. ed. Washington. 2006. Disponível em: <<http://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/hec/hec14Sl.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2011.

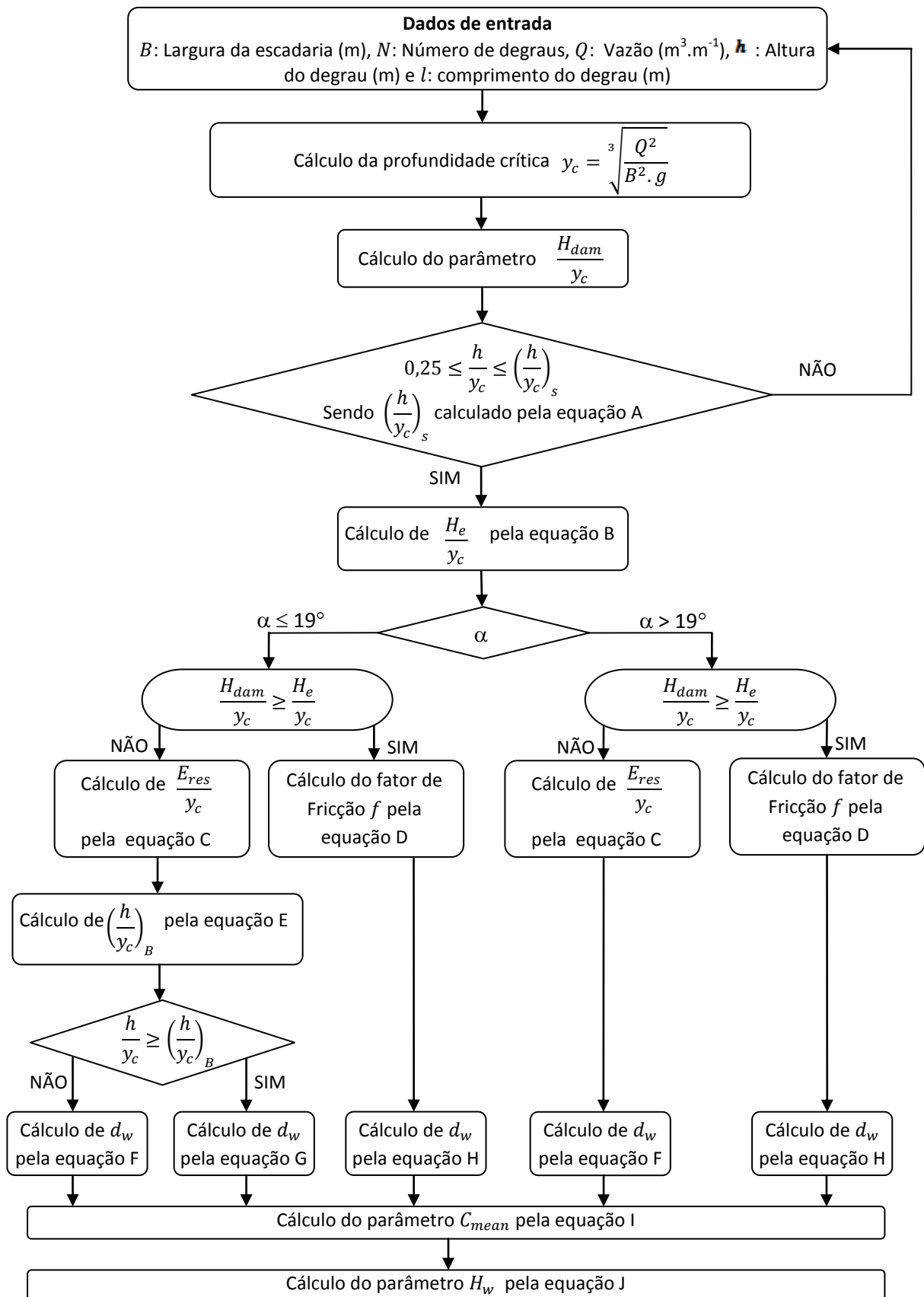
VALLE, T. F. **Vulnerabilidade e uso do solo urbano em assentamentos informais em áreas de encosta. Estudo de caso: comunidade Sete Cruzes no município de São Gonçalo – RJ**. 2009. 128f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético, Rio de Janeiro.

WILKEN, P. S. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: CETESB, 1978. 444p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Surface water drainage for low-income communities**. Geneva. 1991. Disponível em: <<http://sleekfreak.ath.cx:81/3wdev/CD3WD/SOILWATR/WHS050E/INDEX.HTM>>. Acesso em: 11 set. 2011

ANEXOS

ANEXO A – Metodologia Proposta por Ohtsu et al. (2004) para Dimensionamento de Canais em Degraus em Regime *Skimming Flow*.



Lista de Equações Utilizadas no Método

Equação A:

$$\left(\frac{h}{y_c}\right)_s = \frac{7}{6}(\operatorname{tg}\alpha)^{1/6}$$

Equação B:

$$\frac{H_e}{y_c} = (-1,21 \cdot 10^{-5} \alpha^3 + 1,60 \times 10^{-3} \alpha^2 - 7,13 \cdot 10^{-2} \alpha + 1,3) \left\{ 5,7 + 6,7 \exp \left(-6,5 \frac{h}{y_c} \right) \right\}$$

Equação C:

$$\frac{E_{res}}{y_c} = 1,5 + \left[\left(\frac{E_{res}}{y_c} \right)_U - 1 \right] \left(1 - \left(1 - \frac{H_{dam}}{H_e} \right)^m \right)$$

Onde:

$$m = -\frac{\alpha}{25} + 4$$

$$\left(\frac{E_{res}}{y_c} \right)_U = \left(\frac{f}{8 \operatorname{sen} \alpha} \right)^{1/3} \cos \alpha + \frac{1}{2} \left(\frac{f}{8 \operatorname{sen} \alpha} \right)^{-2/3} \quad \text{Se } 19^\circ < \alpha \leq 55^\circ$$

$$\left(\frac{E_{res}}{y_c} \right)_U = \left(\frac{f}{8 \operatorname{sen} \alpha} \right)^{1/3} + \frac{1}{2} \left(\frac{f}{8 \operatorname{sen} \alpha} \right)^{-2/3} \quad \text{Se } 5,7^\circ \leq \alpha \leq 19^\circ$$

Equação D:

$$f = f_{max} - A \cdot \left(0,5 - \frac{h}{y_c} \right)^2 \quad \text{Se } 0,1 \leq \frac{h}{y_c} \leq 0,5$$

$$f = f_{max} \quad \text{Se } 0,5 \leq \frac{h}{y_c} \leq \left(\frac{h}{y_c} \right)_s$$

Onde:

$$\text{Se } 5,7^\circ \leq \alpha \leq 19^\circ$$

$$A = -1,7 \cdot 10^{-3} \cdot \alpha^2 + 6,4 \cdot 10^{-2} \cdot \alpha - 1,5 \cdot 10^{-1}$$

$$f_{max} = -4,2 \cdot 10^{-4} \cdot \alpha^2 + 1,6 \cdot 10^{-2} \cdot \alpha + 3,2 \cdot 10^{-2}$$

$$\text{Se } 19^\circ \leq \alpha \leq 55^\circ$$

$$A = 0,452$$

$$f_{max} = 2,32 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2 - 2,75 \cdot 10^{-3} \cdot \alpha + 2,31 \cdot 10^{-1}$$

Equação E

$$\left(\frac{h}{y_c}\right)_B = 13 \cdot (tg\alpha)^2 - 2,73 \cdot tg\alpha + 0,373$$

Equação F

$$E_1 = d_w \cdot \cos\alpha + \frac{V_w^2}{2g}$$

Onde:

$$E_1 = E_{res}$$

$$V_w = \frac{q_w}{d_w}$$

Equação G

$$E_1 = d_w + \frac{V_w^2}{2g}$$

Onde:

$$E_1 = E_{res}$$

$$V_w = \frac{q_w}{d_w}$$

Equação H

$$f = 8 \cdot \left(\frac{d_w}{y_c}\right)^3 \cdot \text{sen}\alpha$$

Equação I

$$C_{mean} = D - 0,30 \exp \left\{ -5 \left(\frac{h}{y_c} \right)^2 - 4 \frac{h}{y_c} \right\}$$

Onde:

$$D = 0,30$$

$$\text{Se } 5,7^\circ \leq \alpha \leq 19^\circ$$

$$D = -2,0 \cdot 10^{-4} \cdot \alpha^2 + 2,14 \cdot 10^{-2} \cdot \alpha - 3,57 \cdot 10^{-2}$$

$$\text{Se } 19^\circ < \alpha \leq 55^\circ$$

Equação J

$$H_w = 1,4 \cdot y_{0,90}$$

Onde:

$$y_{0,90} = \frac{d_w}{1 - C_{mean}}$$

$$d_w = (1 - C_{mean}) \cdot y_{0,90}$$

Lista de Símbolos:

A Parâmetro da equação D

B Largura da escadaria

C_{mean} Concentração média de ar

D Parâmetro do equação I

D_w Profundidade representativa do escoamento

E_1 Energia disponível no início do ressalto hidráulico no final da escadaria

E_{res} Energia residual no final da escadaria

f Fator de fricção

f_{max} Fator de fricção para $h/y_c > 0,5$

g Aceleração da gravidade

h Altura do degrau

H_{dam} Altura total de queda da escadaria

H_e Altura de escadaria necessária para formação do escoamento quase-uniforme

H_w Altura dos muros laterais da escadaria

l Comprimento do degrau

m Parâmetro da equação C

N Número de degraus

Q Vazão na entrada da escadaria

V_w Velocidade média do escoamento

$y_{0,90}$ Profundidade normal ao fundo do canal para uma concentração média de ar de 0,90

y_c Profundidade crítica

α Ângulo de inclinação do canal em degraus

ANEXO B – Relação de solicitações encaminhadas à superintendência de conservação e obras públicas do salvador referentes a serviços de recuperação e manutenção de escadarias, utilizadas na identificação de diferentes tipos de escadarias.

ITEM	ANO	RUA	BAIRRO
1	2010	Rua Professor Josafá	3ª Etapa Castelo Branco
2	2010	Rua Almirante Francisco Muniz	Acupe de Brotas
3	2010		Águas Claras
4	2010	Artur Silva	Acupe de Brotas
5	2010	2ª Travessa João Salomé	Águas Claras
6	2010	Rua Presidente Médici - Caminho 4	Águas Claras
7	2010	Travessa do Cruzeiro	Alto das Pombas
8	2010	Baixa do Bispo	Alto das Pombas
9	2009	Rua Teixeira Mendes	Alto das Pombas
10	2010	2ª Travessa Nossa Senhora de Fátima	Alto das Pombas
11	2010	1ª Travessa Teixeira Mendes	Alto das Pombas
12	2010	Travessa Carlos Fraga	Alto das Pombas
13	2010	Travessa São Nicolau	Alto das Pombas
14	2010	Travessa Bacelar	Alto das Pombas
15	2010	Avenida são José/Ligada a Trav. Nossa Srª de Fátima	Alto das Pombas
16	2010	Travessa do Descanso	Alto das Pombas
17	2010	Rua Nova Constituinte	Alto de Coutos
18	2009	Rua 27 De Setembro	Alto do Beira Mar (Golfo Pérsico)
19	2010	4ª Travessa Adonias Ferreira	Alto do Cabrito
20	2010	Rua Santa Helena	Alto do Cruzeiro
21	2009	2ª Travessa Teixeira Barros	Alto do Saldanha- Brotas
22	2009	Avenida Nossa Senhora De Lurdes	Alto Do Saldanha- Brotas
23	2009	Rua Tenente Evandro	Alto Do Saldanha- Brotas
24	2009	Rua Vivaldo Cruz	Alto Dom Saldanha- Brotas
25	2010	Rua 5ª Travessa Mamed	Alto Santa Terezinha
26	2010	Travessa Rosalvo Dias	Arenoso
27	2010	1ª Rosalvo Silva	Arenoso

ITEM	ANO	RUA	BAIRRO
28	2010	5ª Travessa Dalva Santos	Arenoso
29	2010	6ª Travessa Dalva Santos De Araujo	Arenoso
30	2010	Rua Padre Luiz Filgueiras	Avenida Diva
31	2010	Rua Diva Pimentel	Avenida San Martin
32	2008	Rua Área Verde / 5ª Travessa Ubatão	Bairro da Paz
33	2010	Travessa São Pedro	Bairro de Itapuã
34	2010	Travessa Santo Antonio	Bairro de São Cristóvão
35	2010	1ª Travessa Paraíso	Baixa de Quintas
36	2010	Travessa 22 de Julho	Baixa da Paz - Cosme de Farias
37	2010	Rua Freitas Henrique	Baixa de Quintas
38	2008	Roça da Sabina	Barra
39	2010	Avenida Afrânio Peixoto	Barra / Lobato
40	2010	Rua Paulo Bispo	Barris
41	2010	Rua Rodovia A - 1ª Travessa	Boa Vista de São Caetano
42	2010	Rua Rodovia Iolanda - 1ª Travessa	Boa Vista de São Caetano
43	2010	Rua Monte Pio	Boa Vista de São Caetano
44	2010	Rua Wilson Teixeira	Boa Vista de São Caetano
45	2010	Rua Alberto Rabelo	Boca do Rio
46	2008	Rua do Barreiro	Boca do Rio
47	2009	Rua Francisco Alves Pêros	Boca do Rio
48	2010	1ª Travessa Teixeira Barros	Brotas
49	2010	1ª Travessa Bons Ares	Brotas
50	2010	3ª Travessa Alto do Saldanha	Brotas
51	2010	Arthur Freitas Pinto	Brotas
52	2010	Avenida Nossa Senhora De Lurdes	Brotas
53	2010	Rua Pirangi	Brotas
54	2010	Rua Santo Heraldo	Brotas
55	2010	Rua Travessa Santo Heládio	Brotas
56	2009	Rua 19 de Maio	Brotas
57	2009	Rua do Carmelo Lot.86	Brotas
58	2010	Rua Wilson Sanches	Brotas
59	2010	Travessa Lígel	Brotas
60	2010	Travessa Raimundo Figueiredo Lins	Brotas

ITEM	ANO	RUA	BAIRRO
61	2010	Vila Edinho	Brotas
62	2010	Rua Cledenor Soares	Cabula
63	2010	Rua Domingos Pereira Baião	Caixa D'Água
64	2010		Caixa D'Água
65	2009	Rua da Paz - Lot. Oásis Quadra7	Cajazeiras V
66	2009	Rua Imperatriz Lot.Oásis Quadra 7	Cajazeiras V
67	2010	Segunda Travessa São Matheus	Cajazeiras VIII
68	2009	Rua Praia Lagamar	Calabar
69	2010	Rua Teixeira Mendes	Calabar
70	2010	Travessa Carneiro	Calabar
71	2010	Avenida Benilson Ramos	Calabar
72	2010	Avenida 13 de Maio	Calabar
73	2010	Beco Dos Trintas	Calabar
74	2007	1ª Travessa Nova Divinéia	Calabetão
75	2007	2ª Travessa das Pedreiras	Calabetão
76	2007	1ª Travessa das Pedreiras	Calabetão
77	2007	1ª Travessa Avenida Branca	Calabetão
78	2007	Rua Guaracira Souza	Calabetão
79	2007	3ª Travessa das Pedreiras	Calabetão
80	2010	Travessa São Francisco	Calafate
81	2010	Travessa Avena	Calafate
82	2010	Travessa Providencia	Calafate
83	2010	Travessa Ivan	Calafate
84	2010	Travessa Babilônia	Calafate
85	2010	Rua Alto do Bom Gosto	Calçada
86	2010		Calçada
87	2009	Ruas da Graviola e Benjoim	Caminho das Árvores
88	2010	Rua Acopiara	Campinas de Brotas
89	2010		Campinas de Brotas
90	2010		Campinas de Brotas
91	2010	Rua Bota Fogo	Campinas de Brotas
92	2010	1ª Travessa Estacio de Sá Rua Beira Dique	Campinas de Pirajá
93	2009	Vila Carmozina	Carmozina

ITEM	ANO	RUA	BAIRRO
94	2010	Rua 9 Conj. Castelo Branco, II Etapa	Castelo Branco
95	2010		Castelo Branco
96	2010	Rua 09	Castelo Branco
97	2010	Rua 14, 3º Etapa	Castelo Branco
98	2010		Castelo Branco
99	2009	Rua 29 Via Regional	Castelo Branco
100	2010	Rua D à Rua Osvaldo Cruz	Castelo Branco
101	2009	Rua Dias	Chapada do Rio Vermelho
102	2009	Rua Iraque	Chapada do Rio Vermelho
103	2009		Chapada do Rio Vermelho
104	2009	Rua Meméia	Chapada do Rio Vermelho
105	2009		Chapada do Rio Vermelho
106	2009	Rua Sibéria	Chapada do Rio Vermelho
107	2009		Chapada do Rio Vermelho
108	2009	Rua Dias	Chapada do Rio Vermelho
109	2010	Rua Alto do Forno	Cidade Nova
110	2010	3ª Travessa Índios do Brasil	Cidade Nova
111	2010		Cidade Nova
112	2010	Rua Alto do João Pompilho	Cidade Nova
113	2010	Rua 28 de Abril	Cidade Nova
114	2010	Rua Alto do Forno	Cidade Nova
115	2010	Rua Baixa do Silva	Cosme de Farias
116	2010	Rua Wenceslau	Cosme de Farias
117	2010	Avenida Esperança	Cosme de Farias
118	2010	Rua da Gandarela	Cosme de Farias
119	2010		Cosme de Farias
120	2010	Rua Frei Vicente das Chagas	Cosme De Farias
121	2010	Rua Heitor Dias - 2ª Travessa	Cosme de Farias
122	2010	Rua Ladeira da Fonte de Santo Antonio	Cosme de Farias
123	2010	Rua José Petitinga	Cosme de Farias
124	2010	Travessa Norma	Cosme de Farias
125	2010	Rua Wenceslau	Cosme de Farias
126	2010	Ladeira do Silva	Cosme de Farias

ITEM	ANO	RUA	BAIRRO
127	2010	Rua Bráulio Pereira	Curuzu
128	2010		Curuzu
129	2010	Rua Wilson Sanches	Daniel Lisboa
130	2010	Avenida Almir	Dique Peq. Engº Velho de Brotas
131	2010	Rua José Ramos	Eng. Velho de Brotas
132	2010	1ª Travessa Sérgio de Carvalho	Engenho Velho da Federação
133	2008	Rua Apolinário Santana, 2ª Travessa	Engenho Velho da Federação
134	2010	Rua Apolinário Santana Travessa do Engº Velho da Federação	Engenho Velho da Federação
135	2010	1ª Travessa	Engenho Velho da Federação
136	2010	Rua Ibilupar (Rua do Açúcar)	Engenho Velho da Federação
137	2010	Rua Padre Luiz Filgueiras	Engenho Velho de Brotas
138	2010	Rua Chile	Engenho Velho de Brotas
139	2010	Travessa Rodrigues Castro Alves	Engenho Velho de Brotas
140	2010	Travessa do Saveiro	Engenho Velho de Brotas
141	2010	3ª Travessa Brigida do Vale	Engenho Velho de Brotas
142	2010	Rua Vila Barbosa	Engenho Velho de Brotas
143	2010	Rua Beta	Engenho Velho de Brotas
144	2010	Travessa Ibipitan	Engenho Velho da Federação
145	2010	Travessa do Forno	Engenho Velho da Federação
146	2010	1ª Travessa Apolinário Santana	Engenho Velho da Federação
147	2010	2ª Travessa Apolinário Santana	Engenho Velho da Federação
148	2010	Vila Santana	Engenho Velho da Federação
149	2010	1ª Travessa Martins	Engenho Velho da Federação
150	2010	Avenida Escanteio	Estrada das Barreiras
151	2010	Travessa Caíque	Estrada das Barreiras
152	2010	Travessa Santa Luzia	Estrada das Barreiras
153	2010	Travessa Militar	Estrada das Barreiras
154	2010	Rua Veneza	Estrada das Barreiras
155	2010	2ª Travessa Corina Barradas	Estrada das Barreiras
156	2010	Rua D. João VI	Estrada das Barreiras
157	2010	Rua José Silva	Estrada das Barreiras
158	2010	Rua Joséte Bispo	Estrada das Barreiras

ITEM	ANO	RUA	BAIRRO
159	2010	Rua Santo Inácio Laiola	Estrada das Barreiras
160	2010	Rua Alaíde	Estrada das Barreiras
161	2010	Rua Galvão	Estrada das Barreiras
162	2010	Travessa Promotor Rapold Filho	Faz. Grande
163	2010	Rua Retirolândia	Faz. Grande do Retiro
164	2010	Travessa 2 de Julho e Travessa das Palmeiras	Faz. Grande I Cajazeiras
165	2010	Travessa Dois de Julho da Independencia	Faz. Grande I Cajazeiras
166	2010	Diversos Logradouros	Faz.Grande I Cajazeiras
167	2010	Rua Vila Carmem	Fazenda Garcia
168	2010	Avenida Rogério	Fazenda Garcia
169	2010	Avenida Zezé	Fazenda Garcia
170	2010	Rua 18 de Maio	Fazenda Grande do Retiro
171	2010		Fazenda Grande do Retiro
172	2008	Rua Dr. Pedro Araújo, Avenida Gervásio	Fazenda Grande do Retiro
173	2010	Rua Jaqueira do Carneiro, Vila Floripes	Fazenda Grande do Retiro
174	2010	Travessa São Braz	Fazenda Grande do Retiro
175	2009	Travessa São Francisco	Fazenda Grande do Retiro
176	2010	Travessa General San Martin	Fazenda Grande do Retiro
177	2010	Rua Melo Moraes Filho	Fazenda Grande do Retiro
178	2010	Travessa Silveira	Fazenda Grande do Retiro
179	2010	Ladeira Abelardo	Federação
180	2009	Ladeira Da Jurema	Federação
181	2009	Nossa Senhora de Fátima - A. das Pombas	Federação
182	2010	Rua Silvestre de Farias	Federação
183	2010	Rua das Esmeraldas	Federação
184	2010	Travessa Pedro Gama	Federação
185	2008	Travessa Miguel Lemos	Federação
186	2010	Vila do Major Alto da Bola	Federação
187	2010	Travessa 11deagosto	Federação
188	2010	Ladeira da Jurema	Federação
189	2010	Rua Onze de Agosto, acesso a Travessa Maria José	Federação
190	2010	Avenida Crispim	Federação

ITEM	ANO	RUA	BAIRRO
191	2009	Beco Manoel Velho	Garcia
192	2010	Avenida Centenário	Garcia
193	2010	Alameda Capimirim	Graça
194	2010	1ª Travessa Vila Antonio Balbino	Iapi
195	2010	Rua Senhor dos Passos	Iapi
196	2009	Rua Vila Patrício	Itacaranha
197	2010	Travessa São Pedro	Itapuã
198	2010	Travessa Silveira	Jaqueira do Carneiro
199	2010	Rua Alto da Boa Vista	Jardim Cajazeiras
200	2010	1ª Travessa Ezequiel Ponder	Jardim Apipema
201	2010	2ª Travessa Ezequiel Ponder	Jardim Apipema
202	2010	3ª Travessa Ezequiel Ponder	Jardim Apipema
203	2010	Rua Alto da Boa Vista	Jardim Cajazeiras
204	2010	Rua Luciano Gomes - 2ª Travessa Fabiana Pinheiro	Jardim Cajazeiras
205	2010	Rua Alto da Boa Vista	Jardim Cajazeiras
206	2010	Rua João Paulo II	Jardim Nova Esperança
207	2010	Rua João Paulo II	Jardim Nova Esperança
208	2008	Trav. Arco Verde	Jardim Nova Esperança
209	2010	Escada de Acesso a Sede da Associação Desportiva	Jardim Santo Inácio
210	2010	Escada de Acesso pela Praia a Sede da Associação Desportiva	Jardim Santo Inácio
211	2010	Rua Meireles	Liberdade
212	2010	Rua São Salvador	Liberdade
213	2010	Rua Bráulio Pereira - Curuzu	Liberdade
214	2010	Avenida Sergipana	Lobato
215	2010	Morro do Arranha Céu	Lobato
216	2010	2ª Travessa São Damião	Luiz Anselmo
217	2010	1ª Travessa Pantaleão	Macaúbas
218	2010	3ª Travessa Vila Imbassahy	Macaúbas
219	2010	Antero de Brito	Macaúbas
220	2010	1ª Travessa Vila Imbassahy	Macaúbas
221	2010	2ª Travessa Pantaleão	Macaúbas
222	2010	3ª Travessa Pantaleão	Macaúbas

ITEM	ANO	RUA	BAIRRO
223	2009	Rua do Tanque	Marechal Rondon
224	2008	Rua São José	Marechal Rondon
225	2010	Alameda Sapucaia	Mata Escura
226	2010	Rua Lacina	Mata Escura
227	2010	Travessa Dalva	Mata Escura
228	2010	Rua 7 Irmãos	Mata Escura
229	2010	Rua Filadélfia	Mata Escura
230	2010	Travessa Canuto	Mata Escura
231	2010	Travessa Aurora	Mata Escura
232	2010	Rua São Mateus	Mata Escura
233	2010	Rua do Campo	Mata Escura
234	2010	Praça Irmã Dulce	Mata Escura
235	2010	Ligação da Avenida Otolina à Rua Arlindo Fragoso	Matatu de Brotas
236	2010	Rua Constelação	Monte Serrat
237	2009	Setor C Caminho 21	Mussurunga I
238	2010	Vale de Nazaré	Nazaré
239	2010	Rua Santa Inês	Nordeste de Amaralina
240	2010	Vários Lougradores	Nordeste de Amaralina, Santa Cruz, Chapada, Vale das Pedrinhas
241	2010	Rua Santa Efigênia	Nova Brasília
242	2009	3ª Travessa Presidente Vargas	Nova Brasília de Itapuã
243	2009		Nova Brasília de Itapuã
244	2009	Rua Helvécio Carneiro Ribeiro	Ondina
245	2009	Travessa Patricia Santos	Palestina
246	2010	Travessa 8 de Janeiro	Palestina
247	2010	Dom Pedro I	Palestina
248	2009	Rua Europa	Paripe
249	2010	Rua Cosme Damião	Paripe
250	2009	2ª Travessa da Rua da Grécia	Pau da Lima
251	2010	Rua São Marcos	Pau da Lima
252	2010	Vila Esperança	Pau da Lima
253	2010	Rua Doutor Defino Serra	Pau da Lima
254	2010	Rua Nossa Senhora Auxiliadora	Pau da Lima

ITEM	ANO	RUA	BAIRRO
255	2010	Travessa São José	Pau da Lima
256	2010	Travessa Valdir Pires- Vila Antonio	Pau Miúdo
257	2010	Rua Osvaldo Godilho	Pau Miúdo
258	2010	Vila Santo Antônio da Glória	Pau Miúdo
259	2010	Travessa Valdir Pires	Pau Miúdo
260	2010	Rua do Ipê	Periperi
261	2010	Rua Araguaia	Pernambués
262	2010	Travessa Santa Neuza	Pernambués
263	2009	Rua Bela Vista	Pero Vaz
264	2010		Pero Vaz
265	2010	Rua do Abacateiro	Pirajá
266	2010	Travessa Alcino	Pirajá
267	2010		Pirajá
268	2009	Rua Beija Flor	Pirajá Nova
269	2009	Rua Carcará	Pirajá Nova
270	2010	2ª Travessa do Candelabro	Pirajá Nova
271	2010		Pirajá Nova
272	2010	Travessa Carcará	Pirajá Nova
273	2010		Pirajá Nova
274	2010	Travessa Belas Artes	Pirajá Nova
275	2010	Travessa Belas Artes	Pirajá Nova
276	2010	Travessa Júlio Beiro	Pirajá Nova
277	2010	Travessa Santo Antonio	Pirajá Nova
278	2010		Pirajá Nova
279	2010	Travessa Beija Flor	Pirajá Nova
280	2010		Pirajá Nova
281	2010	Travessa Boa Vista	Pirajá Nova
282	2010		Pirajá Nova
283	2010	Travessa Julio Beiro	Pirajá Nova
284	2010	Rua 27 de Setembro	Pituaçu
285	2010		Pituaçu
286	2010		Pituaçu
287	2010		Pituaçu

ITEM	ANO	RUA	BAIRRO
288	2010	Rua Mabaço de Cima	Plataforma
289	2010		Plataforma
290	2010	Ruanova Aliança	Praia Grande
291	2010	Rua do Rio Nilo	Rio Sena
292	2009	Rua Rio Nilo / 3ª Travessa Alberto Pereira	Rio Sena
293	2010	Travessa Rio Nilo	Rio Sena
294	2010	Vila Matos	Rio Vermelho
295	2010	Rua Conselheiro Seabra	Rio Vermelho
296	2010	Avenida Oceânica	Rio Vermelho
297	2010		Rio Vermelho
298	2010	Ruas Conselheiro Antonio Seabra e Manoel Rangel	Rio Vermelho
299	2010	3ª Travessa Alto do Saldanha	Saldanha
300	2010	Rua Diva Pimentel	San Martins
301	2010	Rua Tanque do Melo	San Martins
302	2009	Avenida Benedito	Santa Mônica
303	2010	Rua Jose Edvaldo Galvão	Santa Mônica
304	2007	Rua Lívia Maia	Santa Mônica
305	2007		Santa Mônica
306	2005	1ª Travessa Esperanto	São Caetano
307	2010	Rua São Francisco	São Caetano
308	2010		São Caetano
309	2010	Rua Nestor Duarte, Avenida Maria da Paz	São Caetano
310	2010		São Caetano
311	2009	1ª Travessa Rapold Filho	São Caetano
312	2010	Rua Engº Austriliano	São Caetano
313	2009	Travessa Rapold Filho	São Caetano
314	2010	Travessa Santo Antonio	São Cristovão
315	2010	Rua Santo Onofre	São Gonçalo do Retiro
316	2010		São Gonçalo do Retiro
317	2010	Rua Jair	São Marcos
318	2010	Rua Marechal Castelo Branco	São Marcos
319	2010	Rua Recanto São Rafael	São Marcos

ITEM	ANO	RUA	BAIRRO
320	2010	2ª e 3ª Travessa Alto do Tororó	São Tomé de Paripe
321	2010	2ª Travessa Costa e Silva	São Tomé de Paripe
322	2010	Rua Alto do Tororó	São Tomé de Paripe
323	2010	Quadra B	Sete de Abril
324	2010	Rua Ideal	Sete de Abril
325	2010	Travessa Edvaldo Moreno / Travessa Elesbão Souza	Sete de Abril
326	2010	Rua José Bonifácio	Sete de Abril
327	2010	Quadra B	Sete de Abril
328	2010	Rua Santo Antônio	Sete de Abril
329	2010	Rua Senhor do Bonfim	Sussuarana
330	2010	Rua Samuel	Sussuarana
331	2010	Travessa Márcia Maria	Sussuarana
332	2010	Travessa Fabrício Magalhães	Sussuarana
333	2010	Rua Vanderlei de Pinho	Sussunga de São Caetano
334	2010	1º Travessa Jessegreco	Tancredo Neves
335	2010	Rua Lafaete Morais Sarmiento	Tancredo Neves
336	2010	1ª Travessa 24 De Março	Tancredo Neves
337	2010	1ª Travessa Fabrício Hartz	Tancredo Neves
338	2010	Rua Thomaz Edson	Tancredo Neves
339	2010	Rua Belamin	Tancredo Neves
340	2010	Rua Mari Barradas	Tancredo Neves
341	2010	Rua Deus Menino e Transversais	Tancredo Neves
342	2010	2ª Avenida São João	Tancredo Neves
343	2010	Rua Osmário Silva	Tancredo Neves
344	2010	2ª Travessa Sobral	Tancredo Neves
345	2010	Travessa Olga Rocha	Tancredo Neves
346	2010	Rua São José	Tancredo Neves
347	2010	Rua 24 de Março	Tancredo Neves
348	2010	Rua São Roque	Tancredo Neves
349	2010	Rua Antonio Carneiro	Tancredo Neves
350	2010	Rua Vieira Lopes	Terezinha
351	2010		Terezinha
352	2010		Terezinha

ITEM	ANO	RUA	BAIRRO
353	2010	Rua Vieira Lopes	Terezinha
354	2010	Rua do Eco	Vale das Pedrinhas
355	2010	Rua Iquebana	Vale das Pedrinhas
356	2010	Rua Senhor do Bonfim	Vale das Pedrinhas
357	2010		Vale das Pedrinhas
358	2010	Travessa 18 de Outubro	Vale do Matatu
359	2010	Travessa Santana	Vale do Matatu
360	2010	Vila São Benedito	Vale do Matatu
361	2009	Rua Escadinha, Av Policial	Vale dos Barris
362	2009	Rua Almeida	Vale dos Barris
363	2009	1ª Travessa Santo Antonio	Vale dos Lagos
364	2010	Rua Alcione Dias	Vale dos Lagos
365	2009	Rua Barcelona	Vale dos Lagos
366	2007	Rua D Paralela Parque	Vale dos Lagos
367	2009	2ª Travessa Pedro Gama	Vasco da Gama
368	2010	Avenida Vasco da Gama	Vasco da Gama
369	2010		Vasco da Gama
370	2010	Travessa Pedro Gama	Vasco da Gama
371	2010	Rua Valdomiro Pereira Lima	Vila Canária
372	2010		Vila Canária / Pau da Lima
373	2009	Rua Lindolfo Barbosa	Vila Canária
374	2010	Rua 1º de Janeiro	Vila Canária