



# UFBA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
ESCOLA POLITÉCNICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA INDUSTRIAL - PEI

DOUTORADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL

EUCLIDES SANTOS BITTENCOURT

METABOLISMO SOCIOECONÔMICO DOS  
RESÍDUOS SÓLIDOS:  
UM MODELO DE ANÁLISE ATRAVÉS DE  
EQUAÇÕES ESTRUTURAIS DE PNEUS EM  
FIM DE VIDA



SALVADOR  
2021



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL**

**EUCLIDES SANTOS BITTENCOURT**

**METABOLISMO SOCIOECONÔMICO DOS RESÍDUOS  
SÓLIDOS: UM MODELO DE ANÁLISE ATRAVÉS DE EQUAÇÕES  
ESTRUTURAIS DE PNEUS EM FIM DE VIDA**

Salvador  
2021

**EUCLIDES SANTOS BITTENCOURT**

**METABOLISMO SOCIOECONÔMICO DOS RESÍDUOS  
SÓLIDOS: UM MODELO DE ANÁLISE ATRAVÉS DE EQUAÇÕES  
ESTRUTURAIS DE PNEUS EM FIM DE VIDA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Hora de Oliveira Fontes.  
Coorientador: Prof. Dr. Jorge Laureano Moya Rodríguez  
Coorientador: Prof. Dr. Salvador Ávila Filho.

Salvador  
2021

B624 Bittencourt, Euclides Santos

Metabolismo socioeconômico dos resíduos sólidos: um modelo de análise através de equações estruturais de pneus em fim de vida / Euclides Santos Bittencourt. - Salvador, 2021

167f.: il. color.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Hora de Oliveira Fontes.

Co-orientador: Prof. Dr. Jorge Laureano Moya Rodríguez

Prof. Dr. Salvador Ávila Filho.

Tese (doutorado) - Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, 2021.

1. Resíduo sólido urbano. – gestão. 2. Pneu. 3. Equação estrutural. I. Fontes, Cristiano Hora de Oliveira. II. Moya Rodríguez, Jorge Laureano. III. Ávila Filho, Salvador. IV. Universidade Federal da Bahia. V. Título.

CDD 628.44

# **METABOLISMO SOCIOECONÔMICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS: UM MODELO DE ANÁLISE ATRAVÉS DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS DE PNEUS EM FIM DE VIDA**

**EUCLIDES SANTOS BITTENCOURT**

Tese submetida ao corpo docente do programa de pós-graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de doutor em Engenharia Industrial.

Examinada por:



Prof. Dr. Cristiano Hora de Oliveira Fontes – Orientador  
Doutorado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas, Brasil  
(2001)



Prof. Jorge Laureano Moya Rodríguez – Co-orientador  
Doutorado em Projeto de Máquinas pelo Universidad Central Marta Abreu de Las  
Villas, Cuba. (1994)

Prof. Dr. Carlos Manuel Taboada Rodriguez  
Doutorado em Ökonom Ingenieur pelo Technische Universität Dresden, Alemanha  
(1985)



Prof. Dr. Nelson Casarotto Filho  
Doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa  
Catarina, Brasil (1995)



Prof. Dr. Ângelo Márcio Oliveira Sant'Anna  
Doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio Grande  
do Sul, Brasil (2009)



Prof. Dr. Marcelo Santana Silva  
Doutorado em Energia e Ambiente pela Universidade Federal da Bahia, Brasil 2015)

Salvador, BA – BRASIL  
Fevereiro/2021

À minha mãe Zilda (Zildinha), que sempre teve carinho, afeto e paciência com minhas revoluções pessoais.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos orixás, que sempre estiveram presentes até nos momentos de perdas de pessoas importantes (Pai Euclides L. Bittencourt, Tio Orlando Reis, Primo Valtércio e Tia Célia Maria Reis “in memoriam”) e, sobretudo, à presença de Deus (Jah), que habita em meu coração sensível e firme.

Agradeço às minhas filhas Naiara dos Santos Bittencourt, Caroline dos Santos Bittencourt e Marina Morena Reis Bittencourt, que sempre me apoiaram, mesmo nos momentos de desequilíbrios. Elas são os meus sustentáculos emocionais nesta Babilônia material.

Agradeço aos meus orientadores Prof. Cristiano Fontes, Prof. Jorge Moya e Prof. Salvador Ávila pela nobreza na condução da orientação, na tranquilidade e em todos os momentos de debate e tensão. Foi uma experiência de grande vulto de aprendizado e formação no doutorado. Não esquecendo todos e todas do PEI.

Agradeço aos meus irmãos de sempre Euzete Santos Bittencourt e Edizio Santos Bittencourt, pessoas firmes e fortes, iguais a mim, cada um com sua medida.

Agradeço às minhas tias Georgina Reis, Maria Célia Reis e Yolanda Reis, mães das mães, que, com muita inteligência e espiritualidade, souberam sugerir caminhos mais afetuosos para a excelência dos resultados esperados nesta jornada de estudos.

Agradeço aos meus amigos, irmãos de fé e camaradagem, Francisco Sandriê Germano, Marcio Paim, Márcia Paim, Meire Paim, Mônica Paim, Marcos Venilson Paim, Sr. Venâncio Paim, Claudio Garcia, Paulo Roberto Seixas, Margareth Rodrigues, entre outros.

Agradeço a Dra. Marisa Aurea de Sá Falcão pelas leituras e correções eficientes da ortografia da tese, companheira que trouxe equilíbrio, paz e amor.

Agradeço à minha terapeuta Helena Lopes pela escuta, pela paciência e, sobretudo, pela amizade de mais de duas décadas.

Agradeço especialmente ao Prof. Adonias Magdiel pelas sugestões, Profa. Zozina Maria pelo apoio político e a Eng<sup>a</sup> Sanitarista Márcia Amorim, da Prefeitura de Vitória da Conquista.

Agradeço especialmente a Angelina Reis Cruz e à Família Cruz pela longa convivência e aprendizado.

Enfim, agradeço aos meus amigos especiais da UFBA-PEI, que lutam, lutam... Diego Pascoal, Diego Medeiros, Edmara Drigo, Eduardo Teixeira, Julliano Ribeiro, Maria Fabiana, Frank, Ivone Cerqueira, Mário Bulhões, Priscila Suzart e outros mais chegados. Somos vencedores!

Velhos piratas, sim, eles me roubaram;  
Me venderam para navios mercantes,  
Minutos depois eles me jogaram  
no fundo do porão,  
mas minhas mãos foram fortalecidas  
pelas mãos do todo poderoso,  
nós avançamos nessa geração  
triunfantemente [...]  
Liberte-se da escravidão mental, ninguém  
além de você pode libertar sua mente [...]  
Você não irá ajudar-me a cantar essas canções  
de liberdade? Porque tudo o que eu sempre  
tive foram canções de redenção.

Redemption Song  
*Bob Marley*



BITTENCOURT, Euclides Santos. **Metabolismo socioeconômico dos resíduos sólidos**: um modelo de análise através de equações estruturais de pneus em fim de vida. 161p. 2021. Tese (Doutorado em Engenharia Industrial) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2021.

## RESUMO

A gestão de resíduos sólidos urbanos (GRSU) compreende um conjunto de ações para o planejamento e desenvolvimento de políticas públicas. A aplicação de métodos de GRSU eficazes melhora a disposição dos resíduos e evita a formação de inventários de materiais secundários em locais remotos ou dentro das cidades, que podem gerar doenças endêmicas. Esta tese tem o objetivo de desenvolver um modelo inovador para avaliar o metabolismo socioeconômico dos resíduos sólidos (*Socioeconomic Metabolism of Waste* (SEMw)) através de um estudo exploratório e uma Modelagem de Equações Estruturais (MEE), adotando variáveis técnicas (métricas) e variáveis sociais (não métricas) levantadas do processo da GRSU. Foram escolhidos os constructos técnicos (Fluxos Diretos de Materiais, DMF, e Fluxos Reversos de Materiais, RMF) e constructos sociais (Fatores Socioeconômicos ou Ambiente Socioeconômico, SEF, e Fatores Sociodemográficos, SDF), cuja associação compõe a pauta de variáveis inovadoras da modelagem. Para simulação da MEE, assim como do balanço de massa, foi realizada uma aplicação prática por meio dos bancos de dados dos fluxos de pneus em fim de vida (*End-of-Life Tires*, ELTs) de uma cidade de 300.000 habitantes no período de 2014 a 2017. No desenvolvimento da MEE, utilizou-se um questionário estruturado com resposta em escala *Likert* para cinco grupos distintos, de acordo com o tamanho da amostra calculada. O banco de dados formado foi aplicado no *software SmartPLS*, que tem uma abordagem dos mínimos quadrados parciais (PLS). Os resultados obtidos confirmaram 75% das hipóteses apresentadas no quadro teórico para avaliação do SEMw através de variáveis objetivas (métricas) e subjetivas (não métricas). Os fatores socioeconômicos (SEF) apresentam efeito significativo na MEE porque foi possível descrever a importância das variáveis não métricas na modelagem. Em relação aos fluxos diretos de materiais (DMF), os resultados da MEE apontam que os DMF têm forte influência no ambiente econômico (SEF), mas não exercem influência direta no SEMw. A MEE, através das abordagens PLS, apresentou condições favoráveis para o desenvolvimento das simulações, permitindo que a análise fatorial exploratória e confirmatória seja estabelecida como prática eficiente de pesquisa. Além disso, constatou-se que a MEE é uma ferramenta de análise que pode ser adotada para dar suporte à execução das diretrizes do plano de gerenciamento de ELTs ou resíduos similares.

Palavras-chave: Metabolismo Socioeconômico. Fluxos de Materiais. ELTs. Previsão de ELTs. Modelagem de Equações Estruturais. Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos.

BITTENCOURT, Euclides Santos. **Socioeconomic metabolism of solid waste**: an analysis model through structural equations of end-of-life tires. 161p. 2021. Thesis (Doctorate in Industrial Engineering) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2021.

## ABSTRACT

The management of urban solid waste (GRSU) comprises a set of actions for the planning and development of public policies. The application of effective GRSU methods improves waste disposal and prevents the formation of secondary material inventories in remote locations or within cities, which can lead to endemic diseases. This thesis aims to develop an innovative model to assess the socioeconomic metabolism of solid waste (Socioeconomic Metabolism of Waste (SEMw)) through an exploratory study and Structural Equation Modeling (SEM), adopting technical variables (metrics) and variables (non-metric) aspects of the GRSU process. Technical constructs (Direct Material Flows, DMF, and Reverse Material Flows, RMF) and social constructs (Socioeconomic Factors or Socioeconomic Environment, SEF, and Sociodemographic Factors, SDF) were chosen, whose association makes up the list of innovative modeling variables. For the MEE simulation, as well as the mass balance, a practical application was carried out through the End-of-Life Tires (ELTs) tire flow databases in a city of 300,000 inhabitants in the period 2014 to 2017. In the development of the MEE, a structured questionnaire with a Likert scale answer was used for five different groups, according to the calculated sample size. The database formed was applied in the SmartPLS software, which has a partial least squares approach (PLS). The results obtained confirmed 75% of the hypotheses presented in the theoretical framework for SEMw evaluation through objective (metric) and subjective (non-metric) variables. Socioeconomic factors (SEF) have a significant effect on MEE because it was possible to describe the importance of non-metric variables in modeling. Regarding direct material flows (DMF), the MEE results show that DMF have a strong influence on the economic environment (SEF), but do not have a direct influence on SEMw. The MEE, through the PLS approaches, presented favorable conditions for the development of the simulations, allowing the exploratory and confirmatory factor analysis to be established as an efficient research practice. In addition, it was found that the MEE is an analysis tool that can be adopted to support the execution of the ELT management plan guidelines or similar waste.

Keywords: Socioeconomic Metabolism. Material flows. ELTs. Prediction of ELTs. Structural Equation Modeling. Management of Urban Solid Waste.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - (a) Balanço de Massa, Produção versus Destinação. (b) Balanço de Massa, Mercado versus Destinação (x 1000 t) .....	22
<b>Figura 2</b> - Representação de destinação de ELTs (t) .....	23
<b>Figura 3</b> - Caracterização e classificação dos resíduos sólidos .....	35
<b>Figura 4</b> - Ciclo de vida do pneu novo até ELTs.....	36
<b>Figura 5</b> - Distribuição acumulada de ELTs no mundo em 2013.....	37
<b>Figura 6</b> - Arranjo dos fluxos de materiais em um sistema socioecológico .....	43
<b>Figura 7</b> - Modelo Estrutural Teórico.....	48
<b>Figura 8</b> - Indicador reflexivo.....	49
<b>Figura 9</b> - Rede de Elman com uma quantidade genérica de neurônios intermediários .....	57
<b>Figura 10</b> - Etapas da pesquisa .....	61
<b>Figura 11</b> - Mapa do estudo bibliométrico .....	63
<b>Figura 12</b> - Etapas para previsão de ELTs.....	71
<b>Figura 13</b> - Diagrama do limite entre UC de pneus e destinação de ELTs .....	72
<b>Figura 14</b> - Estrutura da rede neural artificial .....	76
<b>Figura 15</b> - Rede Neural <i>feed forward</i> com uma camada intermediária (equação 15).....	78
<b>Figura 16</b> - Rede recorrente de Elman.....	79
<b>Figura 17</b> - Procedimento Adotado na MEE usando PLS-SEM .....	84
<b>Figura 18</b> - Modelo Teórico para Avaliar o SEMw .....	86
<b>Figura 19</b> - Curva Ambiental de Kuznets.....	87
<b>Figura 20</b> - Cálculo do tamanho da amostra.....	96
<b>Figura 21</b> - Balanço de Massa de pneus novos e ELTs em 2016 .....	105
<b>Figura 22</b> - Mapeamento dos fluxos de ELTs .....	106
<b>Figura 23</b> - Série histórica de 7 anos da coleta ELTs na cidade/aterro sanitário.....	107
<b>Figura 24</b> - Série histórica do banco de dados de ELTs para previsão ( <i>fd1 e fd2</i> ) 48 meses .....	109
<b>Figura 25</b> - Série histórica de ELTs não contabilizados ( <i>fd1</i> ) de 48 meses .....	109
<b>Figura 26</b> - Série histórica de ELTs não destinados ( <i>fd2</i> ) de 48 meses.....	110
<b>Figura 27</b> - Resultado da previsão de ELTs não contabilizados ( <i>fd1</i> ) 48 meses à frente.....	111
<b>Figura 28</b> - Previsões para os ELT não destinados ( <i>fd2</i> ) com 12 meses de antecedência.....	113
<b>Figura 29</b> - Séries estimadas e previstas para ELTs não contabilizados ( <i>fd1</i> ) (2018) .....	114
<b>Figura 30</b> - Modelo de caminho, cargas externas e coeficientes estruturais. ....	116

**Figura 31** - Modelo Estrutural após testes e ajustes ..... 124

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Comportamento da geração e descarte de resíduos nas regiões do Brasil .....	34
<b>Tabela 2</b> - Estudos bibliométricos iniciais.....	62
<b>Tabela 3</b> - Perfil demográfico do estudo de caso.....	103
<b>Tabela 4</b> - Total de fluxos conhecidos ( $f_1$ , $f_2$ e $f_3$ ) e desconhecidos ( $fd_1$ e $fd_2$ ), em $t$ . .....	114
<b>Tabela 5</b> - Indicadores excluídos da modelagem de equações estruturais.....	117
<b>Tabela 6</b> - Resultados do teste do modelo de medição com os indicadores validados.....	119
<b>Tabela 7</b> - Validade do discriminante (Critério Fornell e Lacker) .....	121
<b>Tabela 8</b> - Resultado do modelo estrutural .....	122
<b>Tabela 9</b> - Distribuição percentual do modelo externo por constructo.....	127
<b>Tabela 10</b> - Resultado <i>Bootstrap</i> do modelo interno.....	129
<b>Tabela 11</b> - Simulação dos ELTs considerando as equações geradas na modelagem.....	130

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Métodos tradicionais de medição do metabolismo socioeconômico.....	41
<b>Quadro 2</b> - Métodos híbridos para mensurar o SEM durante duas décadas .....	45
<b>Quadro 3</b> - Estrutura para avaliar indicadores de modelos reflexivos e formativos .....	52
<b>Quadro 4</b> - Trabalhos que apresentaram eficácia do PLS-SEM por área do conhecimento .	53
<b>Quadro 5</b> - Cronograma de atividades Comércio e Serviços .....	65
<b>Quadro 6</b> - Cronograma de atividades nas Secretarias.....	65
<b>Quadro 7</b> - Cronograma de atividades nas Universidades .....	66
<b>Quadro 8</b> - Cronograma de atividades na Câmara dos Vereadores.....	67
<b>Quadro 9</b> - Cronograma de atividades para os públicos diversos .....	67
<b>Quadro 10</b> - Procedimento de cálculo dos fluxos de ELTs não contabilizados.....	73
<b>Quadro 11</b> - Procedimento de cálculo do fluxo de ELTs não destinados .....	74
<b>Quadro 12</b> - Quadro teórico das hipóteses da modelagem.....	85
<b>Quadro 13</b> - Lista de constructos e indicadores .....	92
<b>Quadro 14</b> - Critérios de Análise do Modelo de Medição .....	97
<b>Quadro 15</b> - Critérios de Análise do Modelo Estrutural .....	99

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Análise de Ciclo de Vida do Produto
ACVS	Análise do Ciclo de Vida Social
AFM	Análise de Fluxos de Materiais
AFS	Análise de Fluxos de Substâncias
AIME	Análise Integrada Multi-Escala
ANIP	Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos
ANN	<i>Artificial neural networks</i>
ARIMA	<i>Autoregressive Integrated Moving Average</i>
CB SEM	Modelagem de Equação Estrutural Baseada em Covariância
CE	<i>Circular Economy</i>
CGE	<i>Computable General Equilibrium</i>
CLSC	<i>Closed-loop Supply Chain</i>
CREEA	<i>Compile and Refine Economic and Environmental Accounts</i>
DMF	Fluxos Diretos de Materiais
ELT	<i>End Of Life Tire</i>
EMP	Exportação de matéria-prima
EOP	<i>End of tube</i>
EXS	Exportação de serviço
FORWAST	Modelo Utilizado para Análise de Cenários
GEE	Gases de Efeito Estufa
GLS	<i>Generalized Least Squares</i>
GRSU	Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos
IAM	<i>Integrated Evaluation Model</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IM	Importados de Materiais
IOA	<i>Input and output analysis</i>
IOM	<i>Input–Output Model</i>
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IS	Importação de Serviços

ISM	<i>Interpretive Structural Modeling</i>
LE	Logística Empresarial
LR	Logística Reversa
LSTM	<i>Long Short-Term Memory</i>
MCDM	Método do Multicritério
MCO	Mínimos Quadrados Ordinários
MEE	Modelagem de Equações Estruturais (SEM – <i>Structural Equation Modeling</i> )
MIP	Matriz de Insumo Produto
MR	Mercado de Reposição
MV	Máxima Verossimilitude
PGRSU	Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos
PIB	Produto Interno Bruto
PLS	<i>Partial Least Squares</i>
PNRS	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
R	Perdas
REEE	Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos Renováveis
RMF	Fluxos Reversos de Materiais
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SARIMA	<i>Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average</i>
SC	<i>Supply chain</i>
SDF	<i>Sociodemographic Factors</i> (Fatores Sociodemográficos)
SEEA	Sistema de Contas Econômico-Ambientais
SEF	<i>Socioeconomic Factors</i> (Fatores Socioeconômicos ou Ambiente Socioeconômico)
SEM	<i>Socioeconomic Metabolism</i> (Metabolismo Socioeconômico)
SEMw	<i>Socioeconomic Metabolism of Waste</i> (Metabolismo Socioeconômico dos Resíduos)
SES	<i>Socioecological Systems</i>
SNA	System of National Accounts
SUTs	<i>Supply and Use Tables</i>
TPB	<i>Theory of Planned Behavior</i>
UC	Unidade de Consumo
ULS	<i>Unweighted Least Squares</i>



## LISTA DE SÍMBOLOS

$\frac{d(fac)}{d(t)}_{i,t}$	É o fluxo da variação de estoque líquido de pneus em uso na unidade de consumo em $i$ , no ano $t$ .
$\frac{d(faq)}{d(t)}_{i,t}$	É o fluxo da variação de estoque líquido de ELTs para destinação na logística reversa da cidade em $i$ , no ano $t$ .
$\pi_i$	É o parâmetro que reflete a contribuição de $x_i$ à variável latente.
$X_n$	Equação linear variável latente $\lambda_{x_n} \xi$
$\epsilon_i$	Perturbações (ou ruídos) são tratadas nos indicadores endógenos
$f1, i, t$	É o fluxo de pneus do mercado de reposição em $i$ no ano $t$ .
$f2, i, t$	É o fluxo de ELTs coletados e contabilizados em $i$ , no ano $t$ .
$f3, i, t$	É o fluxo de ELTs coletados e destinados corretamente em $i$ , no ano $t$ .
$fd1, i, t$	É o fluxo de ELTs não coletados e contabilizados em $i$ , no ano $t$ .
$fd2, i, t$	É o fluxo de ELTs não destinados para aproveitamento dos materiais em $i$ , no ano $t$ .
$F_P$	É o equilíbrio do fluxo de pneus da economia local.
$n$	Quantidade de indicadores por constructo
$x_i$	Indicador do Constructo Exógeno
$y_i$	Indicador do Constructo Endógeno
$\beta_i$	Coefficientes de Caminho
$\delta_i$	Perturbações (erros de medição) Indicadores Exógenos
$\zeta$	É o erro
$\zeta_i$	Perturbações (ou ruídos) são tratadas nos constructos endógenos
$\eta$	Constructo Endógeno
$\lambda_i$	Carga Fatorial
$\xi$	Constructo Exógeno

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	19
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA	19
1.2	JUSTIFICATIVA	23
1.3	PROBLEMA	24
1.4	HIPÓTESE	25
1.5	OBJETIVOS	25
<b>1.5.1</b>	<b>Objetivo geral</b>	25
<b>1.5.2</b>	<b>Objetivos específicos</b>	25
1.6	DELIMITAÇÕES E LIMITAÇÕES DO ESTUDO	26
1.7	CONTRIBUIÇÃO, INEDITISMO E RELEVÂNCIA	26
1.8	ARTIGOS PUBLICADOS	28
1.9	ESTRUTURA DA TESE	29
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b>	31
2.1	VISÃO GERAL DOS RSU NO BRASIL	31
<b>2.1.1</b>	<b>Abordagens conceituais sobre resíduos</b>	33
<b>2.1.2</b>	<b>Geração dos resíduos e classificação dos ELTs</b>	34
<b>2.1.3</b>	<b>Pneu em fim de vida (ELT)</b>	35
2.1.3.1	<i>Características físicas e químicas do ELT</i>	35
2.1.3.2	<i>Gerenciamento de ELT</i>	37
2.2	METABOLISMO SOCIOECONÔMICO (SEM)	38
<b>2.2.1</b>	<b>Abordagens conceituais sobre SEM</b>	38
<b>2.2.2</b>	<b>Métodos tradicionais para contabilização do SEM</b>	40
<b>2.2.3</b>	<b>Métodos híbridos para contabilizar o SEM</b>	44
2.3	MODELAGEM DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS (MEE)	46
<b>2.3.1</b>	<b>Equações estruturais</b>	46
<b>2.3.2</b>	<b>Variáveis e diagrama de caminho</b>	47
<b>2.3.3</b>	<b>Caracterização dos indicadores de modelos reflexivos e formativos</b>	48
2.3.3.1	<i>Indicadores de modelos reflexivos</i>	48
2.3.3.2	<i>Indicadores de modelos formativos</i>	50
2.3.3.3	<i>Comparação entre indicadores de modelos reflexivos e formativos</i>	51
2.3.3.4	<i>Métodos de estimação de parâmetro</i>	52

2.3.3.5	<i>Aplicação da MEE em fluxos de materiais e RSU</i> .....	54
2.4	MÉTODOS DE PREVISÃO DE RSU .....	55
<b>2.4.1</b>	<b>Modelo ARIMA</b> .....	55
<b>2.4.2</b>	<b>Modelo de Redes Neurais Artificiais (ANN)</b> .....	56
2.5	CONCLUSÕES PARCIAIS DO CAPÍTULO 2 .....	57
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	60
3.1	FASES DA INVESTIGAÇÃO.....	61
<b>3.1.1</b>	<b>Levantamento do Estado da Arte</b> .....	61
<b>3.1.2</b>	<b>Pesquisa socioeconômica</b> .....	63
3.1.2.1	<i>Entrevista da cadeia de suprimento de pneus</i> .....	64
3.1.2.2	<i>Entrevista com gestores públicos</i> .....	65
3.1.2.3	<i>Entrevista no ambiente acadêmico</i> .....	66
3.1.2.4	<i>Entrevista com comissões parlamentar municipal</i> .....	66
3.1.2.5	<i>Entrevista com a sociedade</i> .....	67
<b>3.1.3</b>	<b>Modelagem matemática</b> .....	67
<b>4</b>	<b>PREVISÃO DE FLUXOS DE ELTs NÃO CONTABILIZADOS E NÃO DESTINADOS</b> .....	70
4.1	PROCEDIMENTOS: ELABORAÇÃO DE BANCO DE DADOS E PREVISÃO .....	71
<b>4.1.1</b>	<b>1ª Etapa - elaboração do banco de dados</b> .....	71
<b>4.1.2</b>	<b>2ª Etapa - cálculo do balanço de massa de pneus</b> .....	75
<b>4.1.3</b>	<b>3ª Etapa - previsão ARIMA</b> .....	75
<b>4.1.4</b>	<b>4ª Etapa - aplicação do método de previsão de rede neural artificial (ANN)</b> .....	76
<b>4.1.5</b>	<b>5ª Etapa - aplicação de RNN de ELMAN</b> .....	78
<b>4.1.6</b>	<b>6ª Etapa – resultado das previsões</b> .....	79
4.2	CONCLUSÕES PARCIAIS DO CAPÍTULO 4 .....	80
<b>5</b>	<b>MODELAGEM DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS (MEE)</b> .....	82
5.1	ESCOLHA DO MÉTODO PLS .....	83
5.2	PROCEDIMENTO DO MÉTODO PLS .....	83
<b>5.2.1</b>	<b>1º Passo – Revisão da literatura do fenômeno investigado</b> .....	84
5.2.1.1	<i>Modelo teórico</i> .....	85
5.2.1.2	<i>Justificativas das hipóteses</i> .....	86
<b>5.2.2</b>	<b>2º Passo – Identificar constructos/indicadores</b> .....	91
<b>5.2.3</b>	<b>3º Passo – Definir modelo preliminar</b> .....	94
<b>5.2.4</b>	<b>4º Passo – Elaborar questionário, amostragem e coleta de dados</b> .....	95

<b>5.2.5</b>	<b>5° Passo – Simular, Analisar modelos de mensuração e estrutural, e Ajustar MEE</b>	97
5.2.5.1	<i>Avaliação do modelo de mensuração</i>	97
5.2.5.2	<i>Avaliação do modelo de estrutural</i>	99
<b>5.2.6</b>	<b>6° Passo – Resultado e discussão da modelagem</b>	100
5.3	CONCLUSÕES PARCIAIS DO CAPÍTULO 5	101
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	102
6.1	DIAGNÓSTICO SOCIOECONÔMICO	102
<b>6.1.1</b>	<b>Levantamento do perfil socioeconômico da cidade de Vitória da Conquista</b>	102
<b>6.1.2</b>	<b>Levantamento dos fluxos de ELTs contabilizados pela GRSU</b>	104
<b>6.1.3</b>	<b>Mapeamento dos fluxos de ELTs</b>	105
6.2	PREVISÃO DOS FLUXOS DE ELTs NÃO CONTABILIZADOS E NÃO DESTINADOS	108
<b>6.2.1</b>	<b>Análises do banco de dados de ELTs</b>	108
<b>6.2.2</b>	<b>Análises das previsões de ELTs não contabilizados <i>fd1</i></b>	111
<b>6.2.3</b>	<b>Análises das previsões de ELTs não destinados <i>fd2</i></b>	113
<b>6.2.4</b>	<b>Discussões do balanço de massa</b>	114
6.3	MODELAGEM DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS	115
<b>6.3.1</b>	<b>MEE do metabolismo socioeconômico de ELTs</b>	115
6.3.1.1	<i>Análise fatorial exploratória, Análise das hipóteses e coeficientes de caminho (<math>\beta</math>)</i>	115
6.3.1.2	<i>Análise do modelo de medição</i>	118
6.3.1.3	<i>Análise do modelo estrutural</i>	121
6.3.1.4	<i>Análise do modelo como ferramenta de apoio à gestão de resíduos</i>	123
6.3.1.5	<i>Análise do modelo para gestão de ELTs para cidade de Vitória da Conquista</i>	129
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>	132
	<b>REFERÊNCIAS</b>	136
	<b>APÊNDICES</b>	157
	APÊNDICE A - Questionário Da Pesquisa Socioeconômica	158
	APÊNDICE B - Questionário (Constructos e Indicadores) com escala likert 1 a 5	167

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

Os sistemas humanos estão inevitavelmente imbricados nos sistemas naturais. A ideia de separá-los é algo inviável. Para analisá-los em relação ao consumo de materiais, dispõe-se de métodos analíticos de mensuração de fluxos de materiais adotados pela ecologia industrial (AYRES; AYRES, 2002). Os materiais de onde vêm? Para onde vão após o uso? Essas simples perguntas fazem parte da lógica dos modelos que explicam a conexão material entre a economia e a terra; e essa conexão está no coração deste trabalho.

O metabolismo socioeconômico (SEM) ou urbano explica a transferência dos fluxos diretos de materiais para o meio ambiente na forma de fluxos de resíduos urbanos gerados pela sociedade (HABERL *et al.*, 2019). Esses fluxos diretos de materiais influenciam a formação do Produto Interno Bruto (PIB) de uma região ou cidade. Eles são a soma de todos os produtos decorrentes de processos industriais e agroindustriais para suprir as necessidades da sociedade e que, posteriormente, são destinados na forma de resíduos para o meio ambiente, lixões ou aterros (SCHANDL *et al.*, 2018).

Em contraposição, os fluxos reversos de materiais são formados pelos resíduos sólidos urbanos pós-consumos, recuperados pela Logística Reversa (LR), que, na medida do valor econômico, são reincorporados à Logística Empresarial (LE) para reaproveitamento (GOVINDAN *et al.*, 2015). Esses fluxos são medidos, através de Análises de Fluxos de Materiais (AFM) e/ou Análises de Ciclo de Vida do Produto (ACV) visando avaliar o impacto ambiental em relação à formação dos inventários de materiais na biosfera (PAULIUK; MAJEAU-BETTEZ; MÜLLER, 2015).

Os fluxos de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) crescem quase que proporcionalmente pela força das migrações urbanas, à medida que o mundo se lança em direção ao futuro. O fluxo de RSU causa péssima qualidade de vida em termos de saneamento básico (MEGA, 2005). Segundo Hoornweg e Bhada-Tata (2012), as previsões sinalizam que o número de

residentes urbanos aumentará para 4,3 bilhões até 2025, o que acarretará a geração de aproximadamente 1,42 kg per capita/dia de RSU – 2,2 bilhões de toneladas por ano.

No Brasil, o atraso nas políticas de saneamento básico, principalmente na Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (GRSU) é devido, entre outros aspectos, ao excesso de burocracia, fragilidades nas leis e lentidão nas definições das demandas sociais dos países em desenvolvimento (MAIER *et al.*, 2014; ABRELPE, 2016; ALFAIA *et al.*, 2017). Os sistemas de GRSU nos países centrais, sobretudo nos Estados Unidos, Japão e nos países da União Europeia, são os mais complexos do mundo. Todavia, ainda assim, as soluções são acompanhadas pela sociedade e entes públicos, uma vez que a destinação final dos resíduos é uma etapa que vai gerar conforto, segurança e qualidade de vida para a sociedade (JAISWAL; KUMAR, 2019).

O Brasil gera em torno de 160 mil toneladas de RSU por dia; e 0,46% desse montante é composto pelos resíduos inertes, incluindo pneu inservível (IPEA, 2010). Em geral, por falta de Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) integrado, que englobe estados e municípios, somente cerca de 80 milhões de toneladas de RSU por ano, produzidas no Brasil (apenas 3%), são encaminhados para a reciclagem, gerando uma perda de cerca de R\$ 120 bilhões por ano (ALFAIA *et al.*, 2017).

O pneu inservível é o tipo do resíduo que ainda é manipulado em pequena escala para a LE e é pouco aproveitado em decorrência das incertezas associadas ao custo do reprocessamento e à continuidade do fornecimento (BITTENCOURT *et al.*, 2019). O pneu, depois de removido de um veículo, sem a possibilidade de ser remontado para uso contínuo na estrada, apresenta um processo lento de decomposição, cerca de 600 anos (FERRER, 1997; SHULMAN, 2019). Ele é definido como resíduo inerte e, na literatura técnica, é chamado de pneu em fim de vida do *End of Life Tire* (ELT) em função do desgaste do sistema de bandagem (SHULMAN, 2004).

De acordo com Sienkiewicz *et al.* (2012), são geradas no mundo 17 milhões de toneladas de ELTs por ano. No Brasil, em 2018, segundo o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), foram produzidas 62,6 milhões de unidades de pneus para o mercado de reposição.<sup>1</sup> Esse resíduo causa grandes preocupações

---

<sup>1</sup> CONAMA N°416/2009, Mercado de reposição de pneus é o resultante de a fórmula a seguir:

MR = (P + I) – (E + EO), na qual:

MR = Mercado de Reposição de pneus;

P = total de pneus produzidos;

I = total de pneus importados;

E = total de pneus exportados; e

EO = total de pneus que equipam veículos novos (BRASIL, 2009).

ambientais, devido, principalmente, à elevada – e crescente – quantidade descartada no país nos últimos anos (cerca de 1.000.000 ton/ano), em função do crescimento da frota de veículos leves e pesados (FAGUNDES *et al.*, 2017).

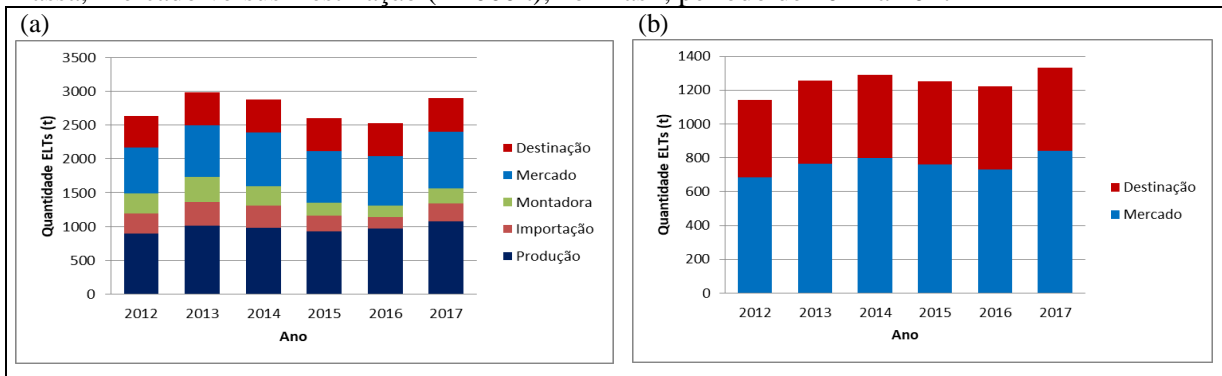
Nas análises tradicionais de ELTs, conforme revisão da literatura, os fatores socioeconômicos ou ambiente socioeconômico (SEF) não são considerados para efeito de tomada de decisão (BITTENCOURT *et al.*, 2020). Estes SEF são indicadores importantes no encaminhamento das políticas públicas do GRSU de uma cidade (ADZAWLA *et al.*, 2019). Os SEF subjacentes (os estoques clandestinos de pneus importados; destinação de ELTs para rios e córregos; a utilização indevida de ELTs em atividades de obras residenciais; e os fluxos de ELTs irregulares, destinados sem controle pelas borracharias para o aterro sanitário) não costumam ser considerados nas análises da GRSU, devido à subjetividade envolvida no processo de tomada de decisão e por não dispor de métodos apriorísticos de mensuração (BITTENCOURT *et al.*, 2020).

Diante do exposto, o SEMw é uma discussão atual que exige um sistema de avaliação das variáveis objetivas (métricas) e subjetivas (não métricas), adotando um sistema de indicadores para dar suporte ao planejamento dos RSU. As avaliações do SEM normalmente são pautadas nas análises de fluxos de materiais do inventário físico, que podem apresentar erros de subnotificações, independentemente do tipo de controle, e normalmente não têm correlação com os fatores socioeconômicos, presentes implicitamente, do cotidiano da limpeza urbana de uma cidade.

As tecnologias de GRSU dependem da qualidade da informação dos bancos de dados, que na maioria dos casos são subnotificados por causa de procedimentos inadequados para pesagem, controle e tratamento. A Figura 1(a) foi elaborada para comparar em nível nacional uma série histórica de 6 anos, deduzida do relatório anual de pneumáticos do IBAMA. Essa série mostra a produção de pneus (cerca de 1 milhão t/ano), somadas as importações (cerca de 300 mil t/ano) e descontados os pneus que são encaminhados para montadoras (cerca de 250 mil t/ano) e pneus exportados (cerca de 230 mil/ano). O mercado de reposição é formado pelos pneus que são comercializados pela logística direta da cadeia atacadista e varejista, perfazendo uma média de 750 mil t/ano. O problema identificado na série histórica são os erros de subnotificação entre mercado de reposição de pneus e a destinação final de ELTs, que apresenta uma discrepância de cerca de 35% (280 mil t/ano). Essas informações não estão evidentes nos controles da LR dos relatórios anuais de pneumáticos do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA, 2014, 2015, 2016, 2017). Em destaque, a Figura 1(b) mostra a discrepância entre o mercado de reposição e a destinação final, que é representa uma não

conformidade com a Resolução CONAMA 416/2009 (para cada pneu novo disponível ao consumo um ELT deve ser destinado corretamente).

**Figura 1** - (a) Produção, Importação, Montadora e Mercado versus Destinação e (b) Balanço de Massa, Mercado versus Destinação (x 1000 t), no Brasil, período de 2012 a 2017



Fonte: adaptado do Relatório de Pneumático do Ibama (2014, 2015, 2016, 2017).

Nas avaliações do CONAMA 416/2009, os fatores socioeconômicos (SEF) de cada região do Brasil não são considerados na normativa da resolução, apenas são registradas informações mássicas que não explicam corretamente o SEMw dos ELTs, por cidade, estado e/ou região. A medida mássica sem um balanço de massa, somente pela quantidade de pneus, só explica a formação de grandes inventários de ELTs. O balanço de massa dos fluxos de pneus do mercado de reposição e dos fluxos de ELTs para destinação final está em desequilíbrio conforme foi mostrado nas Figuras 1(a) e 1(b).

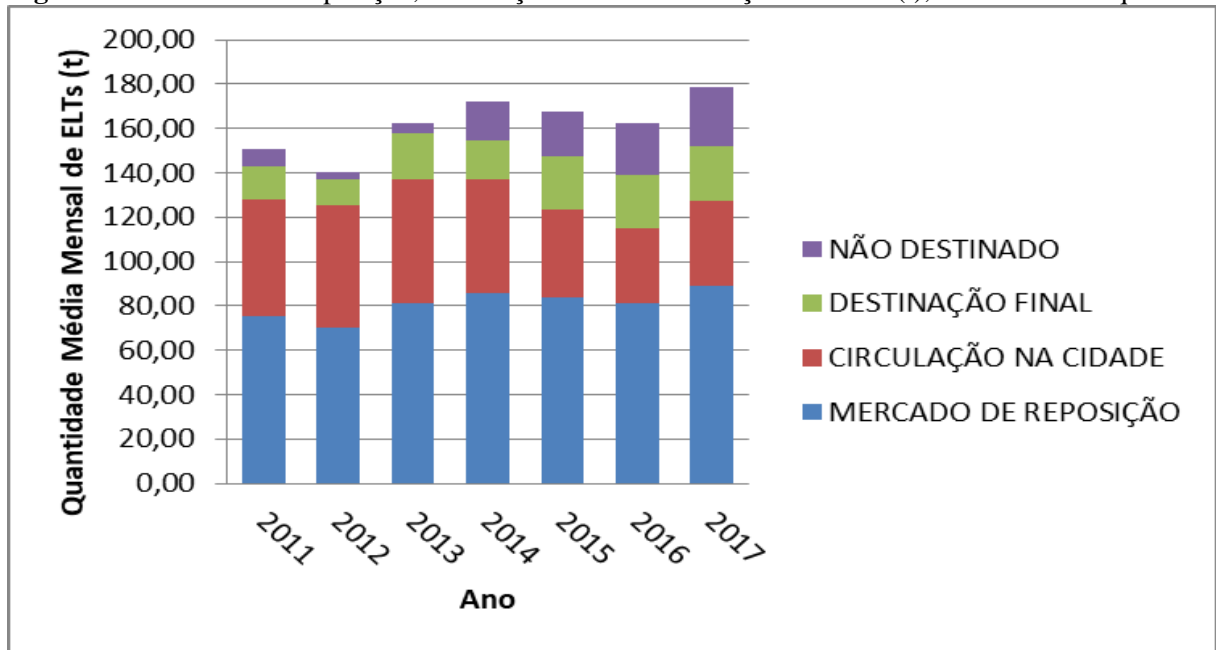
A Figura 2 mostra que o cenário de Vitória da Conquista é idêntico ao cenário nacional, comparando a média mensal do mercado de reposição dos fluxos de pneus novos e a média mensal dos fluxos de ELTs da logística reversa destinados para o armazém do aterro sanitário. Além do problema da subnotificação da quantidade dos fluxos de ELTs que não são destinados corretamente, causando um erro no balanço de massa de mais de 30% (média de 105 t/ano), os SEF não são considerados nas estimativas para melhorar os controles da GRSU.

A forma de estimar os ELTs, ou até outra tipologia de RSU, sem considerar os SEF, causa perdas econômicas, riscos socioambientais na cidade e implica uma subestimação do SEMw. Além disso, o método de avaliação da logística reversa adotado pelas importadoras no estudo dos pneus compromete as metas de destinação global de ELTs, aplicando o fator de desgaste de 30% do peso original. Enquanto os fabricantes de pneus no Brasil, através da empresa de Reciclagem da Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (RECICLANIP), se mostram interessados em atender à regra da responsabilidade estendida



do produtor, que equivale à relação de um pneu comercializado por um pneu destinado corretamente (coprocessamento, recicladora, laminadoras, indústria do xisto e regeneradoras).

**Figura 2** – Mercado de Reposição, Circulação versus Destinação de ELTs (t), Vitória da Conquista



Fonte: adaptado do Relatório de Pneumático do Ibama (2014, 2015, 2016, 2017).

Entretanto, de modo geral, o método de avaliação adotado pelo IBAMA é questionável porque no planejamento de coleta de ELTs, não são identificados fatores socioeconômicos de cada região. Os objetivos para definir se o pneu foi fabricado no Brasil ou se foi importado corretamente, conforme INSTRUÇÃO NORMATIVA IBAMA nº 1, de 18 de março de 2010, são ambíguos. Os critérios de seleção, coleta e pós-coleta de ELTs geram conflitos entre fabricantes e importadoras.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O estudo do SEM usando escalas quantitativas tradicionais tem por base teórica a Matriz de Insumo Produto (MIP), desenvolvida por Leontief (1906-1999) (PAULIUK; MAJEAU-BETTEZ; MÜLLER, 2015; HABERL *et al.*, 2019), a partir de dados de entrada de materiais e dados de saída de resíduos, tais como o método de AFM, adotado para verificar a quantidade mássica de materiais transferidos para o meio ambiente (FISCHER-KOWALSKI *et al.*, 2011; SARKAR *et al.*, 2011; ALLESCH; BRUNNER, 2015; PAULIUK; HERTWICH, 2016; ZHANG; CHEN; RUTH, 2018); o *Input-Output Model* (IOM) de materiais, que analisa

os processos que estão na transferência de materiais (MILLER; BLAIR, 2009; ZHANG *et al.*, 2014a; ELLIOT *et al.*, 2018); o método de ACV dos produtos que analisa desde a prospecção do material até o produto e sua destinação final (LONCA *et al.*, 2017; KHANDELWAL *et al.*, 2019); o método de Análise do Ciclo de Vida Social (ACVS) que analisa o impacto dos produtos na vida social e propõe medidas mitigadoras (TRAVERSO *et al.*, 2018); entre outros métodos híbridos que analisam a sustentabilidade da fonte de materiais, da geração de resíduos e dos impactos ambientais através de bancos de dados comparativos (LANDI *et al.*, 2016; SUN *et al.*, 2016; ANDREONI, 2017; GHISELLINI *et al.*, 2018).

Embora seja realizada a contabilização dos resíduos por meio de métodos de AFM e balanço de massa durante décadas, existem divergências nos resultados e pouca correlação nas medidas (ALLESCH; BRUNNER, 2015). Salienta-se que as estimativas são imprecisas (PAULIUK; MAJEAU-BETTEZ; MÜLLER, 2015) e os fatores socioeconômicos não são considerados nas modelagens (MMEREKI; MACHOLA; MOKOKWE, 2019). Este trabalho compreende uma abordagem inovadora, através da MEE, capaz de relacionar variáveis objetivas (métricas) e subjetivas (não métricas).

De acordo com Riahi *et al.* (2017), diferentes narrativas podem compor os SEF para o crescimento econômico, obviamente diferem de um período para outro, de uma cidade para outra e, sobretudo, entre países. Uma vez que essas diferentes combinações ou caminhos sejam correlacionados, é possível avaliar os impactos em sistemas biofísicos e socioeconômicos (NILSSON *et al.*, 2017). Segundo Biggs *et al.* (2007), existem maneiras de desenvolver cenários socioeconômicos, usando metodologias *Top down* (a partir de regras obrigatórias) ou *Bottom up* (a partir de sinalizações do comportamento da sociedade), que são menos tendenciosas. A compreensão do fenômeno social por meio de variáveis diretas do grupo social envolvido é representativa nesta análise.

### 1.3 PROBLEMA

Considerando-se que a literatura não apresenta uma abordagem de análise geral do SEMw dos ELTs, considerando o fenômeno social na qual sejam incluídas as variáveis não métricas (subjetivas), representadas pelos fatores socioeconômicos, questiona-se:

Como desenvolver um modelo que analise o metabolismo socioeconômico dos resíduos (SEMw), através dos fluxos de informações técnicos e sociais, para melhorar a coleta, minimizar erros e omissões nos controles dos pneus em fim de vida (ELTs), para apoio a GRSU?

## 1.4 HIPÓTESE

É possível desenvolver um modelo para análise geral do SEMw dos ELTs, considerando o fenômeno social, onde sejam incluídas variáveis socioeconômicas e sociodemográficas.

## 1.5 OBJETIVOS

### 1.5.1 Objetivo geral

Esta tese tem o objetivo geral de desenvolver um modelo para analisar o metabolismo socioeconômico dos resíduos (*Socioeconomic Metabolism of Waste (SEMw)*) através de equações estruturais, a partir de uma aplicação prática dos pneus em fim de vida (*End-of-Life Tires, ELTs*) de uma cidade.

### 1.5.2 Objetivos específicos

Para responder as questões e atender ao objetivo geral da tese, seguem os objetivos específicos deste trabalho:

- Definir as fronteiras do metabolismo socioeconômico dos resíduos (SEMw) dos pneus em fim de vida, mostrando a logística reversa e as relações com a sociedade.
- Mapear os modelos/métodos de avaliação do metabolismo socioeconômicos dos resíduos que se adequem à modelagem e à simulação.
- Realizar uma aplicação prática, através de estimativas indiretas dos bancos de dados oficiais, para análise do balanço de massa anual e previsão dos fluxos de ELTs não contabilizados e não destinados de Vitória da Conquista.
- Criar um modelo de análise do metabolismo socioeconômico dos resíduos, de acordo com a modelagem de equações estruturais, para dar suporte ao gerenciamento das ações na atividade de GRSU.
- Analisar os resultados da modelagem de equações estruturais para sugerir uma lista de prioridades das ações na gestão de ELTs da cidade de Vitória da Conquista.

## 1.6 DELIMITAÇÕES E LIMITAÇÕES DO ESTUDO

- Os limites entre escassez, impacto e controle humano são apresentados como ponto de convergência da tese devido ao fenômeno de dupla contagem entre as intersecções dos fatores socioeconômicos e socioambientais.
- Não existe na prática uma ferramenta para análise do metabolismo socioeconômico dos resíduos através de modelagem de equações estruturais para pneus em fim de vida (ELTs).
- A integração de dois ou mais tipos de resíduos era um limitador do estudo, devido à falta de banco de dados e controle fidedignos nos arquivos da GRSU da cidade do estudo de caso.
- A dificuldade de ter informações e banco de dados fidedignos é uma limitação e ao mesmo tempo uma oportunidade para deduzir ou estimar de forma indireta o banco de dados para previsão de cenários de formação de inventários de resíduos sólidos em uma cidade.
- O modelo pode ser aplicado em outras cidades desde que sejam determinadas as características socioeconômicas e sociodemográficas, entre outros ajustes.
- O instrumento de pesquisa – o questionário – foi aplicado diretamente no campo, por meio de formulário apropriado, e também através do *survey* elaborado no google formulário.

## 1.7 CONTRIBUIÇÃO, INEDITISMO E RELEVÂNCIA

Este trabalho apresenta uma Modelagem de Equações Estruturais (MEE) através de variáveis técnicas (objetivas) e sociais (subjetivas), não havendo na literatura um modelo similar para avaliar o SEMw. Para viabilizar a proposta de modelagem, foi realizada uma aplicação prática relacionada aos ELTs de uma cidade por meio de indicadores obtidos após aplicação do procedimento de *bootstrapping* do PLS-SEM, que testa as hipóteses e fornece a significância do modelo (*t\_value*). Os indicadores que possuem maior significância nas correlações e regressões são “ranqueados” para orientar as atividades do planejamento.

Na literatura pesquisada, existem estudos que propõem uma quebra do paradigma dos modelos tradicionais de medição do metabolismo socioeconômico através de escalas métricas, mas esses estudos ainda estão na curva de aprendizagem. Giampietro et al. (2009) apresentaram nos seus estudos uma caracterização em diferentes níveis e escalas, no entanto

ainda é muito genérica para quantificação do metabolismo dos resíduos. Em outra perspectiva de contabilização do metabolismo dos resíduos, D'alisa et al. (2012) adotaram uma Análise Integrada Multiescala da Sociedade e Metabolismo de Ecossistemas (MuSIASEM), através de dois indicadores de resíduos convencionais: a Taxa Metabólica de Resíduos e a Densidade de Resíduos. Contudo, essa intenção de escala não tem o objetivo de analisar os aspectos socioeconômicos não métricos, na medição do fenômeno.

Em relação a uma tipologia específica de resíduos, Kannan, Diabat e Shankar (2014) analisaram os fatores motivadores da gestão de pneus em final de vida (em inglês ELTs) no cenário indiano, com o auxílio de uma abordagem de tomada de decisão, usando multicritério (MCDM) e escalas genéricas a partir de mapas cognitivos. Os estudos dessa abordagem apenas sugeriram MEE, mas não a aplicaram, além disso, não foi apresentado um escopo das possíveis variáveis e das escalas não métricas.

Reforçando a proposta do ineditismo desta tese sobre a relação entre variáveis métricas e variáveis não métricas, usando escaladas qualitativas categóricas, Pauliuk, Majeau-Bettez e Müller (2015) e Pauliuk et al. (2016) criticaram as escalas hierárquicas que não dialogam entre si. Segundo os autores, os consultores de Ecologia Industrial (em inglês IE) perdem tempo procurando dados de fontes diversas, tempo que poderia ser investido em unificação das análises dos resultados dos modelos. Para o desenvolvimento de um modelo do metabolismo socioeconômico são necessárias estruturas de dados e bases de dados práticas.

Esta estrutura permite aos pesquisadores armazenar, recuperar e trocar dados, sem perda de informações entre as disciplinas e estruturas da modelagem. Apesar do consenso dos autores em descrever melhor o metabolismo socioeconômico (SEM), ainda existiam dificuldades práticas e ausência de estruturas de dados consistentes para avaliar os fatores socioeconômicos.

As informações da modelagem com variáveis técnicas e sociais em uma mesma estrutura influenciam positivamente na condução do planejamento dos resíduos sólidos em geral. No caso da aplicação prática através dos ELTs, foi observado que as destinações corretas dos materiais secundários para atividades econômicas subjacentes, tais como: reprocessamento, reaproveitamento energético e reciclagem presente na GRSU, diminuem impactos ambientais, em função das características de decomposição do pneu.

As dificuldades da GRSU de considerar as variáveis não métricas nas previsões de cenários e na tomada de decisão decorrem de um desconhecimento da aplicação das análises multivariadas em casos complexos. As decisões métricas que costumam ser adotadas pela

GRSU são baseadas no contexto mássico e de energia, considerando apenas aspectos dimensionais, deixando os tradicionalistas na zona de conforto.

Portanto, a contribuição e relevância desta tese estão na detecção e avaliação do fenômeno social implícito nas decisões da sociedade através de variáveis técnicas métricas e variáveis não métricas sociais, que sugerem caminhos ponderados para decisões técnicas da GRSU. Deste modo, é possível prever cenários de poluição ambiental e recomendar ações mais efetivas na coleta, logística reversa e destinação final de resíduos para reaproveitamento na logística empresarial. Os instrumentos de gestão que tenham condições de prever cenários socioeconômicos são uma importante saída para políticas públicas, sobretudo para melhorar a eficácia do orçamento participativo das cidades.

Além das contribuições explicitadas, podem-se destacar outras vantagens secundárias:

- (i) O modelo pode ser um referencial para outras tipologias de resíduos da cidade, principalmente resíduos inertes, que são de difícil destinação.
- (ii) O modelo é uma referência para políticas orçamentárias para GRSU no longo prazo (um ano à frente).

Portanto, a MEE pode ser um instrumento difundido em pesquisas mais robustas, quando não se tem domínio das variáveis envolvidas no fenômeno, ou para situações onde se deseja fazer análise exploratória confirmatória das variáveis predictoras, além de subsidiar outras análises complementares, tais como: análise através de redes neurais e análise por meio de linguagem *fuzzy*.

## 1.8 ARTIGOS PUBLICADOS

No desenvolvimento da tese, foram publicados: quatro artigos em congressos nacionais na área de engenharia de produção, um artigo em congresso internacional na área de tecnologias emergentes e interação humana, disponível na plataforma *Scopus*, e dois artigos em periódicos de alto impacto. A seguir, os artigos estão listados cronologicamente.

- DE BATTISTI, A. C.; **BITTENCOURT**, E. S. Diagnóstico da geração de resíduos pneumáticos inservíveis do município de vitória da conquista. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: PERSPECTIVAS GLOBAIS PARA A ENGENHARIA DE PRODUÇÃO FORTALEZA, 35., 2017. **Anais [...]** CE, Brasil, p. 1 - 17, 2015. ISSN ENEGEP: 2594-9713
- **BITTENCOURT**, E. S. et al. Avaliação da viabilidade econômica de uma usina de pneus inservíveis da cidade de Vitória da Conquista. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: CONTRIBUIÇÕES DA ENGENHARIA DE

PRODUÇÃO PARA MELHORES PRÁTICAS DE GESTÃO E MODERNIZAÇÃO DO BRASIL, 36., 2016. **Anais [...]** João Pessoa, PB, Brasil, de 03 a 06 de outubro de 2016, p. 1 -16. ISSN ENEGEP: 2594-9713

- **BITTENCOURT**, E. S. et al. Avaliação técnica e econômica do biogás gerado no aterro sanitário de Vitória da Conquista – Bahia para aproveitamento energético. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: A ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E AS NOVAS TECNOLOGIAS PRODUTIVAS: INDÚSTRIA 4.0, MANUFATURA ADITIVA E OUTRAS ABORDAGENS AVANÇADAS DE PRODUÇÃO, 37., 2017. **Anais [...]** Joinville, SC, Brasil, 10 a 13 de outubro de 2017. p. 1 - 20. ISSN ENEGEP: 2594-9713. [doi> 10.14488/enegep2017\\_tn\\_sto\\_240\\_390\\_34720](https://doi.org/10.14488/enegep2017_tn_sto_240_390_34720)
- **BITTENCOURT**, E. S. et al. Metabolismo socioeconômico urbano: Especificação de modelos estruturados de pneus em fim de vida. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: A ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DO BRASIL, 38., 2018. **Anais [...]**. Maceió, Alagoas, Brasil, 16 a 19 de outubro de 2018. p. 1 - 16. ISSN ENEGEP: 2594-9713. [doi> 10.14488/enegep2018\\_tn\\_sto\\_266\\_528\\_35328](https://doi.org/10.14488/enegep2018_tn_sto_266_528_35328)
- **BITTENCOURT** E. S. et al. Urban Transport: Comparative Study of Energy Efficiency Between Taxi Drivers in Salvador City, Bahia - Brazil. In: AHRAM T.; TAIAR R.; COLSON S.; CHOPLIN A. (ed.). **Human Interaction and Emerging Technologies**. IHET 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing. Springer, Cham, 2020. v. 1018. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-25629-6\\_118](https://doi.org/10.1007/978-3-030-25629-6_118)
- **BITTENCOURT**, E. S. et al. Forecasting of the unknown end-of-life tire flow for control and decision making in urban solid waste management: a case study. **Waste Management & Research**, v. 38, issue 2, p. 193-201, nov. 2019. ISSN 0734-242X. <https://doi.org/10.1177/0734242X19886919>
- **BITTENCOURT**, E. S. et al. Modeling the socioeconomic metabolism of end-of-life tires using structural equations: a brazilian case study. **Sustainability**, v. 12, n. 5, p. 2106, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12052106>

## 1.9 ESTRUTURA DA TESE

A quantidade de ELTs é a única grandeza medida diretamente no estudo de caso, e os SEF são as dimensões subjetivas, medidas indiretamente através deste modelo, utilizadas aqui para atender à hipótese deste trabalho – a possibilidade da mensuração dos SEMw dos ELTs através da técnica de modelagem de equações estruturais.

Esta tese está organizada em 6 capítulos, que fazem um apanhado geral das inquietações e descobertas em torno da problemática apresentada. A introdução realiza a contextualização desta problemática, justificativa, problema, hipótese, objetivos, delimitação do trabalho, contribuições e artigos publicados. O capítulo 2 apresenta uma visão geral sobre RSU, gestão

de ELTs, metabolismo socioeconômico (SEM) e métodos de mensuração do intercâmbio de materiais adotados pela comunidade científica e tecnológica. O capítulo 3 apresenta o fluxo adotado para criação do modelo de análise do SEMw, onde está incluído os materiais e métodos com ênfase na pesquisa exploratória de campo (entrevistas com especialistas de RSU e sociedade) e ênfase nas pesquisas de base de dados primárias e secundárias através de aplicação de software bibliométrico. No capítulo 4, apresenta-se uma aplicação prática da modelagem para estimação indireta de bancos de dados para previsão e desenvolve-se um procedimento para adotar os métodos dinâmicos (*Autoregressive Integrated Moving Average* “ARIMA” e *Artificial Neural Networks* “ANN”) para a previsão de ELTs não contabilizados e não destinados. O capítulo 5 apresenta uma aplicação prática da modelagem para o desenvolvimento da análise dos ELTs, meios e critérios de modelagem de equações estruturais (MEE), por meio do *survey* elaborado para coleta de informações técnicas e socioeconômicas na cidade. No capítulo 6, são apresentados os resultados e discussão das análises realizadas. Ao final, são apresentadas as conclusões e as recomendações para trabalhos futuros.



## 2 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura nos próximos tópicos foi desenvolvida através de uma análise geral dos sistemas de GRSU, que é uma discussão importante para minimizar impactos ambientais. Para os ELTs, foi adotada uma discussão do SEMw, que é uma abordagem inovadora, compreendendo as dimensões da GRSU, da Economia Circular, do *Circular Economy* (CE), bem como a previsão de cenários para soluções práticas de reaproveitamento de material.

Neste capítulo, também é desenvolvida uma análise da MEE e dos métodos de previsão que foram alternativas selecionadas para a construção do modelo visando avaliar o SEMw e prever os ELTs gerenciados pelos organismos competentes das cidades.

### 2.1 VISÃO GERAL DOS RSU NO BRASIL

O aumento significativo na geração de RSU é decorrente do crescimento populacional, sobretudo associado ao contínuo avanço tecnológico (MAZZANTI; ZOBOLI, 2008; GUPTA *et al.*, 2015; ALFAIA *et al.*, 2017). Esse problema causa impactos ambientais severos, além de riscos potenciais à saúde pública. Para acompanhar a evolução dos impactos ambientais, cabe à sociedade conhecer os riscos e promover meios para mitigá-los (HOORNWEG; BHADA-TATA, 2012).

A GRSU constitui um conjunto de procedimentos de gestão, planejados e implementados com o objetivo de minimizar a produção de resíduos (ALLESCH; BRUNNER, 2014). Os resíduos gerados são coletados, armazenados, tratados e transportados para destinos programados pelo planejamento urbano da cidade (BING *et al.*, 2016). As atividades são organizadas conforme um arcabouço de leis, regras e resoluções para evitar desembaraços inapropriados e conflito de interesses no sistema de GRSU (GOTTINGER, 2018).

No Brasil, a lei dos resíduos sólidos nº 12.305 de 2010, ampliou as responsabilidades no que tange à correta destinação dos resíduos (BRASIL, 2010). A Resolução CONAMA nº

258/1999 foi elaborada para estabelecer regras de destinação final de ELTs, e a Resolução CONAMA nº 416/2009 estabelece de forma complementar o gerenciamento e o controle do mercado de reposição de ELTs (BRASIL, 1999, 2009). No entanto, embora exista toda uma legislação para criar mecanismo de proteção ao meio ambiente e às pessoas, ainda há limitações técnicas na destinação final de ELTs e outros RSU (LAGARINHOS; TENÓRIO, 2013).

A partir de 1988, com a Constituição Cidadã, no art. 241, ações mais efetivas de controle e gestão urbana entraram na realidade brasileira com o objetivo de avançar no saneamento básico e no debate de políticas públicas nos níveis municipal, estadual e federal (GUELLATI *et al.*, 2017). Um conjunto de políticas públicas compulsoriamente impostas foi, a princípio, o modelo de gestão de resíduos vigente, que resultou em péssimos resultados (PIMENTEIRA, 2010).

A introdução de um modelo integrado de cooperação intermunicipal foi a medida inicial para sanear problemas estruturais nas regiões metropolitanas relacionadas aos municípios (BRASIL, 2009; JACOBI; BESEN, 2011). O modelo tinha como política pública o PNRS, que versa sobre a responsabilidade compartilhada dos envolvidos na gestão dos ELTs, de acordo com a Resolução CONAMA nº 416/2009:

[...] os fabricantes e os importadores de pneus novos, com peso unitário superior a 2,0 kg (dois quilos), ficam obrigados a coletar e dar destinação adequada aos pneus inservíveis existentes no território nacional, na proporção definida nesta Resolução (BRASIL, 2009, Art. 1º).

Em consonância com a Resolução CONAMA nº 416, que estabelece: “[...] para cada pneu novo comercializado para o mercado de reposição, as empresas fabricantes ou importadoras deverão dar destinação adequada a um pneu inservível.” (BRASIL, 2009, Art. 3º).

Entretanto, mesmo com o rigor das resoluções, no ano de 2015, a quantidade gerada de RSU no Brasil foi de cerca de 79,9 milhões de toneladas, correspondendo a 1.071 kg de RSU/pessoa/dia. Isso implica no aumento de cerca de 30% na geração de RSU em comparação com 2001. Essa quantidade gerada superou a taxa de crescimento populacional no país, que foi de cerca de 7% no mesmo período (ABRELPE, 2016). O país perde cerca de 2,5 bilhões de dólares anualmente, porque os resíduos recicláveis são inadequadamente descartados em aterros sanitários (IPEA, 2010; PORTELLA; RIBEIRO, 2014).

### 2.1.1 Abordagens conceituais sobre resíduos

O resíduo é gerado pelas atividades doméstica, comercial, industrial e institucional em uma determinada área geográfica. O resíduo pode ser semissólido, sólido e líquido (MIDSON, 2015). Em linhas gerais, resíduo significa desperdício ou qualquer substância ou objeto que o possuidor descarte, que pretenda descartar ou que seja obrigado a descartar (WFD, 2008). Portanto, o resíduo é entendido como materiais e substâncias a serem descartados para um determinado destino, independentemente do seu valor econômico (GHARFALKAR *et al.*, 2015).

Os termos usados – lixo, dejetos ou resíduo – pelo desconhecimento social, ou senso comum, induzem a sociedade a tomar decisões equivocadas em relação ao descarte (DE ANDRADE; FERREIRA, 2011). Normalmente, o indivíduo que descarta o resíduo, o material ou substância, adota a premissa equivocada da utilidade negativa dos materiais, por uma perspectiva econômica de desuso (VINEY, 2014). O termo “resíduo” significa a possibilidade de valorização, enquanto os termos “lixo” ou “dejetos” implicam no descarte para aterro sanitário. A adoção de tecnologias adequadas para reaproveitamento dos materiais redefine o valor econômico do resíduo (MASSARUTTO, 2015).

Os RSU são compostos principalmente por matéria orgânica, papel, plásticos, metais, vidros, pneu em fim de vida, do inglês *End Of Life Tire* (ELT) e outros materiais. A composição desses resíduos varia em função de hábitos, comportamento do consumidor, poder econômico, padrões sociais, nível de urbanização e, sobretudo, dos aspectos culturais dos grupos sociais (PHILIPPI JR; AGUIAR, 2005). Em certos casos, a depender de interesses da Cadeia de Suprimento, do inglês *Supply Chain* (SC) e da sociedade, os materiais são reaproveitados para reciclagem e reutilização. Os materiais, uma vez coletados pela LR, são destinados para tratamento e utilização marginal ou direta (ABUBAKAR *et al.*, 2019). A aplicação marginal ou direta dos materiais dos RSU deve considerar o ambiente econômico, os custos diretos e indiretos de recuperação e todas as externalidades para redefinição do perfil comercial e das novas funções de uso (VAHL *et al.*, 2013).

### 2.1.2 Geração dos resíduos e classificação dos ELTs

A Tabela 1 mostra o comportamento na geração e descarte de resíduos nas regiões do Brasil. As disparidades socioeconômicas em relação à renda e ao consumo das regiões de norte a sul do país mostram que a geração de resíduo também é um indicador de desigualdades (ISLAM, 2015). A participação dos resíduos orgânicos de todas as regiões possui média equivalente e menor dispersão. Os resíduos recicláveis mostram composições distintas nas diferentes regiões do país. Nas regiões Sul e Sudeste, em função do poder de compra e do tipo de consumo, existe uma maior participação percentual de papel/papelão do que a presente nas demais regiões. Em relação aos resíduos de vidro e plástico, a região Sudeste do país se destaca; enquanto a região Nordeste tem o maior percentual de resíduos em geral. A região Centro-Oeste se destaca com maior geração de resíduos de metais.

A composição de resíduos “outros” representa os materiais inertes: entulhos de obras, vidros, pedaços de madeira, ELTs e latas de alumínio – o Nordeste gera 32,69% desses resíduos devido à falta de políticas públicas para reaproveitamento de materiais inertes e, sobretudo, ao “boom” do crescimento econômico no período de 2013 a 2015. Em contrapartida, o consumo de papel e plástico é menor do que as demais regiões em função da baixa elasticidade de renda por bens de consumo (IPEA, 2010; ABRELPE, 2016). Os resíduos orgânicos têm aproximadamente a mesma participação percentual nas diferentes regiões do país. A região Sudeste gera e destina resíduos inertes para reaproveitamento e reciclagem através de técnicas de *End of Pipe* (EOP), por isso apresenta menor proporção (ALFAIA *et al.*, 2017).

**Tabela 1** - Comportamento da geração e descarte de resíduos nas regiões do Brasil

Região	Tipologia dos RSU das regiões do Brasil (%)						Total
	Metal	Recicláveis				Outros	
		Papel	Plástico	Vidro	Orgânicos		
Norte	1,09	10,87	14,67	0,83	54,68	17,86	100
Nordeste	1,74	3,70	3,86	1,01	57,00	32,69	100
Centro-Oeste	3,64	7,48	16,73	1,87	54,02	16,26	100
Sudeste	1,66	15,39	21,15	3,50	52,00	6,30	100
Sul	1,46	11,62	11,23	2,56	57,27	15,86	100
Brasil	1,92	9,81	13,53	1,95	54,99	17,79	100

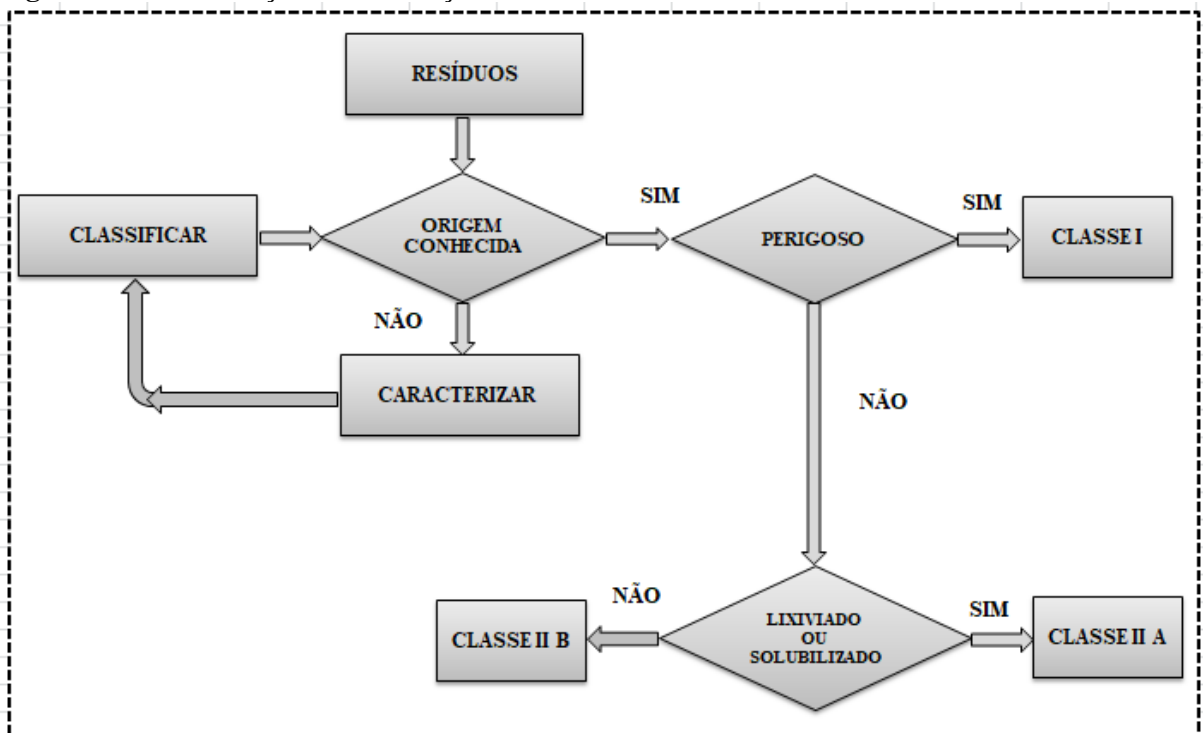
Fonte: adaptado de Alfaia *et al.* (2017).

Segundo a norma brasileira de referência (NBR) 10004/2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que classifica os resíduos sólidos, resíduos inertes são aqueles

que não sofrem transformações em sua composição física e se mantêm inalterados por muito tempo devido às suas características físico-químicas (Figura 3). Os resíduos da Classe IIB, que são o caso dos ELTs, não apresentam alteração em nenhum de seus constituintes solubilizados, excetuando-se o aspecto, cor, turbidez e dureza ao longo do tempo.

Esses resíduos não podem ser descartados em aterros sanitários, mas devem ser reciclados para serem reintroduzidos aos processos industriais da SC de materiais (PEREIRA *et al.*, 2018). O ELT é parte dos RSU inerte, que tem difícil destinação (GOMES *et al.*, 2019). O ELT é um resíduo que reúne uma quantidade de materiais reaproveitáveis, porque o projeto do pneu novo para uso sempre exige uma série de medidas de segurança e confiabilidade (KRIVTSOV *et al.*, 2002).

**Figura 3** - Caracterização e classificação dos resíduos sólidos



Fonte: adaptado da ABNT (2004)

### 2.1.3 Pneu em fim de vida (ELT)

#### 2.1.3.1 Características físicas e químicas do ELT

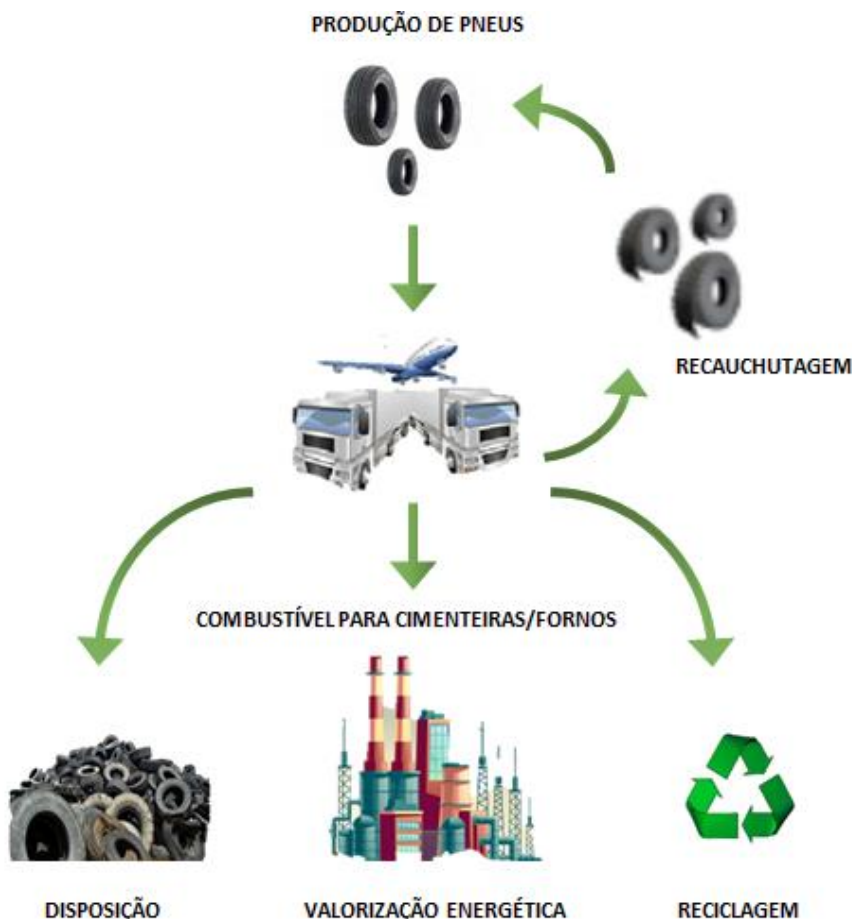
O pneu é um material de alta energia que justifica os esforços no avanço da tecnologia, inovação, pesquisa e desenvolvimento para reaproveitamento (RAMOS *et al.*, 2011). A composição do pneu é formada com 40% de borracha sintética e natural, seu principal

componente. São utilizados cinco tipos de borracha: borracha natural (NR), borracha de estireno-butadieno (SBR), borracha de polibutadieno (BR), borracha de isobutileno-isopreno (IR) e borracha halogenada de isobutileno-isopreno (GIANNOULI *et al.*, 2007). São utilizados, também: 30% em peso de aditivos, como sílica e negro de fumo; 15% em peso de materiais de reforço, como aço, poliéster e nylon; 6% em peso de plastificantes e agentes vulcanizantes; e até 2% em peso de agentes antienvelhecimento, além de outros produtos químicos (RAIFEN, 2014).

A reforma de pneus pode ser alcançada através de três processos diferentes: reciclagem, recauchutagem e reforma. Todos os processos envolvem aproveitamento da estrutura desgastada do pneu para diversos fins da logística reversa (RAMARAD *et al.*, 2015).

Conforme a Figura 4, o ciclo de vida do pneu ocorre em cinco etapas, que se inicia na extração de borracha, ou aquisição de borracha da indústria petroquímica, passando pela produção, uso (consumo) do produto (pneu), coleta de ELTs, processo de aproveitamento ou reciclagem até o descarte (MACHIN *et al.*, 2017).

**Figura 4** - Ciclo de vida do pneu novo até ELTs



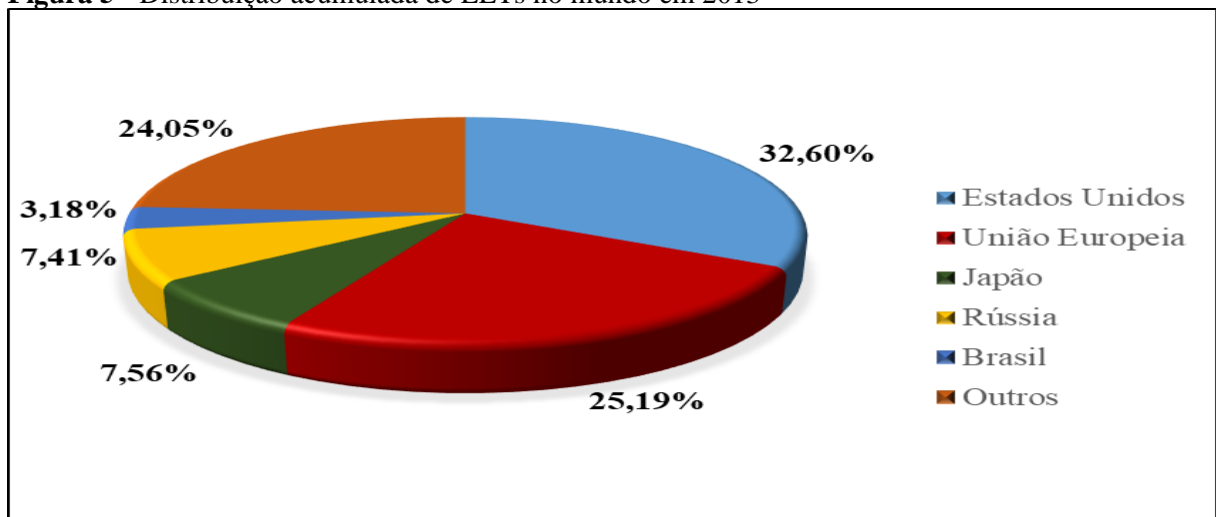
Fonte: adaptado de Machin *et al.* (2017).

### 2.1.3.2 Gerenciamento de ELT

O gerenciamento de ELT é extraordinariamente importante para resolver possíveis problemas ambientais. Os países adotam diferentes abordagens na gestão de ELT (AGRAWAL; SINGH; MURTAZA, 2015). Na Europa, a lei define um quadro jurídico que atribui a responsabilidade de organizar a cadeia de gerenciamento da ELT aos produtores (fabricantes e importadores de pneus) (LANDI *et al.*, 2018). Os gerenciamentos de pneus novos e ELTs são influenciados pela legislação ambiental no nível internacional e, muitas vezes, nos níveis regional e local. As etapas cruciais são coleta, classificação, transformação e recuperação em empresas de tratamento autorizadas (SHU; HUANG, 2014). Nos últimos anos, foram realizados progressos na recuperação de materiais de ELTs e atualmente a principal aplicação é a recuperação de energia (como combustível no forno de cimento) (KUMAR; SAMADDER, 2017), bem como são realizados processos de reciclagem de ELTs para recuperação de óleo, arame, negro de fumo e gás (LOMBARDI *et al.*, 2015). Os maiores geradores de ELTs são os Estados Unidos e a União Europeia. Cada ambiente geração contribui, respectivamente, com 300 e 260 milhões de toneladas de ELTs (GOMES *et al.*, 2019).

A geração de resíduos de ELTs é extremamente particular em cada região ou país, sobretudo porque ainda é dada pouca atenção ao gerenciamento e ao desenrolar da destinação final (LI *et al.*, 2010). No ano de 2013, alguns países do G20, por região, acumularam uma quantidade substancial de ELTs, conforme mostra a distribuição percentual de ELTs gerados no mundo em 2013 (Figura 5).

**Figura 5** - Distribuição acumulada de ELTs no mundo em 2013



Fonte: adaptado de Machin *et al.* (2017).

A quantidade de ELTs gerados segue esta distribuição: EUA, 4,4 milhões de toneladas; Europa, 3,4 milhões de toneladas; Japão, 1,02 milhão de toneladas; Federação Russa, 1 milhão de toneladas; Brasil, 365 mil toneladas e 3,31 milhões de toneladas produzidas no resto do mundo (RECICLANIP, 2015; KARAAĞAÇ *et al.*, 2017; MACHIN *et al.*, 2017).

Os ELTs, por sua vez, formam grandes inventários de materiais secundários que podem ser reaproveitados por meio da LR, que é parte do sistema econômico e possibilita o equilíbrio biológico. Para tanto, a forma de mensurar os ELTs pode ser regida por diferentes abordagens e métodos de previsão, otimização e minimização de impactos ambientais, conforme foi explicado anteriormente nesta seção. Portanto, os intercâmbios de materiais decorrentes dos fluxos ELTs fazem parte do balanço de massa entre entradas e saídas de materiais. Em linhas gerais, esta discussão será apresentada com maior detalhe através do metabolismo socioeconômico.

## 2.2 METABOLISMO SOCIOECONÔMICO (SEM)

Em linhas gerais, o SEM é um método de analisar a transferência de materiais, após transformações físicas e químicas, decorrente do consumo de produto. Os conceitos a seguir compõem a base conceitual para analisar o SEMw. Entretanto, o estudo inclui a correta destinação final dos resíduos sólidos depois da utilização do produto. Este estudo compreende os métodos tradicionais e híbridos que medem ou contabilizam o SEM com métricas distintas.

### 2.2.1 Abordagens conceituais sobre SEM

O *Perfil Metabólico* de uma cidade depende da forma que a sociedade local exerce seu comportamento material, associada ao estilo de vida e ao seu modo de gestão (FISCHER-KOWALSKI *et al.*, 2011). Dessa maneira, uma cidade é um sistema dinâmico que também inclui os fluxos de materiais e sociais, interagindo, gerando e perdendo massa e energia; uma cidade é um ambiente metabólico em constante mutação (FISCHER-KOWALSKI *et al.*, 2014a).

Os fluxos do metabolismo socioeconômico seguem na direção da demanda da sociedade por produção energética por pessoa (GRÜNBÜHEL *et al.*, 2003). As necessidades energéticas e biológicas por pessoa não são uma equação previsível ou de fácil modelagem. Isto porque a demanda por materiais e energia é cada vez mais potencializada pelo modo de vida da sociedade e seus anseios em termos de bem-estar (WEINSTOCK, 2011).



O termo "metabolismo" está associado às transformações físicas e químicas de um sistema. Nas ciências biológicas, o estudo avança para o desenvolvimento de novas estruturas e métodos para a contabilidade de fluxo mássico (BACCINI; BRUNNER, 2012). O termo socioeconômico representa as relações que a sociedade tem com o meio ambiente para manutenção de suas necessidades nos *Socioecological Systems* (SES) (MADRID-LÓPEZ; GIAMPIETRO, 2015).

O SEM também comporta outras concepções teóricas. Na teoria, o SEM pode ser tratado como "metabolismo industrial" (FISCHER-KOWALSKI, 2017), "metabolismo da antroposfera" (BACCINI; BRUNNER, 2012), "metabolismo antropogênico" (SCHILLER *et al.*, 2017), ou "metabolismo social" (PAULIUK; MÜLLER, 2014). O metabolismo socioeconômico ocorre pela natureza dos objetos (materiais) e pelas decisões da sociedade, ou seja, os eventos ocorrem pela necessidade ou desejo de consumir bens e serviços (PAULIUK, MAJEAU-BETTEZ; MÜLLER, 2015).

O conhecimento sobre as concepções métricas do SEM é um dos grandes desafios científicos, em função do aumento populacional e da demanda por mais materiais e energia. Nessa perspectiva de quantificação do fenômeno, o princípio da lei da entropia e da irreversibilidade temporal, conforme as ideias bioeconômicas de Nicholas Georgescu-Roegen, embasam as teorias sobre o metabolismo socioeconômico (PAULIUK; MAJEAU-BETTEZ; MÜLLER, 2015).

Para Grünbühel *et al.* (2003) e Pauliuk *et al.* (2016), o SEM é a "utilidade primária" dos fluxos de materiais e energia, e representa as interações com o meio ambiente. Segundo Haberl *et al.* (2019) e Pauliuk *et al.* (2019), os materiais são extraídos do meio ambiente (natureza), depois são processados para realizar a função de utilidade e, por fim, após satisfação temporária, poderão ser retroalimentados numa espécie de metabolismo natural. Esta aceção foi apresentada quando foi discutido o metabolismo biológico.

O SEM representa as inter-relações entre a sociedade, o meio ambiente e, sobretudo, o seu sistema energético. O SEM é compreendido em três momentos do processo civilizatório (HABERL, 2006): (i) nas sociedades de caçadores-coletores; (ii) nas sociedades agrícolas; e (iii) nas sociedades industriais. Nas sociedades industriais, os modos de vida assumem diferentes tempos tecnológicos<sup>2</sup>. O metabolismo das sociedades industriais depende fortemente das fontes de energia, desde a extração até o produto concebido que será descartado no final da vida útil (AYRES; AYRES, 2002).

---

<sup>2</sup> Conforme ideias escritas por Enzo Tiezzi (1998) no livro "Tempos Históricos, Tempos Biológicos – A Terra ou a morte: os problemas da nova ecologia".

Basicamente, a abordagem do SEM considera a sociedade como um sistema físico de entrada-saída, extraíndo material e energia do seu ambiente, mantendo processos físicos internos e dissipando resíduos, emissões e energia de baixa qualidade para o meio ambiente (DANIELS; MOORE, 2001; PICKETT *et al.*, 2016). Segundo Fischer-Kowalski *et al.* (2014b), "SEM com a natureza" é uma abordagem útil para analisar inter-relações da sociedade-natureza como componentes do ecossistema. O SEM descreve a sociedade humana e o que tem por trás da noção das relações de troca entre os objetos (materiais) e os eventos (necessidade, desejos e saciedade).

No SEM, ocorrem transformações entre insumos, materiais e empresas, bem como transformações entre resíduos e produção de energia (LEI *et al.*, 2016). Por isso que é compreendido como a colonização da natureza, ou seja, atividades que deliberadamente alteram sistemas naturais para torná-los mais úteis à sociedade (FISCHER-KOWALSKI; HABERL, 1998). Em outra perspectiva, também pode ocorrer nas interações entre homem-natureza, formando um SES complexo, não linear e não determinista (HABERL *et al.*, 2004). Em síntese, SES é um conjunto de recursos de potencial crítico complexo (naturais, socioeconômicos e culturais), cujo fluxo se dinamiza pela utilização objetiva e subjetiva de uma combinação de sistemas ecológicos e sociais (BERROUET *et al.*, 2018). Ele é um sistema perpetuamente dinâmico, complexo com adaptação contínua (PREISE *et al.*, 2018).

Portanto, o metabolismo é a transformação física de materiais ou seres vivos (biológicos) em outras formas e concepções de materiais (WEINSTOCK, 2011). As medidas de avaliação dos fluxos diretos e reversos de materiais interagem em escalas específicas para medir o SEM (D'ALISA *et al.*, 2012; IORGULESCU, 2014). Essas escalas quantificam simultaneamente variáveis objetivas e subjetivas, validando as relações de dependência e de interdependência dos modelos de medição.

### **2.2.2 Métodos tradicionais para contabilização do SEM**

O Quadro 1 apresenta exemplos de abordagens tradicionais para medição do SEM (PAULIUK; MAJEAU-BETTEZ; MÜLLER, 2015). Os métodos de Análise de Fluxos de Materiais (AFM) e Análise de Fluxo de Substância (AFS) são adotados para mensurar inventários da contabilidade de fluxos de materiais, energia e moeda. Essas abordagens se confundem quando não é definida a natureza do material/substância (BACCINI; BRUNNER, 2012).

As *Supply and Use Tables* (SUTs) são um conjunto de dimensões de materiais dos fluxos de um sistema de produção que são mensuradas por encontro das demandas, formando nós. As mercadorias são escassas e os produtos consumidos por um nó não podem ser utilizados por outro. Existe, portanto, a necessidade de incluir processos que aloquem bens e recursos escassos para os consumidores através de linguagem de modelagem (LOULOU *et al.*, 2005).

O *System of National Accounts* (SNA) fornece padrões internacionais para a contabilização dos aspectos monetários do SEM, na forma de SUTs, e o Sistema de Contabilidade Econômico-Ambiental (SEEA) descreve uma estrutura contábil compatível com os aspectos físicos do metabolismo da sociedade e dos ativos naturais (PAULIUK; MAJEAU-BETTEZ; MÜLLER, 2015). Também existem as tipologias de SUTs multicamadas, desenvolvidas para o sistema FORWAST, que é a mesma tipologia de *Compile and Refine Economic and Environmental Accounts* (CREEA). Nas importações dos fluxos econômicos no SUT clássico, a geração de resíduos ou emissões é contabilizada, determinando o equilíbrio do processo em cada camada (SCHMIDT *et al.*, 2012). As definições de sistemas socioecológicos, sob a forma de análise de ciclos de vida, fazem parte das boas práticas em ACV (PAULIUK; MAJEAU-BETTEZ; MÜLLER, 2015), no entanto não existe uma única estrutura de sistema para ACV. Normalmente, os fluxos de materiais não são explicitamente modelados na ACV, mas sua aplicação vem sendo melhorada ao longo tempo, sendo declarada como uma análise de aplicação prática (ECOINVENT CENTER, 2016).

**Quadro 1** - Métodos tradicionais de medição do metabolismo socioeconômico

Método	Tipo	Descrição do fluxo	Autor
AFM/AFS	AFM	Os fluxos de materiais, energia e moeda são medidos pela quantidade caracterizada por unidade de tempo.	Eurostat (2001)
	AFS	Fluxo não definido, mas é usado em conexões com os limites: entrada e saída, fluxo e refluxo.	Baccini e Brunner (2012)
SUT'S	SNA	Fluxo de valor econômico por unidade de tempo.	Un (2008)
	SEEA	Os fluxos físicos são refletidos no movimento e no uso de materiais, água e energia.	Ec (2008)
	FORWAST e CREEA	Os fluxos físicos se movimentam das atividades para o meio ambiente.	Schmidt <i>et al.</i> (2014)
ACV	ACV	Fluxo não definido, mas é usado para descrever o crescimento dos limites do sistema ou entradas de objetos e pequenos processos.	Nakamura e Nansai (2016)
	ACVS	Fluxo das operações e estratégias das empresas causam um grande número de impactos sociais que influenciam vários grupos de partes interessadas	Tsalis <i>et al.</i> (2017)
IAM	MARKAL/TIMES	Não definido.	Loulou <i>et al.</i> (2005)
CGE	CGE	Não definido.	Burfisher (2017)

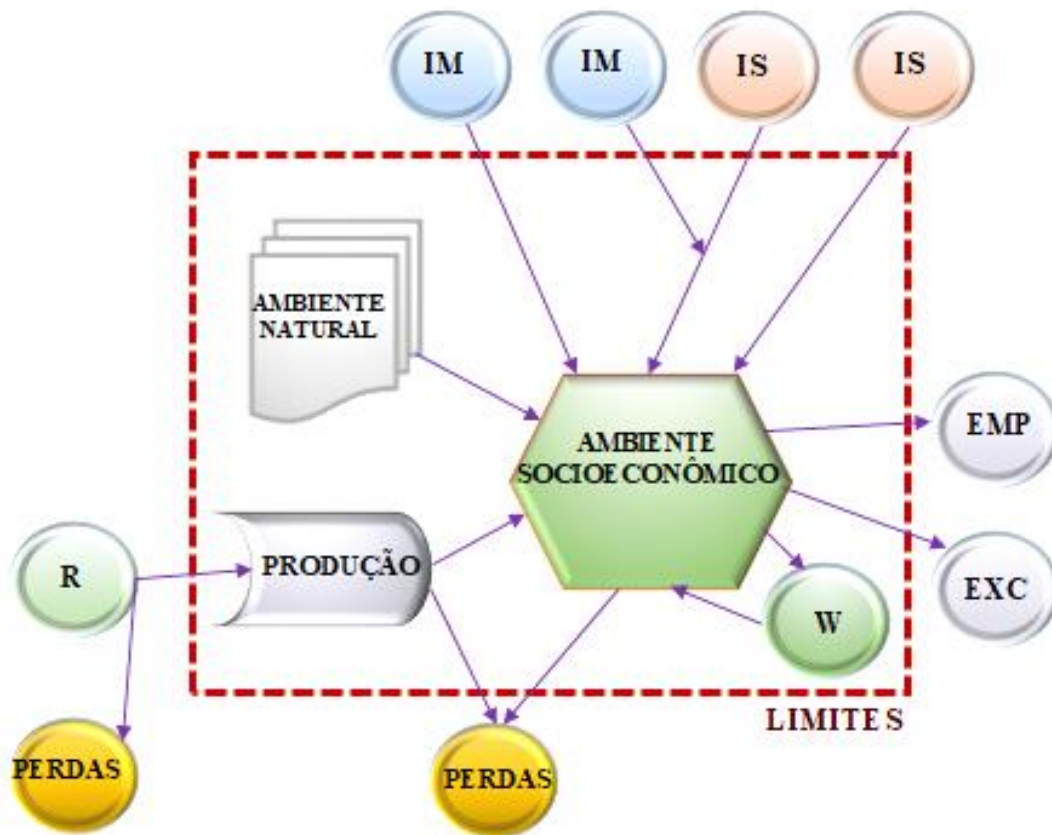
Fonte: adaptada de Pauliuk, Majeau-Bettez e Müller (2015).

Os *Integrated Evaluation Model* (IAMs) combinam modelos de SEM com modelos climáticos para entender melhor sua relação com os modelos de ecologia industrial (IE). O modelo de *Computable General Equilibrium* (CGE) é o modelo na forma de uma matriz de contabilidade social que descreve os gastos e a fonte de renda para cada atividade (BURFISHER, 2017).

Das ferramentas indicadas no Quadro 1, a AFM é o método mais adotado para a medição de fluxos mássicos no SEM de cidades (KRAUSMANN; SCHANDL *et al.*, 2017). O conceito da AFM é equivalente à aplicação da lei de conservação de massa, isto é, a massa que existe deriva de matéria preexistente, só que em outra forma, assim como a massa que se consome perde a forma original, isto implica que as entradas e saídas de massa em um sistema são iguais, corrigidas por mudanças do estoque e emissões (FISCHER-KOWALSKI; HABERL; RESOURCES, 1997).

Na Figura 6, segue uma configuração esquemática dos fluxos de materiais em sistema socioecológico, conforme trabalhos de Huang *et al.* (2006) e Huang e Chen (2009), que representa a metodologia usada em Taiwan e Taipei. No limite econômico, a montante, os bens (produtos) são transferidos para o ambiente econômico, resultantes da produção (R) que, devido a limitações tecnológicas, geram perdas (sobras de materiais). No ambiente socioeconômico, os bens (produtos) realizam as utilidades/necessidades e podem ser importados (IM) e/ou adquiridos na forma de serviços (IS). Os bens/produtos são transacionados para fora dos limites, à jusante, na forma de exportação de matéria-prima (EMP) ou serviço (EXS). Este sistema socioeconômico, em função de múltiplos objetivos e diferentes comportamentos sociais, usa os bens e serviços e os descarta na forma de resíduos (W). Quanto mais complexo o sistema econômico, mais complexa é a tratativa da mensuração do fluxo de materiais nas entregas de bens ou produto de utilidade e na destinação dos resíduos. O ambiente natural é colonizado pela sociedade que gera impactos socioambientais e socioeconômicos.

**Figura 6** - Arranjo dos fluxos de materiais em um sistema socioecológico



Fonte: Adaptada de Huang *et al.* (2006) e Huang e Chen (2009).

Segundo Matthews *et al.* (2000), todos os estoques físicos são materiais que permanecem no sistema socioeconômico por um período de mais de um ano, a exemplo dos ativos fixos (edifícios, estradas, ferramentas, veículos, bens duráveis etc.). Essa condição de investigar o ativo permanente (a estrutura patrimonial da cidade) reporta-se ao metabolismo das cidades no sentido geral (WEINSTOCK, 2011).

O metabolismo das cidades é dito como um fenômeno socioeconômico que ocorre através de relações de produção, troca, consumo e desperdício (PADOVAN, 2015). Ele funciona através das superfícies da cidade e se assemelha ao metabolismo urbano e ao metabolismo biológico (WEINSTOCK, 2011), embora haja variação em seus componentes individuais e processos (KENNEDY *et al.*, 2007).

Os sistemas abertos são funcionais e dependem do metabolismo sistêmico de materiais/insumos, recursos e produtos/resíduos (ZHANG *et al.*, 2014a, 2014b). Os resíduos/rejeitos são fluxos da logística reversa pouco valorizados, apesar de haver estudos/pesquisas apontando a necessidade de ampliar a recuperação dos materiais e a desmaterialização da economia, entre outros sistemas passíveis de investigação científica

(HUANG *et al.*, 2006).

### 2.2.3 Métodos híbridos para contabilizar o SEM

O SEM de um modo geral é medido pela abordagem de AFM (MÜLLER *et al.*, 2014). O método permite identificar fluxos (perdas) através de um balanço de massa. Todavia, apesar da facilidade de usar AFM, existem limitações quando os fluxos não são de materiais e de substâncias e, sobretudo, quando existem restrições dos métodos clássicos de controle (BRUNNER; RECHBERGER, 2016).

Giampietro *et al.* (2000) idealizaram um método híbrido de contabilização do SEM, baseado nos fluxos de massa e energia, melhorado posteriormente por D'alisa *et al.* (2012), que propuseram uma “Análise Integrada Multi-Escala (AIME)”. A AIME ordena as variáveis em fluxos (materiais e energia), e os processos, estruturas e os meios para obter produtos (bens) se apresentam como pano de fundo. Pauliuk, Majeau-Bettez e Müller (2015) propuseram uma hierarquia entre as variáveis do SEM, rompendo de vez com métricas fundamentalistas de escalas físicas ou biofísicas de medidas de massa e energia apenas. Essas métricas apontam as restrições qualitativas do sistema, porque a escassez dos recursos materiais é mais observada a partir dos descontroles sociais no consumo de produtos (materiais).

O Quadro 2 mostra os métodos híbridos pesquisados no estado da arte para mensurar o SEM durante duas décadas, em diferentes condições metodológicas, para avaliação e/ou quantificação de inventários de resíduos sólidos ou congêneres. A análise tomou como referência o cruzamento das palavras-chave sobre o metabolismo socioeconômico, metabolismo urbano e RSU.

**Quadro 2 - Métodos híbridos para mensurar o SEM durante duas décadas**

<b>Tipo</b>	<b>País</b>	<b>Periódico</b>	<b>Método</b>	<b>Autor (es)</b>
Metabolismo dos resíduos urbanos	Itália	Population and Environment	Análise integrada dos sistemas socioeconômicos	Giampietro <i>et al.</i> (2000)
Metabolismo socioeconômico	Taiwan	Resources, Conservation and Recycling	Quadro de Síntese Emergy	Huang <i>et al.</i> (2006)
Metabolismo socioeconômico	Global	Energy	Input direto de energia (DEI)	Haberl (2006)
Metabolismo da sociedade	Global	Energy	Análise integrada multi-escala (MuSIASEM)	Giampietro <i>et al.</i> (2006)
Metabolismo socioeconômico	República Checa	Industrial Ecology	análise integrada multi-escala (MSIASEM).	Weinzettel e Kovanda (2009)
Metabolismo Socioeconômico	China	Industrial Ecology	Quadro de Síntese Emergy	Huang e Chen (2009)
Metabolismo da sociedade	China	Energy	Modelo de decomposição	Geng <i>et al.</i> (2011)
Metabolismo urbano	Brasil	Environmental Pollution	Avaliação dos ecossistemas urbanos	Conke e Ferreira (2015)
Metabolismo urbano	China	Cleaner Production	Quadro de Síntese Emergy	Yang <i>et al.</i> (2012)
Metabolismo dos resíduos urbanos	Itália	Cleaner Production	Análise Integrada Multi-escala (MuSIASEM).	D'alisa <i>et al.</i> (2012)
Gerenciamento de pneus de fim de vida usando	Global	Int J Adv Manuf Technol	Modelagem estrutural interpretativa (ISM)	Kannan, Diabat e Shankar (2014)
Metabolismo socioeconômico	Global	Procedia Economics and Finance	Análise Integrada Multi-Escala (MuSIASEM )	Iorgulescu (2014)
Metabolismo Socioeconômico	Global	Industrial Ecology	Tabelas de Utilidades e Uso (SUTs)	Pauliuk, Majeau-Bettez e Müller (2015)
Metabolismo de Resíduos Domésticos Urbanos	China	PLoS One	Análise Integrada Multi-Escala (MuSIASEM)	Xiao <i>et al.</i> (2015)
Metabolismo Socioeconômico	Global	Industrial Ecology	Análise de hierárquica, mutuamente exclusiva e coletivamente exaustiva (H-MECE)	Pauliuk <i>et al.</i> (2016)
Metabolismo Socioeconômico	China	Industrial Ecology	Análise de fluxo de material em toda a economia (MFA - EW)	Dai e Wang (2018)
O metabolismo Socioeconômico	Filipinas	Ecological Economics	Quadro de Síntese Emergy	Martinico-Perez <i>et al.</i> (2018)
Metabolismo Urbano	Tanzânia	Internacional de Pesquisa Ambiental e Saúde Pública	Análise de multicritérios (MCDA)	Kazuva <i>et al.</i> (2019)
Metabolismo de Cidade	Global	Roadmap for Global Sustainability	Fluxo linear unidirecional com um <i>loop</i> fechado circular.	El-Haggar e Samaha (2019)
Metabolismo de resíduos (ELTs) em cidade	Brasil	Internacional de Pesquisa e Ciência em Engenharia Avançada	Análise descritiva do comportamento de pequenos prestadores de serviços	Dos Santos, Lima e Bezerra (2019)

Segundo Haberl *et al.* (2019), cada método tem uma especificidade e mostra resultados distintos. Apesar de alguns métodos híbridos usarem um *mix* de escalas, ainda existem

dificuldades em mensurar as grandezas objetivas e subjetivas de modo integrado, para ter uma convergência unitária de medida (PAULIUK; MAJEAU-BETTEZ; MÜLLER, 2015).

Os métodos híbridos ainda estão na curva de desenvolvimento para superar esta limitação metodológica de mensuração das grandezas objetivas e subjetivas. O método de “*Sintese Emergy*” (MARTINICO-PEREZ *et al.*, 2018) e o método de Análise Integrada Multi-Escala (MuSIASEM) propõem desenvolver uma unificação das diferentes escalas e heterogeneidade objetivas e subjetivas das métricas dos SES (IORGULESCU, 2014; XIAO *et al.*, 2015). Outros métodos estão sendo testados para avaliar as relações causais entre as diferentes variáveis envolvidas nas modelagens de GRSU (KAZUVA; ZHANG, 2019).

As abordagens "híbridas" combinam os dados de processo, com descrições detalhadas de toda a economia, por meio de tabelas de suprimento e uso de multicamadas (SUTs). As SUTs híbridas (SCHMIDT *et al.*, 2014), LCA híbrida de (CRAWFORD *et al.*, 2018), *Input and output* “IO” (BRINGEZU; MORIGUCHI, 2018) e *Input and output analysis* “IOA” de unidades mistas (TEH *et al.*, 2018) são métodos holísticos usados para atender condições específicas da economia.

## 2.3 MODELAGEM DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS (MEE)

### 2.3.1 Equações estruturais

A MEE começou a ser aplicada desde a década de 80 na área de Marketing (FORNELL; LARCKER, 1981). As técnicas de análise de caminho (WRIGHT, 1934) e a análise fatorial (SPEARMAN, 2014) compõem o arcabouço teórico e prático que fortalece a versatilidade da modelagem. Nos últimos anos, o método se tornou amplamente aplicável em diversas áreas do conhecimento, incluindo áreas que dialogam com o comportamento social (HAIR JR *et al.*, 2014). Esse método leva em consideração, além das técnicas de caminho e análise fatorial, uma série de procedimentos estatísticos para verificar as relações entre as variáveis de um conjunto de dados observados na amostragem de uma população (AMORIM *et al.*, 2012).

As técnicas multivariadas são adotadas para estimar as relações de dependência e interdependência das variáveis conceituais hipoteticamente estabelecidas (AMORIM *et al.*, 2012). Desse modo, a MEE é pautada na análise causal, usando a técnica de modelagem generalizada (HAIR JR *et al.*, 2014). Ela é utilizada para testar e validar modelos teóricos (MARÔCO, 2010). Os modelos teóricos definem as relações causais estabelecidas nas relações hipotéticas entre as variáveis (GEFEN *et al.*, 2000). As relações causais são



estabelecidas por meio de parâmetros que medem o nível do efeito entre as variáveis independentes e dependentes, devido à heterogeneidade das partes diferentes ou ao conjunto composto. As hipóteses estabelecidas seguem padrões de associação entre as variáveis no modelo (GEFEN *et al.*, 2000). Essas variáveis são definidas através dos conceitos levantados da teoria e serão testadas no modelo.

### 2.3.2 Variáveis e diagrama de caminho

Nesta abordagem, múltiplas equações são desenvolvidas para descrever as hipóteses que são definidas preliminarmente em um quadro teórico. O quadro teórico serve como suporte para o teste e validação do modelo estrutural (HAIR JR *et al.*, 2017).

A MEE é representada pelo modelo interno e externo e forma uma estrutura de dois submodelos que garante confiabilidade, validade e significância (MARÔCO, 2010). Segundo Kline (2015), as variáveis que compõem os submodelos são definidas como observáveis ou não observáveis. Elas apresentam diferentes modelos de mensuração, de acordo com o campo teórico em estudo (SANTIAGO, 2017).

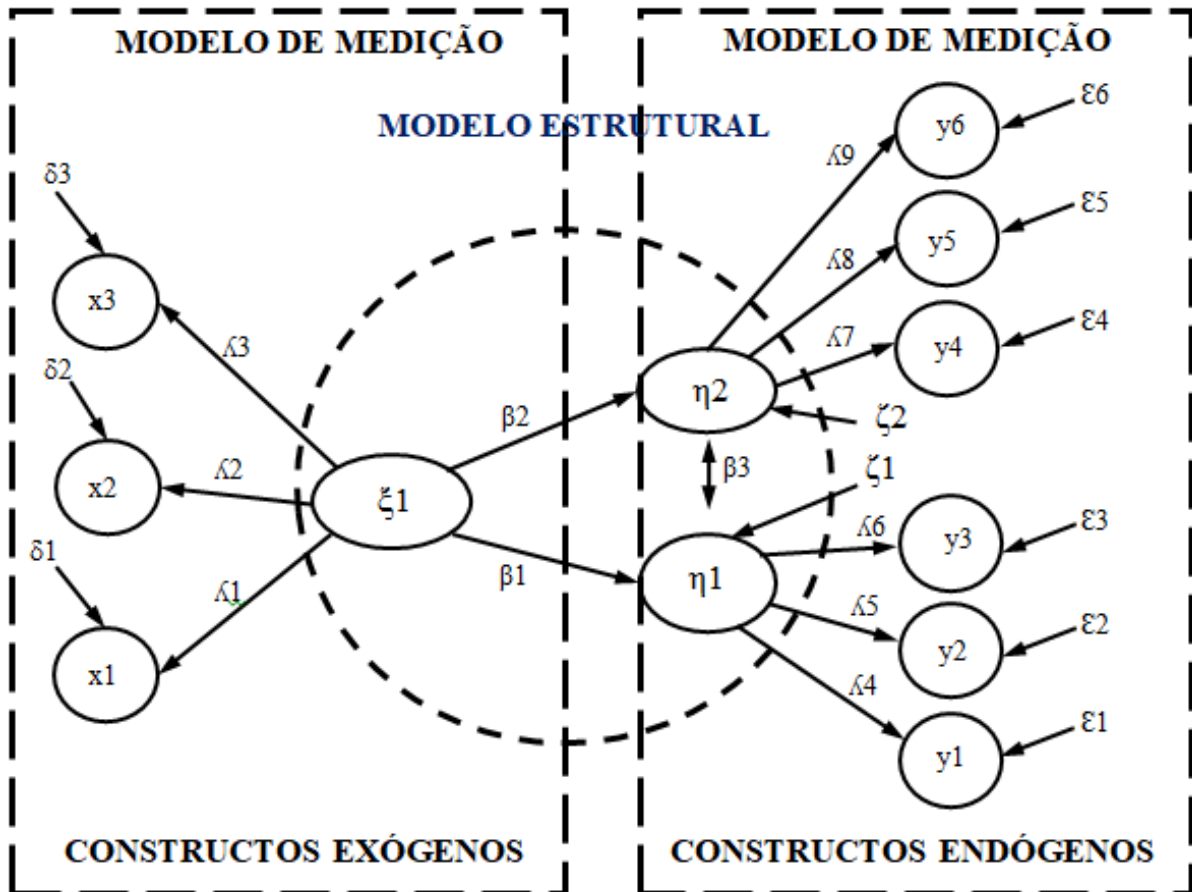
A estrutura da MEE pode ser representada geralmente por um diagrama de caminho (Figura 7), que mostra o modelo teórico das hipóteses da relação entre os constructos. Os constructos exógenos ( $\xi$ ) e endógenos ( $\eta$ ) representam, respectivamente, as variáveis independentes e dependentes do modelo estrutural. A interação dos indicadores ( $x_1$ ,  $x_2$  e  $x_3$ ) no constructo exógeno ( $\xi_1$ ) e dos indicadores  $y_1$  a  $y_6$  nos constructos endógenos ( $\eta_1$  e  $\eta_2$ ) é representada pelas respectivas cargas fatoriais ( $\lambda_1$  a  $\lambda_9$ ). Estas cargas são verificadas através de análise fatorial para validar o modelo de medição. As hipóteses estabelecidas preliminarmente no modelo teórico são substituídas por coeficientes de caminho ( $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$ ) no modelo estrutural. As perturbações (erros de medição) são apresentadas fora do modelo, nos indicadores exógenos ( $\delta_1$ -  $\delta_3$ ) e endógenos ( $\epsilon_1$ -  $\epsilon_6$ ). As perturbações (ou ruídos) são tratadas nos constructos endógenos ( $\zeta_1$  e  $\zeta_2$ ).

O modelo apresentado na Figura 7 pode ser descrito pela seguinte equação vetorial – equação 1 (BOLLEN, 1989):

$$\eta = \beta\eta + \Gamma\xi + \zeta \quad (1)$$

onde:  $\eta$  e  $\xi$  são os vetores das variáveis latentes (não observáveis) endógenas e exógenas, respectivamente. O vetor  $\zeta$  contém os erros associados a cada variável latente, enquanto  $\beta$  e  $\Gamma$  são as matrizes de coeficientes (parâmetros do modelo) das variáveis latentes endógenas e exógenas, respectivamente.

Figura 7 - Modelo Estrutural Teórico



Fonte: Adaptada de Silva (2006).

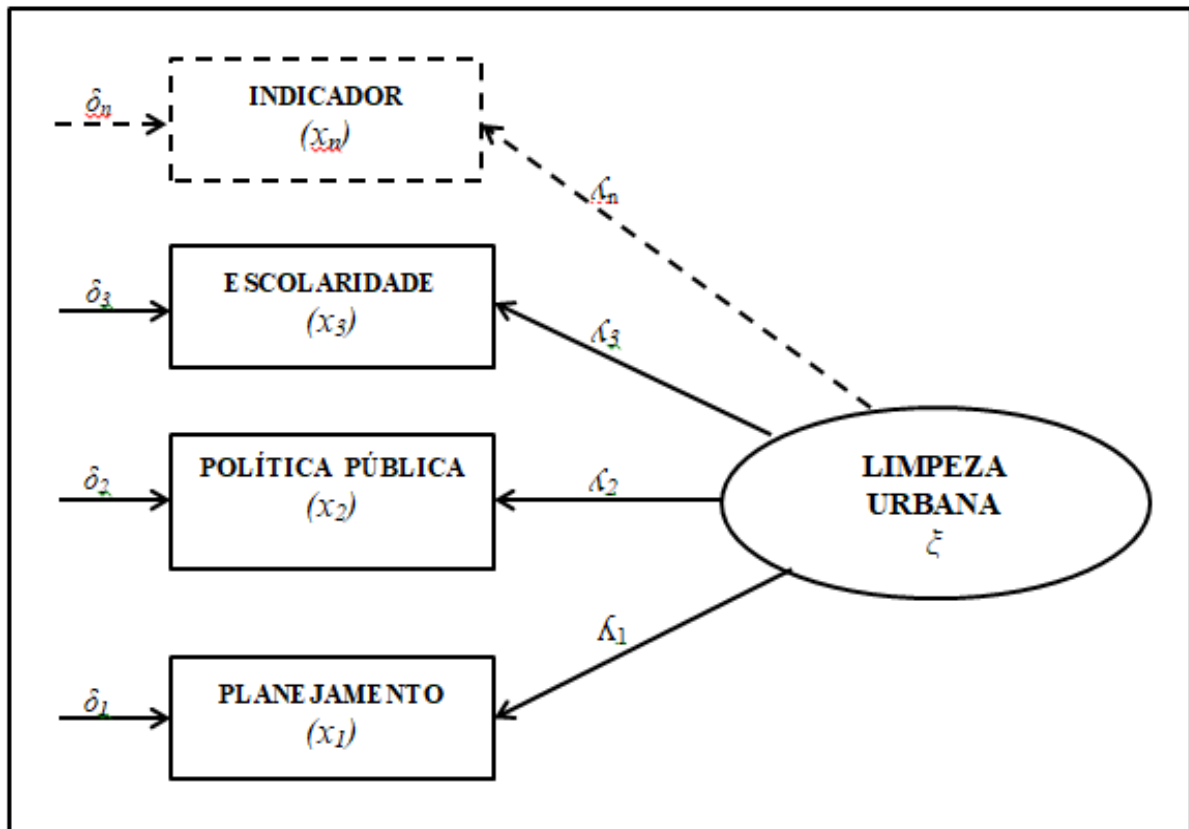
### 2.3.3 Caracterização dos indicadores de modelos reflexivos e formativos

#### 2.3.3.1 Indicadores de modelos reflexivos

O indicador reflexivo é uma medida qualitativa que sofre mudanças de acordo com o comportamento do constructo (CASTAÑO-MARTÍNEZ *et al.*, 2015). O constructo causa efeitos nos indicadores reflexivos em função da singularidade ou complexidade teórica da área de estudo. Esse tipo de indicador é adotado quando o constructo (ou variável observada) apresenta reações com inclusão ou exclusão de uma ou mais informações, mensuráveis

qualitativamente, do fenômeno (SANCHEZ *et al.*, 2014). Conforme ilustra a Figura 8, um exemplo é a avaliação da coleta de RSU em uma determinada cidade. A eficiência da limpeza urbana depende de múltiplas variáveis ou indicadores ( $x_1$  a  $x_n$ ) e não se resumem ao descarte para o lixo. Nesses indicadores as correlações estabelecem medidas indiretas do constructo ( $\xi$ ).

**Figura 8** - Indicador reflexivo



Fonte: adaptado de Henseler (2015)

Onde  $\lambda_i$  representa o efeito de  $\xi$  sobre  $x_i$  e  $\delta_i$  é o erro para cada indicador  $i = 1, 2, 3$ . As covariâncias são assumidas por  $Cov(\xi, \delta) = 0$  ou  $Cov(\delta_i, \delta_j) = 0$  para  $i \neq j$ ;  $E(\delta_i) = 0$  e  $Cov(x_i, x_j) \geq 0$  para  $i \neq j$  (BOLLEN; LONG, 1993; KLINE, 2015). Vale salientar que os erros externos à medição não interferem na medida indireta do constructo (BROWN *et al.*, 2006; HANCOCK; MUELLER, 2013).

Os indicadores reflexivos, em uma determinada medição, são causados pelo mesmo constructo, e é esperado que ocorressem correlações altas. Isso pode gerar erros na medição ou vieses que podem invalidar a confiabilidade e validade do modelo (HAIR JR *et al.*, 2016). Entretanto, cargas fatoriais, atendendo ao critério de 0,708, indicam que existe

representatividade aceitável dos indicadores reflexivos em relação ao constructo. A medida da carga fatorial alta ou baixa depende dos critérios de aceitabilidade para cada caso da modelagem (MARÔCO, 2010; HAIR JR *et al.*, 2017).

Além das características apresentadas, os indicadores reflexivos podem ser intercambiáveis, sem alterar a natureza dos constructos. Eles podem migrar de um constructo para outro, ou até mesmo ser excluídos, sem interferir na medição do constructo, que é suportado por outros indicadores de melhor carga fatorial (variância).

As variâncias que medem o constructo equivalem à comunalidade (proporção da variância de uma variável que é compartilhada com os fatores comuns na análise de fatores) dos indicadores (SANTIAGO, 2017). Os indicadores reflexivos são expressos conforme a equação 2:

$$X_n = \lambda_{x_n} \xi + \delta_n \quad (2)$$

Onde  $n$  representa a quantidade de indicadores por constructo, conforme já explicitado na equação anterior. Cada indicador denota uma equação linear  $X_n$ , incluindo as relações afins com a variável latente  $\lambda_{x_n} \xi$  e o erro externo  $\delta_n$  da medida indireta.

A rigor, mesmo com o trabalho de tentativa e erro na análise fatorial exploratória, esse tipo de modelo de medição é o mais usual para dimensões subjetivas, onde não há grandezas dimensionais que se equivalem na MEE (TEMME *et al.*, 2006). Portanto, a existência de correlações elevadas entre os indicadores aumenta a consistência interna do constructo, confiabilidade e validade. Se o objetivo do estudo é analisar a variância observada, é mais recomendável este tipo de indicador (SANTIAGO, 2017).

### 2.3.3.2 Indicadores de modelos formativos

A análise da dimensão teórica do indicador formativo é orientada do indicador para o constructo. Isso mostra que as variáveis observadas (ou indicadores) têm maior força na medição, ou seja, os indicadores explicam o constructo (BROWN, 2014; RIGDON *et al.*, 2014). A medição direta no constructo é formada por uma combinação linear entre os indicadores (LIN *et al.*, 2005).

O indicador formativo é pouco adotado na MEE porque depende do conhecimento geral das teorias que definem o fenômeno. Os constructos, invariavelmente, dependem da multiplicidade dos indicadores (COLTMAN *et al.*, 2008). Os indicadores formativos são

expressos conforme a equação 3:

$$\eta = \pi_{x_1}x_1 + \pi_{x_2}x_2 + \pi_{x_3}x_3 + \pi_{x_4}x_4 + \zeta \quad (3)$$

Onde  $\pi_i$  é o parâmetro que reflete a contribuição de  $x_i$  à variável latente. Esta expressão é consistente com o modelo de componentes principais e  $\zeta$  é o erro (SANTIAGO, 2017).

Portanto, o indicador para modelo formativo reflete as regressões múltiplas. Algumas especificidades afetam a estabilidade, tais como: o tamanho da amostra e a multicolinearidade, que invariavelmente não ocorre nos indicadores de modelos reflexivos (FORNELL; LARCKER, 1981; BYRNE, 2013). Entretanto, é possível encontrar os dois tipos de indicadores dentro de uma MEE.

### 2.3.3.3 Comparação entre indicadores de modelos reflexivos e formativos

Como mostra no Quadro 3, três aspectos teóricos e três aspectos empíricos distinguem os indicadores para modelos reflexivos e formativos. De acordo com Diamantopoulos, Riefler e Roth (2008), os aspectos teóricos são: (i) natureza teórica dos constructos; (ii) direção de causalidade; e (iii) características dos indicadores. Enquanto os aspectos empíricos são: (iv) intercorrelações dos indicadores; (v) relação dos indicadores antecedentes e consequentes; e (vi) erros de mensuração e colinearidade. Estes critérios fornecem uma importante fundamentação para validar a MEE. A escolha dos modelos reflexivos ou formativos depende objetivamente do fenômeno estudado e da teoria que suporta as conexões em pontos de vistas teóricos e empíricos.

**Quadro 3 - Estrutura para avaliar indicadores de modelos reflexivos e formativos**

<b>Comparação de modelos reflexivos e formativos</b>				
<b>Considerações</b>		<b>Modelo Reflexivo</b>	<b>Modelo Formativo</b>	<b>Referências</b>
Aspectos teóricos	Natureza do constructo	O constructo latente existe independentemente das medidas usadas	Constructos latentes são uma combinação de seus indicadores	Borsboom <i>et al.</i> (2004)
	Direção da causalidade	Variação no constructo causa variação nas medidas do indicador	Variação no constructo não causa variação no indicador das medidas	Rossiter (2002; Jarvis <i>et al.</i> (2003)
		A variação nas medidas do indicador não causa variação no constructo	A variação nas medidas do indicador causa variação no constructo	
	Características dos indicadores	Itens compartilham um tema comum	Os itens não precisam compartilhar um tema comum	Rossiter (2002; Jarvis <i>et al.</i> (2003)
		Os itens são intercambiáveis	Os itens não são intercambiáveis	
		Adicionar ou largar um item não altera o domínio conceitual da construção	Variação na construção não causa variação no item medidas	
Aspectos empíricos	Intercorrelação dos indicadores	Os indicadores devem ter intercorrelações positivas altas	Os indicadores podem ter qualquer padrão de correlação, mas devem possuir a mesma relação direcional.	Diamantopoulos e Siguaw (2006)
	Relacionamentos dos indicadores com antecedentes de construção e consequências	Os indicadores têm sinais e significados semelhantes nas relações com os antecedentes	Os indicadores podem não ter um significado semelhante nas relações com os antecedentes	Diamantopoulos e Siguaw (2006)
	Erro de medição e colinearidade	É possível identificar o termo do erro nos indicadores	A identificação do termo de erro não é possível se o modelo de medição formativo for estimado isoladamente	

Fonte: adaptado de Coltman *et al.* (2008).

#### 2.3.3.4 Métodos de estimação de parâmetro

Os métodos de estimação da MEE são desenvolvidos para testes de teorias e previsão de cenários. Eles são baseados na abordagem da covariância (CB-SEM) (JÖRESKOG, 1967; 1969; MCGAW *et al.*, 1971) ou baseados em composto (TENENHAUS *et al.*, 2005).

O primeiro método que adotou a abordagem dos mínimos quadrados parciais (PLS-SEM) foi desenvolvido como uma alternativa para acompanhamento das metas da abordagem do CB-SEM. O PLS-SEM apresentou algumas vantagens em relação ao dimensionamento do tamanho da amostra e na eficácia de estimação de indicadores dos modelos reflexivos e formativos, mas apresentou desvantagem nas situações que exigem otimização dos processos do CB-SEM (HAIR *et al.*, 2011).

No Quadro 4, seguem as referências de trabalhos obtidos na revisão da literatura, no período de 2010 a 2017, que mostram as diversas áreas onde se aplicam o PLS-SEM em relação ao CB-SEM. Os resultados desses trabalhos estão focados na eficácia para estimação de indicadores (RIGDON *et al.*, 2017).

**Quadro 4** - Trabalhos que apresentaram eficácia do PLS-SEM por área do conhecimento

<b>Trabalhos que apresentaram eficácia do PLS-SEM</b>	
<b>Referências</b>	<b>Aplicação</b>
Esposito Vinzi <i>et al.</i> (2010)	Diretrizes sobre como escrever um relatório PLS-SEM.
Gefen <i>et al.</i> (2011)	SEM na <i>pesquisa em ciências administrativas</i> e sociais.
Hair <i>et al.</i> (2011)	Diretrizes para a escolha do método.
Lee <i>et al.</i> (2011)	Revisão do uso do PLS-SEM na <i>pesquisa contábil</i> .
Hair <i>et al.</i> (2012)	Uso do PLS-SEM na <i>pesquisa de marketing</i> .
Hair Jr <i>et al.</i> (2014)	Uso do PLS-SEM na <i>pesquisa de gerenciamento de operações</i> .
Astrachan <i>et al.</i> (2014)	Desenvolvimento e teste de modelos na <i>pesquisa de empresas familiares</i> .
Richter <i>et al.</i> (2016)	Uso do PLS-SEM na <i>pesquisa de gerenciamento da cadeia de suprimentos</i> .
Willaby <i>et al.</i> (2015)	Testando modelos complexos em <i>psicologia</i> .
Sinkovics <i>et al.</i> (2016)	Uso em <i>pesquisas de negócios internacionais</i> .
Hair <i>et al.</i> (2017)	Use na pesquisa de <i>sistemas de informação</i> .

Fonte: adaptado de Rigdon *et al.* (2017)

Embora existam preocupações nas abordagens de aplicação da MEE, pesquisadores vêm propondo melhorias conceituais no modelo de mensuração (modelo medição externo) e o no modelo estrutural (modelo de medição interna) (HAIR *et al.*, 2019). O principal método estatístico revisado foi a regressão por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) para teste de estimação da MEE. O método de Máxima Verossimilitude (MV) foi adotado pela possibilidade de aproximar os dados da normalização ou distribuição normal. Enquanto os métodos de *Unweighted Least Squares* (ULS) foram melhorados para aplicação dos métodos com abordagens *Partial Least Squares* (PLS) e *Generalized Least Squares* (GLS) (FERNÁNDEZ ALARCÓN, 2004; SANTIAGO, 2017).

Enfim, as MEEs desenvolvidas para medição dos constructos através de covariância (KLINE, 1998; BYRNE, 2012), a exemplo do *Linear Structural Relationships* (LISREL), *Equations EQS* e *Analysis of Moment Structures* (AMOS), apresentam limitações para amostras pequenas (<100 observações). Ao passo que a MEE desenvolvida para medição dos constructos por meio de variância, a exemplo do PLS-SEM, mostra vantagens satisfatórias para desenvolvimento de teorias usando amostras pequenas. O PLS-SEM vem apresentando bons resultados em áreas de maior subjetividade, como as das ciências sociais aplicadas (SANTIAGO, 2017).

### 2.3.3.5 Aplicação da MEE em fluxos de materiais e RSU

Fami *et al.* (2019) desenvolveram um modelo de equações estruturais para examinar o comportamento alimentar dos agregados familiares urbanos e os RSU na cidade de Teerã. Srun e Kurisu (2019) também desenvolveram um modelo de equações estruturais para explicar o comportamento de uma sociedade que descarta os resíduos em espaços públicos abertos. Em outra perspectiva, Ma *et al.* (2019) investigaram os efeitos dos esforços de reciclagem por meio de modelagem de equações estruturais, usando a abordagem de mínimos quadrados parciais (PLS). Os autores se basearam em um banco de dados de indicadores que envolveram 356 residentes chineses.

Os estudos comportamentais de Ari e Yilmaz (2016) realizaram uma análise das atitudes e dos comportamentos das donas de casa, em relação à reciclagem, com base no modelo da *Theory of Planned Behavior* (TPB) de Ajzen e na aplicação do modelo de equações estruturais. Em linhas gerais, o estudo inferiu sobre o impacto significativo da atitude das donas de casa na atividade de reciclagem. Lu e Wei (2014) desenvolveram uma modelagem de equações estruturais para avaliar as barreiras que afetam a implementação da gestão de resíduos.

Kannan, Diabat e Shankar (2014) elaboraram métodos para avaliar a produção de pneus virgens e o descarte de pneu em fim de vida (ELTs) na Índia. O trabalho de Kannan, Diabat e Shankar (2014) apresenta um quadro teórico para analisar os fatores que influenciam na gestão dos ELTs para tomada de decisão, conforme abordagem do Método do Multicritério (MCDM) e *Interpretive Structural Modeling* (ISM). O método ISM não considera diretamente os efeitos dos fatores socioeconômicos (SEF) e dos fatores sociodemográficos (SDF) na decisão da compra, utilização, gestão e destinação correta de ELTs (KANNAN; DIABAT; SHANKAR, 2014).

Segundo Beigl *et al.* (2008), o ambiente socioeconômico deve ser o local para avaliar a sustentabilidade ambiental. Kannan, Diabat e Shankar (2014) destacam que a modelagem através de equações estruturais pode solucionar as desvantagens intrínsecas ao método ISM. Entretanto, não são encontrados trabalhos envolvendo a modelagem através de equações estruturais para avaliar o metabolismo socioeconômico dos resíduos sólidos (SEMw) relacionados aos ELTs.

Portanto, compreende-se que os trabalhos da MEE ainda são uma experiência que requer maior de difusão e aplicação. O método dos mínimos quadrados parciais (*Partial Least*



*Square* (PLS)), através do software SmartPLS, é uma aplicação consistente para a simulação do modelo estrutural (DURDYEV *et al.*, 2018).

As informações obtidas na MEE, através dos indicadores do SEM, orientam a previsão de cenários. O método PLS é adequado para desenvolver teorias e prever cenários (HAIR *et al.*, 2019). Na próxima seção, seguem os métodos de previsão de RSU através de série histórica. O banco de dados foi deduzido das informações socioeconômicas das fontes oficiais.

## 2.4 MÉTODOS DE PREVISÃO DE RSU

### 2.4.1 Modelo ARIMA

Ao longo dos últimos 10 anos foram desenvolvidos diversos modelos para previsão de RSU. Esses modelos têm quatro abordagens: (i) apoio à decisão; (ii) análise de custo-benefício; (iii) análise de decisão multicritério; e (iv) análise do ciclo de vida (KOLEKAR *et al.*, 2016). Eles normalmente são baseados no método de análise de regressão múltipla (CHUNG, 2010; DAI *et al.*, 2011; KESER *et al.*, 2012) e de análise de séries temporais (OWUSU-SEKYERE *et al.*, 2013; MWENDA *et al.*, 2014).

O modelo de regressão linear apresenta melhores resultados para séries históricas longas, tais como os dados cronológicos dos registros de RSU (GHINEA *et al.*, 2016; ABBASI; EL HANANDEH, 2016; ABUNAMA *et al.* 2018). Segundo Ghinea *et al.* (2016), os resultados das pesquisas mostraram que a regressão linear múltipla não gera bom desempenho na previsão de RSU, enquanto a ANN tem uma maior precisão na previsão. Os resultados das análises de regressão também mostram que a geração dos RSU no longo prazo é influenciada pelo aumento da população urbana, do produto interno bruto e do nível de consumo dos moradores das cidades (WEI *et al.*, 2013; GRAZHDANI, 2016). No entanto, o uso de muitas variáveis independentes pode aumentar o custo do estudo, devido à exigência de um grande número de amostras e de um banco de dados longo e contínuo (KOLEKAR *et al.*, 2016).

O modelo AutoRegressivo Integrado de Médias Móveis (ARIMA) foi aplicado por Owusu-Sekyere *et al.* (2013) para analisar a dinâmica de geração de resíduos sólidos em distintas condições de sazonalidades. Os resultados das pesquisas indicaram o modelo ARIMA (1, 1, 1) como o modelo mais adequado para a previsão de geração de resíduos sólidos. Em linhas gerais, modelos autorregressivos, integrados e de médias móveis (ARIMA) representa uma série diferenciada por um modelo ARMA. O modelo ARIMA de ordem (p, d,

q) e escrevemos ARIMA (p, d, q) onde  $p$  é a ordem da componente autorregressiva,  $d$  é o número de diferenças tomadas na série e  $q$  é a ordem da componente de médias móveis. Uma previsão com o modelo ARIMA e um modelo de suavização exponencial sazonal também foram usadas para prever a geração de RSU na Lituânia, considerando quatro cenários para avaliar o impacto da sustentabilidade (RIMAITYTĖ *et al.*, 2012).

Um modelo ARIMA sazonal (*seasonal autoregressive integrated moving average* (sARIMA)) foi aplicado por Navarro-Esbrí *et al.* (2002) para previsão de RSU de curto e médio prazo. Eles demonstraram que o sARIMA fornece bons resultados para dados diários e mensais (GHINEA *et al.*, 2016).

Finalizando, a análise de séries temporais é muito adequada para a previsão de curto prazo da geração de RSU. Uma experiência foi aplicada em quatro cidades do Leste Europeu para descrever e prever o comportamento sazonal da geração de pequenas quantidades de RSU (DENAFAS *et al.*, 2014).

#### **2.4.2 Modelo de Redes Neurais Artificiais (ANN)**

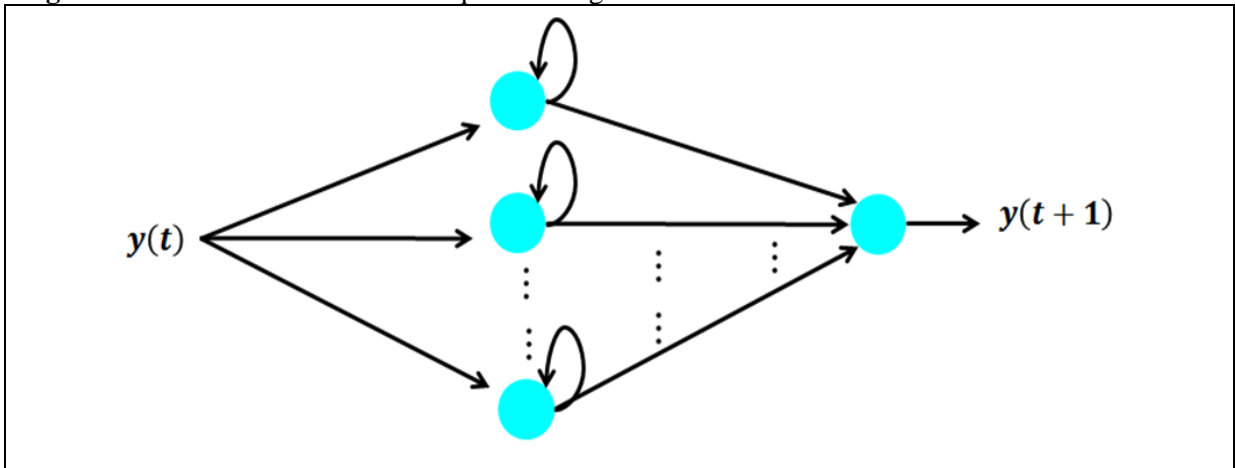
As ANNs foram aplicadas como ferramenta de modelagem confiável para a previsão de geração de resíduos durante diferentes épocas, em estágios de curto, médio ou longo prazo, com base no erro relativo absoluto e coeficientes de correlação (ZADE; NOORI, 2008).

As ANNs compreendem estruturas de modelo inspiradas na forma de organização das redes neurais biológicas, tendo como unidade básica de processamento o neurônio artificial (KALHOR *et al.*, 2016). As predições de ANN são utilizadas para subsidiar o planejamento urbano e a gestão municipal urbana na tomada de decisão de RSU. Os trabalhos de Abbasi e El Hanandeh (2016) e ABUNAMA *et al.* (2018) focaram na previsão e gerenciamento de projetos e operação de sistemas de coleta e aproveitamento de RSU. Para previsão de modelos que apresentavam poucos dados de entrada, faz-se referência aos trabalhos de pesquisa de Antanasijević *et al.* (2013), Adamović *et al.* (2018) e Singh *et al.* (2018), que desenvolveram previsão de curto prazo usando ANN.

A rede neural recorrente (RNN) é uma classe de redes neurais que apresenta retroalimentação de sinais e, portanto, oferece a possibilidade de representação dinâmica, enquanto as redes *feedforward* são estruturas essencialmente estáticas. Como as RNNs incluem *loops*, elas podem armazenar informações ao processar novas entradas. Essa memória as torna ideais para extração de conhecimento em séries temporais (MIKKULAINEN *et al.*, 2019).

As redes de Elman são um tipo específico de RNN no qual a saída de cada neurônio intermediário é retroalimentada no próprio neurônio apenas (LIU *et al.*, 2018; RUIZ *et al.*, 2018). Isto é, conforme Figura 9, a rede de Elman funciona com uma quantidade genérica de neurônios intermediária usada para efetuar a autoregressão de um sinal predizendo valores no futuro  $y(t + 1)$  a partir de valores passados  $y(t)$ .

**Figura 9** - Rede de Elman com uma quantidade genérica de neurônios intermediários



De forma geral, as RNN têm a capacidade de manter a memória interna com *feedback* e suportar o comportamento temporal (CHE *et al.*, 2018) mas possuem o clássico problema de desaparecimento ou explosão do gradiente e dificuldade de armazenamento de memória de longo prazo (HOCHREITER; SCHMIDHUBER, 1997).

Os modelos de previsão de cenários para a GRSU são importantes para o planejamento e a destinação dos RSU. Nas próximas seções, serão mostradas como funciona o metabolismo socioeconômico dos ELTs e as estratégias para previsões de fluxos de ELTs desconhecidos em uma cidade. O trabalho é uma simulação do comportamento socioeconômico da fonte geradora e das medidas para garantir continuidade no fornecimento de ELTs, bem como manter a cidade ambientalmente segura.

## 2.5 CONCLUSÕES PARCIAIS DO CAPÍTULO 2

Estas diferentes abordagens teóricas apresentadas na literatura, desenvolvidas para contabilizar o SEM, obedecem a uma relação sistêmica de entradas e saídas de informações. É este princípio que orienta a gestão das cidades inteligentes. Os materiais podem e devem ser reaproveitados e transformados para atender demandas contínuas da sociedade, que muda a cada geração. Entretanto, os trabalhos levantados na revisão da literatura não apresentam uma

discussão sobre os fatores socioeconômicos que estão implícitos no consumo do produto, no ciclo de vida – dada uma utilidade marginal – e na destinação final do resíduo.

As referências pesquisadas que tratam do SEM, considerando todos os problemas da GRSU, não compreendem o SEM, que está implicitamente presente nos RSU. Especificamente, os ELTs, entre outros resíduos inertes, têm limitações da logística reversa, sobretudo em relação a lenta decomposição. Isso justifica uma modelagem que reconheça e quantifique as melhores estimativas e considerem os fatores socioeconômicos. Os modelos existentes de quantificação de RSU não avaliam conjuntamente as variáveis objetivas e subjetivas. Os autores que desenvolveram os modelos de mensurações de abordagem híbrida têm problemas de equivalência de unidades de medição, quando fazem comparações dos resultados das modelagens. Eles questionam ao longo dos seus achados a possibilidade de quantificar as variáveis subjetivas que fazem parte dos fatores socioeconômicos.

Na revisão da literatura, não foram identificados modelos que mensurem as variáveis objetivas (métricas) e subjetivas (não métricas). Os modelos existentes adotam a lógica de entradas e saídas de material, que compreende uma matriz de insumo e produto. Portanto, o estudo do SEMw permite sugerir uma métrica que envolva variáveis distintas, tal como o paradigma das variáveis objetivas e subjetivas. O estudo do SEMw, diferentemente do padrão do SEM original, propõe uma análise considerando as diferentes variáveis que estão no pneu em fim de vida (ELTs). Os ELTs, além das dificuldades apontadas, também são um material que tem diversas aplicações econômicas, seja numa indústria, bem como nas atividades domésticas.

Na revisão da literatura, também não foi identificado um modelo que implique discutir os fluxos de materiais com os fatores socioeconômicos. A modelagem de equações estruturais (MEE), assim como uma previsão dos ELTs não contabilizados, é uma contribuição para melhoria das avaliações da GRSU, bem como para recomendar ações de políticas públicas de saneamento.

Os fatores socioeconômicos serão apresentados nos próximos capítulos em duas abordagens metodológicas para analisar o SEMw. No capítulo 4, os fatores socioeconômicos são percebidos por meio de uma previsão dos fluxos de ELTs não contabilizados (fluxos desconhecidos). Os fluxos não contabilizados são compreendidos por meio de deduções microeconômicas do ponto de vista do consumidor, ou seja, da frota de veículo monitorada pelos bancos de dados do DENATRAN, e do ponto de vista do mercado varejista de pneus novos, mostrados nas estatísticas do IBGE. No capítulo 5, é elaborado um diagrama de caminho, de acordo com hipóteses comportamentais testadas na cidade do estudo de caso, por

meio de questionários com variáveis métricas e não métricas dos fluxos de materiais e dos fatores socioeconômicos, analisados por uma MEE.

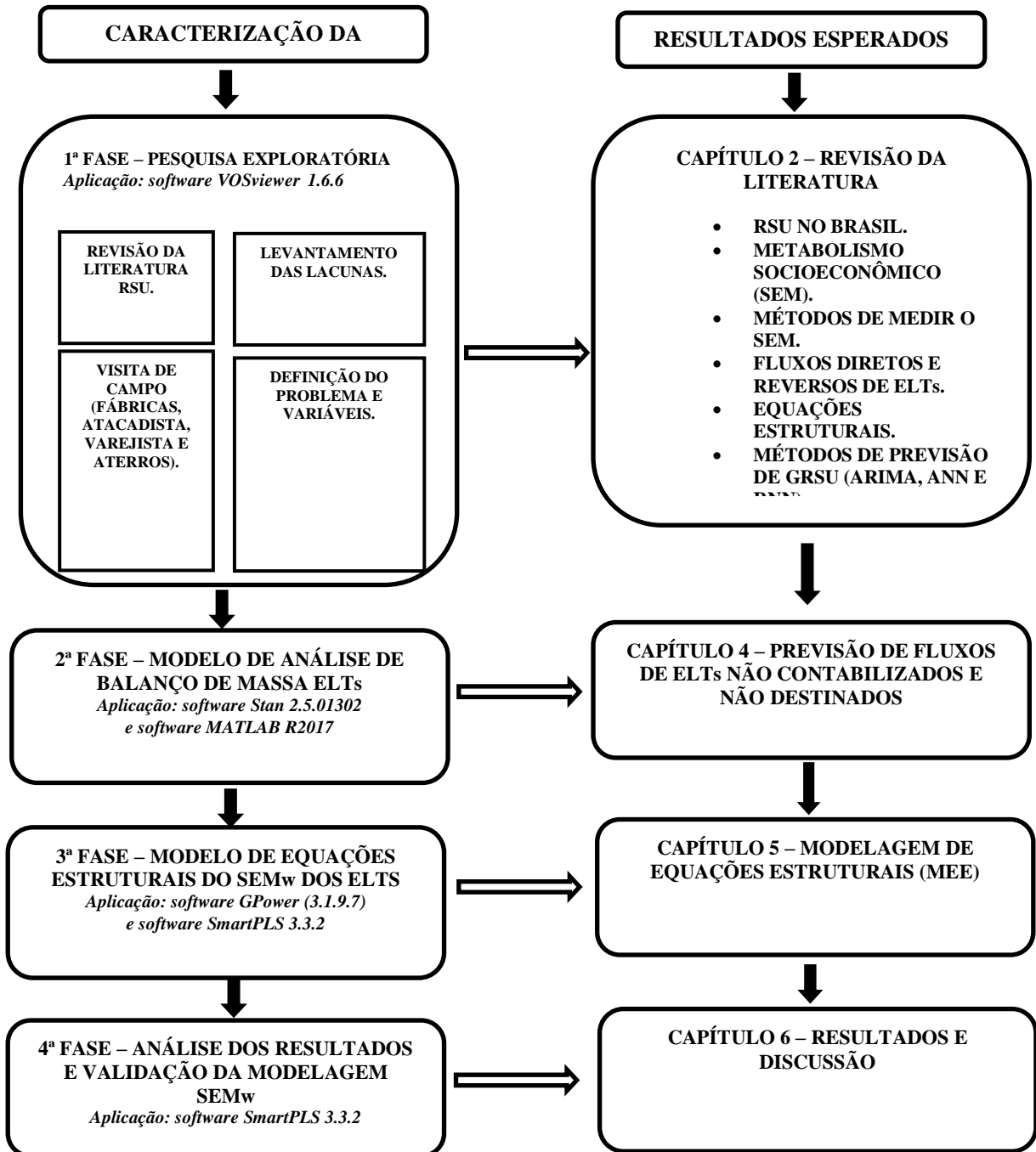
### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa da tese foi classificada como exploratória quanto aos objetivos, qualitativa e quantitativa quanto à abordagem e à natureza do processo. Foi adotado o paradigma dedutivo para tratamento de informações/dados de fonte primária e secundária conforme estão descritas as entradas e saídas no fluxograma, que representa as fases de investigação e a correspondência com os capítulos da tese (Figura 10).

Na Figura 10, as fases do projeto de modelagem são apresentadas, caracterizadas e desenvolvidas por meio de procedimentos e software para avaliação do modelo do metabolismo socioeconômico (SEMw), e os resultados esperados são apresentados por capítulos. Cada fase representa uma ação do modelo, que pela complexidade são desenvolvidos procedimentos, através de informações teóricas e práticas, de acordo com as visitas de campo, entrevistas e aplicações de questionários socioeconômicos em dois momentos na cidade do estudo. Na 1ª fase, que representa a fase de exploração das informações, o objetivo foi aplicar um questionário socioeconômico na cidade de Vitória da Conquista e definir o problema da pesquisa e as variáveis técnicas (métricas) e sociais (não métricas), de acordo com informações teóricas sobre GRSU. O 2º questionário, o *survey*, foi aplicado para levantamento do banco de dados da sociedade para o sistema de GRSU, que mede a influência das variáveis sociais (não métricas) através de escala categórica (1 – baixa importância a 5 – muito importante). Essa fase, em função do volume de informações teóricas e práticas levantadas, resultou na elaboração da revisão da literatura (2º capítulo).

Nas 2ª, 3ª e 4ª fases subsequentes, seguindo a mesma lógica da fase anterior de explorar dados e informações, foram usadas as interfaces de modelagens através de deduções microeconômicas dos bancos de dados para estimativas de balanço de massa e previsão dos fluxos desconhecidos não contabilizados, que não estão disponíveis para análise da GRSU. Em seguida são realizadas as suposições teóricas através de hipóteses para análise confirmatória da modelagem. Os testes de confiabilidade e validade do modelo de medição e estrutural são usados para o ajuste da MEE e para a análise dos resultados.

**Figura 10** - Fases da pesquisa



### 3.1 FASES DA INVESTIGAÇÃO

#### 3.1.1 Levantamento do Estado da Arte

Na 1ª fase, foi realizada a pesquisa exploratória para levantamento do estado da arte, a identificação das variáveis qualitativas por meio de estudos bibliométricos de periódicos

(bases de dados da *Web of Science*, *SCOPUS*, *Compendex*, *Science direct*, *Google acadêmico*) e fichamentos de dissertações teses dos repositórios de instituições de ensino superior, livros e anais de congressos. Estas informações compõem o capítulo 2, fundamentação teórica, que foi elaborado a partir de cruzamento de palavras-chaves e referências levantadas em periódicos (Tabela 2).

**Tabela 2** - Estudos bibliométricos iniciais

VARIÁVEIS	REFERÊNCIAS														Total
	(Chang, 2006)	(Ramírez et al., 2001)	(Lili et al., 2013)	(Blumenthal, 2015)	(Lagarinhos e Tenório, 2013)	(Dhouib, 2014)	(Pehlken et al., 2014)	(Dekker, 2001)	(Chandra et al., 2015)	(Li et al., 2015)	(REVELO G, 2010)	(ANIP, 2010)	(SEI, 2015)	(CIAM, 1993)	
	Taiwan		China	Estados Unidos	Brasil	Tunisia				China		Brasil	Brasil	Estados Unidos	
CUSTOS	√			√						√					3
RESOLUÇÕES CONAMA 258/99 e 416/09					√							√			2
PIB	√					√						√	√		4
RECICLAGEM CENTRALIZADA			√							√					2
ALGORÍTIMO GENÉTICO					√										1
CONSUMO	√	√			√										3
CICLO DE VIDA (LCA)			√							√					2
CICLO DE VIDA INSUMO PRODUTO			√												1
TANGIBILIDADE				√											1
MCDA - MACBETH						√									1
MODELO ECONÓMICO	√														1
ANÁLISE ECONÓMICA E ECONOMÉTRICA	√							√	√						3
LOGÍSTICA REVERSA					√		√			√				√	4
BARREIRAS FÍSICAS									√						1
MODELO DE GESTÃO	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	13
MODELO SISTÊMICO											√				1
MERCADO DE REPOSIÇÃO					√										1
ATERROS, LIXÕES...					√							√			2
ANÁLISE COMPARATIVA					√										1
ANÁLISE DE CUSTO E BENEFÍCIOS										√					1
INDICADORES ECONÓMICOS	√		√												2
TOTAL	8	2	5	3	8	3	3	2	3	5	2	4	2	2	50

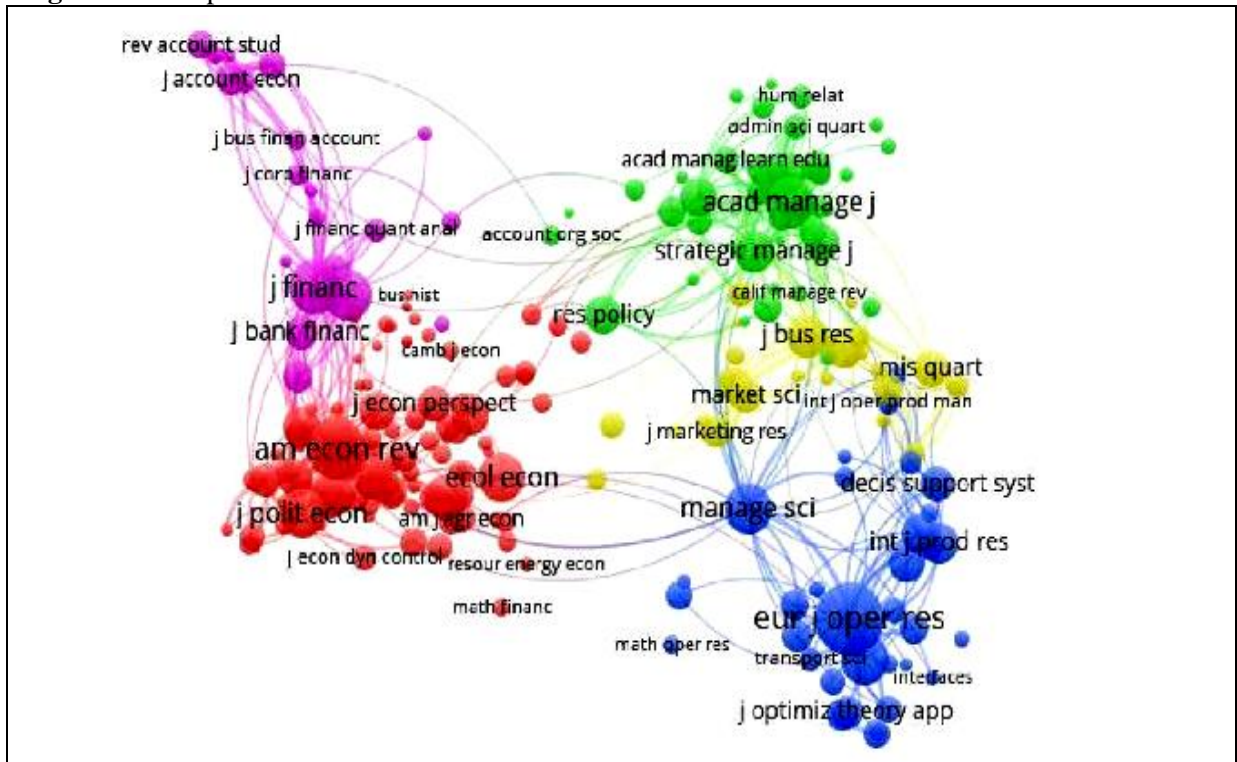
Dada a limitação da pesquisa inicial de base de dados através da sistematização em planilha eletrônica e cruzamentos de palavras-chaves, foi utilizado o software *VOSviewer version 1.6.6* para determinar as regiões de maior e menor densidade da produção científica do estudo bibliométrico (Figura 11). No mapa foi escolhido a região de maior densidade de pesquisa, considerando as áreas correlatas a economia conforme as publicações em periódicos na cor vermelha em destaque.

A partir de sumarização dos mapas criados na rede de dados foi possível explorar os conteúdos dos temas da pesquisa e definir o tema do “Metabolismo Socioeconômico”. Na revisão da literatura, a pesquisa exploratória foi definida em três fases: para os últimos 20



anos; depois foram definidos filtros para os últimos 10 anos; e finalizou com os últimos 5 anos para atualização do estado da arte.

**Figura 11** - Mapa do estudo bibliométrico



Fonte: VOSviewer version 1.6.6

As variáveis técnicas obtidas no estudo foram submetidas à validação por especialista em RSU. As variáveis socioeconômicas foram levantadas conforme investigação de campo, que foi processada por meio de questionários semiestruturados.

### 3.1.2 Pesquisa socioeconômica

Para validar as informações teóricas levantadas no estado da arte, foram realizadas visitas técnicas de campo em dois períodos distintos na cadeia direta de suprimento direta de pneus (empresas atacadistas e varejistas) da cidade de Vitória da Conquista. Na cadeia reversa de ELTs foram realizadas visitas programadas nas empresas reformadoras de pneus de caminhões e ônibus, borracharias e empresas de reciclagem que vendem materiais secundários para construção civil. As visitas dos fabricantes de pneus foram realizadas no polo termoplástico de Camaçari – Bahia de acordo com programações eventuais do setor de relacionamento com a sociedade. O sistema de logística reversa de ELTs da cidade foi

investigado até a destinação final de ELTs. Os ELTs gerenciados pela Reciclanip são destinados para empresas de reciclagem situadas na região metropolitana de Salvador para ser transformadas em *chips de ELTs* e depois destinação final queima em fornos de cimenteiras como substituição térmica.

Portanto, as variáveis técnicas observadas na cadeia direta de suprimentos foram definidas nas visitas de campo e nos cruzamentos de informações com a literatura técnica. As variáveis sociais foram identificadas nos trabalhos científicos e nas entrevistas com especialistas da GRSU, entre outros atores entrevistados do estudo de caso. A técnica adotada para seleção das variáveis qualitativas e quantitativas da modelagem de equações estruturais foi através de entrevistas com aplicação de questionário socioeconômico semiestruturado e estruturado (Apêndice A).

Em relação às variáveis técnicas do mercado de reposição de pneus, as empresas vinculadas à Associação Nacional das Indústrias de Pneus (ANIP), a exemplo dos fabricantes Pneus Continental, Pirelli, Michelline e importadoras de pneu, não disponibilizam informações do volume de venda, tipos de pneus vendidos e processo de logística reversa conforme regras estabelecidas pelas resoluções do CONAMA. A empresa Reciclanip é interlocutora e executora da logística reversa. Esta empresa também foi visitada (escritório de São Paulo) para conhecimento dos detalhes técnicos e econômicos da destinação final, mas, como nas outras, os controles da logística reversa de ELTs não são de fácil acesso.

### 3.1.2.1 Entrevista da cadeia de suprimento de pneus

A entrevista na cadeia de suprimento da cidade foi realizada em dois momentos no ano de 2016. As empresas atacadistas e varejistas apresentaram dificuldades no fornecimento de informações fidedignas, devido à falta de interlocução entre os atores que compõem a cadeia. O maior problema para obtenção das informações estava na indefinição das fronteiras da logística reversa. As regras da Responsabilidade Estendida do Produtor (REP) *Extended Producer Responsibility*<sup>3</sup> – estabelecida pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) não era praticados pelos responsáveis. Para minimizar o ruído das informações desencontradas foram realizadas entrevistas com reformadoras de pneus e borracharias da cidade do estudo de caso para entender as operações da logística reversa e estimar por meio de aproximação linear a quantidade de ELTs. Ver cronograma da visita do Quadro 5.

---

<sup>3</sup> É uma estratégia de mercado destinada a promover a integração dos custos ambientais associados com os produtos ao longo da sua vida (OCDE 1999).

**Quadro 5** - Cronograma de atividades Comércio e Serviços

Comércio e serviço	Atividades	Qt	Amostra	Coleta de dados	30/out	31/out	01/nov	06/nov	07/nov	08/nov	09/nov	10/nov	13/nov	14/nov
									X	X				
	Comércio de pneus varejista	78	14	Formulário					X	X				
	Comércio de pneus atacadista	9	1	Formulário					X	X				
	Comércio de pneus varejo e serviços	12	2	Formulário					X	X				
	Borracharias	150	30	Formulário					X	X				
	Reformadoras de pneus usados	22	5	Formulário					X	X				

### 3.1.2.2 Entrevista com gestores públicos

Para ampliar o conhecimento sobre o comportamento socioeconômico da cidade foram realizados acordos de cooperação técnica e científica com os técnicos e especialistas de RSU da Secretaria de Meio-Ambiente e da Secretaria de Infraestrutura. Os documentos no acervo das secretarias da prefeitura foram disponibilizados para consulta, e como contrapartida os trabalhos científicos desenvolvidos (artigos) foram repassados para os interessados. Estas atividades foram realizadas conforme cronograma de entrevistas do Quadro 6.

**Quadro 6** - Cronograma de atividades nas Secretarias

Secretarias	Atividades	Secretário	Contato	Coleta de dados	30/out	31/out	01/nov	06/nov	07/nov	08/nov	09/nov	10/nov	13/nov	14/nov
					X	X								
	Serviço público	Esmeraldino Correia	Márcia Moraes	Entrevista	X	X								
	Semma	Luzia lucia V. Oliveira	Jamerson	Entrevista	X	X								
	Finanças	Luiz Otávio S. Borges	Regis Barreto	Entrevista	X	X								
	Infraestrutura	José Antonio J. Vieira		Entrevista	X	X								
	Saúde	Ceres Almeida	Thatiane S. Santos	Entrevista	X	X								
	Desenvolvimento econômico	Claudio Cardoso	João Paulo	Entrevista	X	X								

A falta de histórico e dados consistentes para fazer uma avaliação preliminar dos fluxos de ELTs da cidade foi resolvida através de deduções de banco de dados da frota de veículos do DENATRAN e relatório anual de venda a varejo do IBGE. Os fluxos de ELTs conhecidos (contabilizados na pesagem) registrados há mais de 10 anos nos controles do aterro sanitário formaram a base de dados iniciais para realização de deduções e estimações do balanço de massa. Na investigação foram detectados desvios de rota dos fluxos de ELTs, que foram denominados como os fluxos desconhecidos de ELTs. Esses fluxos de ELTs são destinados

incorretamente para os leitos dos rios, adensados no aterro sanitário e/ou em região remota da cidade, ou até armazenados em armazéns clandestinos.

O acervo de informações socioeconômicas sobre ELTs foi obtido através de levantamento de registros da campanha da dengue da Secretaria de Serviços Gerais e da Secretaria Municipal de Saúde Pública que possuíam registros desde 2010. Na Secretaria de Finanças, foram levados os CNAEs das empresas de cadeia direta de suprimento para realização de visitas e entrevistas de campo. Na Secretaria do Meio Ambiente, foram levantados os condicionantes para a GRSU por tipologia de resíduos. Nos ELTs eram acondicionados por lotes de 4000 unidades para destinação por meio das carretas bitrem de 8 eixos da Reciclanip. As variáveis desse processo foram confirmadas na literatura e através das entrevistas com técnicos da Reciclanip no escritório de São Paulo. As informações da logística reversa de ELTs detectadas pela Reciclanip são bases para elaboração do relatório anual de pneumáticos do IBAMA.

### 3.1.2.3 Entrevista no ambiente acadêmico

No ambiente acadêmico, foram realizadas entrevistas no departamento de ciências sociais aplicadas da Universidade Estadual do Sudoeste Bahia (UESB), mas o alcance foi insatisfatório. Nas instituições privadas de ensino superior da cidade de Vitória da Conquista não foram encontradas informações sobre o saneamento básico. As visitas foram realizadas conforme o cronograma do Quadro 7.

**Quadro 7** - Cronograma de atividades nas Universidades

Universidades	Atividades	Qt	Amostra	Coleta de dados	30/out	31/out	01/nov	06/nov	07/nov	08/nov	09/nov	10/nov	13/nov	14/nov
	Privadas	10	10	Formulário							x	x		
	Públicas	2	2	Formulário							x	x		
	Centros tecnológicos	1	1	Formulário							x	x		

### 3.1.2.4 Entrevista com comissões parlamentar municipal

No ambiente político da cidade, foram entrevistados líderes das comissões de meio ambiente, comissão de obras e serviços públicos, entre outras comissões, para levantar informações subjacentes sobre projetos do plano municipal de resíduos sólidos que contemplasse os fatores socioeconômicos da cidade, investimento público, planejamento

urbano e da infraestrutura para o saneamento básico. As entrevistas com as comissões foram realizadas conforme cronograma do Quadro 8.

**Quadro 8 - Cronograma de atividades na Câmara dos Vereadores**

Vereadores	Atividades	Presidente	Membros	Coleta de dados	30/out	31/out	01/nov	06/nov	07/nov	08/nov	09/nov	10/nov	13/nov	14/nov
	Comissão do meio ambiente	Ademilton	A definir	Entrevista			X	X						
	Comissão de obras e serviços públicos	Alvaro	A definir	Entrevista			X	X						
	Comissão de indústria, comércio e turismo	Dudé	A definir	Entrevista			X	X						
	Comissão de legislação e justiça	David	A definir	Entrevista			X	X						
	Comissão de saúde e assistência social	Viviane	A definir	Entrevista			X	X						

### 3.1.2.5 Entrevista com a sociedade

Para confirmar os principais fatores sociodemográficos do Censo 2010, foram verificados os documentos do Censo municipal, assim como foi realizada pesquisa de campo com aplicação de questionários socioeconômicos adotando amostragem acidental. Nesta tarefa foram realizadas cerca de 100 entrevistas na cidade. A pesquisa realizada, considerando a densidade populacional dos bairros do lado leste e oeste da rodovia BR-116 e poder de compra. Também foram aplicados questionários na rodoviária e aeroporto da cidade, segundo cronograma de campo do Quadro 9.

**Quadro 9 - Cronograma de atividades para os públicos diversos**

Público diverso	Atividade	Qt	Amostra	Coleta dados	30/out	31/out	01/nov	06/nov	07/nov	08/nov	09/nov	10/nov	13/nov	14/nov
	Lado oeste	A definir	A definir	Formulário	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Lado leste	A definir	A definir	Formulário	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Rodoviária	A definir	A definir	Formulário	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Aeroporto	A definir	A definir	Formulário	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

### 3.1.3 Modelagem matemática

Foi criado um modelo geral do metabolismo socioeconômico dos resíduos (SEMw) através de equações estruturais. Para apresentar a modelagem, optou-se em desenvolver o SEMw para um caso prático. A gestão de resíduos sólidos urbanos (GRSU) da cidade de Vitória da Conquista realiza registros diários da coleta e controle de pesagem de pneus em fim de vida (ELTs) para destinação final. Sua logística reversa é de responsabilidade da empresa

Reciclanip, de acordo com padrões normativos da CONAMA para cidade com mais de 100.000 habitantes.

Em função desse contexto, o procedimento de modelagem de equações estruturais (MEE) foi elaborado a partir dos fluxos de informações para a consecução do modelo de análise do SEMw para ELTs, conforme mostra a Figura 10. As informações dos fluxos do mercado de reposição e destinação dos fluxos de ELTs, levantadas nas visitas e no cruzamento de dados não eram conhecidas pela GRSU, dificultando a realização de um diagnóstico preliminar. Os fluxos de ELTs desconhecidos não contabilizados (fd1) apresentavam um grande problema socioeconômico e não existia uma base de dados fidedigna para estimação e previsão do balanço de massa de ELTs.

Na 2ª fase, foi realizado um balanço de massa preliminar no *software Stan 2.5.01302*. Para melhorar as estimativas do balanço de massa foi decidido desenvolver um modelo de análise de balanço de massa para previsão de ELTs, adotando a sistemática de deduções dos bancos de dados de fonte primária (controle de pesagem de ELTs do aterro sanitário). Os dados de fonte secundária foram levantados para identificar: o tamanho da frota de veículos, deduzido do acervo de controle estatístico do DENATRAN – Vitória da Conquista; os fluxos de venda mensais de pneus novos; e a variação de pneus em circulação na cidade, deduzidas controles de vendas a varejo do IBGE.

Essa abordagem metodológica tem a finalidade de prever por meio das metodologias ARIMA e ANN os fluxos de ELTs para 1 ano e ajudar na estimação da coleta urbana de ELTs. Esse procedimento metodológico está especificado em detalhes no capítulo 4 da tese. Nesta fase, serão apresentadas as estimativas do balanço de massa dos fluxos dinâmicos de ELTs, através de ajustes da série de informações quantitativas da realidade dos fluxos de pneus novos, e dos fluxos das destinações finais de ELTs, que é um problema socioeconômico conforme revisão da literatura. As informações socioeconômicas obtidas serão também adotadas nas etapas subsequentes da MEE.

Na 3ª fase, foi desenvolvida uma modelagem de equações estruturais (MEE) para analisar os fluxos ELTs do SEMw, explicada em detalhes no capítulo 5. A melhoria da destinação final de ELTs, do planejamento de RSU e da qualidade de vida da cidade depende como a sociedade compreende as atribuições da GRSU. Portanto, foi realizado um levantamento de informações através de questões (indicadores), respondendo em escala categórica o nível de importância e os possíveis efeitos. Essas questões/indicadores foram aplicadas a uma amostra aleatória da calculada no *software GPower*, conforme parâmetros

pré-estabelecidos, para levantar informações do nível de importância relacional dos fatores socioeconômicos, fatores técnicos (quantificáveis) e sociais (não quantificáveis).

Na 4ª fase que trata da análise dos resultados da pesquisa, as informações obtidas compõem o capítulo 6 da tese. Nesta etapa, espera-se estabelecer um ranque de prioridades, de acordo com os indicadores socioeconômicos e indicadores técnicos do estudo de caso, para elaborar um plano de ação da limpeza urbana. Para validar o trabalho da MEE em relação à destinação final de ELTs, foram realizadas visitas nas cimenteiras que usam os *chips* de ELTs na substituição térmica. Esta informação foi obtida conforme programa do Estágio Doutoral realizado na UFMG, no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA).

As informações sociodemográficas e socioeconômicas levantadas na pesquisa confirmam que as cidades que não têm plano municipal de resíduos sólidos têm dificuldade de fazer a destinação dos ELTs. Os ELTs das cidades são segregados nos armazéns dos aterros sanitários para destinação final com apoio logístico da Reciclanip, mas eventualmente são enterrados no aterro de acordo com decisão da GRSU.

No fluxograma, as 2ª e 3ª fases são recursivas, onde as informações obtidas alimentam o processo de aprendizagem da modelagem no capítulo 4 e 5 da tese. As 2ª e 3ª fases foram realizadas concomitantemente, sendo que as informações obtidas no levantamento de campo com aplicação de questionários semiestruturado e estruturados ajudam na concepção do banco de dados para previsão de cenários dinâmicos de fluxos de ELTs desconhecidos. Os resultados da MEE devem ser reavaliados constantemente porque os fatores socioeconômicos são dinâmicos.

#### **4 PREVISÃO DE FLUXOS DE ELTs NÃO CONTABILIZADOS E NÃO DESTINADOS**

Este capítulo apresenta o método adotado no artigo publicado no periódico “*Waste Management & Research*” com título (“*Forecasting of the unknown end-of-life tire flow for control and decision making in urban solid waste management: A case study*”)⁴. O objetivo deste trabalho foi prever os fluxos desconhecidos de ELTs com 12 meses à frente da cidade de Vitória da Conquista – Bahia, de acordo com a série histórica de 2014 a 2017. A previsão foi realizada antes da MEE do SEMw porque a delimitação e mapeamento dos fluxos de ELTs era o primeiro diagnóstico socioeconômico do trabalho de pesquisa de campo.

Os fluxos ELTs não contabilizados são estimados por sistemas convencionais (coletas eventuais de pneus inservíveis, através do programa de combate municipal, pesagem e armazenamento em galpões perto do aterro sanitário) de planejamento da GRSU e não representam a realidade local. O uso de banco de dados dos observatórios estatísticos oficiais (IBGE e DENATRAN) pode ajudar na melhor estimativa de cenários para ação de limpeza urbana e na tomada de decisão pela GRSU.

A previsão de ELTs não contabilizados nas cidades de pequeno e médio porte é um problema socioeconômico que pode ser estimado por meio de ajustes das séries temporais dos controles estatísticos da GRSU. O reaproveitamento dos ELTs contribui para o aumento da oferta de materiais secundários provenientes dos resíduos e para o desenvolvimento de atividades empreendedoras.

Portanto, a medição do SEMw depende do comprometimento da sociedade em relação à geração de renda, que define o padrão de consumo, e da forma que os resíduos de ELTs, entre outras tipologias de resíduos, são destinados corretamente.

---

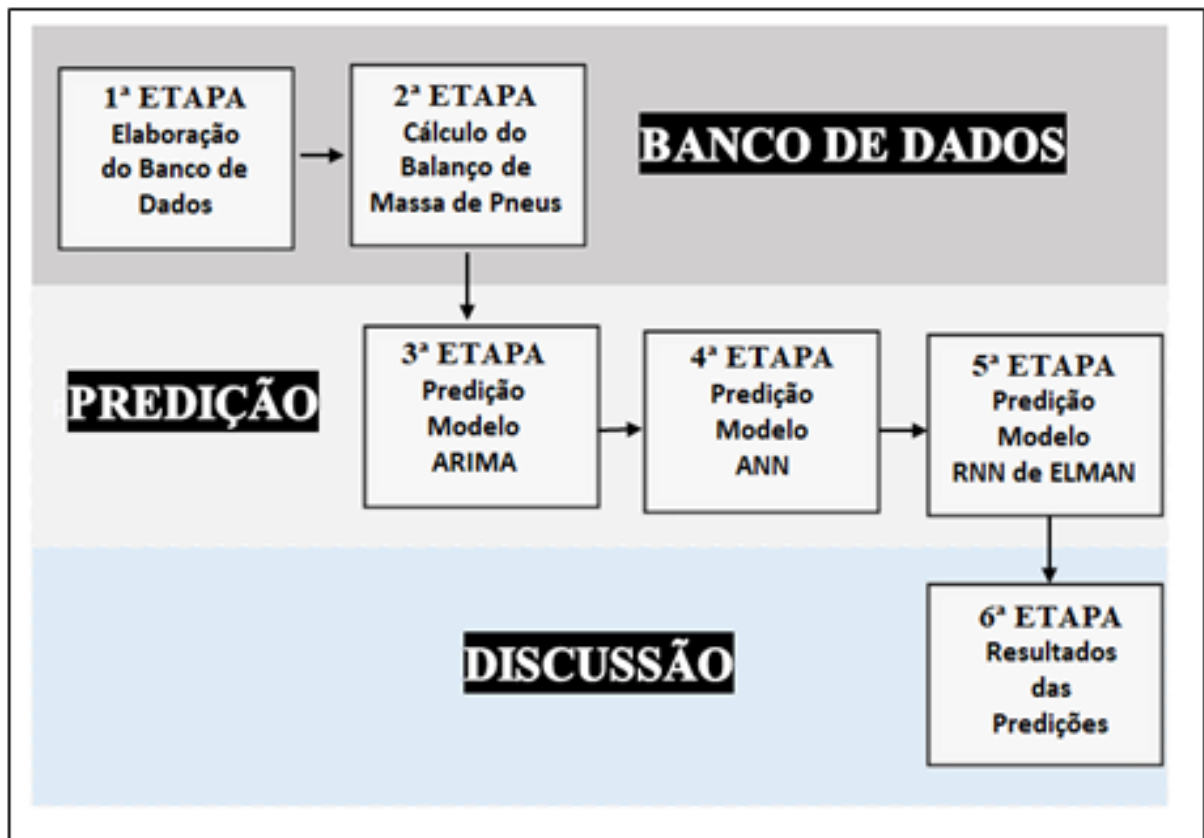
⁴ Autores: Euclides Santos Bittencourt, Cristiano Hora de Oliveira Fontes, Jorge Laureano Moya Rodriguez, Salvador Ávila Filho e Adonias Magdiel Silva Ferreira. **Waste Management & Research**, p. 1-9, 2019. Doi: 10.1177/0734242X19886919



#### 4.1 PROCEDIMENTOS: ELABORAÇÃO DE BANCO DE DADOS E PREVISÃO

O procedimento de previsão foi realizado em seis etapas consecutivas e tem o objetivo de levantar informações microeconômicas para preparação de banco de dados das séries históricas anuais, através de dados de venda e frota de veículos das estatísticas, respectivamente do IBGE e DENATRAN (Figura 12).

**Figura 12** - Etapas para previsão de ELTs

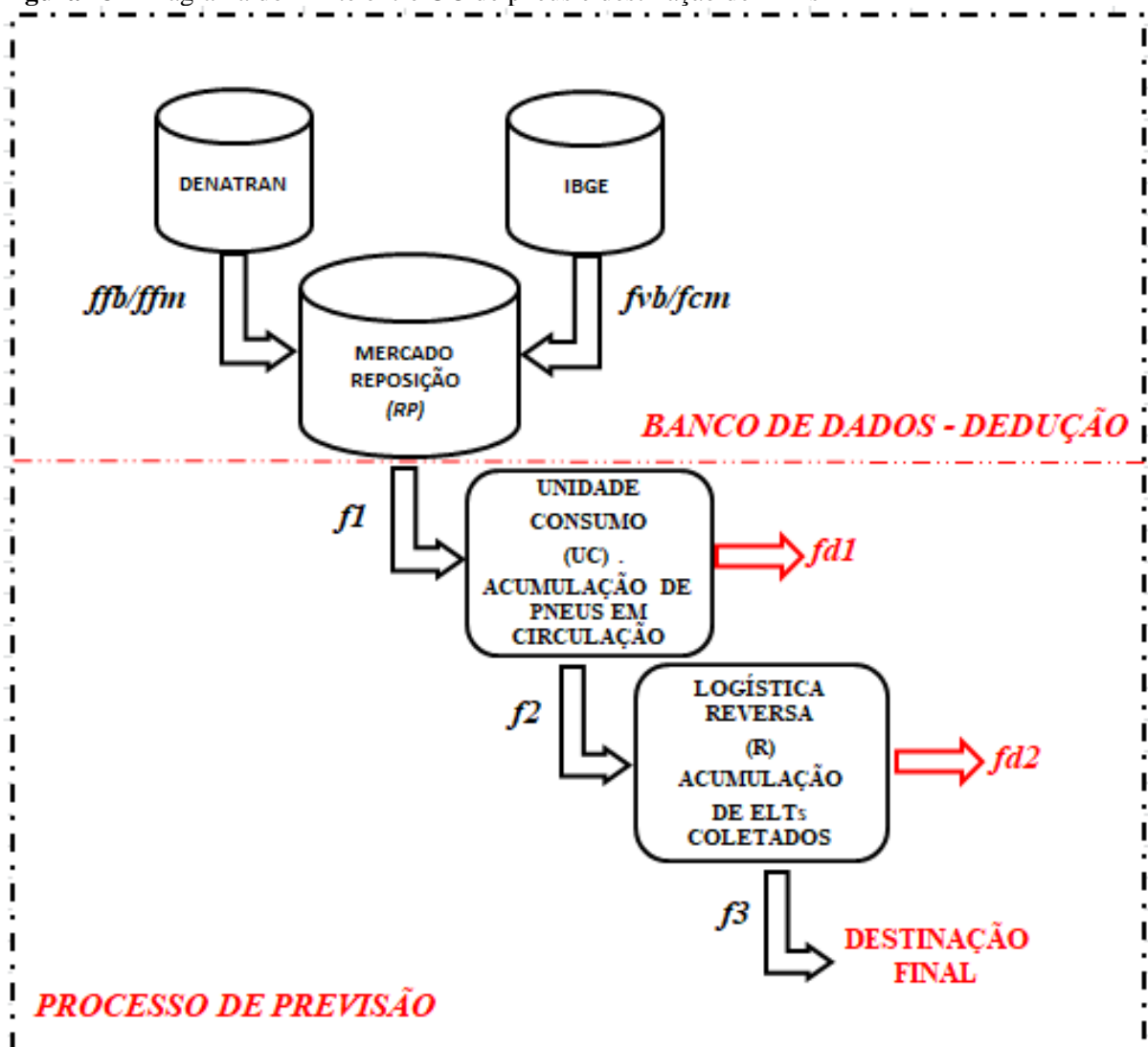


##### 4.1.1 1ª Etapa - elaboração do banco de dados

Na elaboração do banco de dados de ELTs foi definida a série histórica de 2014 a 2017, conforme registros de pesagem do aterro sanitário de Vitória da Conquista. O levantamento das informações adicionais do banco de dados seguiu o passo a passo do diagrama da Figura 13. Os dados adicionais foram obtidos das fontes primárias de instituições oficiais de controle estatístico (IBGE, 2016; DENATRAN, 2019) e Prefeitura Municipal de Vitória da Conquista. Este banco de dados foi deduzido por meio de análise exploratória dos informes estatísticos que norteiam a unidade de consumo (UC) e a logística reversa (LR) de uma cidade. Esta UC é

suprida por um mercado de reposição (MR) representado pelo fluxo ( $f1$ ) de pneus novos (produzidos e importados), que atende uma frota de veículos municipal ( $ffm$ ) a uma dada taxa de venda ( $fcm$ ). A UC acumula pneus ( $fac$ ) que circulam na cidade até serem coletados pela LR ( $f2$ ) na forma de ELTs para armazenamento ( $faq$ ) e, posteriormente, destinados ( $f3$ ) como materiais secundários para reaproveitamento, reciclagem, entre outros fins econômicos. Os ELTs não contabilizados ( $fd1$ ) e não destinados ( $fd2$ ) são desconhecidos pela gestão da limpeza urbana. Eles são decorrentes de fatores culturais, sociais e econômicos.

**Figura 13** - Diagrama do limite entre UC de pneus e destinação de ELTs



Inicialmente foi elaborado o procedimento de cálculo dos fluxos de ELTs não contabilizados, usando o software Microsoft Excel® (Quadro 10).

**Quadro 10** - Procedimento de cálculo dos fluxos de ELTs não contabilizados

Obs	Frota de carros Brasil (un) ( $ffb_i$ )	Frota de automóveis (un) ( $ffm_i$ )	Pneus para venda no Brasil (ton) ( $fvb_i$ )	Pneus em circulação no Município (ton) ( $fc m_i$ )	ELTs coletados na cidade e contabilizados (ton) ( $f2_i$ )	Novo mercado de substituição de pneus (ton) ( $f1_i$ )	Acumulação de Pneus em Circulação (ton) ( $fac_i$ )	ELTs não contabilizados (ton) ( $fd1_i$ )
1	$ffb_1$	$ffm_1$	$fvb_1$	$fc m_1$	$f2_1$	$f1_1$	$fac_1$	$fd1_1$
2	$ffb_2$	$ffm_2$	$fvb_2$	$fc m_2$	$f2_2$	$f1_2$	$fac_2$	$fd1_2$
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
48	$ffb_{48}$	$ffm_{48}$	$fvb_{48}$	$fc m_{48}$	$f2_{48}$	$f1_{48}$	$Fac_{48}$	$fd1_{48}$
$\Sigma$					$\Sigma f2$	$\Sigma f1$	$\Sigma fac$	$\Sigma fd1$

Em seguida foi realizado o cálculo do fluxo de ELTs não contabilizados ( $fd1$ ), que é resultante das equações deduzidas da frota de veículos municipal ( $ffm$ ) e da taxa de venda de pneus novos ( $fc m$ ).

Na equação 4, a variável do mercado de reposição ( $f1$ ) foi deduzida por meio da análise exploratória dos relatórios anuais de trânsito, da frota de veículos nacional e municipal ( $ffb$  e  $ffm$ ). Os dados de venda de pneus novos ( $fvb$  e  $fc m$ ) foram obtidos dos registros dos indicadores do volume de vendas do comércio varejista ampliado (IBGE, 2016).

$$\Sigma f1_i = \Sigma_{i=1}^n \frac{fvb_i}{ffb_i} ffm_i, \quad (4)$$

onde,  $\Sigma f1_i$  é a soma do valor total do Mercado de Reposição e  $n$  é o número de observações da série histórica.

O resultado do cálculo de  $f1$  foi comparado, para ajustes, com o relatório anual de pneumáticos do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 2014, 2015, 2016, 2017).

Posteriormente, para obter o valor do fluxo acumulado de pneus em circulação ( $fac$ ) foi calculada a variação entre os meses da série histórica por meio da equação 5. Os dados dos fluxos da variável de ELTs contabilizados ( $f2$ ) foram consultados nos registros da Secretaria de Limpeza Urbana da cidade do estudo de caso.

$$\Sigma fac_i = \Sigma \frac{d(fac_i)}{d(t)}, \quad (5)$$

onde, o valor  $\Sigma fac_i$  é a soma das diferenças do acumulado de pneus em circulação na UC, no mês atual ( $t_i$ ) e no mês anterior ( $t_{i-1}$ ).

O banco de dados obtido para previsão de ELTs não contabilizados ( $fd1$ ) foi calculado na equação 6. O resultado dependeu do cálculo  $f1$  e  $fac$ .

$$\sum fd1_i = \sum(f1_i - fac_i - f2_i), \quad (6)$$

onde,  $\sum fd1_i$  é o total do fluxo de ELTs não contabilizados.

Para confirmar os dados da variável (f2), foi realizada uma análise comparativa com os relatórios anuais da RECICLANIP, entidade gestora do sistema de Logística Reversa de pneus inservíveis, para ajustes do fluxo de ELTs contabilizados (RECICLANIP, 2014, 2015, 2016, 2017).

O procedimento de cálculo dos fluxos de ELTs não destinados (Quadro 11) foi elaborado usando a mesma metodologia dos fluxos de ELTs não contabilizados. Os fluxos de ELTs contabilizados (f2) são coletados na RL para destinação final (f3).

**Quadro 11** - Procedimento de cálculo do fluxo de ELTs não destinados

Obs.	ELTs Coletados e Contabilizados (f2 <sub>i</sub> )	Acumulação de ELTs (faq <sub>i</sub> )	Destinação Final (f3 <sub>i</sub> )	ELTs não destinados (fd2 <sub>i</sub> =f2 <sub>i</sub> -faq <sub>i</sub> -f3 <sub>i</sub> )
1	f2 <sub>1</sub>	faq <sub>1</sub>	f3 <sub>1</sub>	fd2 <sub>1</sub>
2	f2 <sub>2</sub>	faq <sub>2</sub>	f3 <sub>2</sub>	fd2 <sub>2</sub>
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
48	f2 <sub>48</sub>	faq <sub>48</sub>	f3 <sub>48</sub>	f2 <sub>48</sub>
Σ	Σf2	Σfaq	Σf3	Σfd2

O fluxo do acúmulo de ELTs (faq) é armazenado, diminuindo ou aumentando o estoque de ELTs no armazém da LR, equação 7.

$$\sum faq_i = \sum \frac{d(faq)}{d(t)}, \quad (7)$$

onde, o valor  $faq_i$  é a soma das diferenças entre o acumulado de ELTs da LR no mês atual ( $t_i$ ) e no mês anterior ( $t_{i-1}$ ).

No cálculo dos fluxos de ELTs não destinados foi levada em consideração a variação de ELTs (fac) no armazém, conforme Figura 13.

O fluxo de ELTs não destinados corretamente (fd2) é calculado conforme equação 8. O fluxo de ELTs destinados (f3) ocorre mensalmente conforme controle de pesagem dos caminhões no armazém da RL.

$$\sum fd2_i = \sum(f2_i - faq_i - f3_i), \quad (8)$$

onde,  $fd2_i$  é o total de ELTs não destinados corretamente.

#### 4.1.2 2ª Etapa - cálculo do balanço de massa de pneus

O balanço de massa de pneus foi consolidado com o fluxo do mercado de reposição  $f1_i$  e os fluxos de ELTs destinados  $f3_i$  para diversos fins econômicos, conforme mostra a Figura 13.

A equação 9 apresenta o balanço de massa, considerando que  $f2$  foi contabilizado e destinado para o armazém.

$$F_p = \sum_i^n f1_{i,t} - \left( \sum_i^n \frac{d(fac)}{d(t)}_{i,t} + \sum_i^n f2_{i,t} + \sum_i^n fd1_{i,t} \right) \quad (9)$$

A equação 10 se refere a uma parte do fluxo  $f2$  que não teve a destinação final correta no armazém.

$$\sum_i^n f2 = \sum_i^n \frac{d(faq)}{d(t)}_{i,t} + \sum_i^n f3_{i,t} + \sum_i^n fd2_{i,t}, \quad (10)$$

A equação 11 apresenta o balanço de massa consolidado, considerando os fluxos de ELTs contabilizados e destinados.

$$F_p = \sum_i^n f1_{i,t} - \left( \sum_i^n \frac{d(fac)}{d(t)}_{i,t} + \sum_i^n \frac{d(faq)}{d(t)}_{i,t} + \sum_i^n f3_{i,t} + \sum_i^n fd1_{i,t} + \sum_i^n fd2_{i,t} \right), \quad (11)$$

#### 4.1.3 3ª Etapa - previsão ARIMA

A equação 12 mostra a estrutura ARIMA, que consiste em um modelo linear e compreende a superposição de uma parcela autorregressiva (AR) de ordem  $p$  e uma parcela de médias móveis (MA) de ordem  $q$ :

$$y_t = a_0 + a_1 \cdot y_{t-1} + \dots + a_p \cdot y_{t-p} + e_t + b_1 \cdot e_{t-1} + \dots + b_q \cdot e_{t-q} \quad (12)$$

A parcela autorregressiva compreende a regressão da variável de processo ( $y$ ) a partir de seus próprios valores passados ( $y_{t-1}, \dots, y_{t-p}$ ) e a parcela *Moving Average* (MA) estabelece que o erro da regressão seja uma combinação linear do erro atual ( $e_t$ ) (no instante  $t$ ) e de um número finito de erros de previsão em instantes passados ( $e_{t-1}, \dots, e_{t-q}$ ). A estrutura ARIMA

consiste na aplicação de um fator diferenciador (*dth* diferença reversa da variável de processo  $y$ ) que estima os parâmetros do modelo  $(a_0, a_1, \dots, a_p, b_1, \dots, b_q)$  a partir das diferenças entre os valores da variável  $y$ , ao invés dos seus valores originais. Assim, tem-se que (equação 13):

$$\begin{aligned}\nabla y_t &= y_t - y_{t-1} \\ \nabla^2 y_t &= \nabla y_t - \nabla y_{t-1} = \nabla(\nabla y_t).\end{aligned}$$

Generalizando:

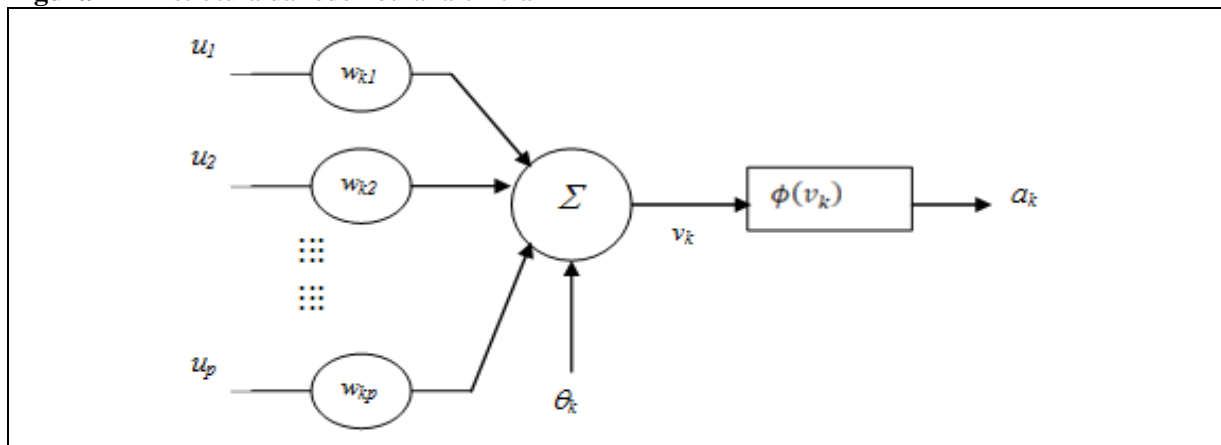
$$z_{t=}\nabla^d y_t = \nabla^{d-1} y_t - \nabla^{d-1} y_{t-1} = \nabla(\nabla^{d-1} y_t) \quad (13)$$

A ordem da diferenciação ( $d$ ) é escolhida a priori (juntamente com as ordens  $p$  e  $q$ ) e deve ser suficiente para tornar o processo estacionário. O caráter não estacionário de séries temporais é uma característica verificada no comportamento dinâmico de fluxos associados aos RSU.

#### 4.1.4 4ª Etapa - aplicação do método de previsão de rede neural artificial (ANN)

Foi aplicada a estrutura da rede neural artificial (ANN), que processa uma soma ponderada de sinais de entrada, de acordo com uma função de ativação, e gera um sinal de saída (Figura 14).

**Figura 14** - Estrutura da rede neural artificial



Fonte: adaptada de Kovács (2002)

Na Figura 14,  $u_1, \dots, u_p$  são sinais de entrada do neurônio  $k$ ,  $w_{k1}, \dots, w_{kp}$  são os pesos sinápticos associados ao neurônio  $k$  e, juntamente com  $\theta_k$ , constituem parâmetros a serem estimados.

A função sigmoide é bastante adotada como função de ativação, principalmente nos neurônios da camada oculta ou intermediária da ANN. Esta função é não linear, contínua, limitada, diferenciável e dada pelas equações 13 e 14:

$$a_k = \phi(v_k) = \frac{1}{1 + e^{-v_k}} \quad (14)$$

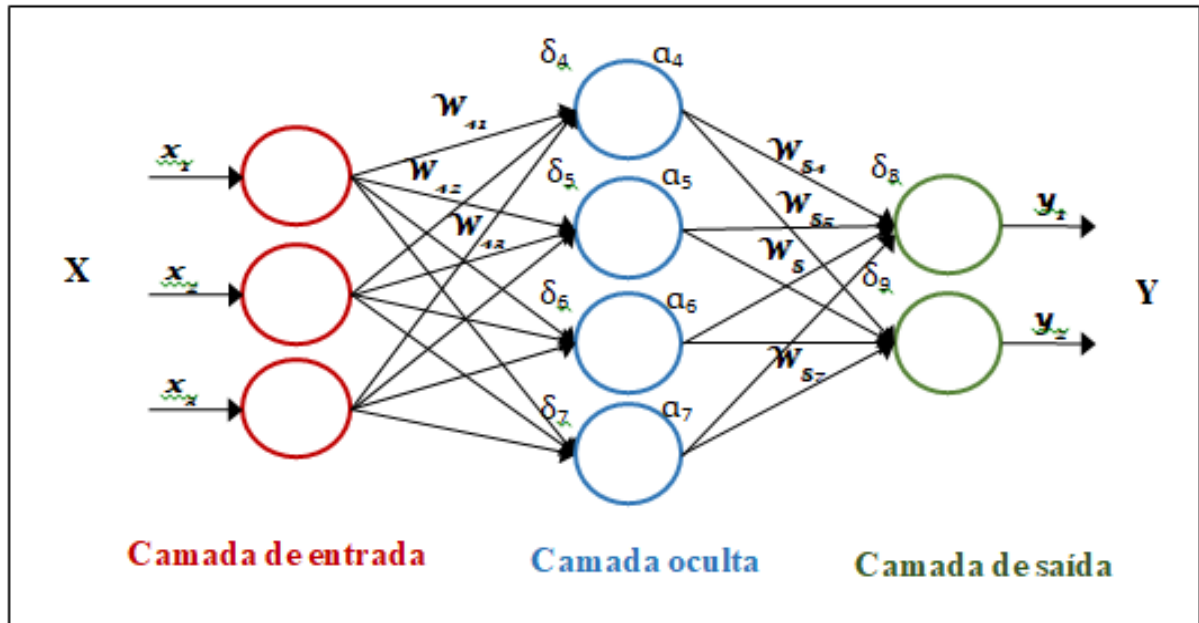
Onde:

$$v_k = \theta_k + \sum_{j=1}^p w_{kj} \cdot x_j \quad (15)$$

A Figura 15 apresenta uma estrutura ANN com uma camada intermediária com  $n_h$  neurônios e um neurônio de saída, cujas entradas são valores passados da própria variável de processo  $y$ , equação 14. Esta ANN consiste em um modelo dinâmico AutoRegressivo não linear (*Nonlinear AutoRegressive model* (NAR)), conforme passos a seguir:

- (i) O primeiro passo consiste no treinamento da ANN a partir de dados históricos do processo, descritos por uma série temporal.
- (ii) O segundo passo, após estimativa dos parâmetros da ANN, o modelo final pode ser utilizado da mesma forma que o modelo ARIMA, equação 12.
- (iii) O terceiro passo roda uma previsão na forma recorrente com um preditor da variável de processo para múltiplos instantes de tempo à frente, dentro de um horizonte de tempo finito, o que caracteriza a previsão de longo alcance.

**Figura 15** - Rede Neural *feed forward* com uma camada intermediária (equação 16)



Fonte: adaptada de Tissot *et al.* (2012)

$$y_t = f(y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-n_y}) \quad (16)$$

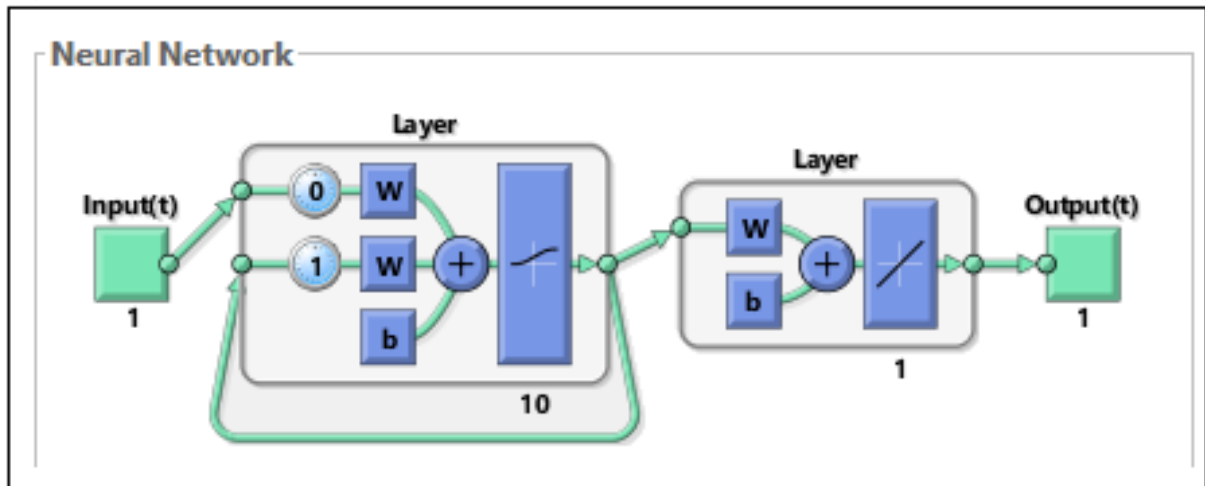
Onde:  $f$  é uma função não linear ajustada através dos parâmetros da ANN e  $n_y$  é o número de valores passados da variável de processo, necessário para predizer o seu valor um instante de tempo à frente ( $y_t$ ).

#### 4.1.5 5ª Etapa - aplicação de RNN de ELMAN

A Figura 16 mostra a arquitetura da rede utilizada e os passos adotados de acordo com a rotina do *software* MATLAB R2017. As entradas (input) podem ser saídas de outros neurônios. As camadas (*Layer*) compõem a interação dos sinais com os pesos sinápticos ( $w$ ). No sinal (+) ocorrem as relações lineares antes de acontecer à função ativação. As RNNs incluem *loops*, elas podem armazenar informações ao processar novas entradas. Essas memórias as tornam ideais para tarefas de processamento, nas quais as entradas anteriores devem ser consideradas (como dados da série temporal). As redes profundas *Long Short-Term Memory* (LSTM) são estruturas avançadas de redes recorrentes (MIKKULAINEN *et al.*, 2019).



**Figura 16** - Rede recorrente de Elman



Fonte: MATLAB R2017.

Foram adotados seis passos para rodar a RNN no MATLAB R2017:

- (i) 1º passo: a rede neural recorrente tem por base uma rede *feedforward* com poucas modificações na realimentação, que amplia o potencial de modelagem de dados temporais.
- (ii) 2º passo: a realimentação da rede consiste em saídas de neurônios de determinada camada, que são reintroduzidos nas entradas dos neurônios das camadas anteriores ou da própria camada.
- (iii) 3º passo: a função de ligação da camada intermediária é dada pela função logística na camada de saída e é utilizada a função identidade, equação 17.

$$g(x) = (1 + e^{-x})^{-1} \quad (17)$$

- (iv) 4º passo: a rede de Elman é processada no MATLAB, utilizando-se uma extensão do algoritmo de retropropagação (redes *feedforward*)
- (v) 5º passo: a rede Elman foi treinada para possibilitar a comparação de resultados entre dois algoritmos distintos.
- (vi) 6º passo: comparação dos resultados da rede *feedforward* e rede de Elman.

#### 4.1.6 6ª Etapa – resultado das previsões

Por fim, os fluxos totais de ELTs não contabilizados (*fd1*) e ELTs não destinados (*fd2*) realizados e previstos foram comparados com o resultado obtido no ano de 2018. Os fluxos

totais de fd1 e fd2, do período de 2014 a 2017, formam a série histórica de dados que orienta o processo de análise dinâmica do padrão da previsão. Os resultados de todo o procedimento estão disponíveis no capítulo V de análise de resultados

#### 4.2 CONCLUSÕES PARCIAIS DO CAPÍTULO 4

Este trabalho propõe uma estimativa sistemática e previsão de fluxos dos ELTs não contabilizados (desconhecidos), a partir de informações microeconômicas, caracterização de fluxos de materiais existentes, balanços de massa e modelos empíricos. Apesar das especificidades inerentes ao estudo de caso analisado, o método proposto neste trabalho pode ser aplicado em outros municípios de médio e grande porte.

As conclusões estão destacadas em dois pontos de vista. O primeiro ponto de vista é que o procedimento de elaboração do banco de dados para previsão, desenvolvido por meio de deduções e cruzamento de informações oficiais do IBGE e DENATRAM, foi adaptado e validado pelos especialistas em RSU da cidade. Os ajustes foram parcimoniosos, considerando as informações das entrevistas de campo e banco de dados dos registros do aterro sanitário de Vitória da Conquista. Também foram considerados os fatores socioeconômicos da cidade para simular e mapear os fluxos de ELTs. Enfim, outros tipos de resíduos sólidos inertes, que também não são reaproveitados, poderão ser investigados para um planejamento integrado de logística reversa. Informações da fonte geradora dos resíduos inertes e os métodos de medição poderão ser usados no procedimento apresentado neste capítulo.

O segundo ponto de vista é que os procedimentos de previsão, através de três estruturas, com séries históricas curtas, menor do que 5 anos, foram validados para aplicação. As sazonalidades do banco de dados de séries longas interferem no padrão dinâmico quando as estruturas de previsão são comparadas. Para este caso, a série foi encurtada para quatro anos, uma vez que, nesta região de dados definida para previsão, o comportamento sazonal era próximo da uniformidade, possibilitando a projeção de valores futuros da série de ELTs para um ano à frente.

No próximo capítulo, serão mostrados o método de modelagem de equações estruturais do SEMw dos ELTs e as ações estratégicas para previsões de fluxos de ELTs não contabilizados em uma cidade. O trabalho é uma MEE para analisar o SEMw, baseada em níveis de importância. Estes níveis de importância são percepções extraídas de estratos sociais

da cidade, para avaliar autonomia e garantir continuidade da LR de ELTs, bem como para manter a cidade ambientalmente segura e econômica.

## 5 MODELAGEM DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS (MEE)

A estrutura da MEE desenvolvida tem o objetivo de avaliar o SEMw de acordo com variáveis técnicas (métricas) e sociais (não métricas). Entretanto, vale ressaltar que a modelagem desenvolvida pode ser aplicada para tipologias distintas de resíduos sólidos, desde que sejam feitos os ajustes necessários à especificidade de cada caso.

Nesta modelagem, foi adotado o estudo de caso dos fluxos de ELTs da cidade de Vitória da Conquista, por se tratar de um resíduo inerte que apresenta grave impacto ambiental na coleta, manejo, e destinação final. Os fluxos de ELTs não contabilizados, assim como outros fluxos de resíduos sólidos, são um problema de ordem socioeconômica, como foi visto nos capítulos anteriores, devido aos erros na contabilização, subnotificação nos registros e falhas nos procedimentos de segregação e controle do aterro sanitário. Todavia, para ampliar a investigação dos fluxos, considerando os SEF e SDF, foi realizada uma MEE para analisar o SEMw, que é um conjunto de procedimentos adotados para verificar a transferência de resíduos para o meio ambiente.

Este método analítico foi apresentado no artigo publicado pela revista “*Sustainability*”, com título “*Modeling the Socioeconomic Metabolism of End-of-Life Tires Using Structural Equations: A Brazilian Case Study*”<sup>5</sup>, considerando que existem relações causais entre DMF e RMF (variáveis métricas) e SEF e SDF (variáveis não métricas) no ambiente econômico de uma cidade. Um conjunto teórico de variáveis manifestantes (indicadores métricos e não métricos) e variáveis latentes (constructos) foi elaborado para testes das hipóteses que representam as relações de dependência e interdependência do modelo teórico. Os testes são realizados através de procedimentos estatísticos dos “*Partial Least Squares (PLS)*”. As hipóteses aprovadas formam coeficientes de regressões lineares múltiplas, que representam as relações estruturais da MEE.

---

<sup>5</sup> Autores: Euclides Santos Bittencourt, Cristiano Hora de Oliveira Fontes, Jorge Laureano Moya Rodriguez, Salvador Ávila Filho e Adonias Magdiel Silva Ferreira. *Sustainability*, v. 12, 2020. Doi: 10.3390/su12052106

Estes procedimentos foram realizados por meio do *software* SmartPLS-SEM para testar estruturas de dados não paramétricos, tais como as observações do questionário semiestruturado para respostas parametrizadas em uma escala categórica de impacto/importância (Likert).

## 5.1 ESCOLHA DO MÉTODO PLS

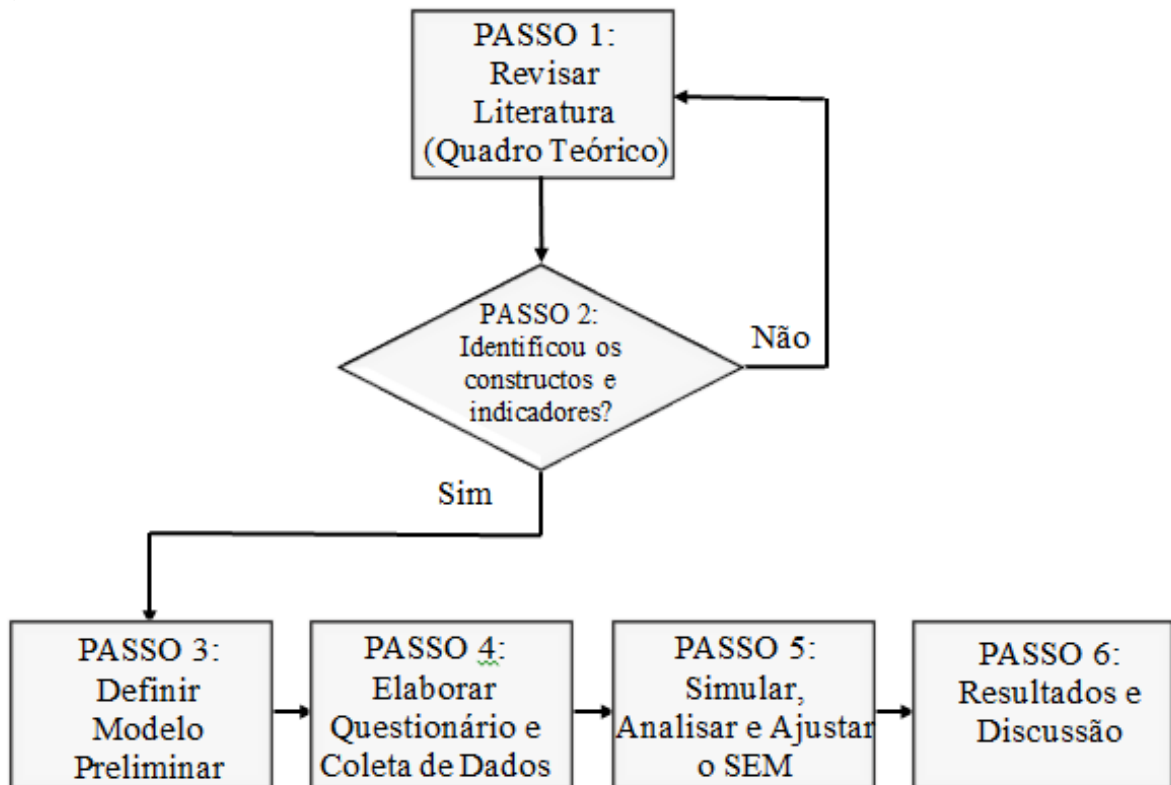
A literatura destaca que o PLS-SEM pode ser aplicado mesmo quando o tamanho da amostra é muito pequeno ou até menor que o número de variáveis observadas (RIGDON *et al.*, 2017); diferentemente da outra abordagem usada para estimar o MEE (baseada em covariância, CB-SEM).

Primeiro, o PLS-SEM não estima todos os parâmetros do modelo simultaneamente. Além disso, o PLS-SEM aplica o procedimento de *bootstrapping* (STREUKENS; LEROI-WERELDS, 2016), amplamente utilizado para quantificar a incerteza, associada a um determinado método estatístico de aprendizado. Essa abordagem envolve amostragem aleatória repetida, com substituição da amostra original, e permite que os coeficientes estimados no PLS-SEM sejam testados quanto à sua significância (HENSELER; RINGLE; SINKOVICS, 2009). O método PLS tem algumas vantagens, incluindo o fato de funcionar com um pequeno tamanho de amostra e não exigir a normalidade dos dados (DAVARI; REZAZADEH, 2013; HAIR *et al.*, 2017). Nesta pesquisa, o método *Partial Least Square* (PLS) foi adotado, através do *software* SmartPLS, para a simulação do modelo estrutural.

## 5.2 PROCEDIMENTO DO MÉTODO PLS

A Figura 17 mostra o procedimento adotado na MEE usando PLS-SEM. O 1º passo alimenta o sistema de modelagem a partir da revisão da literatura. No 2º passo, o sistema é retroalimentado (sim) na medida em que as variáveis são excluídas na análise fatorial exploratória (não). Os passos seguintes representam a MEE, que é realizada através de simulação multivariada.

**Figura 17** - Procedimento Adotado na MEE Usando PLS-SEM



### 5.2.1 1º Passo – Revisão da literatura do fenômeno investigado

Neste trabalho, foram usadas as palavras-chave, através das bases de dados (*Web of Science, Scopus e Science Direct*): (i) metabolismo socioeconômico; (ii) modelagem de equações estruturais; (iii) análise de fluxos de materiais; (iv) logística direta e reversa de pneus em final de vida; (v) economia circular; (vi) fatores socioeconômicos e sociodemográficos; e (vii) sustentabilidade ambiental. As informações obtidas formaram o quadro teórico e as hipóteses do SEMw.

Em síntese, no quadro teórico (Quadro 12) estão as hipóteses na relação das variáveis latentes (áreas de conhecimento associadas na modelagem ou constructos).

A variável latente DMF refere-se aos fluxos de pneus novos adquiridos pela sociedade e ao estoque de pneus em circulação. A variável latente RMF representa os fluxos reversos dos pneus em fim de vida (ELTs) que são reaproveitados pela logística empresarial. A variável latente SDF refere-se a uma combinação de fatores sociais e demográficos. Os SDF estão relacionados às características diversas dos indivíduos (idade, sexo, orientação sexual, raça, religião, renda, estado civil, taxa de natalidade, taxa de mortalidade, tamanho médio da família, herança, educação, histórico médico) e são capazes de identificar/reconhecer grupos

sociais homogêneos, de acordo com essas características. Por sua vez, a variável latente SEF está relacionada ao ambiente socioeconômico ou a fatores socioeconômicos, aos aspectos sociológicos, econômicos, educativos e profissionais, que viabilizam a classificação de um indivíduo ou grupo de indivíduos em um determinado grupo socioeconômico. No ambiente socioeconômico, ocorrem as relações direta e indireta de troca de mercadorias, consumo de materiais e a disposição de resíduos sólidos. Os indicadores de circulação de materiais até o descarte para o meio ambiente fornecem informações para a avaliação do SEMw.

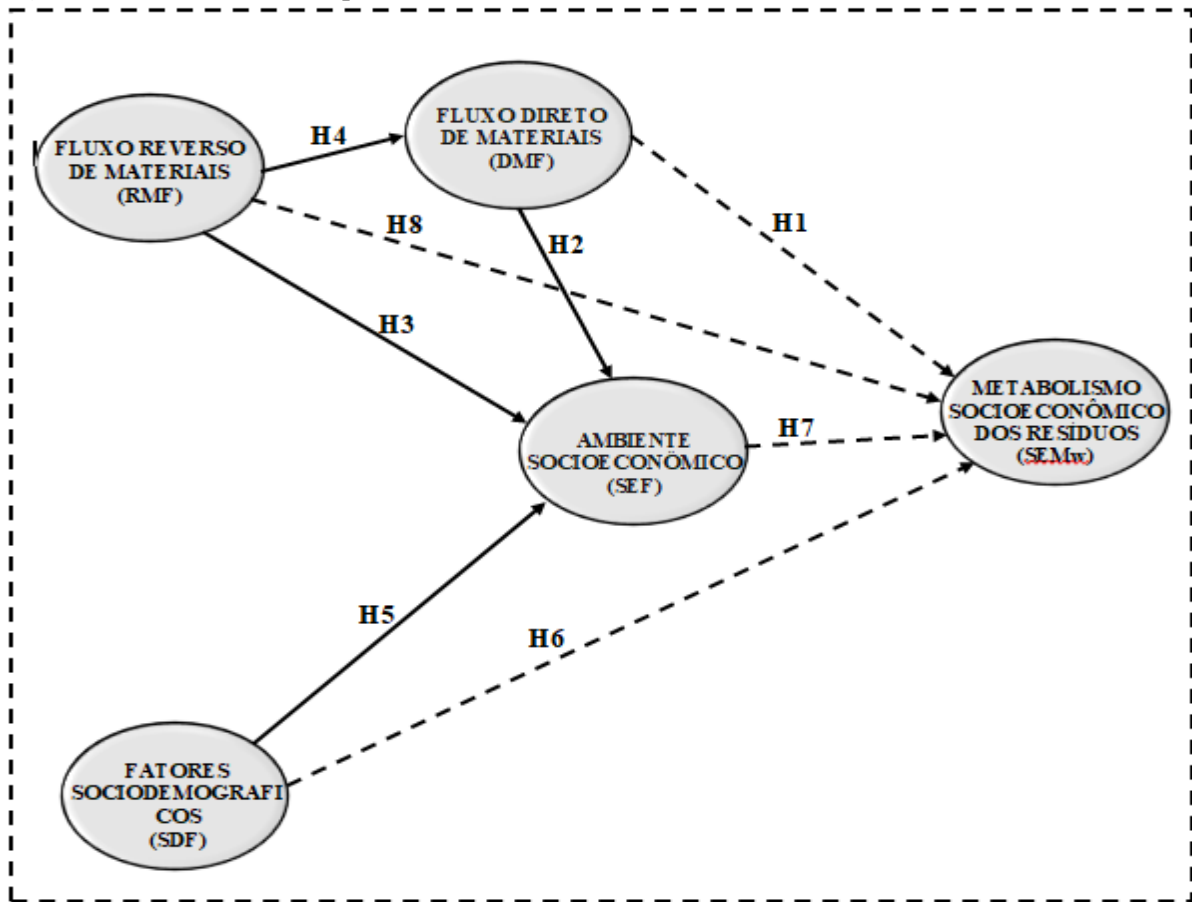
**Quadro 12** - Quadro teórico das hipóteses da modelagem

Hipóteses	Descrição	Referências
H1	DMF têm um efeito direto no SEMw.	Mazzanti <i>et al.</i> (2008), Lonca <i>et al.</i> (2018), Marega (2019), Megiddo (2019) e Shah <i>et al.</i> (2019)
H2	DMF têm efeito direto no SEF.	Cole <i>et al.</i> (1997), Ferrer (1997), Strobel e Redmann (2002), Chang (2008), Mazzanti <i>et al.</i> (2008), Kannan, Diabat e Shankar (2014), Fishman <i>et al.</i> (2015), Govindan <i>et al.</i> (2015), Pauliuk, Majeau-Bettez e Müller (2015); Krausmann <i>et al.</i> (2017) e Dombi <i>et al.</i> (2018)
H3	RMF têm um efeito direto no SEF.	Govindan <i>et al.</i> (2012), Ramayah <i>et al.</i> (2012), Agrawal, Singh e Murtaza (2015), Govindan <i>et al.</i> (2015), Barr (2017), Dai e Wang (2018) e Dombi <i>et al.</i> (2018)
H4	RMF afetam diretamente o DMF.	Schultmann <i>et al.</i> (2006), Govindan <i>et al.</i> (2015), Haas <i>et al.</i> (2015) e Pedram <i>et al.</i> (2017)
H5	SDF têm efeito direto no SEF.	Beigl <i>et al.</i> (2008), Mazzanti <i>et al.</i> (2008), Chang <i>et al.</i> (2011), Swami <i>et al.</i> (2011), Ghinea <i>et al.</i> (2016), Xu <i>et al.</i> (2016), Kannangara <i>et al.</i> (2018), Rybova <i>et al.</i> (2018), Adzawla <i>et al.</i> (2019) e Rybova (2019)
H6	SDF têm efeito direto no SEMw.	Bach <i>et al.</i> (2004), Mazzanti <i>et al.</i> (2008), Azevedo <i>et al.</i> (2019), Knickmeyer (2019) e Madden <i>et al.</i> (2019)
H7	SEF têm efeito direto no SEMw.	Binder (2007), Riediger <i>et al.</i> (2007), Haberl <i>et al.</i> (2012), Dombi <i>et al.</i> (2018) e Adzawla <i>et al.</i> (2019)
H8	RMF têm efeito direto no SEMw.	Ramayah <i>et al.</i> (2012), Agrawal, Singh e Murtaza (2015), Lonca <i>et al.</i> (2018), Fami <i>et al.</i> (2019), Gomes <i>et al.</i> (2019) e Villela e Silva (2019)

### 5.2.1.1 Modelo teórico

Neste trabalho, a hipótese geral para MEE é representada pela relação entre os constructos técnicos (DMF e RMF) e sociais (SEF e SDF), que apresentam correlação com o SEMw. A Figura 18 mostra o modelo teórico a partir do detalhamento das hipóteses apresentadas no Quadro 12.

**Figura 18** - Modelo Teórico para Avaliar o SEMw



As hipóteses H2, H3 e H5, identificadas nas setas contínuas, influenciam diretamente o SEF e indiretamente o SEMw, enquanto as hipóteses H1, H6, H7 e H8, identificadas com setas descontínuas, influenciam diretamente o SEMw. A H4 mostra que os DMF são afetados pelas variações de estoque de materiais secundários da LR dos RMF. As relações de dependência são justificadas par a par, conforme subseção a seguir.

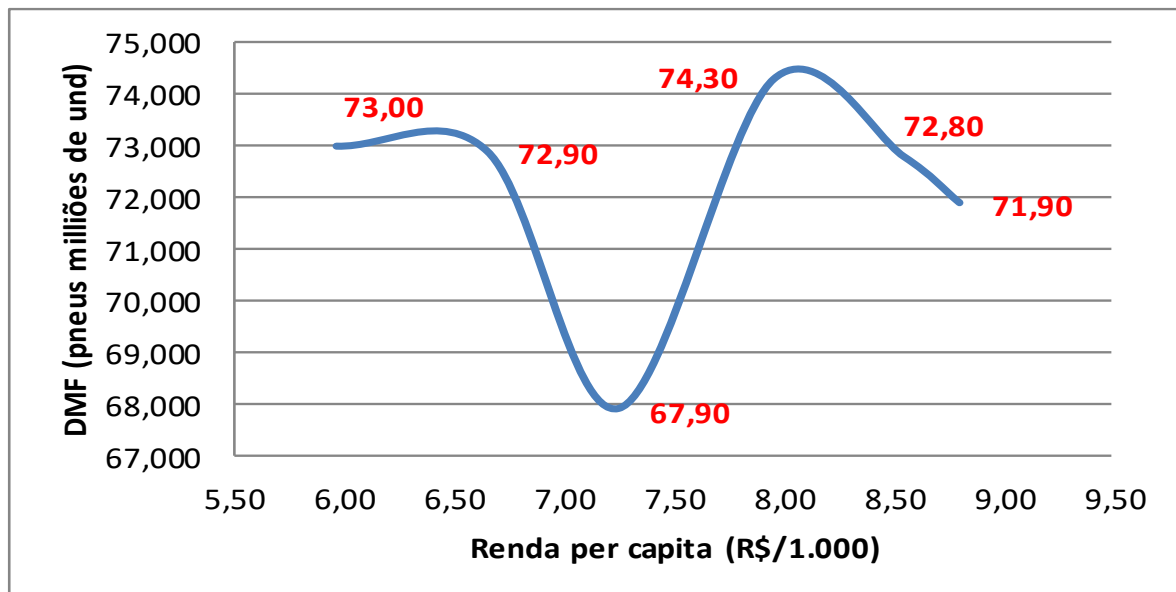
#### 5.2.1.2 Justificativas das hipóteses

A hipótese de que os DMF têm efeito no SEMw é um axioma testado na modelagem de equações estruturais porque, além do nível de renda, existem relações não econômicas que determinam o nível de DMF no ambiente econômico (SHAH *et al.*, 2019). Essas relações não econômicas estão associadas a imperfeições de mercado, incertezas no comportamento de agentes econômicos e dinâmica do ambiente macroeconômico (MAREGA, 2019). As relações econômicas e não econômicas oferecem limites ao aumento dos DMF de pneus novos nas cidades brasileiras, sugerindo que nem todos os pneus novos serão vendidos e



usados pela sociedade, apesar das pressões de marketing. A Figura 19 mostra a Curva Ambiental de Kuznets (EKC), associada à relação entre a renda per capita “\$” e a quantidade de DMF “t” (pneus vendidos no Brasil), de 2010 a 2015 (IBGE, 2020). A EKC apresenta três pontos de inflexão dos DMF no intervalo de 5 anos. Em 2011 e 2013, os DMF foram, respectivamente, na ordem de 72,90 e 74,30 milhões de pneus, mostrando os pontos máximos seguidos de reduções nos DMF à medida que a renda per capita aumenta ao longo do tempo. Em 2012, a EKC possui a menor quantidade de DMF produzida na cadeia de suprimentos de pneus no Brasil (67,90 milhões de pneus).

**Figura 19** - Curva Ambiental de Kuznets



De acordo com Mazzanti *et al.* (2008), esse argumento é baseado na hipótese do EKC, que avalia a relação entre crescimento econômico (produção econômica) e poluição ambiental. A hipótese EKC também pode comparar renda per capita e poluição ambiental, ou DMF e poluição ambiental. Em ambos os casos, EKC terá pontos de inflexão em relação à renda ou aos DMF, que são variáveis socioeconômicas determinantes no ambiente econômico. Assim, a seguinte hipótese foi formulada:

- H1 – DMF têm efeito direto no SEMw.

O efeito dos DMF nos SEF e a produção de um bem específico foram investigados (PAULIUK; WOOD; HERTWICH, 2015; KRAUSMANN *et al.*, 2017), bem como a correlação desses fluxos com a acumulação de resíduos (MAZZANTI; ZOBOLI, 2008; FISHMAN *et al.*, 2015). De acordo com Strobel e Redmann (2002) e Dombi *et al.* (2018), os

DMF têm efeito direto na formação de grandes estoques de resíduos e impacta o SEF. Estudos de duas décadas de EKC entre consumo de materiais e geração de poluentes comprovam uma relação inversa entre ambiente econômico e lixo urbano (COLE *et al.*, 1997). Nesse caso, o aumento do fluxo direto de pneus depende da renda, mas também da política de preços, devido à escassez de matérias-primas, importações, impostos, políticas públicas, condições das estradas e comportamento do consumidor, entre outras variáveis socioeconômicas (CHANG, 2008). Assim, a seguinte hipótese foi formulada:

- H2 – DMF têm efeito direto no SEF.

Estudos sobre RL mostram que a melhoria do sistema de gerenciamento de resíduos pode minimizar os impactos ambientais (GOVINDAN *et al.*, 2012, 2015). Variáveis socioeconômicas, como a fração de resíduos coletados por ação individual e densidade populacional, são relevantes no plano de gerenciamento de resíduos. Vale ressaltar que uma parte da RMF é representada diretamente pela RL e a outra parte está relacionada a aspectos sociodemográficos e socioeconômicos (DOMBI *et al.*, 2018). No caso dos ELTs, os RMF representam a recuperação de produtos (materiais) em fim de vida para reutilização ou beneficiamento (AGRAWAL; SINGH; MURTAZA, 2015). A reciclagem é uma das técnicas mais usadas nos RMF para reduzir a poluição e o uso de aterros e para conservar os recursos naturais (RAMAYAH *et al.*, 2012). Segundo Dai e Wang (2018), a reciclagem é uma técnica importante para reduzir os impactos da atividade econômica. Barr (2017) aponta que o comportamento da reciclagem depende de uma variedade de fatores comportamentais, sociodemográficos e socioeconômicos (número de locais de coleta, distância dos pontos de deposição, ausência de incentivos e informações). Assim, a seguinte hipótese é proposta:

- H3 – RMF têm um efeito direto nos SEF.

A relação entre DMF e RMF é perfeitamente compreensível para integrar os fluxos de materiais de uma cidade (SCHULTMANN *et al.*, 2006; PEDRAM *et al.*, 2017). De acordo com Haas *et al.* (2015), essa relação tem sido frequentemente discutida pelos teóricos da CE, principalmente para avaliar os ganhos econômicos da utilização de materiais pela LR e a minimização do impacto ambiental. Estudos mostram que a integração entre DMF e RMF é representada pela *Closed-loop Supply Chain* (CLSC) (GOVINDAN *et al.*, 2015). De acordo com a revisão da literatura e conforme Kumar, Kumar e Technology (2013), Govindan e Soleimani (2017) e Pereira *et al.* (2018), existe uma quantidade relevante de pesquisas sobre

LR e CLSC. As revisões da literatura no período de 2009 até 2017 mostram a evolução da CLSC na previsão, otimização e design de ELTs.

As técnicas adotadas avaliam a capacidade de reaproveitamento dos ELTs nos processos de fabricação e remanufatura para evitar excessos de inventários. Frequentemente são adotadas técnicas através de métodos quantitativos – regressão dinâmica, algoritmo genético, técnicas de estimativas Bayesian, Fuzzy, Simulação de Monte Carlo, ANFIS, entre outros.

Os ELTs, por exemplo, são estocados, coletados e destinados a vários propósitos, principalmente para reutilização de energia (PEDRAM *et al.*, 2017). Existe uma relação conceitual entre o número de veículos e a quantidade de ELTs (KANNAN; DIABAT; SHANKAR, 2014; GOVINDAN *et al.*, 2015). Assim, essas premissas sustentam a seguinte hipótese:

- H4 – RMF afetam diretamente os DMF.

Estudos sobre coleta seletiva e reciclagem têm bons resultados quando os SDF são considerados nos SEF (SWAMI *et al.*, 2011). Segundo Rybova (2019), variáveis sociodemográficas contribuem para explicar a geração de materiais recicláveis e, portanto, exercem efeito direto no SEF. De acordo com Beigl *et al.* (2008) e Chang *et al.* (2011), as previsões de geração de resíduos domésticos são eficazes quando se considera o tamanho da família e o método de disposição. Ghinea *et al.* (2016) e Adzawla *et al.* (2019) mostram que as características da moradia e a localização da residência influenciam o descarte de resíduos sólidos.

Entre os SDF, alguns autores (RYBOVA *et al.*, 2018; RYBOVA, 2019) consideram o tamanho médio das famílias, a proporção de pessoas com ensino superior, a quantidade de moradias, o poder de compra, a porcentagem de pessoas empregadas na agricultura e o sexo. Xu *et al.* (2016) verificaram, através de equações estruturais, os efeitos diretos dos SDF nos SEF e os efeitos diretos da geração de resíduos sólidos na escala urbana das residências. Renda per capita, densidade populacional, escolaridade e taxa de desemprego são variáveis eficientes e efetivas para a previsão de cenários de resíduos (MAZZANTI *et al.*, 2008). Kannangara *et al.* (2018) desenvolveram modelos para prever a geração e desvio de resíduos sólidos urbanos (USW) de acordo com aspectos demográficos e socioeconômicos. Assim, a seguinte hipótese é proposta:

- H5 – SDF têm efeito direto nos SEF.

Segundo Mazzanti *et al.* (2008), os SDF estão associados à geração de resíduos sólidos municipais e influenciam o comportamento do consumidor em certa medida. A dissociação está relacionada à saturação do consumo ou à dinâmica de fatores sociodemográficos e/ou socioeconômicos, como regionalismo, cultura local, mudança geracional e decisões unilaterais dos agentes econômicos (BACH *et al.*, 2004). De acordo com Knickmeyer (2019), a densidade populacional afeta positivamente a geração de resíduos à medida que o mercado de varejo opera em áreas urbanas densamente povoadas e produz (gera) mais resíduos. No entanto, a implementação de um sistema tarifário ou de algum mecanismo de coleta para geração de resíduos causa uma redução no consumo das áreas densamente povoadas (AZEVEDO *et al.*, 2019), confirmando a hipótese da EKC (MADDEN *et al.*, 2019).

A renda per capita é incapaz de identificar os pontos de concentração de consumo de bens (pneus) na economia no curto-prazo. No Brasil, o consumo ocorre mais intensamente a partir do segundo semestre do ano fiscal, quando uma renda extra é adicionada à economia através do reembolso do 13º salário, o que melhora o mecanismo de intercâmbio e fortalece o ambiente circulante. A decisão de comprar um pneu não é linear e a geração de resíduos (ELT) depende do comportamento social e ambiental dos moradores da cidade. As decisões dependem da política econômica e das oportunidades sugeridas pela cadeia de suprimentos (*marketing*). Assim, a seguinte hipótese foi formulada para verificar se existe uma relação direta entre fatores sociodemográficos e SEMw:

- H6 – SDF têm efeito direto no SEMw.

Riediger *et al.* (2007) afirmam que os SEF afetam diretamente a geração de resíduos. De acordo com Adzawla *et al.* (2019), os SEF levam as famílias a usar um sistema específico de descarte de resíduos sólidos. Haberl *et al.* (2012) adotaram indicadores macroeconômicos para avaliar o metabolismo socioeconômico conforme abordagem da apropriação humana da produção primária líquida (*human appropriation of net primary production (HANPP)*). Essa abordagem leva em consideração os indicadores de consumo aparente (extração doméstica mais importações menos exportações) que é mais explícito do que os indicadores de recursos biofísicos: consumo doméstico de material (DMC), consumo doméstico de energia (DEC), fornecimento total de energia primária (TPES). Dombi *et al.* (2018) explicam que a quantidade de entradas diretas dos DMF na economia excede significativamente as demandas das famílias, resultando em estoques de materiais e impactos no SEMw. Binder (2007) estimou os efeitos potenciais das políticas econômicas sobre os fluxos de materiais no SEMw. Portanto, a seguinte hipótese é proposta:

- H7 – SEF têm efeito direto no SEMw.

Os RMF representam a recuperação de produtos (materiais) em fim de vida útil para reutilização (AGRAWAL; SINGH; MURTAZA, 2015). Os RMF são medidos por métodos de contabilidade de fluxo de material (XU *et al.*, 2016; FAMI *et al.*, 2019). Os RMF possuem um valor econômico definido pelo mercado para materiais utilizados na queima de fornos de cimento. No caso dos ELTs são resíduos de difícil descarte e com um alto custo de implementação da logística reversa. Apesar disso, são necessárias políticas públicas específicas para controlar as ameaças à saúde pública (LONCA *et al.*, 2018).

A aplicação de ELTs como combustível é uma das melhores alternativas para eliminar os estoques de pneus nas cidades, além de melhorar as taxas de emissão de CO<sup>2</sup> das empresas fabricantes de cimento que usam esses resíduos para queima e aglutinação de clínquer (GOMES *et al.*, 2019). A coleta de ELTs depende de procedimentos específicos, pois, além de aspectos técnicos, SEF estão presentes na dinâmica da gestão de resíduos sólidos urbanos. O modelo de gestão do ELT depende de leis, instruções normativas e ações que envolvam aspectos subjetivos da sociedade. Esses modelos incluem os princípios da CE, instrumentos econômicos para avaliar materiais, o sistema tributário e a responsabilidade estendida do produtor. O gerenciamento de ELTs nos países desenvolvidos requer o conhecimento da sociedade de programas integrados que considerem agendas de sustentabilidade ambiental, armazenamento, abordagens sistemáticas e consistentes à regulamentação do mercado de ELT e a implementação de métodos para abordar o problema de inventário nas cidades (MMEREKI; MACHOLA; MOKOKWE, 2019).

Neste estudo, os RMF estão sendo hipoteticamente testados no SEMw como parte de relações causais. Na hipótese H1, o constructo endógeno DMF de primeira ordem é a variável mediadora (ou moderadora) do constructo endógeno SEMw de segunda ordem. Para testar as relações causais do construto exógeno RMF, mesmo com a redundância em que os resíduos impactam o meio ambiente, foi necessário verificar o impacto dos RMF no construto endógeno SEMw. De acordo com isso, a seguinte hipótese é proposta:

- H8 – RMF têm efeito direto no SEMw.

### 5.2.2 2º Passo – Identificar constructos/indicadores

Os indicadores métricos (M) e não métricos (N/M), apresentados no Quadro 13, foram identificados de acordo com as informações da literatura sobre metabolismo socioeconômico.

**Quadro 13** - Lista de constructos e indicadores

Constructos	Indicadores	Descrição	Métrico (M) / Não-Métrico (N/M)	Referências
Fluxos de Materiais Diretos DMF	DMF_1	Rede de Fornecedores (t)	M	Mmerekí <i>et al.</i> (2019), Brasil (2009), Gupt <i>et al.</i> (2015) e Shulman (2019)
	DMF_2	Rede de Suprimento (t)	M	
	DMF_3	Demanda (t)	M	
	DMF_4	Solicitação (t)	M	
	DMF_5	Localização	N/M	
	DMF_6	Regulamento	N/M	
	DMF_7	Marketing	N/M	
Fluxos de Materiais Reversos RMF	RMF_1	Coleta (t)	M	Brasil (2009), Schultmann <i>et al.</i> (2006), Agrawal, Singh e Murtaza (2015), Govindan <i>et al.</i> (2015), Fagundes <i>et al.</i> (2017), Gupt <i>et al.</i> (2015), Mohee e Simelane (2015) e Shulman (2019)
	RMF_2	Planejamento Urbano	N/M	
	RMF_3	Acumulação (t)	M	
	RMF_4	Externalidades (t)	M	
	RMF_5	Destinação Final (t)	M	
	RMF_6	Reciclagem (t)	M	
	RMF_7	Recauchutagem (t)	M	
	RMF_8	Previsões (t)	M	
	RMF_9	Gestão de Resíduos (\$)	M	
	RMF_10	Treinamento de Equipe (\$)	M	
Fatores Sociodemográficos SDF	SDF_1	Composição Familiar	N/M	Adzawla <i>et al.</i> (2019) e Rybova (2019)
	SDF_2	Atividade Profissional (\$)	M	
	SDF_3	Renda Per Capita (\$/habitantes)	M	
	SDF_4	Escolaridade (\$/estudantes)	M	
	SDF_5	Densidade Populacional (habitantes/km <sup>2</sup> )	M	
	SDF_6	Idade (ano)	M	
	SDF_7	Espaço Urbano (Km <sup>2</sup> )	M	
Fatores Socioeconômicos SEF	SEF_1	Investimento (\$)	M	Adzawla <i>et al.</i> (2019), Rybova (2019)
	SEF_2	Política Municipal	N/M	
	SEF_3	Saneamento Básico	N/M	
	SEF_4	PIB (renda agregada) (\$)	M	
	SEF_5	Consumo (\$)	M	
	SEF_6	Cultura Local	N/M	
Metabolismo Socioeconômico de Resíduos SEMw	SEMw_1	Custo Ambiental (\$)	M	Fischer-Kowalski <i>et al.</i> (2011), Fischer-Kowalski, Krausmann e Pallua (2014), Pauliuk, Majeau-Bettez e Müller (2015) e Krausmann <i>et al.</i> (2018)
	SEMw_2	AFM (t)	M	
	SEMw_3	CE	N/M	
	SEMw_4	Valor Econômico (\$)	M	
	SEMw_5	ACV (t)	M	
	SEMw_6	Balanço de Massa (t)	M	
	SEMw_7	IOA (t)	M	
	SEMw_8	Taxa Metabólica (t/years)	M	

Deste modo, os materiais diretos ou fluxos diretos de material (DMF) compreendem os pneus exigidos pela sociedade (DMF\_3\_Demanda) para atender às suas necessidades (DMF\_4\_Solicitação). Estas variáveis se referem à estrutura de mercado, que em linhas gerais é a relação entre oferta e demanda de pneus novos.

Os pneus novos reabastecem o mercado de reposição, formando uma grande cadeia de suprimentos (DMF\_1\_Rede de Fornecedores) (BRASIL, 2009; GUPT; SAHAY, 2015;

MMEREKI; MACHOLA; MOKOKWE, 2019; SHULMAN, 2019). Essa cadeia é gerenciada pela Associação Nacional das Indústrias de Pneus (ANIP), que atende aos interesses dos produtores e importadores (DMF\_7\_ Marketing). As cadeias de suprimentos são compostas por grandes atacadistas/varejistas de pneus e por empresas de reutilização, que representam todo o mercado de suprimentos da cidade (DMF\_2\_ Rede de Suprimento). Os materiais reversos ou fluxos de materiais reversos (RMF) compreendem o estoque de resíduos descartados pela sociedade após o uso (SCHULTMANN *et al.*, 2006; SIENKIEWICZ *et al.*, 2012; AGRAWAL; SINGH; MURTAZA, 2015; GOVINDAN *et al.*, 2015; FAGUNDES *et al.*, 2017; MMEREKI; MACHOLA; MOKOKWE, 2019). Os ELTs são coletados (RM\_1\_ Coleta) por meio de um planejamento urbano específico (RMF\_2\_ Planejamento urbano), que estabelece o plano de coleta voluntária e programada de resíduos (ELTs) no armazém (RMF\_3\_ Acumulação) até a disposição final (RMF\_5\_ Destino final).

Os ELTs são enviados para reutilização (RMF\_7\_ Recauchutagem) ou são reciclados (RMF\_6\_ Reciclagem) e processados nas plantas de coprocessamento. Externalidades causadas pelo mercado externo (importações clandestinas de pneus “baratos de menor ciclo de vida” e/ou “pneus de boa aparência recauchutados” somadas aos DMF), e pelo ambiente econômico mundial, que depende da influência tecnológica na fabricação do pneu (RMF\_4\_ Externalidades), devem ser consideradas. O treinamento das partes interessadas (RMF\_10\_ Treinamento da equipe) e os estudos de previsão (RMF\_8\_ Previsões) são realizados para melhorar o planejamento do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (RMF\_9\_ Gerenciamento de resíduos). As construções sociais foram ordenadas por SDF e SEF (ADZAWLA *et al.*, 2019; RYBOVA, 2019). Fatores sociais foram introduzidos no modelo para verificar o índice de correlação com o SEMw. Os indicadores foram selecionados com base em estudos semelhantes que adotam fatores sociodemográficos (variáveis) (SDF\_1\_ Composição Familiar, SDF\_2\_ Atividade Profissional, SDF\_3\_ Renda per capita, SDF\_4\_ Escolaridade, SDF\_5\_ Densidade populacional, SDF\_6\_ Idade e SDF\_7\_ Espaço Urbano) e fatores socioeconômicos (SEF\_2\_ Política municipal, SEF\_3\_ Saneamento básico e SEF\_6\_ Cultura local). Fatores socioeconômicos (SEF\_1\_ Investimento, SEF\_4\_ PIB (renda agregada) e SEF\_5\_ Consumo) são variáveis frequentemente adotadas na análise econômica (PAULIUK *et al.*, 2019; HUANG *et al.*, 2020). O constructo de metabolismo socioeconômico de resíduos compreende o conjunto de métodos de medição de fluxo de material de unidades métricas mássicas e monetárias. Em relação aos indicadores de unidade mássica (t/dia; t/mês ou t/ano), o (SEMw\_2\_AFM) é frequentemente adotado na literatura pela facilidade de avaliar grandes inventários de materiais e por ter unidades de medidas equivalentes de uso universal

(PAULIUK; MAJEAU-BETTEZ; MÜLLER, 2015). Em relação ao indicador SEMw\_5\_ACV, também é possível associar unidades métricas do arcabouço teórico/prático da ACV para medir todo o processo, desde a extração da borracha, até a fabricação do pneu e ELTs gerados após uso pela sociedade (FERALDI *et al.*, 2013). O indicador SEMw\_6\_Balanco de massa é de extrema importância para estimar os fluxos de ELTs que estão contabilizados e não contabilizados no sistema econômico.

O indicador SEMw\_7\_IOA, que se assemelha ao balanço de massa, representa uma análise de entrada e saída ou técnica econômica quantitativa para avaliar impactos e mapear as consequências diretas e indiretas no sistema econômico. Conseqüentemente, os efeitos em todo o sistema são verificados através de mudança nas variáveis exógenas, conforme especificada no modelo proposto. SEMw\_8\_Taxa Metabólica é uma avaliação rápida e prática que visa medir a pressão que uma sociedade exerce sobre o meio ambiente (PADOVAN, 2015). Esta medida contribui para a nossa compreensão das inter-relações entre os processos naturais, sociais e econômicos que são relevantes para o desenvolvimento sustentável. O resultado é uma espécie de produto nacional material, em quilogramas ou toneladas. O tamanho da população fornece uma medida do metabolismo per capita de um membro médio de uma sociedade (CLEVELAND; RUTH, 1998).

Os indicadores que envolvem medições monetárias (\$) ou não monetárias requerem um estudo mais apurado da economia para avaliar o valor econômico das trocas ou da utilidade do bem. Neste caso, os indicadores SEMw\_1\_Custo Ambiental e SEMw\_4\_Valor econômico exigem uma apurada análise econômica do produto ou bem, considerando o ciclo de vida e atualidade marginal do bem até ser descartado para aproveitamento energético em fornos. O indicador holístico (SEMw\_3\_CE), que representa a economia circular está atrelado aos 4R's (reutilizar, reparar, reaproveitar e reciclar) que equivale a uma economia de *Closed-loop Supply Chain* (CLSC).

### **5.2.3 3º Passo – Definir modelo preliminar**

Neste passo, o modelo preliminar será testado mediante a aplicação de uma análise fatorial exploratória (*exploratory factor analysis* (EFA)) que define como as variáveis latentes são construídas a partir das variáveis observadas (indicadores), por meio de banco de dados de valores aleatórios. O modelo de medição em seguida será mensurado através de teste de confiabilidade e de validade dessas variáveis. A análise fatorial confirmatória (*confirmatory factor analysis* (CFA)) será adotada com o banco de dados coletados na amostragem de



campo.

O esquema de ponderação com base nos caminhos (path) (pré-definido) é o mais recomendado para o PLS-SEM. Este sistema de ponderação proporciona um valor de  $R^2$  mais elevado para variáveis latentes endógenas e é geralmente aplicável a todos os tipos de especificações de modelos de caminho PLS e estimações. Na MEE, o primeiro passo é “*Path Weighting Scheme*”, em seguida são definidos os valores padrões do modelo: média = 0 e desvio padrão = 1 (para se ler os valores de saída entre 0 e 1). O número máximo de rotações para convergir ao modelo é 300; o critério de parada dos cálculos  $10^{-7}$  para as mudanças menores que  $10^{-5}$ . Uma vez configurada a modelagem, pode-se fazer os primeiros testes antes da análise confirmatória, que será realizada com dados obtidos na pesquisa de campo, conforme 4º passo. Rapidamente, o software SmartPLS-SEM gera uma figura com os principais valores, cargas fatoriais dos indicadores em relação aos constructos e coeficientes de caminho entre os constructos relacionados no modelo teórico preliminar, que antes de rodar o software eram hipóteses.

#### **5.2.4 4º Passo – Elaborar questionário, amostragem e coleta de dados**

O tamanho mínimo da amostra (número de respondentes) foi calculado usando o *software GPower* (3.1.9.7). Este *software* permite estimar o poder estatístico e o tamanho da amostra através de alguns testes estatísticos.

O poder do teste consiste na probabilidade do teste rejeitar  $H_0$  quando  $H_0$  é realmente falsa, isto significa dizer que o poder do teste é igual a  $1 - \beta$ . Nesta análise foi considerado o valor padronizado de 0,80. O nível de significância é suposição da probabilidade do erro tipo I, que representa a rejeição da hipótese nula quando esta é verdadeira.

A composição da amostra foi definida considerando os seguintes itens:

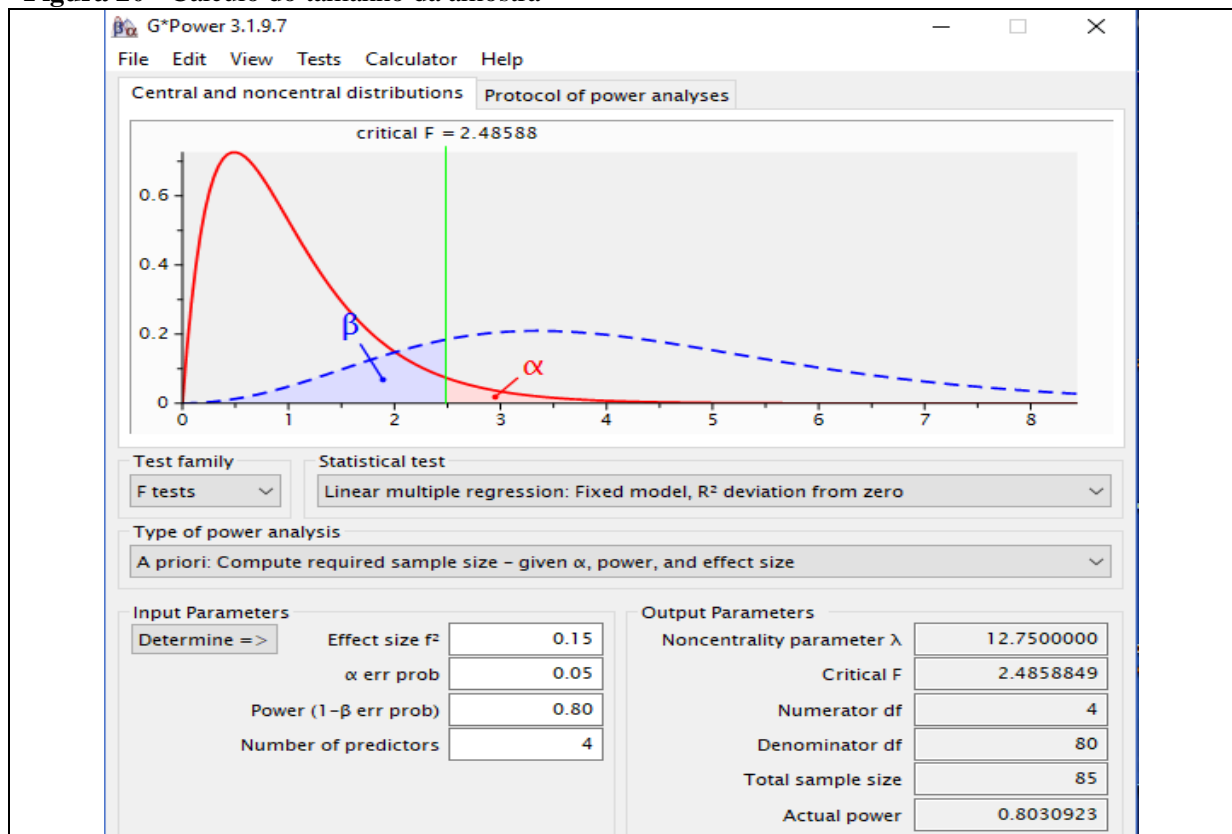
- (i) Perfil do público
- (ii) Definição do número de indicadores.
- (iii) Definição do poder do teste estatístico e do efeito de variáveis exógenas ( $f^2$ ). Cohen (2013) e Hair Jr *et al.* (2017) recomendam o uso do poder de teste 0,80 e o tamanho médio do efeito ( $f^2$ ) igual a 0,15.

O questionário estruturado de 38 perguntas (Apêndice B) foi respondido com base na escala Likert (WISNER, 2003; LU *et al.*, 2018), com escores para cada questão de 1 (“não

importante”) a 5 (“muito importante”).<sup>6</sup> Cada uma das perguntas representa um indicador que mede indiretamente os constructos do modelo reflexivo.

Em função da composição heterogênea do público respondente, com busca aleatória de entrevistados de cinco segmentos da sociedade (funcionário público, funcionário do setor privado, empresários do setor de pneus e correlatos, autônomos e estudantes), a amostragem garante melhor representatividade da população envolvida na pesquisa. A maioria dos funcionários diretos da fábrica e especialistas em fabricação, incluindo profissionais de RL, não foi selecionada para evitar distorções em questões técnicas (indicadores). O cálculo da amostra, com os parâmetros do poder do teste e tamanho do efeito, recomendou 85 observações (Figura 20).

**Figura 20** - Cálculo do tamanho da amostra



Entretanto, no trabalho de campo foram computados 100 participantes (99 questionários foram validados), que responderam os questionários para ser a base de dados do *software SmartPLS 3.3.2*. O método PLS-PM foi escolhido pelas características dos dados da pesquisa de campo e por não possuir comportamento normal. O PLS-SEM se baseia em um procedimento de *bootstrap* não paramétrico (DAVISON; HINKLEY, 1997) para testar os

<sup>6</sup>

coeficientes quanto à sua significância. O modelo PLS-SEM alcança níveis favoráveis de poder estatístico ao controlar erros do tipo I à custa da precisão do parâmetro (HAIR JR *et al.*, 2014; RIGDON, 2016; HENSELER, 2017; HAIR *et al.*, 2019).

### 5.2.5 5º Passo – Simular, Analisar modelos de mensuração e estrutural, e Ajustar MEE

#### 5.2.5.1 Avaliação do modelo de mensuração

Nesta etapa foi realizada a análise fatorial confirmatória (CFA) para definição do modelo teórico e teste através de indicadores obtidos na pesquisa de campo. Esses indicadores são o resultado de perguntas da pesquisa. Os indicadores serão validados se tiverem uma carga fatorial entre 0,708 a 0,95 (HAIR JR *et al.*, 2017). Posteriormente são executadas simulações e análise do modelo de medição, de acordo com os seguintes testes (SARSTEDT *et al.*, 2017; HAIR *et al.*, 2018), conforme com os critérios do Quadro 14.

**Quadro 14 - Critérios de Análise do Modelo de Medição**

Objetivo	Medida	Critério	Referências
Indicador	Carga Fatorial	> 0,708*	Hair Jr <i>et al.</i> (2016)
Consistência interna	Alfa de Cronbach	AC > 0,7**	
	Confiabilidade Composta rho_A	CC > 0,7 rho_A > 0,7***	
Validade convergente	Variância média extraída (AVE)	AVE > 0,5	Fornell e Larcker (1981) e Chin (1998)
Validade discriminante	Cargas cruzadas Critério de Fornell e Larcker	Carga Fatorial (AVE) <sup>2</sup>	

Nota: \* indicadores com cargas fatorial acima 0,95 indicam que os itens são redundantes, reduzindo a validade de constructo (Hair *et al.*, 2019).

\*\* Os valores ideais Alfa de Cronbach devem estar entre 0,70 e 0,95. O Alfa de Cronbach tende a subestimar a confiabilidade quando o tamanho da amostra é pequeno (<100). O ideal é adotar a medida de confiabilidade composta.

\*\*\* O coeficiente rho\_A retorna um valor médio entre o alfa de Cronbach (AC) e a Confiabilidade Composta CC (Hair *et al.*, 2019).

Fonte: adaptado de Hair Jr *et al.* (2017)

A confiabilidade da consistência interna, avaliada através do PLS-SEM, é expressa por duas formulações:

(i) A confiabilidade composta  $\rho_c$  de Jöreskog (1971) é dada pela seguinte equação 18:

$$\rho_c = \frac{(\sum_{k=1}^k l_k)^2}{(\sum_{k=1}^k l_k)^2 + \sum_{k=1}^k var_{(ek)}} \quad (18)$$

Onde:  $l_k$  simboliza a carga externa padronizada da variável indicadora  $k$  de um construto específico, medido com indicadores  $k$ ;  $e_k$  é o erro de medição da variável indicadora  $k$ ; e  $var(e_k)$  indica a variação do erro de medição, definido como  $1 - l_k^2$ .

- (ii) O alfa de Cronbach assume os mesmos limites da confiabilidade composta ( $\rho_c$ ), mas gera valores menores. Esta estatística é definida em sua forma padronizada, conforme equação 19:

$$Cronbach's \alpha = \frac{K \cdot \bar{r}}{[1 + (K - 1) \cdot \bar{r}]} \quad (19)$$

Onde:  $K$  representa o número de indicadores do constructo e  $r$  o coeficiente de correlação médio não redundante do indicador (ou seja, a média da matriz de correlação triangular inferior ou superior).

No PLS-SEM, o alfa de Cronbach é o limite inferior, enquanto  $\rho_c$  é o limite superior da confiabilidade da consistência interna ao estimar modelos de medidas reflexivas (SARSTEDT *et al.*, 2017).

- (iii) Validade convergente: expressa que um constructo converge nas medidas direta dos seus indicadores, explicando a variância (equação 20). A medida é dada pela variância média extraída (AVE) em todos os indicadores. A AVE é calculada como a média das cargas quadradas de cada indicador associado a um constructo (para dados padronizados):

$$AVE = \frac{(\sum_{k=1}^K l_k^2)}{K} \quad (20)$$

Onde:  $l_k$  e  $K$  são definidos na equação de confiabilidade composta. Um limite aceitável para a AVE é 0,50 ou superior. Esse nível ou mais indica que, em média, o construto explica mais de 50% da variação de seus indicadores.

- (iv) Validade do discriminante do modelo de medição: o critério de Fornell-Larcker, cargas cruzadas e o heterotrait-monotrait (HTMT) de correlações podem ser usados para examinar a validade discriminante. Nesta modelagem, foi adotado o critério Fornell-Larcker para avaliar problemas de multicolinearidade das variáveis latentes. O algoritmo do SmartPLS avalia se a raiz quadrada da AVE de cada variável deve ser maior que a mais alta correlação quadrada da variável latente com qualquer outra variável latente (Ab HAMID *et al.*, 2017).

### 5.2.5.2 Avaliação do modelo de estrutural

A simulação do modelo estrutural aplica os procedimentos *bootstrapping*<sup>7</sup> e *blindfolding*<sup>8</sup> para verificar sua capacidade preditiva (DAVISON; HINKLEY, 1997; WONG, 2019). A abordagem *bootstrap* consiste em obter diferentes conjuntos de dados da amostra original para avaliar o nível de incerteza (tamanho do efeito  $f^2$ ) associado às estimativas do modelo estrutural. Neste trabalho, a abordagem de *bootstrap* foi desenvolvida usando 5000 subamostras da amostra de substituição original. A abordagem *blindfolding* mede a Relevância Preditiva  $Q^2$  e o efeito  $q^2$  ou impacto dos constructos exógenos em constructos endógenos (HENSELER; RINGLE; SINKOVICS, 2009). Os critérios adotados são apresentados no Quadro 15.

**Quadro 15** - Critérios de Análise do Modelo Estrutural

Objetivo	Medida	Critério	Referências
Avaliar a variância nos constructos endógenos explicados por todos os constructos exógenos	Coefficiente de determinação de Pearson ( $R^2$ )	entre 0 a 1*	Cohen (1988)
Avaliar o efeito do constructo exógeno quando ele é excluído do modelo	Tamanho do efeito ou indicador de Cohen ( $f^2$ )	0,02 – efeito pequeno 0,15 – efeito médio 0,35 – efeito grande	
Avaliar o poder preditivo dos valores originalmente observados	Validade preditiva ou indicador de Stone-Geisser ou Redundância da validade cruzada ( $Q^2$ )	0,02 – relevância pequeno 0,15 – relevância médio 0,35 – relevância grande	Hair Jr <i>et al.</i> (2016)
Avaliar as relações causais	Coefficiente de caminho	O valor de $t_{value}$ ideal deve estar acima de 1,96 e o coeficiente de caminho deve ser diferente de zero a um nível de significância de 5%	

Nota: \* É difícil fornecer regras práticas para valores  $R^2$  aceitáveis. Normalmente modelos parcimoniosos (com elevados valores de  $R^2$  e menos constructos exógenos) são priorizados (HAIR *et al.*, 2011; HENSELER, 2017).

Fonte: adaptado de Hair Jr *et al.* (2014).

A avaliação dos valores de  $R^2$  de todos os constructos endógenos é realizada, simulando a alteração no valor de  $R^2$ , quando um constructo preditor é omitido do modelo e ocorrem efeitos substantivos nos constructos endógenos. Esta simulação mede o efeito  $f^2$ , conforme equação 21:

<sup>7</sup> O *bootstrapping* testa as hipóteses e também fornece valores  $t$  (*valor t*), que medem relações causais e avaliam a significância de correlações e regressões (DAVISON; HINKLEY, 1997; WONG, 2019)

<sup>8</sup> *Blindfolding* é uma técnica que reutiliza a amostra para calcular o valor  $q$  de Stone-Geisser. Este critério representa a relevância preditiva do modelo com validação cruzada (DAVISON; HINKLEY, 1997; WONG, 2019)

$$f^2 = \frac{R_{incluído}^2 - R_{excluído}^2}{1 - R_{incluído}^2} \quad (21)$$

Onde:  $R_{inclusão}^2$  e  $R_{excluído}^2$  são os valores  $R^2$  da variável latente endógena quando um constructo preditor específico é incluído ou excluído do modelo. A mudança nos valores de  $R^2$  é calculada estimando-se duas vezes uma regressão parcial específica em um modelo estrutural (ou seja, com as mesmas pontuações variáveis latentes).

Desta maneira, inicialmente são estimadas todas as variáveis latentes exógenas incluídas (produzindo  $R^2$  incluído) e, depois, uma variável latente exógena selecionada excluída (produzindo  $R^2$  excluído).

Outro método de análise preditiva é o cálculo do valor de  $Q^2$  (GEISSER, 1974; STONE, 1974). O procedimento *blindfolding* é adotado para omitir pontos únicos na matriz de dados, imputa os elementos omitidos e estima os parâmetros do modelo. Usando essas estimativas como entrada, o procedimento *blindfolding* prevê os pontos de dados omitidos. Esse processo é repetido até que todos os pontos de dados sejam omitidos e o modelo reestimado. Os critérios estão especificados no Quadro 10.

Analogamente ao tamanho do efeito  $f^2$ , também se pode analisar o tamanho do efeito  $q^2$ , que indica a alteração no valor  $Q^2$ , quando um constructo exógeno específico é omitido no modelo. Uma desvantagem dessas métricas é que elas tendem a superestimar uma amostra específica, se a validade preditiva for avaliada na mesma amostra usada para estimativa.

## 5.2.6 6º Passo – Resultado e discussão da modelagem

Os critérios apresentados para MEE são orientações para validação do modelo em relação à teoria atribuída. Entretanto, para o caso onde não se consegue ajustar plenamente a modelagem através das diversas técnicas multivariadas, é necessária uma avaliação teórica do fenômeno. A análise do fenômeno deve ser confrontada com os resultados, adotando-se o máximo de coerência entre o conteúdo e a forma de modelagem. Os critérios violados devem ser justificados com base na teoria e na experiência do pesquisador (MARÔCO, 2010; HAIR JR *et al.*, 2016).

Os resultados da MEE medem o SEMw e orientam diversas estruturas e caminhos de planejamento para a GRSU. As indicações são apresentadas por meio de indicadores ou significância (t\_value) obtidos no teste de relevância preditiva da abordagem PLS. Os indicadores expressos pela significância são convertidos em pesos percentuais que dão

suporte nas prioridades e decisões da GRSU, orientam a execução de planos de ação e identificam os fluxos de ELTs, antes não considerados pela limpeza urbana devido à dificuldade de contabilização no balanço de massa.

### 5.3 CONCLUSÕES PARCIAIS DO CAPÍTULO 5

A MEE através da abordagem dos mínimos quadrados parciais é um método econômico, racional e eficaz. O algoritmo parametrizado e utilizado na MEE permite que a interface gráfica tenha um bom desempenho na composição das relações causais entre as variáveis latentes (constructos), sobretudo nos modelos reflexivos, onde a medição indireta das variáveis latentes (constructos) flui em direção à causalidade. Todos os algoritmos são suportados e o número de projetos é ilimitado.

Em linhas gerais, a vantagem de usar PLS é porque a direção da causalidade é medida diretamente pelos indicadores reflexivos. As cargas fatoriais do vetor das observações obtidas na pesquisa de campo pelo questionário apresentam correlações adequadas das variâncias e consistência interna favorável. Correlações fracas ou fortes demais entre os indicadores interferem na qualidade da medida da variável latente. As correlações fracas mostram que os indicadores não conseguem medir o fenômeno, sendo assim, tais indicadores devem ser excluídos da modelagem na análise fatorial confirmatória. Nas correlações fortes demais, os indicadores que superpõem às medidas apresentam colinearidade, ou seja, a variável latente apresenta baixa confiabilidade e validade, sendo os indicadores também excluídos na análise fatorial confirmatória.

No caso desta modelagem, as variáveis latentes (constructos) são partes complementares da teoria, que está submetida ao teste do modelo estrutural. O modelo estrutural é a relação de dependência e interdependência mensurada pelas regressões lineares múltiplas. Para viabilizar a modelagem, o procedimento do *bootstrapng* é aplicado com o propósito de gerar o máximo de amostras significantes.

Outra vantagem da MEE através PLS é que a *Standardized Root Mean Square Residual* (SRMR) é uma medida de ajuste aproximado do modelo do pesquisador. Esse ajuste é mostrado diretamente nas interfaces da modelagem. Ele mede a diferença entre a matriz de correlação observada e a matriz de correlação implícita no modelo.

Enfim, o PLS-SEM facilita o estudo de teorias em desenvolvimento porque as respostas estruturais são rápidas e os resultados dos testes são apresentados diretamente na interface gráfica.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo inclui os resultados qualitativos e quantitativos do trabalho de pesquisa. Inicialmente são mostrados o diagnóstico do perfil socioeconômico dos residentes do estudo de caso e as fontes geradoras de ELTs. Esta avaliação foi muito importante porque, através dela, foram definidas as premissas iniciais para as deduções dos bancos de dados secundários, utilizados para quantificação dos fluxos ELTs.

Em seguida, os resultados da previsão de fluxos de ELTs não contabilizados são mostrados através de gráficos das séries históricas. Todos os gráficos têm discussões e são comparados com trabalhos anteriores, apresentados no estado da arte.

Os resultados da MEE são apresentados na forma de tabelas, que é o formato frequentemente adotado nos trabalhos da revisão da literatura. As hipóteses aceitas estão distribuídas no diagrama de caminho, de acordo com os constructos do modelo teórico inicial. Cada hipótese aceita tem o seu nível de importância no modelo estrutural calculado pelos algoritmos do software PLS-SEM.

Para melhorar a compreensão do fenômeno SEMw, os indicadores foram ranqueados conforme valor da significância ( $t_{Student}$ ). Eles definem o nível de importância de cada indicador por constructo para o planejamento das ações de GRSU.

Ao final, são apresentadas as equações estruturais do modelo para avaliação do SEMw. O padrão definido nas equações mostra o nível de importância dos constructos técnicos (variáveis métricas) e sociais (variáveis não métricas).

### 6.1 DIAGNÓSTICO SOCIOECONÔMICO

#### 6.1.1 Levantamento do perfil socioeconômico da cidade de Vitória da Conquista

O Produto Interno Bruto (PIB) municipal foi estimado em R\$ 5,4 bilhões e o PIB per capita em R\$ 18.589,99 (IBGE, 2017). As previsões apontavam que cerca de 70% do PIB municipal são provenientes do setor de comércio e serviços (BENZ; JAAX, 2020). Vitória da



Conquista é caracterizada como uma cidade universitária, possuindo instituições de ensino superior tanto públicas quanto privadas.

Apesar de favoráveis indicadores da educação básica, o índice de Gini é de 0,562, o que indica problemas de desigualdade na distribuição de renda. Além disso, existem problemas de ordem sanitária e de saneamento, refletindo em um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,678.

A Tabela 3 apresenta o perfil sociodemográfico do público do estudo de caso obtido através de uma amostragem não probabilística intencional, onde se verifica uma característica heterogênea, com a participação de cinco segmentos profissionais da cidade, com idades entre 25 a 54 anos. A participação do sexo masculino e feminino é equilibrada, além de mostrar que 40% dos entrevistados têm renda entre 10 a 25 salários mínimos. Também se observa que 20% dos entrevistados têm renda superior a 25 salários mínimos. Este público tem automóveis próprios, são consumidores de peças e acessórios e, sobretudo, pneus. Dentre os demais entrevistados, cerca de 50% são trabalhadores e 60% são estudantes ou graduados de universidades.

**Tabela 3** - Perfil demográfico do estudo de caso

<b>Características demográficas dos respondentes da cidade</b>					
<b>Demografia</b>	<b>Frequência</b>	<b>%</b>	<b>Demografia</b>	<b>Frequência</b>	<b>%</b>
<b>Idade (anos)</b>			<b>Atividade Profissional</b>		
<24	11	11.11	Funcionário Público	25	25.25
25 para 34	32	32.32	Funcionário Privado	26	26.26
35 para 44	40	40.40	Empresário (a)	07	7.07
45 para 54	12	12.12	Autônomo (a)	20	20.20
>55	04	4.04	Estudante	21	21.21
<b>Sexo</b>			<b>Nível de educação</b>		
Masculino	51	51.52	Ensino fundamental	11	11.11
Feminino	43	43.43	Colegial	31	31.31
Outros	05	5.05	Estudante universitário	30	30.30
			Graduado	27	27.27
<b>Renda</b>					
< 2,5 Salário Mínimo (SM)	16	16.16			
2,5 SM para 10,5 SM	23	23.23			
10,5 SM para 25,5 SM	40	40.40			
25,5 SM para 50,5 SM	17	17.17			
50,5 SM para 105,5 SM	03	3.03			
105,5 SM para 505,5 SM	-	-			
> 505,5 SM	-	-			

Este perfil sociodemográfico, levantado na pesquisa de campo realizada em diferentes estratos sociais (relacionados à renda) durante 6 meses, mostra que o 3º estrato (10,5 SM para 25,5 SM) apresenta maior frequência.

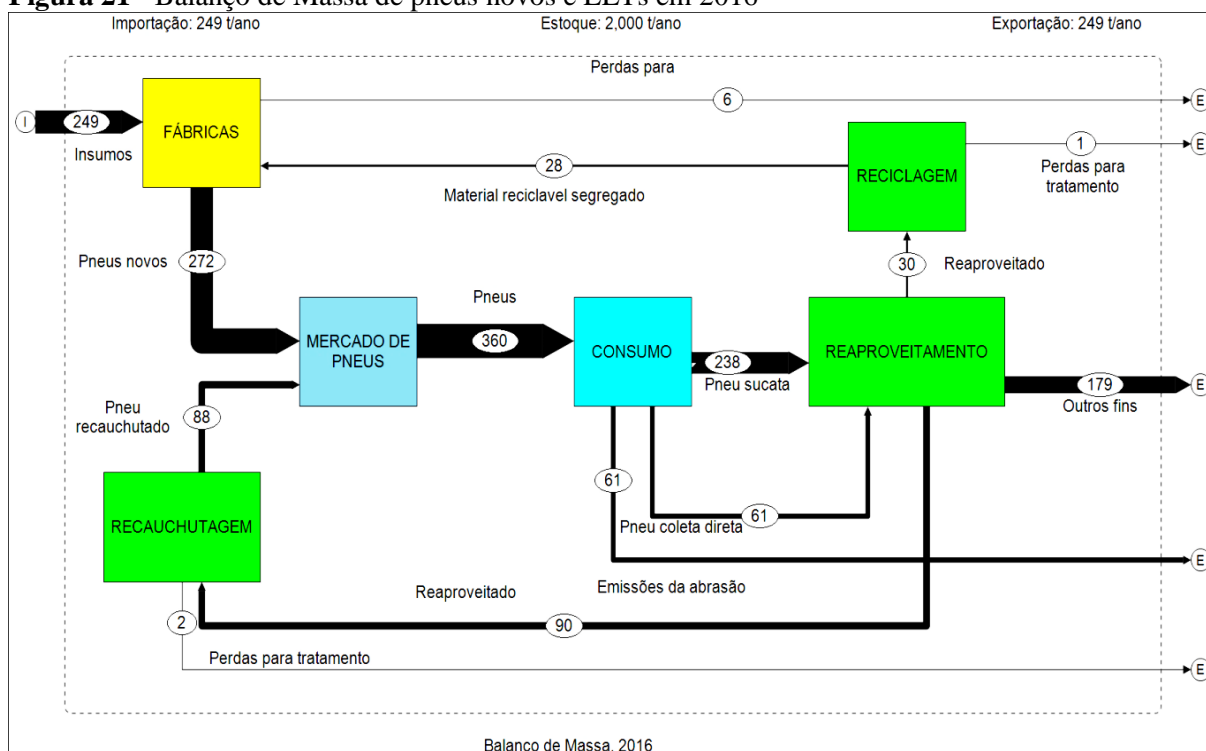
Para ampliar os dados da pesquisa, foi utilizado o *survey* pelo *googledoc*. A pesquisa de opinião foi aplicada em locais públicos (universidades, repartições públicas e empresas privadas) e através de mala direta.

Ao realizar outra pesquisa de campo, adotando o mesmo procedimento, a exemplo do *survey* do Apêndice B, é possível obter duas interpretações do fenômeno: (i) os grupos sociais investigados teriam respostas distintas dos registros do *survey* original, mas não alteraria significativamente o resultado e (ii) os fatores socioeconômicos do momento da pesquisa de campo poderiam alterar os resultados em relação ao *survey* original.

### **6.1.2 Levantamento dos fluxos de ELTs contabilizados pela GRSU**

Em 2016, o volume de RSU gerados era de cerca de 300 toneladas/diárias, sendo que 0,43% (240 t/ano) de ELTs estavam sendo destinados a custo zero para outros fins, com apoio da REICLANIP. Segundo a GRSU, os ELTs gerados na cidade correspondem a 1 t/dia (cerca de 350 t/ano) e são caracterizados no balanço de massa de RSU como resíduos domésticos urbanos, ao invés de resíduos inertes (PMVC/SESEP, 2016).

Os fluxos de ELTs contabilizados e destinados para reaproveitamento são respectivamente de 234,02 t/ano e 245,98 t/ano (média de 240 t/ano), conforme balanço apresentado na Figura 21. Entretanto, 14,5% (40 t/ano) do fluxo de ELTs não são destinados corretamente para atividades logísticas de recauchutagem e reciclagem. Os ELTs se perdem nos fluxos domésticos não contabilizados, causando impacto ambiental e problemas de saúde pública. Conforme levantamento realizado na (PMVC/SESEP, 2016), 14,5% dos ELTs anualmente não são encontrados nas redondezas da cidade, representando um fluxo de ELTs não contabilizados e não destinados que merece avaliação por meio de balanço de massa.

**Figura 21 - Balanço de Massa de pneus novos e ELTs em 2016**

Fonte: *Software Stan 2.5.01302.*

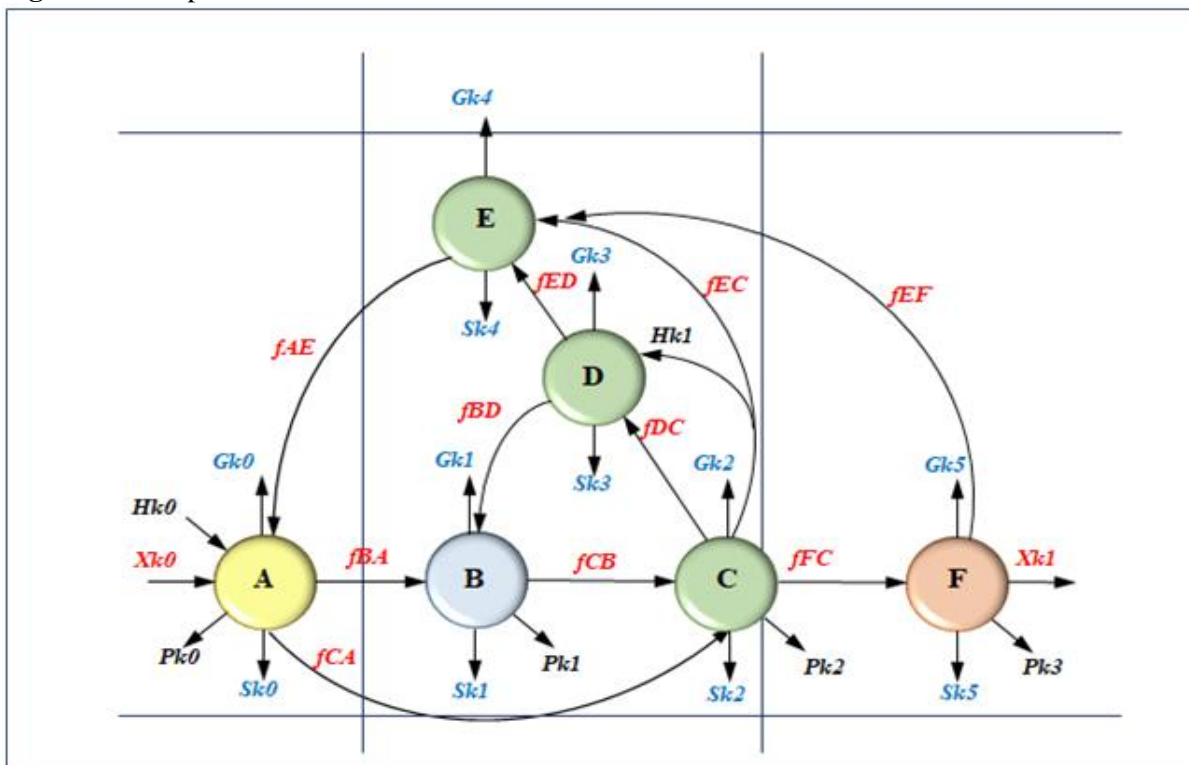
Estes fluxos de ELTs não contabilizados em grande parte são destinados equivocadamente para aterro sanitário. Este problema de ordem técnica também foi objeto de estudo de (CRAWFORD; SMITH, 2016; ABUNAMA *et al.*, 2018; COSTA *et al.*, 2019). Os trabalhos apontam que os fatores socioeconômicos estão presentes nos problemas técnicos porque o padrão social e cultural é típico de locais que ainda não encontraram alternativas para melhorar a destinação de ELTs no ambiente econômico. Os fluxos de ELTs são dispersos, em alguns casos, são lançados para os leitos dos rios ou são usados em atividades domésticas e para construção de alvenarias improvisadas. A realização do balanço de massa é uma primeira opção da GRSU para avaliar a destinação final dos ELTs da cidade.

### 6.1.3 Mapeamento dos fluxos de ELTs

A Figura 22 mostra a representação da *Supply Chain*, da produção de pneus até o reaproveitamento e/ou outros fins. O nó A representa o mercado de reposição de pneus novos entre fabricantes, importadores e distribuidores (atacadistas ou varejistas). O nó B representa o consumo autônomo da sociedade, não havendo distinção entre consumidores de pequeno e/ou grande porte. O nó C é o ambiente onde a logística reversa inicia, ou seja, o

compartimento de reaproveitamento que envia materiais secundários (ELTs) para recauchutagem (nó D) e reciclagem (nó E). O nó F representa o compartimento outras finalidades (aproveitamento energético etc.), que não faz parte deste estudo.

**Figura 22** - Mapeamento dos fluxos de ELTs



Fonte: adaptado de Yang *et al.* (2010).

Os fluxos lineares entre os compartimentos (nós) são identificados pelos símbolos fBA, fCB, fCA, fFC, fDC, fED, fEC, fEF, fBD e fAE. As emissões são identificadas pelos símbolos Sk0, Sk1, Sk2, Sk3, Sk4 e Sk5 e representam perdas na forma de particulados sólidos. Os símbolos dos fluxos Gk0, Gk1, Gk2, Gk3 e Gk4 são perdas na forma de gás. Os símbolos Pk0, Pk1, Pk2 e Pk3 são perdas ou fluxos desconhecidos de ELTs não contabilizados, perdidos ou espalhados pela cidade, difíceis de serem monitorados pelo gestor público. Os fluxos Hk0 e Hk1 são matérias-primas (borracha) que podem ser reaproveitadas nas empresas de recauchutagem para recuperação e ampliação da vida útil dos pneus.

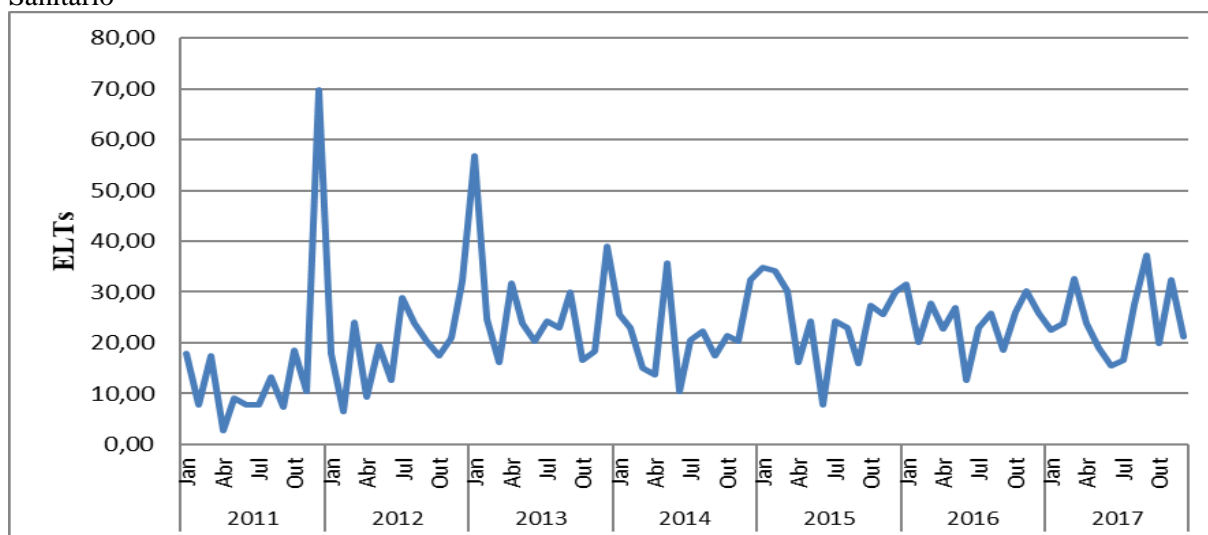
Na Figura 21, é mostrado o balanço de massa como primeiro diagnóstico dos fluxos de ELTs da cidade, elaborado no *software Stan 2.5.01302*, conforme instruções da Figura 22 (Mapeamento dos fluxos de ELTs). A entrada de pneus novos na economia da cidade, no ano de 2016, correspondeu a cerca de 250 t/ano (esta análise não está considerando os fluxos ocultos de pneus importados, adquiridos pelo mercado paralelo). A quantidade de pneus após

consumo coletados pela LR é de 238 t/ano ou 95,2% de ELTs (no diagrama é identificado como pneu sucata). Todas as perdas estão no balanço de massa e são representadas pela exportação (E) para o meio ambiente (fábrica, 6 t/ano; consumo, 61 t/ano; outros fins e reaproveitamento energético, 179 t/ano; e reciclagem, 1 t/ano). A maior quantidade exportada para o ambiente externo é de 179 t/ano, que representa cerca de 60% dos resíduos gerados para logística reversa.

O balanço de massa foi realizado para verificar inicialmente o cenário do mercado de reposição até a destinação final (caixinha verde reaproveitamento). Os ELTs são acondicionados em um armazém a céu aberto até formar lotes de 4000 unidades/trimestre, independentemente do tipo e do tamanho, desde que tenham no mínimo 2kg (BRASIL, 2009). Da quantidade de ELTs reaproveitados, alguns são enviados para empresas de remodelagem, outros são encaminhados para trituração e aplicação em pavimentação ou materiais suplementares da indústria da construção civil. Segundo análise do balanço de massa, a cidade tem um estoque de 2000 t/ano, que representa a quantidade de pneus novos e pneus em circulação dos veículos da cidade.

A Figura 23 mostra a série histórica mensal da quantidade de ELTs coletados na cidade de Vitória da Conquista no período de 2011 a 2017. As sazonalidades entre os anos não seguem um padrão dinâmico, mas nos meses de dezembro exibem picos de consumo, principalmente nos primeiros três anos, quando a série era crescente. A partir do ano de 2014, é possível perceber uma menor instabilidade. O reflexo da menor quantidade de ELTs coletados na LR é decorrente do início da crise econômica no Brasil.

**Figura 23** - Série histórica de 7 anos da coleta ELTs, em toneladas de Vitória da Conquista/Aterro Sanitário



Além das crises recorrentes na economia brasileira, afetando inevitavelmente a qualidade de vida dos municípios, a Figura 23, mostra picos de coletas de ELTs nos meses de novembro e dezembro devido ao consumo decorrente da melhoria na renda. Estes picos são provenientes as atividades de coletas de ELTs pela logística reversa. Esta série de dados foi tratada para previsão dos fluxos de ELTs não contabilizados e não destinados porque apresentava comportamento não estacionário.

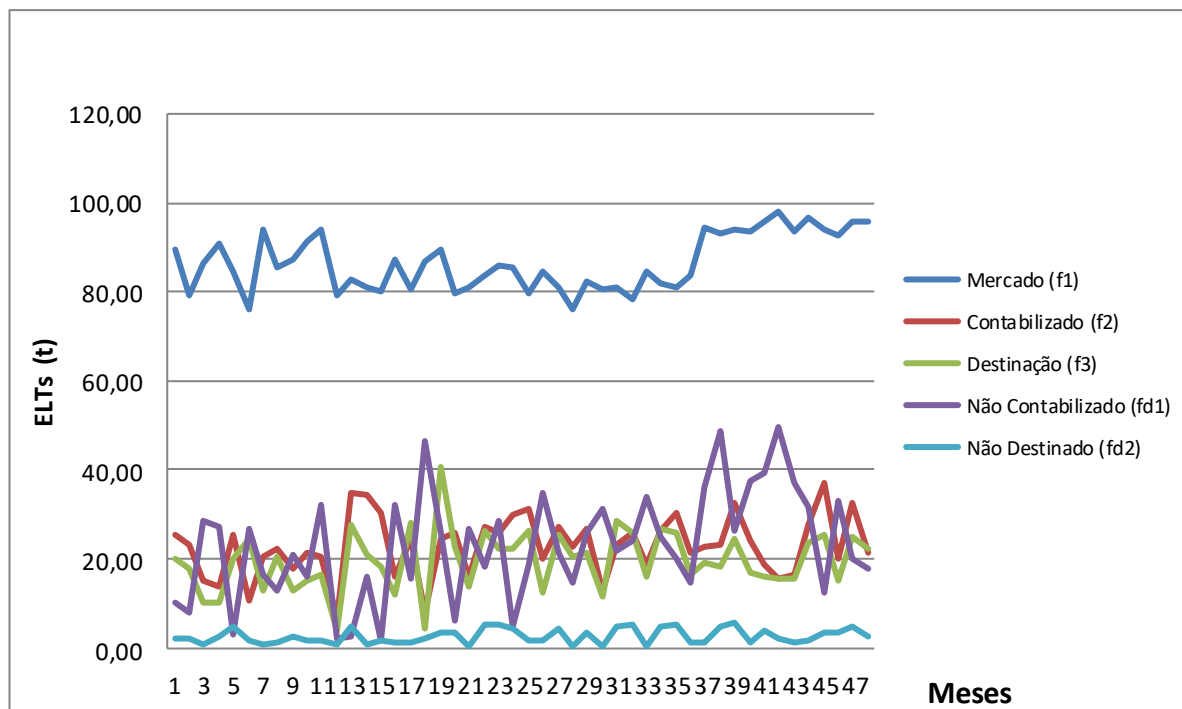
## 6.2 PREVISÃO DOS FLUXOS DE ELTs NÃO CONTABILIZADOS E NÃO DESTINADOS

Na análise da Figura 23, devido às sazonalidades presentes nos primeiros três anos, as informações de 2011 a 2013 foram desconsideradas, porque com dados *cross-section* a ordem das observações é irrelevante para a análise, em séries temporais a ordem dos dados é fundamental. A série foi encurtada para o período de 2014 a 2017 a fim de ser ajustada no procedimento de previsão dos fluxos de ETs não contabilizados e não destinados.

### 6.2.1 Análises do banco de dados de ELTs

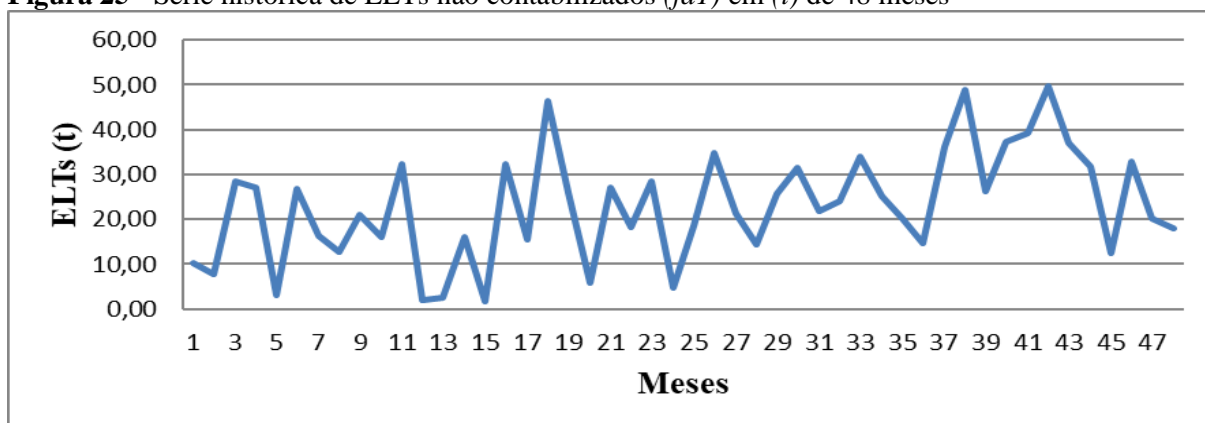
A Figura 24 representa a série histórica do banco de dado dos fluxos de ELTs em 4 anos (2014 a 2017). Os fluxos não contabilizados ( $fd1$ ) e não destinados ( $fd2$ ) compõem a série histórica. Eles fazem parte dos fluxos de ELTs, resultantes do consumo do mercado de reposição ( $f1$ ) de pneus novos, sobretudo do estoque de pneus em circulação na cidade e dos fluxos de ELTs contabilizados ( $f2$ ) e destinados ( $f3$ ).

**Figura 24** - Série histórica do banco de dados de ELTs para previsão (*fd1* e *fd2*), em *t*, 48 meses



As séries de dados mostradas na Figura 24 foram tratadas para eliminar as sazonalidades. As séries históricas dos fluxos de ELTs não contabilizados (*fd1*) e não destinados (*fd2*) foram selecionadas para previsão, adotando os métodos ARIMA e ANN (Figura 25 e 26).

**Figura 25** - Série histórica de ELTs não contabilizados (*fd1*) em (*t*) de 48 meses



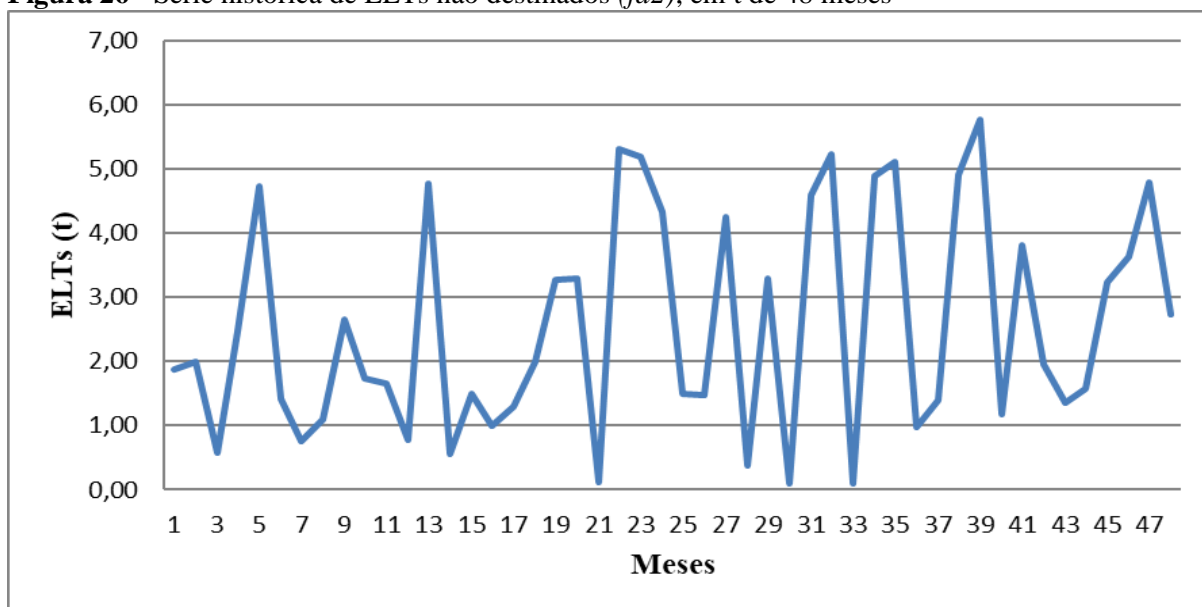
O comportamento da série histórica dos fluxos de ELTs não contabilizados (Figura 25), selecionada para previsão, apresenta uma tendência de uniformidade com picos em média de 30t, bem definidos no intervalo entre 3º e o 33º mês. No intervalo entre o 35º e o 43º mês, a série se comporta com picos em média de 40t, o que não compromete a tendência.

A tendência dos vales de 5t é observada no período de 24 meses (1º e 2º ano) da série histórica, demonstrando que entre os picos e vales existe uma variação de 15t. Este comportamento é ocasionado pelas irregularidades da logística reversa de ELTs (ETRMA, 2017).

A GRSU do município não tem um planejamento de coleta de ELTs eficaz, em função das dificuldades do orçamento da Secretaria de Limpeza Urbana. Além disso, a sociedade local não segue um padrão de consumo regular, que só é estimulado pela sazonalidade da renda dos consumidores e pela política de venda do mercado varejista da cidade. Esse comportamento dos fluxos de ELTs não contabilizados só é percebido através das deduções microeconômicas, por meio de análise da variabilidade dos relatórios da frota de veículos (DENATRAN) e, sobretudo, pela análise da variabilidade do estoque de venda de pneus disponíveis no mercado varejista (IBGE). Não obstante, também é analisada a variabilidade dos pneus em circulação no ambiente econômico, que depende do perfil cultural de consumo da sociedade local e fatores socioeconômicos.

A Figura 26 mostra o comportamento dos fluxos de ELTs não destinados (fd2), que são armazenados indevidamente pela sociedade ou enterrados no aterro sanitário da cidade.

**Figura 26** - Série histórica de ELTs não destinados (*fd2*), em t de 48 meses



O comportamento da série histórica dos fluxos de ELTs não destinados (Figura 26) é decorrente das falhas da logística reversa. Na realidade brasileira, a destinação de ELTs é gerenciada pela empresa Reciclanip representante da ANIP que, apesar de ter aumentado os pontos de coletas para mais de 1000 locais, ainda não consegue atender de forma íntegra a



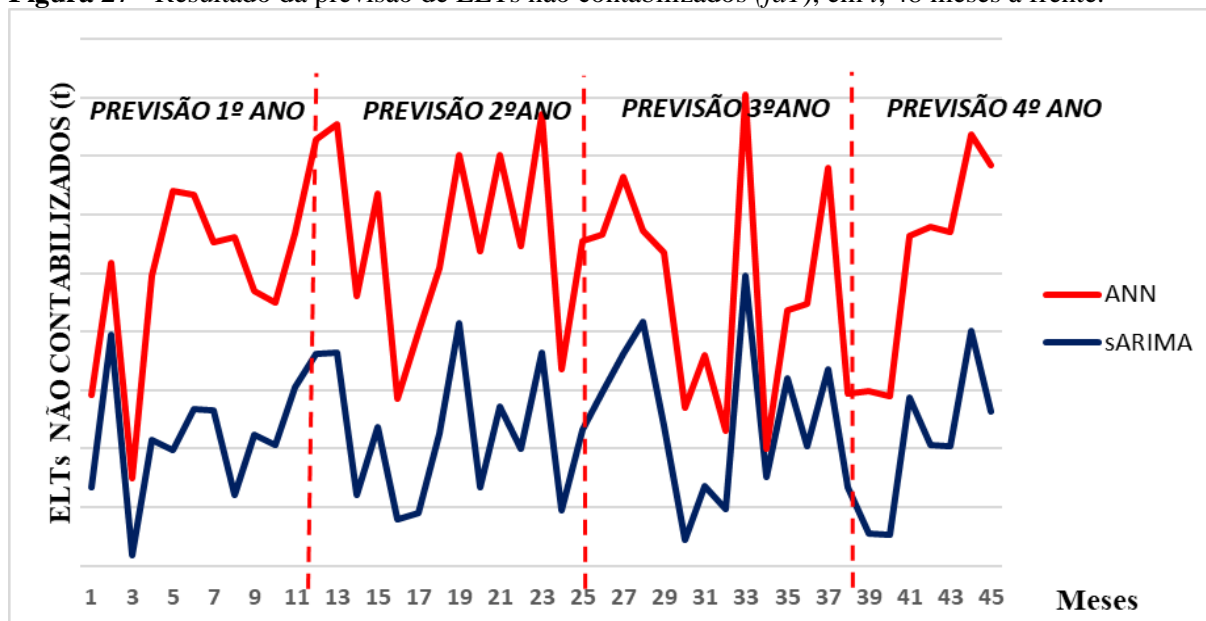
destinação correta de ELTs, conforme responsabilidade compartilhada do produtor, prescrita na Resolução N° 416/09.

Os fluxos de ELTs não destinados se assemelham às tendências dos fluxos de ELTs não contabilizados, mostrando uma sazonalidade com pontos de inflexões, picos de 5t e vales de 0,5t. Esses ELTs normalmente são destinados indevidamente para o aterro sanitário da cidade para serem enterrados. O problema maior é que ELTs não são rejeitos, pois têm outros fins econômicos. Eles podem causar incêndios e irregularidades no tratamento do chorume gerado pelas células do aterro sanitário.

### 6.2.2 Análises das previsões de ELTs não contabilizados *fdI*

A Figura 27 mostra o resultado das previsões para 48 meses à frente. As previsões por ARIMA e ANN apresentam o mesmo padrão dinâmico para os fluxos de ELTs não contabilizados *fdI*. A análise do gráfico foi realizada tomando como referência os resultados da previsão pelo método ARIMA e seguindo as recomendações da revisão da literatura, no horizonte de 12 meses à frente, conforme (OWUSU-SEKYERE *et al.*, 2013; CHANG, 2014; GHINEA *et al.*, 2016; ABUNAMA *et al.*, 2018; BITTENCOURT *et al.*, 2019).

**Figura 27** - Resultado da previsão de ELTs não contabilizados (*fdI*), em t, 48 meses à frente.



No 1º período da previsão, 12 meses à frente, dois pontos de inflexões se destacam. Os pontos de inflexões no mês de março e dezembro podem ser entendidos através de duas

hipóteses. A primeira hipótese se refere ao início das atividades municipais no 1º e 3º trimestres do ano, quando a programação de limpeza urbana é mais efetiva, depois dos eventos culturais do calendário brasileiro. A segunda hipótese é que o consumo de pneus novos e o descarte de ELTs diminuem ou aumentam com a demanda agregada da sociedade no início das atividades do exercício fiscal.

A diferença entre a inflexão negativa (vale) no mês de março e a inflexão positiva (pico) no mês de dezembro é de cerca de 80%. Isso denota que a limpeza urbana tem grande “*gap*”, devido à falta de uma gestão mais impositiva. A reincidência desses “*gaps*” pode gerar custos altos e, conseqüentemente, ineficiência nas ações de combate às doenças em pontos remotos da cidade.

Os pontos de picos justificam a aceção anterior sobre o acúmulo de ELTs no final do ano. Os fluxos de ELTs não contabilizados *fdls* aumentam à medida que faltam condições para coletar ELTs na cidade, devido ao maior descarte das fontes geradoras. As necessidades de replanejamento e alocação dos recursos municipais a partir do 2º quadrimestre do ano devem ser avaliadas pelos gestores públicos de limpeza urbana. A incerteza na coleta de ELTs no meio urbano não está em sintonia com a destinação correta que se caracteriza um problema de políticas públicas.

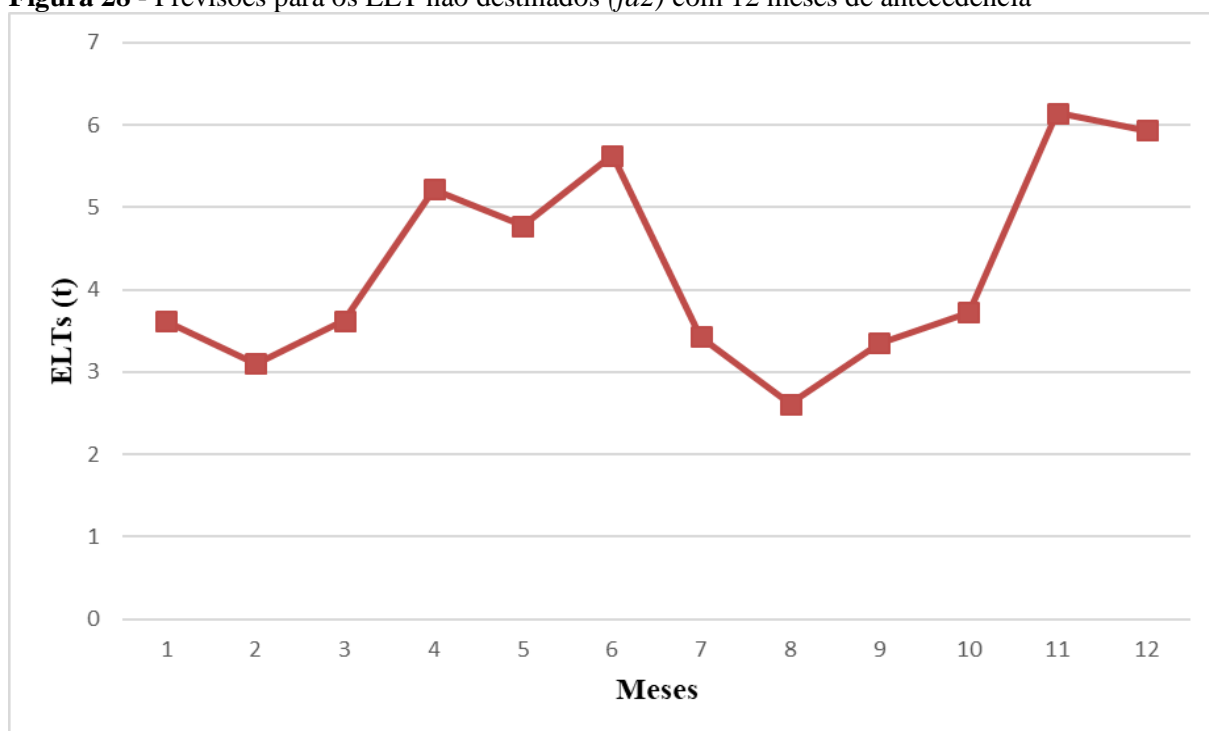
Nos demais períodos de previsão (2º a 4º), o comportamento da série se assemelha, embora ocorram pontos de inflexões antagônicos, com uma defasagem de 2 a 3 meses. Isso pode ser notado na previsão do final do ano (entre novembro e dezembro), já que existe uma falta de padronização das predições em relação ao 1º período de previsão de 12 meses à frente.

Portanto, através dos fluxos de ELTs não contabilizados *fdl*, é possível verificar o desempenho da coleta e contabilização de ELTs. As predições de ELTs não contabilizados mostram a possibilidade de uma similaridade em relação à contabilização dos RSU. O controle de ELTs dependerá da eficiência dos recursos urbanos e do tratamento que é oferecido na coleta de RSU. No longo prazo, outras conclusões podem ser inferidas, tais como: (i) o mercado varejista de pneus da cidade está fazendo a destinação final dos pneus substituídos através da logística reversa; (ii) o consumo de pneus novos encontra-se em retração devido à conjuntura econômica local; e (iii) os controles da gestão da limpeza municipal apresentam não conformidades.

### 6.2.3 Análises das previsões de ELTs não destinados *fd2*

A Figura 28 mostra os resultados da previsão para ELTs não destinados *fd2*, usando uma rede Elman RNN com 12 meses de antecedência. A previsão mostra um comportamento oscilatório semelhante à série histórica estimada (Figura 27), com um padrão dinâmico de aumentos ou reduções a cada trimestre. Esse período está associado ao planejamento sazonal da coleta de pneus no armazém da RL, realizado pelas empresas que produzem ou importam pneus e efetuam a substituição dos produtos no mercado. Essas empresas, de acordo com a legislação, são obrigadas a prestar esse serviço gratuitamente (CONAMA 258, 1999).

**Figura 28** - Previsões para os ELT não destinados (*fd2*) com 12 meses de antecedência



O resultado da previsão pela Rede Elman para períodos curtos se mostra eficaz, conforme Figura 28. A similaridade do resultado da previsão dos fluxos de ELTs não destinados com a série histórica de 12 meses (apresentada na Figura 26) reafirma a qualidade das previsões através de RNN. Desse modo, esta ferramenta pode subsidiar o planejamento urbano e a gestão municipal urbana na tomada de decisão de RSU. Resultados semelhantes foram apresentados por Abbasi e El Hanandeh (2016) e Abunama et al. (2018).

### 6.2.4 Discussões do balanço de massa

O resultado do balanço de massa na Tabela 4 mostra o total de fluxos de ELTs conhecidos ( $f1$ ,  $f2$  e  $f3$ ) e desconhecidos ( $fd1$  e  $fd2$ ) para cada ano (2014-2017) e os totais previstos para 2018 (Figura 29). Os fluxos preditos de ELTs não contabilizados ( $fd1$ ) e ELTs não destinados ( $fd2$ ) foram comparados com os valores médios estimados para avaliar a coerência da previsão.

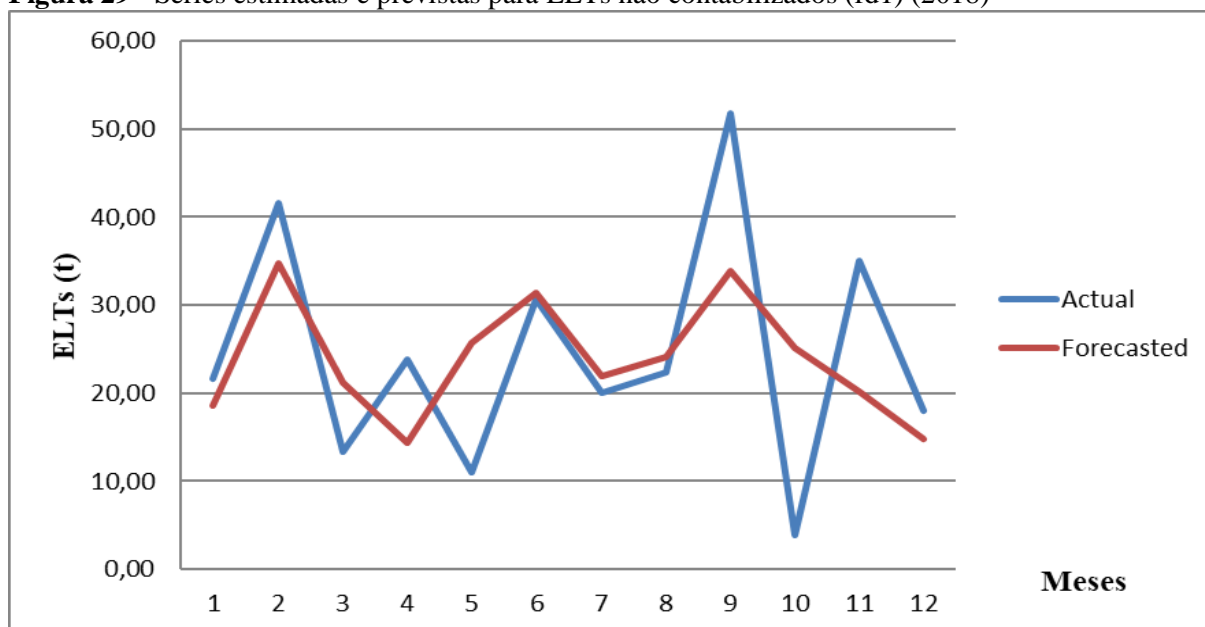
**Tabela 4** - Total de fluxos conhecidos ( $f1$ ,  $f2$  e  $f3$ ) e desconhecidos ( $fd1$  e  $fd2$ ), em  $t$ .

Ano	Status	f1 (t)	f2 (t)	f3 (t)	fd1 (t)	fd2 (t)
2014	Realizado	1.037,08	222,18	184,01	203,75	21,76
2015	Realizado	1.004,19	296,44	260,27	224,72	32,63
2016	Realizado	974,13	285,78	255,41	285,96	31,88
2017	Realizado	1.136,94	291,68	237,37	389,42	36,39
2018	Previsão				285,95	51,17

Os valores médios mostram que o total anual de ELTs desconhecidos é realmente significativo, principalmente em relação ao mercado de reposição ( $f1$ ), o que justifica a necessidade de investimento na gestão de RSU nos dois setores, a saber, limpeza urbana e LR.

A Figura 29 apresenta as séries temporais previstas pelo modelo ARIMA (Figura 27) e estimadas pelas equações (9) e (11) (balanço de massa) usando dados medidos. Ambos se referem aos fluxos mensais de ELTs não contabilizados ( $fd1$ ) nos 12 meses de 2018.

**Figura 29** - Séries estimadas e previstas para ELTs não contabilizados ( $fd1$ ) (2018)



A Figura 29 mostra a validação do modelo identificado. A semelhança entre os comportamentos dinâmicos das duas séries permite tirar duas conclusões importantes.

Primeiro, o procedimento sistemático para estimar fluxos de ETLs desconhecidos, através de bancos de dados microeconômicos e balanços de massa, é consistente. Segundo, apesar da característica aparentemente estocástica da série histórica (Figura 27), é razoável supor que exista um padrão dominante de comportamento dinâmico que possa apoiar ou contribuir para a tomada de decisão na gestão de RSU, com base em um horizonte de previsão de 12 meses à frente.

### 6.3 MODELAGEM DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS

As análises realizadas nesta secção foram conduzidas para fortalecer as teorias seguidas no desenvolvimento da MEE para medir o SEMw. Esta MEE tem como referência os fatores socioeconômicos (SEF). Neste estudo, os SEF são o ambiente econômico onde ocorrem todas as transações dos mercados. Todavia, independente do padrão cultural da sociedade, a falta de políticas sanitárias influencia os SEF. Essa influência pode ser positiva, a partir de uma forte relação entre o crescimento e desenvolvimento econômico, e também pode ser negativa, a exemplo da formação de grandes inventários de ELTs na cidade. Esses inventários dispersos pela cidade interferem no gabarito visual, na formação de criatórios de animais perigosos e na formação de vetores de doenças endêmicas. A MEE indica caminhos para melhoria dos controles de ELTs.

#### 6.3.1 MEE do metabolismo socioeconômico de ELTs

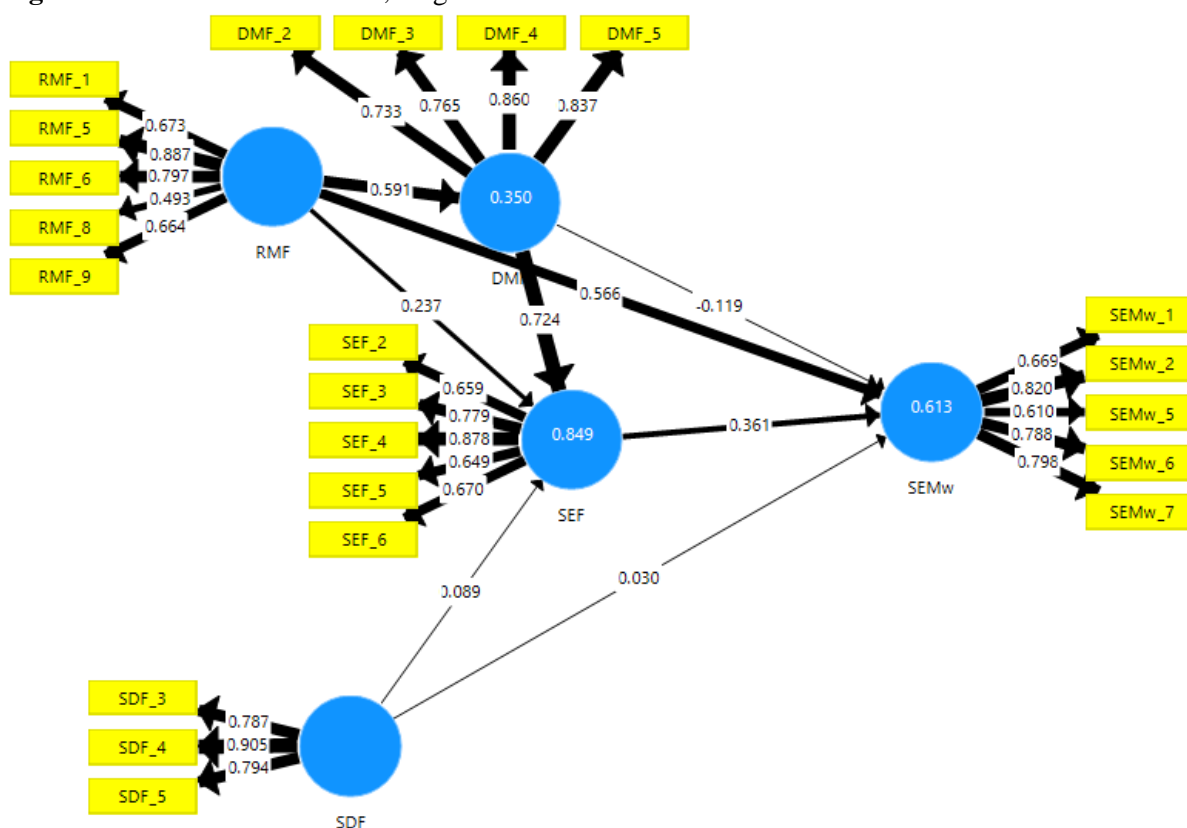
##### *6.3.1.1 Análise fatorial exploratória, Análise das hipóteses e coeficientes de caminho ( $\beta$ )*

A Figura 30 apresenta os resultados dos indicadores confirmados através da análise exploratória. Esta figura também mostra as hipóteses H1 a H8 através dos coeficientes de caminho ( $\beta$ ). Os valores positivos ou negativos representam as relações de causa-efeito diretas e indiretas admitidas nas hipóteses. No caso da hipótese H1 ( $\beta = -0,119$ ), os DMF exercem influência direta e negativa no SEMw porque as decisões dos consumidores não dependem apenas do seu nível de renda. As decisões de produzir mais pneus dependem de fatores socioeconômicos, bem como de fatores sociodemográficos e, sobretudo, das políticas públicas

na gestão dos resíduos sólidos da cidade. Nem todos os DMF produzidos serão transformados em resíduos e medidos no SEMw. Isso quer dizer que a renda tende a ser inelástica porque as decisões dos consumidores por bens diminuem. Esse fenômeno é mais perceptível em países desenvolvidos (MAZZANTI *et al.*, 2008). Enfim, a interpretação desse fenômeno é que o aumento da renda depende também de outras interações socioeconômicas, conforme mostra a hipótese H2, e não tão somente da dinâmica dos DMF.

No caso da hipótese H2 ( $\beta = 0,724$ ), os DMF exercem influência direta e positiva na dinâmica do ambiente socioeconômico (SEF) de uma cidade à medida que os pneus estão no estoque das empresas atacadistas ou varejistas para venda e, sobretudo, que exista elasticidade-preço (demanda) da sociedade para o consumo de pneus. As variações dos DMF dependem de decisões voluntárias dos consumidores e das políticas que regulam o setor de materiais, principalmente em relação ao mercado de reposição, que segue princípios e normas internacionais de responsabilidade compartilhada (CHANG, 2008).

**Figura 30** - Modelo de caminho, cargas externas e coeficientes estruturais.



Na hipótese H3 ( $\beta=0,237$ ), os ELTs coletados pela logística reversa são reaproveitados dos SEF, mesmo com a limitação técnica dos recursos da GRSU. Isso é ratificado pela hipótese H4 ( $\beta=0,591$ ), uma vez que os RMF influenciam positivamente o constructo DMF.

Isso significa que, na hipótese H8 ( $\beta=0,566$ ), os RMF influenciam diretamente na medição do SEMw. A integração desses fluxos DMF e RMF é forte quando existe uma boa gestão dos resíduos sólidos (GOVINDAN *et al.*, 2015).

A hipótese H5 ( $\beta=0,089$ ) mostra que o constructo SDF exerce uma discreta influência direta e positiva nos SEF, assim como a hipótese H6 ( $\beta=0,030$ ) apresenta uma fraca influência direta no SEMw. O constructo dos SEF reúne as interações técnicas e socioeconômicas do modelo. Os SEF são um constructo mediador que concentra as informações socioeconômicas para medição no SEMw.

Segundo a hipótese H7 ( $\beta=0,361$ ), o constructo dos SEF tem forte influência no SEMw. Esse constructo compõe o ramo de interações técnicas e sociais que influenciam a dinâmica do SEMw. Entende-se que as intervenções sociais, devido ao aumento populacional, idade e nível de renda per capita, são dinâmicas que afetam a variabilidade do SEMw. Os valores de Alfa de Cronbach (Tabela 6) estão acima de 0,7, o que denota uma boa medida de consistência interna dos indicadores em relação aos constructos exógenos e endógenos.

Os indicadores excluídos da análise fatorial confirmatória são apresentados na Tabela 5. Estes indicadores estão com a carga fatorial abaixo de 0,708 (HAIR JR *et al.*, 2016). Dentre estes, três indicadores (RMF\_4, SEF\_1, SEMw\_4 e SEMw\_8) com carga fatorial acima de 0,5 foram excluídos porque não apresentaram bons resultados no teste de confiabilidade. O SEM-PLS prioriza os indicadores de acordo com sua confiabilidade individual (HAYDUK; LITTVAY, 2012).

**Tabela 5** - Indicadores excluídos da modelagem de equações estruturais

Constructo	Indicador	Descrição	Carga Fatorial
Fluxos Diretos de Materiais (DMF)	DMF_1	Rede de fornecedores	0,133
	DMF_6	Regulamento	0,430
	DMF_7	Marketing	0,451
Fluxos Reversos de Materiais (RMF)	RMF_2	Planejamento urbano	0,173
	RMF_3	Acumulação	0,209
	RMF_4	Externalidades	0,528
	RMF_7	Recauchutagem	0,077
	RMF_10	Treinamento de equipe	0,045
Fatores Sociodemográficos (SDF)	SDF_1	Composição familiar	0,068
	SDF_2	Atividade profissional	0,194
	SDF_6	Idade	0,206
	SDF_7	Espaço Urbano	0,121
Fatores Socioeconômicos (SEF)	SEF_1	Investimento	0,637
Metabolismo Socioeconômico de Resíduos (SEMw)	SEMw_3	Custo ambiental	0,495
	SEMw_4	Valor econômico	0,580
	SEMw_8	Taxa metabólica	0,552

Portanto, a proposição do modelo teórico através das hipóteses visa testar a teoria levantada no estado da arte. Em linhas gerais, o modelo tem uma composição que relaciona os desejos representados pela demanda de acordo com as perspectivas da utilidade marginal. O pneu, ao chegar ao limite da vida útil é descartado prematuramente (menos 10% do peso) para o meio ambiente. Nessas condições, o pneu ainda poderia ser recuperado por empresas de recauchutagem, mas normalmente os pneus são descartados com fraturas e deformidades na estrutura mecânica, que podem ser um risco para o usuário. Entretanto, para pneus de caminhões de grande porte, essa prática ainda é seguida porque do ponto de vista mecânico, os pneus de carga possuem maior resistência aos esforços mecânicos. Os estímulos de reaproveitamento não são oferecidos pela cadeia de suprimento do município.

Para simplificar a análise, é apresentada uma abordagem dos limites entre os fluxos diretos de materiais (DMF) e os fluxos reversos de materiais (RMF). O fenômeno social funciona nesta discussão como uma variável cultural de consumo, mas, também, funciona como amortecedor de consumo em função da restrição no orçamento doméstico.

Devido à dificuldade de quantificação dos ELTs, é necessário realizar análise fatorial confirmatória dos indicadores (variáveis manifestantes ou indicadores de medida direta), que irá garantir a confiabilidade e a validade dos constructos (variáveis latentes) do modelo teórico.

#### *6.3.1.2 Análise do modelo de medição*

A Tabela 6 apresenta as medidas de consistência interna (alfa de Cronbach, CR e rho\_A > 0,7) e validade do convergente (AVE > 0,5). Os resultados mostram que o modelo de medição é adequado para validação do modelo estrutural (HAIR JR *et al.*, 2016, 2017). Estes resultados dependem dos erros aleatórios que podem comprometer a acurácia da medida direta dos indicadores e indireta dos constructos. Os indicadores com carga fatorial abaixo de 0,708 são aceitáveis em pesquisas exploratórias, quando são utilizadas escalas categóricas (HULLAND, 1999; HAIR JR *et al.*, 2016, 2017).



**Tabela 6** - Resultados do teste do modelo de medição com os indicadores validados

Constructo	Indicador	Descrição	Carga	Cronbach's Alpha	rho_A	CR <sup>1</sup>	AVE <sup>2</sup>
Fluxos Diretos de Materiais (DMF)	DMF_2	Rede de suprimento	0,733	0,816	0,844	0,877	0,641
	DMF_3	Demanda	0,765				
	DMF_4	Pedido	0,860				
	DMF_5	Localização	0,837				
Fluxos Reversos de Materiais (RMF)	RMF_1	Coleta	0,673	0,759	0,804	0,799	0,512
	RMF_5	Destinação Final	0,887				
	RMF_6	Reciclagem	0,797				
	RMF_8	Previsões	0,493				
Fatores Sociodemográfico (SDF)	RMF_9	Gestão de resíduos	0,664	0,782	0,874	0,869	0,689
	SDF_3	Renda "per capita"	0,787				
	SDF_4	Escolaridade	0,905				
Fatores Socioeconômicos ou Ambiente Socioeconômico (SEF)	SDF_5	Densidade populacional	0,794	0,780	0,807	0,851	0,537
	SEF_2	Política Municipal	0,659				
	SEF_3	Saneamento básico	0,779				
	SEF_4	PIB (renda agregada)	0,878				
	SEF_5	Consumo	0,649				
Metabolismo Socioeconômico dos Resíduos (SEMw)	SEF_6	Cultura local	0,670	0,793	0,803	0,858	0,550
	SEMw_1	Custo Ambiental	0,669				
	SEMw_2	AFM	0,820				
	SEMw_5	ACV	0,610				
	SEMw_6	Balanço de Massa	0,788				
SEMw_7	IOA	0,798					

Nota: (1) CR = Confiabilidade Composta; (2) AVE = variância média extraída.

O indicador RMF\_8 (Forecasts) foi mantido no modelo de medição, apesar do valor da carga fatorial de 0,493 estar abaixo de 0,708 (Tabela 6). Este indicador é importante no modelo teórico porque ajuda no planejamento e na gestão dos resíduos sólidos para apoio à tomada de decisão, sobretudo em relação à escolha da melhor estratégia de coleta de resíduos. Segundo Hulland (1999), há situações na análise fatorial confirmatória que, ao invés de eliminar automaticamente os indicadores quando a carga externa está abaixo de 0,70, mantêm a medida indireta do constructo, examinando cuidadosamente os efeitos da exclusão dos indicadores em relação à medida da confiabilidade composta, bem como à validade do conteúdo do constructo.

Neste trabalho, a exclusão do indicador RMF\_8 (Forecasts) diminuiria o valor da confiabilidade do constructo dos RMF medido pelo indicador Alfa de Cronbach e pela variância extraída (AVE). Estas medidas foram mantidas também para os indicadores (RMF\_1, RMF\_9, SEF\_2, SEF\_5, SEF\_6, SEMw\_1 e SEMw\_5) que apresentam carga fatorial entre 0,6 e 0,7 e estão consistentes no modelo teórico. Esses indicadores influenciam positivamente na qualidade das medidas de consistência interna dos constructos.

Entretanto, apesar do indicador SEF\_1\_Investimento apresentar carga fatorial 0,637, próximo do critério de 0,708 (cerca de 90%), e estar coerente com a teoria econômica, ele apresentou carga cruzada com outros indicadores da mesma medida do constructo SEF. O constructo SEF mostra que existe impedimento pela colinearidade (valores de correlação acima de 0,9), resultando na baixa confiabilidade do indicador SEF\_1\_Investimento. Conclui-se que, no ambiente econômico deste estudo de caso, o indicador investimento não é um instrumento de notabilidade da política pública, havendo conflito com PIB municipal.

A confiabilidade composta, que mostra o nível de associação entre os constructos e os indicadores por constructos, variou de 0,799 a 0,877, enquanto os valores de Alfa Cronbach variaram de 0,759 a 0,816 (acima do mínimo de 0,7), conforme recomendado por (GEFEN *et al.*, 2011).

A variância média extraída (AVE), que mostra a quantidade de variância total nos indicadores representados pelo constructo, variou entre 0,512 a 0,689 (acima do mínimo recomendado de 0,5) por Hair Jr *et al.* (2016).

Os ajustes preliminares dos indicadores e dos constructos, através de EFA e CFA, permitem que o modelo seja replicado para outra situação problema, mas é necessário que seja dada atenção à coerência teórica. Nesta condição, é possível ter um modelo alternativo aninhado à mesma abordagem teórica (RINGLE *et al.*, 2014; DE SOUZA BIDO; DA SILVA, 2019).

A Tabela 7 mostra o resultado da validade do discriminante através do critério de *Fornell-Larcker*. A validade do discriminante é avaliada comparando as correlações entre os constructos e a raiz quadrada da variância extraída para um constructo. Os valores das raízes quadradas das variâncias extraídas por constructos na diagonal da matriz são maiores que as correlações que estão sob a diagonal, indicando uma validade do discriminante adequada. Isto denota que cada constructo isoladamente captura os fenômenos não representados por outros constructos no modelo.

**Tabela 7** - Validade do discriminante (Critério Fornell e Lacker)

	<b>DMF</b>	<b>RMF</b>	<b>SDF</b>	<b>SEF</b>	<b>SEM<sub>w</sub></b>
DMF	<b>0,800</b>				
RMF	0,591	<b>0,715</b>			
SDF	0,336	0,360	<b>0,830</b>		
SEF	0,694	0,697	0,417	<b>0,732</b>	
SEM <sub>w</sub>	0,549	0,658	0,345	0,662	<b>0,742</b>

\* A diagonal é a raiz quadrada da AVE das variáveis latentes e indica o mais alto em qualquer coluna ou linha

Os constructos (variáveis latentes) podem se relacionar de uma forma muito forte. Se tiver correlações altas entre si, podem interferir na medida indireta do outro, através de cargas fatoriais altas (acima 0,90) dos indicadores. É importante que cada constructo tenha independência das medidas indiretas para garantir que consiga capturar o fenômeno de forma independente. Essa particularidade evita cargas cruzadas, ou seja, medidas incorretas com a colinearidade (HAIR JR *et al.*, 2016). Em linhas gerais, a validade é definida pelo pesquisador através dos constructos e dos indicadores apresentados no questionário da pesquisa, definido no estado da arte (LEWIS *et al.*, 2005).

Do ponto de vista prático, na abordagem reflexiva, o constructo causa efeito nos indicadores na medida em que a inserção ou exclusão dos indicadores interferem na medição indireta. As correlações entre os constructos não interferem na medida individual do constructo que está sendo avaliado no modelo externo. Isto quer dizer que o questionário da pesquisa não tem vieses (HAIR JR *et al.*, 2016).

### 6.3.1.3 Análise do modelo estrutural

Na Tabela 8, estão os resultados dos testes do modelo estrutural (variância explicada  $R^2$  e relevância preditiva  $Q^2$ ) de acordo com as hipóteses propostas no modelo conceitual. O constructo SEF explica 61,3% ( $R^2 = 0,613$ ) da variância do SEM<sub>w</sub>. Além disso, os

constructos RMF e SDF explicam 84,9% ( $R^2 = 0,849$ ) da variância do constructo dos SEF e o constructo dos RMF explica 35,0% ( $R^2 = 0,350$ ) da variância do constructo dos DMF.

**Tabela 8** - Resultado do modelo estrutural

Hipóteses	$R^2$	Std Beta	Std Error	[t-value*]	Decisão	$f^2$	$Q^2$	$q^2$
<b>H1 DMF -&gt; SEMw</b>	<b>0,613</b>	<b>-0,119</b>	<b>0,123</b>	<b>0,968</b>	<b>Não Suportado</b>	<b>-0,008</b>	<b>0,292</b>	<b>-0,006</b>
H2 DMF -> SEF	0,849	0,724	0,050	14,498	Suportado	2,152	0,409	0,279
H3 RMF -> SEF	0,849	0,237	0,054	4,370	Suportado	0,212	0,409	0,030
H4 RMF -> DMF	0,350	0,591	0,080	7,419	Suportado	0,538	0,191	0,236
H5 SDF -> SEF	0,849	0,089	0,042	2,097	Suportado	0,040	0,409	0,010
<b>H6 SDF -&gt; SEMw</b>	<b>0,613</b>	<b>0,030</b>	<b>0,089</b>	<b>0,338</b>	<b>Não Suportado</b>	<b>0,313</b>	<b>0,292</b>	<b>-0,003</b>
H7 SEF -> SEMw	0,848	0,361	0,147	2,452	Suportado	1,711	0,292	0,079
H8 RMF ->SEMw	0,613	0,566	0,086	6,558	Suportado	0,320	0,292	0,107

\* significância estatística ( $p < 0,05$ )

O resultado dos testes das hipóteses do modelo, após a execução do procedimento de *bootstrap*, rejeitou as hipóteses H1 e H6, ou seja, essas hipóteses não foram suportadas (aceitas). Esse procedimento fornece uma orientação para decidir se os dados estão muito longe de serem normalmente distribuídos (quanto maior  $t\_value$ , melhor é a probabilidade  $p\_value$ ).

A explicação teórica e prática para rejeição das hipóteses H1 e H6, respectivamente constructos “DMF” e “SDF”, é que, em ambos os casos, existem inflexões dos constructos na medida em que ocorram aumentos de materiais diretos e da densidade populacional. Essas relações não interferem diretamente no metabolismo socioeconômico dos resíduos (SEMw de ELTs), por isso foram rejeitadas. Por outro lado, dependem diretamente, em ambos os casos, do ambiente econômico (SEF). A curva ambiental de Kuznets (EKC) explica este fenômeno (Figura 19).

Em seguida, foi verificado o tamanho do efeito  $f^2$  da variância explicada  $R^2$  com a inclusão e exclusão dos constructos exógenos. A hipótese H2 teve efeito direto muito forte  $f^2=2,152$  no constructo dos SEF, seguida pelas hipóteses H3 com efeito médio de  $f^2=0,212$ , H4 com efeito médio de  $f^2=0,538$  e a hipótese H5 com o efeito pequeno de  $f^2=0,040$ . A hipótese H7 apresentou efeito direto muito forte de  $f^2=1,711$ , enquanto a hipótese H8 também apresentou um efeito direto no SEMw forte de  $f^2=0,320$ .

O resultado da relevância preditiva  $Q^2$  foi obtido usando o procedimento de *blindfolding*, que é análogo à avaliação de  $R^2$ . As inclusões ou exclusões dos constructos exógenos determinam o efeito do tamanho  $q^2$  da relevância preditiva  $Q^2$ . O tamanho do efeito

de  $q^2$  das hipóteses H2 e H4 apresentaram, respectivamente, os valores de  $q^2=0,279$  e  $q^2=0,236$ . As hipóteses H3 e H5 apresentaram efeito do tamanho  $q^2$  da relevância preditiva entre pequena a média, respectivamente,  $q^2=0,030$  e  $q^2=0,020$ . Ambas as hipóteses refletem discretamente as informações adicionais sobre a qualidade das estimativas do modelo de caminho PLS do ambiente socioeconômico (SEF). Em contraposição, o efeito do tamanho de  $q^2=0,107$  da relevância preditiva da hipótese H8 é forte para estimação do constructo dos RMF na medição do SEMw.

Neste trabalho, assume-se o nível de significância de 5% ( $p<0,05$ ) para  $t$ -value maior que 1,96. As hipóteses H2, H3, H4, H7 e H8 apresentam, respectivamente, um forte nível de significância,  $t$ -value = 14,498,  $t$ -value = 4,370,  $t$ -value = 7,419 e  $t$ -value = 6,558. Ao passo que as hipóteses H5 e H7 têm uma média significância estatística com  $t$ -value = 2,097 e,  $t$ -value = 2,452, respectivamente. As hipóteses H1 e H6 apresentaram significância estatística menor  $t$ -value < 1,96, tendo sido rejeitadas na modelagem.

Embora a MEE demande ajustes (evitando superajustes), o modelo estrutural precisa de coerência teórica (HAIR JR *et al.*, 2016; DE SOUZA BIDO; DA SILVA, 2019). O que é mais importante na MEE é a teoria que sustenta as relações de dependência e interdependência entre os constructos. Os dados coletados pelos questionários são importantes na demonstração do modelo teórico para explicar convenientemente (preservando a coerência teórica) as relações observadas na medição. A MEE deste estudo de caso mostra, de forma coerente, que os coeficientes de caminhos (coeficientes de regressão) foram aceitos para as condições estabelecidas. Os constructos exógenos explicam os fenômenos através dos constructos endógenos, que por sua vez sofrem os efeitos.

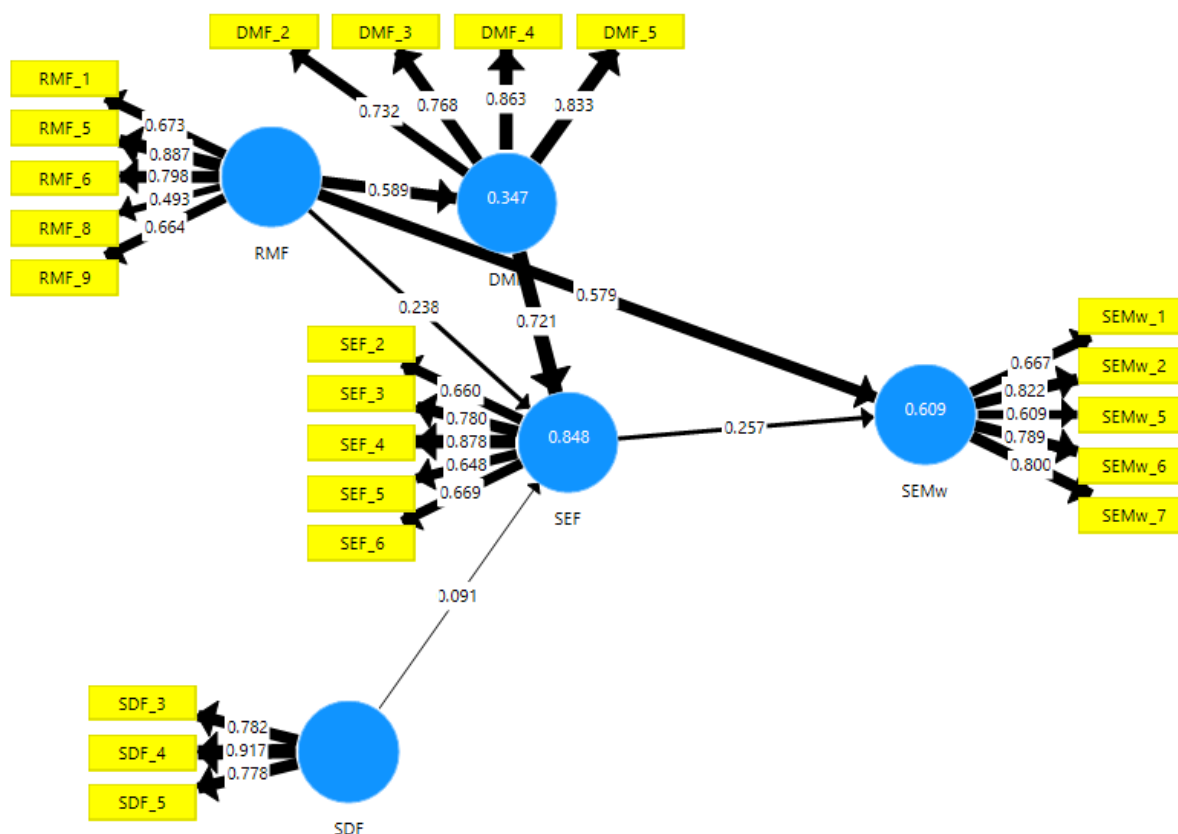
Vale salientar também que, apesar dos ajustes e coerência teórica, os resultados da MEE são específicos para um conjunto de dados amostrados de um grupo de respondentes. Em outras condições, a MEE poderá apresentar outras configurações de acordo com a análise fatorial confirmatória (CFA) dos dados obtidos na amostragem. As modelagens com dados diferentes podem explicar relações diferentes entre os constructos técnicos DMF e RMF, quando sofrem efeito dos constructos sociais SDF e SEF para medir o SEMw.

#### 6.3.1.4 Análise do modelo como ferramenta de apoio à gestão de resíduos

O modelo estrutural está representado na Figura 31, tendo sido excluídas as hipóteses H1 e H6, que não foram suportadas no procedimento do *bootstrap*. O modelo mostra a hierarquia por ordem de importância/impacto dos indicadores e dos constructos para

planejamento da gestão de resíduos sólidos (Tabela 9). No constructo dos SEF, ocorrem todas as interações socioeconômicas que serão medidas no constructo do SEMw. O constructo endógeno do SEMw é uma taxa determinada pelos constructos exógenos e endógenos de 1ª ordem.

**Figura 31** - Modelo Estrutural após testes e ajustes



O modelo estrutural é apresentado através das seguintes equações:

$$DMF = 0,589RMF + \zeta_1 \quad (22)$$

$$SEF = 0,665RMF + 0,091SDF + \zeta_2 \quad (23)$$

$$SEMw = 0,750RMF + 0,024SDF + \zeta_3 \quad (24)$$

Onde: DMF são os Fluxos Diretos de Materiais, RMF são os Fluxos Reversos de Materiais, SDF são os Fatores Sociodemográficos, SEF são Fatores Socioeconômicos (ambiente econômico), SEMw é o Metabolismo Socioeconômico dos Resíduos e  $\zeta$  são erros de medição dos constructos endógenos.

Para a simulação das equações 22 a 24 é possível deduzir os valores RMF e SDF através de grandezas mássicas (t) e/ou monetárias (\$).

Na primeira simulação da equação 22, os RMF podem ser medidos diretamente, através de pesagem dos resíduos coletados na logística reversa. Conforme balanço de massa apresentado na Figura 21 (*seção 6.1.2 Levantamento dos fluxos de ELTs contabilizados pela GRSU*), a quantidade de ELTs coletados (pneu sucata) pela LR é de 238t/ano (RMF destinados para reciclagem e recauchutagem) e 61t/ano são entregas diretas feitas pelas empresas de venda e manutenção de pneus.

Sendo o valor dos RMF ponderado em 0,589, isto equivale a 140t/ano de materiais que o mercado de reposição deverá ofertar de DMF (pneus novos), sem considerar a incerteza do método. Quanto maior a quantidade de RMF coletado pela logística reversa da cidade maior será a quantidade de DMF, para as condições socioeconômicas da modelagem. Conforme o balanço de massa 30t/ano são destinadas para reciclagem e 90t/ano são destinadas para recauchutagem. A diferença entre os valores estimados de campo e pela MEE mostrada na equação 22 é de 10t/ano e representa a incerteza da MEE. Em síntese, o aumento dos RMF minimiza o impacto ambiental, tanto na produção de pneus novos quanto na destinação dos ELTs. Memória de cálculo equação 22:  $DMF = 0,589 \times 238 = 140,18 \frac{t}{ano}$ .

Nas segunda e terceira análises foram definidos primeiramente o valor dos SDF para simular as equações 23 e 24, respectivamente dos SEF e do SEMw. O indicador SDF\_3 (renda per capita) foi adotado no cálculo, enquanto que os demais indicadores SDF\_4 (escolaridade) e SDF\_5 (densidade populacional) não foram adotados na simulação nas condições “*ceteris paribus*”<sup>9</sup>, uma vez que os valores equivalentes em grandeza mássica (kg) ou monetária (\$) dependeriam de um criterioso método de dedução para conversão das unidades de medida, que não é objetivo deste trabalho.

A simulação da equação 23, que mensura a taxa dos SEF, admitiu que o SDF\_3 (renda per capita) de Vitória da Conquista é de R\$ 18.589,99 (IBGE, 2017). O valor dos ELTs (pneu sucata), considerando o beneficiamento (coleta, trituração e transporte), foi estabelecido ao custo de R\$300,00/t (MFRURAL, 2020), que equivale a 62t de ELTs, ou seja, o valor convertido dos SDF representa nestas condições 5,6t/ano. De acordo com a pesquisa de campo, o custo dos ELTs (pneu sucata) coletados, triturados e transportados é de cerca

<sup>9</sup> *ceteris paribus* significa **Ceteris Paribus**, ou **Coeteris Paribus**, é uma expressão em latim que significa “**todo o resto constante**”. É termo utilizado na ciência econômica para explicar modelos e teorias que consideram como inalterados outros fatores que possam a influenciar (Disponível em: <https://www.sun0.com.br/artigos/ceteris-paribus/>. Acesso em: 10 jan. 2021).

R\$300,00/t. Memória de cálculo da equação 23:  $SEF = (0,665 \times 238) + (0,091 \times 62) = 163,91 \frac{t}{ano}$ . Para aplicação em ruas com asfalto emborrachado, o custo dos ELTs em forma de pó de borracha é de R\$700,00/t (De FARIA; VIEIRA, 2015).

Portanto, o aumento de DMF (pneus novos) no ambiente econômico (SEF) neste estudo de caso depende discretamente dos SDF. Além da renda per capita, outros fatores estão associados ao consumo, tais como o peso da escolaridade e o aumento da densidade populacional. Os SDF, mesmo sendo discretos, representam impacto de 5,6 t/ano de ELTs, que podem estar dispersos ou mal destinados pela sociedade. Entretanto, o aumento da atividade econômica sustentável, ou seja, a oferta de pneus novos depende do aumento dos RMF. Essa decisão gerencial é uma diminuição dos DMF (pneus novos) no mercado de reposição, que serão substituídos em algum momento por pneus recauchutados.

A simulação da equação 24 representa a medida do SEMw, ou uma medida socioambiental, que é a quantidade (toneladas) de fluxos reversos de materiais influenciados por fatores socioeconômicos transferidos para o meio ambiente. De acordo com a equação, os RMF têm o coeficiente de 0,750 (75%) associado a materiais dinâmicos que são descartados pela sociedade, enquanto os SDF têm o coeficiente de 0,024 (2,4%). Esse efeito discreto dos SDF mostra que, para o perfil socioeconômico de Vitória da Conquista, qualquer variação na renda per capita é percebida nos SEF. Para determinação da simulação da taxa do SEMw, foi adotada a memória de cálculo da equação 24:  $SEMw = (0,750 \times 238) + (0,024 \times 62) = 179,99 \frac{t}{ano}$ .

Eventualmente, o aumento de SDF pode ser um determinante no SEMw caso a economia esteja em pleno emprego dos fatores de produção e a qualidade de vida dos agentes econômicos (pessoa física e jurídica) também tenha melhorado. Os SDF equivalentes em massa nesta simulação representam 1,3 t/ano. O resultado desta simulação apresenta o mesmo valor obtido no pré-diagnóstico do balanço de massa de 2016 mostrado na *Figura 21 (seção 6.1.2 Levantamento dos fluxos de ELTs contabilizados pela GRSU)*.

Na Tabela 9, estão deduzidos os valores percentuais ou a participação dos indicadores na medição indireta dos constructos por score (*t\_value*) do modelo externo. Estes valores estão relativizados (percentuais). Quanto maior o (*t\_value*), melhor é a significância (*p-value*).

No modelo estrutural, ou modelo interno, o indicador DMF\_5 tem 43% de participação no constructo de DMF. Esse indicador está associado à localização dos fornecedores de pneus, que tem peso significativo nos fluxos de materiais da economia local (STROBEL;



REDMANN, 2002; DOMBI *et al.*, 2018). Esse percentual de participação é justificável porque a cidade de Vitória da Conquista possui um modal logístico rodoviário privilegiado pelas proximidades da maior rodovia do país (BR-116).

Neste MEE, o constructo dos DMF influencia fortemente o constructo dos SEF, o que implica uma dinâmica de 54% do indicador SEF\_4 (PIB Local), 16% do indicador SEF\_3 (saneamento básico), 11% do indicador SEF\_6 (cultura dos agentes econômicos locais), 10% do indicador SEF\_5 (consumo) e 8% do indicador SEF\_2 (política municipal). Portanto, o PIB da cidade é mais representativo para formação dos RMF. O constructo dos SEF depende do balanceamento desses indicadores.

**Tabela 9** - Distribuição percentual do modelo externo por constructo

Constructo	Indicador	Descrição	Carga	t_value	%
Fluxos Diretos de Materiais (DMF)	DMF_2	Rede de suprimento	0,736	9,586	12
	DMF_3	Demanda	0,766	12,186	15
	DMF_4	Pedido	0,859	22,893	29
	<b>DMF_5</b>	<b>Localização</b>	<b>0,836</b>	<b>34,36</b>	<b>43</b>
	$\Sigma$		3,197	79,025	100
Fluxos Reversos de Materiais (RMF)	RMF_1	Coleta	0,698	10,928	14
	<b>RMF_5</b>	<b>Destinação Final</b>	<b>0,876</b>	<b>35,930</b>	<b>47</b>
	RMF_6	Reciclagem	0,783	15,407	20
	RMF_8	Previsões	0,485	4,551	6
	RMF_9	Gestão de resíduos	0,658	9,427	12
	$\Sigma$		3,500	76,243	100
Fatores Sociodemográficos (SDF)	SDF_3	Renda "per capita"	0,788	5,062	24
	<b>SDF_4</b>	<b>Escolaridade</b>	<b>0,904</b>	<b>10,016</b>	<b>47</b>
	SDF_5	Densidade Populacional	0,795	6,015	29
	$\Sigma$		2,487	21,093	100
Fatores Socioeconômico ou Ambiente Socioeconômico (SEF)	<b>SEF_2</b>	<b>Política municipal</b>	<b>0,659</b>	<b>5,742</b>	<b>8</b>
	<b>SEF_3</b>	<b>Saneamento básico</b>	<b>0,776</b>	<b>11,991</b>	<b>16</b>
	<b>SEF_4</b>	<b>PIB (renda agregada)</b>	<b>0,876</b>	<b>40,137</b>	<b>54</b>
	SEF_5	Consumo	0,654	7,651	10
	<b>SEF_6</b>	<b>Cultura local</b>	<b>0,672</b>	<b>8,147</b>	<b>11</b>
	$\Sigma$		3,637	73,668	100
Metabolismo Socioeconômico dos Resíduos (SEMw)	SEMw_1	Custo ambiental	0,712	10,047	13
	<b>SEMw_2</b>	<b>AFM</b>	<b>0,788</b>	<b>23,318</b>	<b>30</b>
	SEMw_5	ACV	0,646	6,961	9
	SEMw_6	Balanço de massa	0,752	17,398	22
	SEMw_7	IOA	0,775	19,851	26
	$\Sigma$		3,673	77,575	100

O constructo dos RMF exerce uma influência significativa no SEMw porque os indicadores estão correlacionados. O indicador RMF\_5 (destinação final), que representa a correta destinação de ELTs para reaproveitamento empresarial, participa, preferencialmente, com 47% na medição indireta do constructo. O indicador RMF\_6 (reciclagem) participa em 20% no constructo, e esta atividade empresarial agrega valor no beneficiamento dos ELTs. O indicador RMF\_6 (coleta), nesta pesquisa, participa com 14% no constructo RMF, agrega

valor à logística reversa de ELTs e sua eficácia minimiza epidemias sanitárias. Isto indica que a coleta de ELTs, mesmo com as dificuldades dos recursos da GRSU, ainda é uma ação positiva que, no ranque de necessidades do constructo, ocupa a 3ª posição em termos de prioridade. O indicador RMF\_9 (gestão de resíduos) tem participação de 12% no constructo RMF. A gestão de resíduos tem a tarefa executiva de organizar, decidir e controlar o sistema dos fluxos reversos de materiais de uma cidade. O indicador RMF\_8 (previsão) participa com 6% e é o mais discreto no constructo. As principais justificativas são: (i) a falta de planejamento, (ii) a falta de recursos tecnológicos, (iii) a falta de treinamentos e de vontade política do gestor público no monitoramento dos resíduos sólidos. Isto acontece porque na maioria das cidades brasileira não tem plano municipal de resíduos sólidos. A previsão de resíduos é uma ferramenta de apoio ao planejamento de inventários de ELTs na cidade.

As atividades socioeconômicas, por sua vez, são influenciadas também pelos fatores sociodemográficos (SDF). O nível de escolaridade, representado pelo indicador SDF\_4, tem a participação de 47% do constructo dos SDF. A taxa do SEMw depende das medidas diretas dos indicadores, independentemente das influências dos constructos dos RMF e dos SEF. Os indicadores SEMw\_1 (custo ambiental), SEMw\_2 (AFM), SEMw\_6 (balanço de massa) e SEMw\_7 (IOA) e SEW (ACV) compõem os métodos contábeis de avaliação de fluxos de materiais e energia e participam com 13%, 30%, 22%, 26% e 9%, respectivamente. Esses indicadores foram selecionados na revisão da literatura como os métodos de contabilização de materiais mais frequentemente adotados para avaliar o metabolismo socioeconômico.

Na Tabela 10, estão as três iterações do modelo interno de medição dos coeficientes estruturais que foram simulados no procedimento do *bootstrap*. Isto mostra o poder de coesão da modelagem por ser um modelo estável, onde as relações propostas são significativas para “n” iterações. As iterações confirmaram que os DMF apresentam um score de 38% de forte influência nos SEF. O ambiente econômico é o *locus* das iterações entre as relações de demanda e oferta, ou seja, às forças de mercado. As demais relações são decorrentes dos RMF e dos SDF, que influenciam, respectivamente, 11% e 6% nos SEF. Estes preditores mostram que o modelo depende das relações técnicas (métricas) e sociais (não métricas). Os RMF participam com 19% nos DMF e 18% no SEMw. Enquanto que os SDF interferem SEF, mesmo em pouca magnitude (intensidade) causa efeito indireto no SEMw.

**Tabela 10** - Resultado *Bootstrap* do modelo interno

Hipóteses	B	1ª iteração		2ª iteração		3ª iteração	
		t_value	%	t_value	%	t_value	%
H2 DMF -> SEF	0,721	14,470	<b>38</b>	14,646	<b>38</b>	14,217	<b>38</b>
H3 RMF -> SEF	0,238	4,364	<b>11</b>	4,384	<b>11</b>	4,346	<b>11</b>
H4 RMF -> DMF	0,589	7,081	<b>19</b>	7,189	<b>19</b>	7,161	<b>19</b>
H5 SDF -> SEF	0,091	2,108	<b>6</b>	2,125	<b>6</b>	2,144	<b>6</b>
H7 SEF -> SEMw	0,257	2,927	<b>8</b>	2,886	<b>8</b>	2,915	<b>8</b>
H8 RMF -> SEMw	0,579	7,021	<b>18</b>	6,920	<b>18</b>	6,899	<b>18</b>
		<b>37,97</b>	<b>100</b>	<b>38,15</b>	<b>100</b>	<b>37,68</b>	<b>100</b>

As pontuações (scores) obtidas nas iterações desta MEE não são herméticas. Estas pontuações ranqueiam os resultados da análise para realização de ações práticas da GRSU. Em outra condição, ou em outra cidade, através de outro quadro teórico, as relações de dependência dos constructos poderão orientar outras ações para o plano de trabalho da GRSU, por outros caminhos da sustentabilidade.

A discussão econômica nesta MEE não é exata, cartesiana, métrica, superajustada etc. O que deve ser observado na MEE é a compreensão do fenômeno na perspectiva de associar variáveis sociais e variáveis técnicas para definir um referencial de limpeza pública e reaproveitamento de materiais. Os fluxos de materiais primários e secundários devem ser integrados para uma eficiência da GRSU (ALFAIA *et al.*, 2017).

O procedimento de *Bootstrap* aponta que deve observar com maestria a quantidade de DMF que entra no ambiente econômico. Apesar das orientações da responsabilidade compartilhada do produtor, uma quantidade significativa de pneus novos, seja pelas vias oficiais ou por fluxos ocultos de importação, ainda deve ser controlada pela fiscalização ambiental. Esses DMF são os responsáveis pelo aumento de inventários de ELTs nas cidades. A solução é simples: (i) aumentar a quantidade de RMF para reintrodução na logística empresarial via reciclagem; e (ii) destinar os fluxos de ELTs para substituição térmica em fornos especiais.

#### 6.3.1.5 Análise do modelo para gestão de ELTs para cidade de Vitória da Conquista

Conforme resultados apresentados na Tabela 9, de forma prática e objetiva, a modelagem de equações estruturais (MEE) explica o comportamento da sociedade no tratamento dos pneus em fim de vida (em inglês ELTs) e a forma como a gestão de resíduos sólidos urbanos (GRSU) deverá proceder para otimizar os recursos financeiros e recursos

humanos, sobretudo para atingir a eficácia na limpeza urbana.

Do ponto de vista do planejamento dos fluxos diretos de pneus que entram na cidade devido aos privilégios e aos riscos de se ter uma rodovia e um excelente canal logístico para o nordeste e regiões afins, faz-se necessário uma visão estratégica da GRSU para controle das redes de suprimentos. Os pneus são monitorados através das empresas revendedoras que têm cadastro na prefeitura, entretanto, a despeito desse controle, existem canais não oficiais ou clandestinos que interferem no controle dos resíduos gerados com consumo de pneus. Ações de proteção devem ser implementadas para avançar no controle dos impactos ambientais.

Já do ponto de vista do planejamento dos fluxos reversos de pneus em fim de vida (ELTs), para além do intenso trabalho que a Secretária de Limpeza Urbana, a Secretária de Infraestrutura e a Secretária Municipal de Saúde desenvolvem nos programas contra dengue e endemias, é necessário que se faça uma contenção da poluição através de leis municipais mais rígidas para coibir estoques clandestinos de ELTs, bem como aplicações inapropriadas destes materiais em edificações e atividades comerciais não regularizadas. O aumento da coleta de ELTs depende do comportamento socioeconômico da cidade, como mostra a MEE para avaliar o metabolismo socioeconômico dos ELTs.

A Tabela 11 mostra a logística de ELTs em dois momentos, antes e depois do balanço de massa dos fluxos de ELTs desconhecidos não contabilizados (fd1). A detecção dos fluxos de ELTs desconhecidos não contabilizados (fd1) depende do aporte tecnológico usado nas projeções da GRSU, na medida em que, as regiões remotas dos inventários clandestinos de ELTs são identificados e devidamente mapeados para correta destinação final. Os valores são deduzidos e simulados através das equações estruturais (22, 23 e 24) resultante da modelagem. Os resultados podem ser apresentados na forma mássica (t), moeda (R\$) e ELTs (un).

**Tabela 11** - Simulação dos ELTs considerando as equações geradas na modelagem

Constructos (com fd1)	Massa (t)	Moeda (R\$)	ELTs (un)
RMF	523,96	157.188,00	36.651
DMF	302,75	90.823,80	21.177
SEF	347,45	104.235,60	24.304
<b>SEMw</b>	<b>386,99</b>	<b>116.096,40</b>	<b>27.070</b>
Constructos (sem fd1)	Massa (t)	Moeda (R\$)	ELTs (un)
RMF	238,00	71.400,00	16.648
DMF	140,18	42.054,60	9.806
SEF	163,91	49.173,60	11.466
<b>SEMw</b>	<b>179,99</b>	<b>53.996,40</b>	<b>12.590</b>

Os valores sem e com o balanço de massa dos fluxos de ELTs desconhecidos não contabilizados (fd1) mostra efetivamente como a GRSU da cidade de Vitória da Conquista poderá fazer os encaminhamentos das ações do planejamento dos resíduos sólidos urbanos. Quando os valores da logística reversa levam em consideração as dimensões dos constructos não métricos SDF e SEF, os resultados atividades GRSU são eficazes.

Do ponto de vistas SEF e dos SDF, a caracterização do fenômeno deve ser apresentada não só apenas por indicadores mássicos ou de energia, como postula as teorias sobre o metabolismo socioeconômico tradicional. Nesta tese, os indicadores dos fatores socioeconômicos da cidade de Vitória da Conquista foram corroborados através das variáveis subjacentes, política municipal e cultura local. Estas variáveis foram evidenciadas na modelagem do metabolismo socioeconômico dos resíduos (SEMw), como determinantes no caso prático dos ELTs.

Nos constructos SEF e SDF, respectivamente, renda e escolaridade apresentam participação determinante na modelagem, mas vale ressaltar que o metabolismo socioeconômico está considerando apenas um resíduo (ELTs), que é decorrente das ações econômicas diretas e indiretas da sociedade. Além disso, o procedimento de modelagem adotado pode ser aplicado para outro resíduo de difícil destinação, que necessite, no mínimo, o controle de pesagem.

Na cidade de Vitória da Conquista, a propensão marginal a consumir, dado um maior aporte de formação de capital mensal (renda), interfere na dinâmica do controle dos resíduos sólidos conforme análise de fluxos de materiais (AFM), que mede a taxa do SEMw. Os resíduos sólidos também são gerados em função do nível de escolaridade, embora saiba quanto maior a compreensão social sobre os fatores socioeconômicos, menor é o impacto ambiental. A ampliação desta análise para modelagem dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD), entre outros resíduos inertes de decomposição duvidosa, requer uma avaliação ampla dos aspectos socioeconômicos que estão no entorno das atividades da construção civil.

## 7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, a modelagem de equações estruturais (MEE) pode ser adotada para dar suporte à execução das diretrizes do plano de gerenciamento de ELTs ou resíduos similares. A renda agregada (PIB municipal) e os fluxos de pneus novos no mercado de reposição dependem da intensidade do efeito dos SEF, muito embora os fatores sociodemográficos (SDF) apresentem influência indireta discreta no metabolismo socioeconômico dos resíduos (SEMw). Os fatores socioeconômicos (SEF) apresentam efeito significativo na MEE porque foi possível descrever a importância das variáveis não métricas na modelagem.

Então, conclui-se que em relação ao:

**Objetivo 1:** Definir as fronteiras do Metabolismo Socioeconômico dos resíduos (SEMw) de pneus em fim de vida, mostrando a logística reversa e as relações com a sociedade.

Este objetivo foi alcançado porque os limites definidos para os diagnósticos realizados através das estimativas indiretas do balanço de massa mostraram quantidades mássicas de ELTs equivalentes.

**Objetivo 2:** Mapear os modelos/métodos de avaliação do metabolismo socioeconômico dos resíduos (SEMw) que se adequem à modelagem e à simulação.

Este objetivo foi atingido, pois foram verificados, no mapeamento do estado da arte, que os métodos tradicionais e os métodos híbridos de medição do metabolismo socioeconômico não adotam as variáveis não métricas sociodemográficas e socioeconômicas.

**Objetivo 3:** Realizar uma aplicação prática, através de estimativas indiretas dos bancos de dados oficiais, para análise do balanço de massa anual e previsão dos fluxos de ELTs desconhecidos não contabilizados (fd1) e não destinados (fd2) de Vitória da Conquista

Este objetivo foi atingido porque o procedimento adotado para estimação do banco de dados por deduções microeconômicas foi consistente para previsão dos fluxos de ELTs desconhecidos não contabilizados (fd1) e não destinados (fd2). As previsões por ARIMA e

ANN apresentam o mesmo padrão dinâmico para os fluxos de ELTs desconhecidos não contabilizados (fd1).

Os fluxos de ELTs desconhecidos na cidade não são contabilizados, logo eles não têm estimativas sobre a quantificação mássica e destinação final. Estes fluxos seguem destinos de difícil localização, mas podem ser estimados para verificação da quantidade de pneus novos que entram no mercado de reposição da cidade. A regulamentação de responsabilidade compartilhada na coleta de ELTs é uma condição da produção de pneus novos. Os ELTs até 2kg devem ser destinados para fins econômicos ou aproveitamento energético como combustível alternativo.

**Objetivo 4:** Criar um modelo de análise do metabolismo socioeconômico dos resíduos (SEMw), de acordo com a modelagem de equações estruturais (MEE), para dar suporte ao gerenciamento das ações na atividade de GRSU.

- (i) O modelo considera as incertezas associadas à logística reversa e ao baixo nível de educação ambiental da sociedade, potencializadas pelas fragilidades presentes na Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (GRSU).
- (ii) A MEE desenvolvida mostra que o constructo dos fluxos reversos de materiais (RMF) apresenta um efeito forte, direto e indireto, no SEMw.
- (iii) A hipótese H8 mostra a importância do processo de gestão dos resíduos sólidos através da correta destinação final dos resíduos (RMF\_5) e da reciclagem (RMF\_6).
- (iv) Os Fluxos Reversos de Materiais (RMF) seguem destinos de difícil identificação, mas podem ser estimados para verificação do mercado de reposição da cidade.
- (v) A correta destinação final dos ELTs depende do planejamento, da capacidade de decisão da GRSU e de uma estratégia de minimização dos impactos ambientais, incluindo oportunidades de trabalho e renda, com ganhos econômicos para o município.
- (vi) Fatores socioeconômicos que medem a riqueza econômica e a qualidade de vida aumentam a geração de resíduos. Estes incluem o nível de renda, PIB, despesas de consumo e os índices de poder de compra que estão positivamente correlacionadas com a geração de resíduos.

**Objetivo 5:** Analisar os resultados da modelagem de equações estruturais para sugerir uma lista de prioridades das ações na gestão de ELTs da cidade de Vitória da Conquista.

- (vii) O resultado da MEE confirmou 75% das hipóteses apresentadas no quadro teórico para avaliação do SEMw.

- (viii) A MEE, através das abordagens PLS, apresentou condições favoráveis para o desenvolvimento dos conceitos demonstrados no quadro teórico. O método tem uma boa interface gráfica, permitindo que se realize análise fatorial exploratória e confirmatória com eficácia.
- (ix) Os algoritmos que rodam a MEE contribuíram para compreensão do método, uma vez que, um conjunto de procedimentos estatísticos deterministas e não paramétricos compõe a construção do modelo. O tamanho da amostra e o procedimento de *bootstrap* (reamostragem para atingir uma distribuição de dados significantes) faz a diferença em relação ao método CB-SEM (baseado na verossimilhança).
- (x) Os fatores socioeconômicos (SEF) apresentam efeito significativo no SEMw, porque foi possível descrever a importância das variáveis não métricas na modelagem.
- (xi) Os bons resultados na coleta de resíduos dependem do conhecimento dos SEF subjacentes, tais como o nível de conscientização da sociedade em relação à educação ambiental, a clareza dos benefícios, os incentivos econômicos e fiscais e os ganhos tangíveis da política pública em relação ao plano de gestão de resíduos sólidos do município.
- (xii) A renda agregada (PIB municipal) e os fluxos de pneus novos no mercado de reposição dependem da intensidade do efeito dos SEF, muito embora os fatores sociodemográficos (SDF) apresentem influência indireta e discreta no SEMw.
- (xiii) Em relação aos fluxos diretos de materiais (DMF), os resultados da MEE apontam que os DMF têm forte influência no ambiente econômico (SEF), mas não exercem influência direta no SEMw.
- (xiv) Nem todos os materiais que estão disponíveis no mercado de reposição serão consumidos diretamente devido às incertezas dos fatores socioeconômicos (produto interno bruto local, condições sanitárias do município, política municipal, consumo agregado e cultura local). Isso pode ser confirmado através da simulação das equações 23 e 24, que apresentaram a taxa metabólica diferente dos SEF e do SEMw, respectivamente, 163,91t/ano e 179,99t/ano.

As seguintes recomendações e trabalho futuro se aplicam como uma extensão do trabalho desenvolvido:

- (a) Expansão da metodologia proposta através da sua aplicação em outra cidade do mesmo porte envolvendo ELTs ou outros tipos de resíduos sólidos (vidro, gesso e



outros resíduos de construção) para avaliar o SEMw. Entretanto, as premissas iniciais do planejamento amostral devem ser ajustadas para replicar o método proposto, já que a percepção do público-alvo pode mudar em outras pesquisas de campo, dependendo das diferentes estruturas socioeconômicas.

- (b) Avaliar a aplicação dos resultados obtidos neste trabalho no planejamento e gestão de resíduos sólidos urbanos do município analisado como ferramenta de apoio às políticas públicas que permitam compreender, controlar e gerenciar os efeitos da geração de resíduos na origem.
- (c) A principal limitação verificada na metodologia proposta refere-se à obtenção das respostas em relação às consultas técnicas substantivas junto aos fabricantes de pneus, principalmente aquelas associadas à logística reversa. De maneira geral, como também verificado na literatura, tal dificuldade decorre da competitividade inerente ao mercado de pneus e do sigilo nos seus processos de produção.

## REFERÊNCIAS

- AB HAMID, M.; SAMI, W.; SIDEK, M. Discriminant validity assessment: Use of Fornell & Larcker criterion versus HTMT criterion. **Journal of Physics: Conference Series**, IOP Publishing, p. 012163, 2017.
- ABBASI, M.; EL HANANDEH, A. Forecasting municipal solid waste generation using artificial intelligence modelling approaches. **Waste Management**, v. 56, p. 13-22, 2016. ISSN 0956-053X.
- ABRELPE, A. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2016**. São Paulo: Abrelpe, 2016. Disponível: [http://www.abrelpe.org.br/panorama\\_apresentacao.cfm](http://www.abrelpe.org.br/panorama_apresentacao.cfm). Acessado: set. 2017.
- ABUBAKAR, A.; UMARU, K.; DAVID, S. S. An appraisal of solid waste management in minna, niger state: policy and planning implication to nigerian cities. **AU-eJournal of Interdisciplinary Research**, v. 4, n. 2, 2019. ISSN 2408-1906.
- ABUNAMA, T.; OTHMAN, F.; YOUNES, M. K. Predicting sanitary landfill leachate generation in humid regions using ANFIS modeling. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 190, n. 10, p. 597, 2018. ISSN 0167-6369.
- ADAMOVIĆ, V. M. et al. An artificial neural network approach for the estimation of the primary production of energy from municipal solid waste and its application to the Balkan countries. **Waste Management**, v. 78, p. 955-968, 2018. ISSN 0956-053X.
- ADZAWLA, W. et al. Do socioeconomic factors influence households' solid waste disposal systems? Evidence from Ghana. **Waste Management & Research**, v. 37, n. 1, suppl, p. 51-57, 2019. ISSN 0734-242X.
- AGRAWAL, S.; SINGH, R. K.; MURTAZA, Q. A literature review and perspectives in reverse logistics. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 97, p. 76-92, 2015. ISSN 0921-3449.
- ALFAIA, R. G. D. S. M.; COSTA, A. M.; CAMPOS, J. C. Municipal solid waste in Brazil: A review. **Waste Management & Research**, v. 35, n. 12, p. 1195-1209, 2017. ISSN 0734-242X.
- ALLESCH, A.; BRUNNER, P. H. Assessment methods for solid waste management: a literature review. **Waste Management & Research**, v. 32, n. 6, p. 461-473, 2014. ISSN 0734-242X.

\_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. Material flow analysis as a decision support tool for waste management: A literature review. **Journal of Industrial Ecology**, v. 19, n. 5, p. 753-764, 2015. ISSN 1088-1980.

AMORIM, L. D. A. F. et al. Modelagem com equações estruturais: princípios básicos e Aplicações. **Relatório técnico de atividade de pesquisa**. Salvador: Departamento de Estatística, Instituto de Matemática, UFBA, 2012. ebook. Disponível em: <http://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/17684>. Acesso em: 10 out. 2019.

ANDREONI, V. Energy metabolism of 28 world countries: a multi-scale integrated analysis. **Ecological Economics**, v. 142, p. 56-69, 2017. ISSN 0921-8009. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800916307467>. Acesso em: 10 out. 2019

ANTANASIJEVIĆ, D. et al. The forecasting of municipal waste generation using artificial neural networks and sustainability indicators. **Sustainability science**, v. 8, n. 1, p. 37-46, 2013. ISSN 1862-4065.

ARI, E.; YILMAZ, V. A proposed structural model for housewives' recycling behavior: A case study from Turkey. **Ecological Economics**, v. 129, p. 132-142, 2016. ISSN 0921-8009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004**: resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASTRACHAN, C. B.; PATEL, V. K.; WANZENRIED, G. J. J. O. F. B. S. A comparative study of CB-SEM and PLS-SEM for theory development in family firm research. **Expert Systems with Applications**, v. 5, n. 1, p. 116-128, 2014. ISSN 1877-8585.

AYRES, R. U.; AYRES, L. A handbook of industrial ecology. **Edward Elgar Publishing**, 2002. ISBN 1843765470.

AZEVEDO, L. P. et al. Resource recovery from e-waste for environmental sustainability: a case study in Brazil. In: NARASIMHA, M.; PRASAD, V.; VITHANAGE, M. (ed.). **Electronic waste management and treatment technology**. Elsevier, 2019. p. 175-200.

BACCINI, P.; BRUNNER, P. H. **Metabolism of the anthroposphere**: analysis, evaluation, design. MIT Press, 2012. ISBN 0262016656.

BACH, H. et al. Combining socio-demographic and logistic factors to explain the generation and collection of waste paper. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 41, n. 1, p. 65-73, 2004. ISSN 0921-3449.

BARR, S. **Household waste in social perspective**: values, attitudes, situation and behaviour. Routledge, 2017. ISBN 1351930354.

BEIGL, P.; LEBERSORGER, S.; SALHOFER, S. Modelling municipal solid waste generation: a review. **Waste management**, v. 28, n. 1, p. 200-214, 2008. ISSN 0956-053X.

BENZ, S.; JAAX, A. **The costs of regulatory barriers to trade in services**: New estimates of ad valorem tariff equivalents. 2020.

BERROUET, L. M.; MACHADO, J.; VILLEGAS-PALACIO, C. J. E. I. Vulnerability of socio - ecological systems: a conceptual framework. **Ecological Indicators**, v. 84, p. 632-647, 2018. ISSN 1470-160X.

BIGGS, R. et al. Linking futures across scales: a dialog on multiscale scenarios. **Ecology and Society**, v. 12, n. 1, 2007. ISSN 1708-3087.

BINDER, C. R. From material flow analysis to material flow management Part I: social sciences modeling approaches coupled to MFA. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 17, p. 1596-1604, 2007. ISSN 0959-6526.

BING, X. et al. Research challenges in municipal solid waste logistics management. **Waste Management**, v. 48, p. 584-592, 2016. ISSN 0956-053X.

BITTENCOURT, E. S. et al. Forecasting of the unknown end-of-life tire flow for control and decision making in urban solid waste management: a case study. **Waste Management & Research**, v. 38, issue 2, p. 193-201, nov. 2019. ISSN 0734-242X. Doi: 10.1177/0734242X19886919

\_\_\_\_\_ et al. Modeling the socioeconomic metabolism of end-of-life tires using structural equations: a brazilian case study. **Sustainability**, v. 12, n. 5, p. 2106, 2020. Doi: 10.3390/su12052106

BOLLEN, K. A. A new incremental fit index for general structural equation models. **Sociological Methods & Research**, v. 17, n. 3, p. 303-316, 1989. ISSN 0049-1241.

\_\_\_\_\_.; LONG, J. S. **Testing structural equation models**. Sage, 1993. ISBN 0803945078.

BORSBOOM, D.; MELLENBERGH, G. J.; VAN HEERDEN, J. J. P. R. The concept of validity. **Psychological Review**, v. 111, n. 4, p. 1061, 2004. ISSN 1939-1471.

BRASIL. CONAMA. **Resolução nº 258**, de 1999.

\_\_\_\_\_. CONAMA. **Resolução nº 416**, de 30 de Setembro de 2009.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 12.305**, de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos.

BRINGEZU, S.; MORIGUCHI, Y. Material flow analysis. In: (ed.). **Green Accounting**: routledge. 2018. p.149-166.

BROWN, D. J. et al. Proactive personality and the successful job search: a field investigation with college graduates. **Journal of applied psychology**, v. 91, n. 3, p. 717, 2006. ISSN 1939-1854.

BROWN, T. A. **Confirmatory factor analysis for applied research**. Guilford Publications, 2014. ISBN 1462517811.

BRUNNER, P. H.; RECHBERGER, H. **Practical handbook of material flow analysis**. CRC press, 2016b. ISBN 0203507207.

BURFISHER, M. E. **Introduction to computable general equilibrium models**. Cambridge University Press, 2017. ISBN 1316889378.

- BYRNE, B. M. **Choosing structural equation modeling computer software: Snapshots of LISREL, EQS, AMOS, and Mplus.** 2012. ISSN 1606230778.
- BYRNE, B. M. **Structural equation modeling with EQS: basic concepts, applications, and programming.** Routledge, 2013. ISBN 1135809607.
- CASTAÑO-MARTÍNEZ, M.-S.; MÉNDEZ-PICAZO, M.-T.; GALINDO-MARTÍN, M.-Á. Policies to promote entrepreneurial activity and economic performance. **Management Decision**, v. 53, n. 9, p. 2073-2087, 2015. ISSN 0025-1747.
- CHANG, N.-B. Economic and policy instrument analyses in support of the scrap tire recycling program in Taiwan. **Journal of Environmental Management**, v. 86, n. 3, p. 435-450, 2008. ISSN 0301-4797.
- CHANG, N.-B.; PIRES, A.; MARTINHO, G. Empowering systems analysis for solid waste management: challenges, trends, and perspectives. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 41, n. 16, p. 1449-1530, 2011. ISSN 1064-3389.
- CHANG, W.-Y. A literature review of wind forecasting methods. **Journal of Power and Energy Engineering**, v. 2, n. 4, 2014.
- CHE, Z. et al. Recurrent neural networks for multivariate time series with missing values. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 6085, 2018. ISSN 2045-2322.
- CHIN, W. W. The partial least squares approach to structural equation modeling. **Modern methods for business research**, v. 295, n. 2, p. 295-336, 1998.
- CHUNG, S. S. Projecting municipal solid waste: The case of Hong Kong SAR. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 11, p. 759-768, 2010. ISSN 0921-3449.
- CLEVELAND, C. J.; RUTH, M. J. J. O. I. E. Indicators of dematerialization and the materials intensity of use. **Journal of Industrial Ecology**, v. 2, n. 3, p. 15-50, 1998. ISSN 1088-1980.
- COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences.** Routledge, 2013. ISBN 1134742703.
- COHEN, J. **Statistical power analysis for the behaviors science.** 2. ed. New Jersey: Laurence Erlbaum Associates, Publishers, Hillsdale, 1988.
- COLE, M. A.; RAYNER, A. J.; BATES, J. M. The environmental Kuznets curve: an empirical analysis. **Environment and Development Economics**, v. 2, n. 4, p. 401-416, 1997. ISSN 1469-4395.
- COLTMAN, T. et al. Formative versus reflective measurement models: two applications of formative measurement. **Journal of Business Research**, v. 61, n. 12, p. 1250-1262, 2008. ISSN 0148-2963.
- CONAMA. R. 258, de 26-8-99. **DOU**, Seção 1, p. 39 de 2 de dezembro de 1999.
- CONKE, L. S.; FERREIRA, T. L. J. E. P. Urban metabolism: Measuring the city's contribution to sustainable development. **Environmental Pollution**, v. 202, p. 146-152, 2015. ISSN 0269-7491.

COSTA, A. M.; ALFAIA, R. G. D. S. M.; CAMPOS, J. C. Landfill leachate treatment in Brazil—An overview. **Journal of environmental management**, v. 232, p. 110-116, 2019. ISSN 0301-4797.

CRAWFORD, J. F.; SMITH, P. G. **Landfill technology**. Elsevier, 2016. ISBN 1483140660.

CRAWFORD, R. H. et al. Hybrid life cycle inventory methods – a review. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 1273-1288, 2018. ISSN 0959-6526.

DAI, C.; LI, Y.; HUANG, G. A two-stage support-vector-regression optimization model for municipal solid waste management—a case study of Beijing, China. **Journal of environmental management**, v. 92, n. 12, p. 3023-3037, 2011. ISSN 0301-4797.

DAI, T.; WANG, W. The characteristics and trends of socioeconomic metabolism in China. **Journal of Industrial Ecology**, v. 22, n. 5, p. 1228-1240, 2018. ISSN 1088-1980.

D'ALISA, G.; DI NOLA, M. F.; GIAMPIETRO, M. J. J. O. C. P. A multi-scale analysis of urban waste metabolism: density of waste disposed in Campania. **Journal of Cleaner Production**, v. 35, p. 59-70, 2012. ISSN 0959-6526.

DANIELS, P. L.; MOORE, S. J. J. O. I. E. Approaches for quantifying the metabolism of physical economies: Part I: Methodological overview. **Journal of industrial ecology**, v. 5, n. 4, p. 69-93, 2001. ISSN 1088-1980.

DAVARI, A.; REZAZADEH, A. Structural equation modeling with PLS. **Tehran: Jahad University**, v. 215, n. 2, p. 224, 2013.

DAVISON, A. C.; HINKLEY, D. V. **Bootstrap methods and their application**. Cambridge university press, 1997. ISBN 0521574714.

DE ANDRADE, R. M.; FERREIRA, J. A. A gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil frente às questões da globalização. **Rede-Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 6, n. 1, 2011. ISSN 1982-5528.

DE FARIA, J. S.; VIEIRA, C. M. Incorporação de resíduo pó de borracha de pneus inservíveis em cerâmica vermelha. In: ENCONTRO ENGENHARIA, CIÊNCIAS DE MARETIAIS E INOVAÇÃO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 1., 2015. **Anais[...]**. Nova Frigurgo, RJ, 2015.

DENATRAM. Estatísticas - Frotas de Veículos. **Portal DENATRAM**, 2019. v. 1.

DE SOUZA BIDO, D.; DA SILVA, D. J. A. E. E. P. SmartPLS 3: especificação, estimação, avaliação e relato. **Administração: Ensino e Pesquisa**, v. 20, n. 2, p. 1-31, 2019. ISSN 2177-6083.

DIAMANTOPOULOS, A.; SIGUAW, J. A. J. B. J. O. M. Formative versus reflective indicators in organizational measure development: a comparison and empirical illustration. **Journal of Business Research**, v. 17, n. 4, p. 263-282, 2006. ISSN 1045-3172.

DOMBI, M. et al. The structure of socio-economic metabolism and its drivers on household level in Hungary. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 758-767, 2018. ISSN 0959-6526. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617325076>.

DOS SANTOS, G. V.; LIMA, A. A. de; BEZERRA, I. F. O. Analysis of the paths covered by discarded tires in rubber stores of Manaus city: market niche alternatives for this pneumatic waste. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)*, v. 6, n. 12, dez. 2019. Doi: 10.22161/ijaers.612.8

DURDYEV, S. et al. The construction client satisfaction model: a PLS-SEM approach. *Journal of Civil Engineering and Management*, v. 24, n. 1, p. 31-42, 2018. ISSN 1822-3605.

ECOINVENT CENTER, E. J. S. C. F. L. C. I. S. G.; SWITZERLAND. Ecoinvent version 3 life cycle inventory database. 2016.

EL-HAGGAR, S.; SAMAHA, A. Sustainable Utilization of Municipal Solid Waste. In: \_\_\_\_\_. (ed.). **Roadmap for Global Sustainability—Rise of the Green Communities**. Springer, 2019. p.189-203.

ELLIOT, T. et al. A proposal to integrate system dynamics and carbon metabolism for urban planning. *Procedia Cirp*, v. 69, p. 78-82, 2018. ISSN 2212-8271.

ESPOSITO VINZI, V. et al. **Handbook of partial least squares: concepts, methods and applications**. Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer, 2010. ISBN 3540328254.

EUROSAT. Economy-wide material flow accounts and derived indicators: a methodological guide. **Office for Official Publ. of the Europ. Comm.**, 2001. ISBN 9289404590.

ETRMA, E. **End-of-life Tyres Management report 2017**.

FAGUNDES, L. D.; AMORIM, E. S.; SILVA LIMA, R. da. Action research in reverse logistics for end-of-life tire recycling. *Systemic Practice and Action Research*, v. 30, n. 5, p. 553-568, 2017. ISSN 1094-429X.

FAMI, H. S. et al. Determinants of household food waste behavior in Tehran city: a structural model. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 143, p. 154-166, 2019. ISSN 0921-3449.

FERALDI, R. et al. Comparative LCA of treatment options for US scrap tires: material recycling and tire-derived fuel combustion. *Int J Life Cycle Assess*, v. 18, n. 3, p. 613-625, 2013. ISSN 0948-3349.

FERNÁNDEZ ALARCÓN, V. **Relaciones encontradas entre las dimensiones de las estructuras organizativas y los componentes del constructo capacidad de absorción: el caso de empresas ubicadas en el territorio español**. Universitat Politècnica de Catalunya, 2004. ISBN 8468905747.

FERRER, G. The economics of tire remanufacturing. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 19, n. 4, p. 221-255, 1997. ISSN 0921-3449.

FISCHER-KOWALSKI, M. et al. Methodology and indicators of economy-wide material flow accounting: State of the art and reliability across sources. *Journal of Industrial Ecology*, v. 15, n. 6, p. 855-876, 2011. ISSN 1088-1980.

\_\_\_\_\_.; HABERL, H. J. S.; RESOURCES, N. Tons, joules, and money: modes of production and their sustainability problems. v. 10, n. 1, p. 61-85, 1997. ISSN 0894-1920.

\_\_\_\_\_.; KRAUSMANN, F.; PALLUA, I. A sociometabolic reading of the Anthropocene: Modes of subsistence, population size and human impact on Earth. **The Anthropocene Review**, v. 1, n. 1, p. 8-33, 2014. ISSN 2053-0196.

FISHMAN, T.; SCHANDL, H.; TANIKAWA, H. The socio-economic drivers of material stock accumulation in Japan's prefectures. **Ecological Economics**, v. 113, p. 76-84, 2015. ISSN 0921-8009.

FORNELL, C.; LARCKER, D. F. Structural equation models with unobservable variables and measurement error: algebra and statistics. **Journal of Marketing Research**, p. 382-388, 1981. ISSN 0022-2437.

GEFEN, D.; RIGDON, E. E.; STRAUB, D. J. M. Q. Editor's comments: an update and extension to SEM guidelines for administrative and social science research. **Management Information Systems Quarterly**, p. iii-xiv, 2011. ISSN 0276-7783.

\_\_\_\_\_.; STRAUB, D.; BOUDREAU, M.-C. Structural equation modeling and regression: Guidelines for research practice. **Communications of the Association for Information Systems**, v. 4, n. 1, p. 7, 2000. ISSN 1529-3181.

GEISSER, S. J. B. A predictive approach to the random effect model. **Biometrika**, v. 61, n. 1, p. 101-107, 1974. ISSN 1464-3510.

GENG, Y. et al. Regional societal and ecosystem metabolism analysis in China: A multi-scale integrated analysis of societal metabolism (MSIASM) approach. **Incorporating Exergy, An International Journal**, v. 36, n. 8, p. 4799-4808, 2011. ISSN 0360-5442.

GHARFALKAR, M. et al. Analysis of waste hierarchy in the European waste directive 2008/98/EC. **Waste management**, v. 39, p. 305-313, 2015. ISSN 0956-053X.

GHINEA, C. et al. Forecasting municipal solid waste generation using prognostic tools and regression analysis. **Journal of environmental management**, v. 182, p. 80-93, 2016. ISSN 0301-4797.

GHISELLINI, P.; RIPA, M.; ULGIATI, S. Exploring environmental and economic costs and benefits of a circular economy approach to the construction and demolition sector. A literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 178, p. 618-643, 2018. ISSN 0959-6526. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617328809>.

GIAMPIETRO, M.; MAYUMI, K. J. P. Multiple-scale integrated assessments of societal metabolism: integrating biophysical and economic representations across scales. **Environment**, v. 22, n. 2, p. 155-210, 2000. ISSN 0199-0039.

\_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; RAMOS-MARTIN, J. J. I. J. O. T. R. Can biofuels replace fossil energy fuels? A multi-scale integrated analysis based on the concept of societal and ecosystem metabolism: Part 1. **International Journal of Transdisciplinary Research**, v. 1, n. 1, p. 51-87, Jan. 2006.

GIANNOULI, M. et al. Waste from road transport: development of a model to predict waste from end-of-life and operation phases of road vehicles in Europe. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 11-12, p. 1169-1182, 2007. ISSN 0959-6526.



GOMES, T. S. et al. End-of-life tire destination from a life cycle assessment perspective. In: PETRILLO, A.; FELICE, F. de (ed.). **New frontiers on life cycle assessment-theory and application**. IntechOpen, 2019.

GOTTINGER, H.-W. **Economic models and applications of solid waste management**. Routledge, 2018. ISBN 1351140876.

GOVINDAN, K. et al. Analysis of third party reverse logistics provider using interpretive structural modeling. **International Journal of Production Economics**, v. 140, n. 1, p. 204-211, 2012. ISSN 0925-5273.

\_\_\_\_\_.; SOLEIMANI, H.; KANNAN, D. Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future. **European Journal of Operational Research**, v. 240, n. 3, p. 603-626, 2015. ISSN 0377-2217.

\_\_\_\_\_.; SOLEIMANI, H. J. J. O. C. P. A review of reverse logistics and closed-loop supply chains: a Journal of Cleaner Production focus. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 371-384, 2017. ISSN 0959-6526.

GRAZHDANI, D. Assessing the variables affecting on the rate of solid waste generation and recycling: An empirical analysis in Prespa Park. **Waste Management**, v. 48, p. 3-13, 2016. ISSN 0956-053X.

GRÜNBÜHEL, C. M. et al. Socioeconomic metabolism and colonization of natural processes in Sangsaeng village: material and energy flows, land use, and cultural change in Northeast Thailand. **Human ecology**, v. 31, n. 1, p. 53-86, 2003. ISSN 0300-7839.

GUELLATI, Y.; MONTEIRO, C. D.; OLIVEIRA JR, A. D. O Brasil em 2035: tendências e incertezas para a área social. **Texto para Discussão**, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), v. 2348, nov. 2017.

GUPT, Y.; SAHAY, S. J. W. M. Review of extended producer responsibility: a case study approach. **Waste Management & Research**, v. 33, n. 7, p. 595-611, Jul. 2015. ISSN 0734-242X. Doi: 10.1177/0734242X15592275

GUPTA, N.; YADAV, K. K.; KUMAR, V. A review on current status of municipal solid waste management in India. **Journal of environmental sciences**, v. 37, p. 206-217, 2015. ISSN 1001-0742.

HAAS, W. et al. How circular is the global economy?: an assessment of material flows, waste production, and recycling in the European Union and the world in 2005. **Journal of Industrial Ecology**, v. 19, n. 5, p. 765-777, 2015. ISSN 1088-1980.

HABERL, H. et al. Progress towards sustainability? What the conceptual framework of material and energy flow accounting (MEFA) can offer. **Land Use Policy**, v. 21, n. 3, p. 199-213, 2004. ISSN 0264-8377.

\_\_\_\_\_. The global socioeconomic energetic metabolism as a sustainability problem. **Incorporating Exergy, an International Journal**, v. 31, n. 1, p. 87-99, 2006. ISSN 0360-5442.

\_\_\_\_\_. et al. Natural and socioeconomic determinants of the embodied human appropriation of net primary production and its relation to other resource use indicators. **Ecol Indic**, v. 23, n. 3, p. 222-231, Dec 2012. ISSN 1470-160X (Print). 1470-160X (Linking).

\_\_\_\_\_. et al. Contributions of sociometabolic research to sustainability science. **Nature Sustainability**, v. 2, n. 3, p. 173-184, 2019. ISSN 2398-9629. Doi: 10.1038/s41893-019-0225-2.

HAIR, J. F. et al. PLS-SEM: indeed a silver bullet. **Journal of Marketing Theory and Practice**, v. 19, n. 2, p. 139-152, 2011. ISSN 1069-6679. Doi: 10.2753/MTP1069-6679190202

\_\_\_\_\_. et al. The use of partial least squares structural equation modeling in strategic management research: a review of past practices and recommendations for future applications. **Long Range Planning**, v. 45, n. 5-6, p. 320-340, 2012. ISSN 0024-6301.

\_\_\_\_\_. et al. Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) An emerging tool in business research. **European Business Review**, v. 26, n. 2, p. 106-121, 2014. ISSN 0955-534X.

\_\_\_\_\_. et al. **A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)**. Sage publications, 2016. ISBN 1483377466.

\_\_\_\_\_. et al. **Advanced issues in partial least squares structural equation modeling**. Sage Publications, 2017. ISBN 1483377385.

\_\_\_\_\_. et al. An updated and expanded assessment of PLS-SEM in information systems research. **Industrial Management & Data Systems**, v. 117, n. 3, 2017. ISSN 0263-5577.

\_\_\_\_\_. et al. Partial least squares structural equation modeling-based discrete choice modeling: an illustration in modeling retailer choice. **Business Research**, p. 1-28, 2018. ISSN 2198-3402.

\_\_\_\_\_. et al. When to use and how to report the results of PLS-SEM. **European Business Review**, v. 31, n. 1, p. 2-24, 2019. ISSN 0955-534X.

HANCOCK, G. R.; MUELLER, R. O. **Structural equation modeling: a second course**. Iap, 2013. ISBN 1623962463.

HAYDUK, L. A.; LITTVAY, L. Should researchers use single indicators, best indicators, or multiple indicators in structural equation models? **BMC medical research methodology**, v. 12, n. 1, p. 159, 2012. ISSN 1471-2288.

HENSELER, J. **Partial least squares**. 2015. p. 1-2.

\_\_\_\_\_. Some inconvenient truths about PLS path modeling. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PLS AND RELATED METHODS, 9., 2017. **Anais [...]** Macau, China, Jun 2017.

\_\_\_\_\_.; RINGLE, C. M.; SINKOVICS, R. R. The use of partial least squares path modeling in international marketing. In: ZOU, S. (ed.). **New challenges to international marketing**. Emerald Group Publishing Limited, 2009. p. 277-319. ISBN 1474-7979.

HOCHREITER, S.; SCHMIDHUBER, J. J. N. C. Long short-term memory. **Neural Computation**, v. 9, n. 8, p. 1735-1780, 1997. ISSN 0899-7667.

HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P. **What a waste**: a global review of solid waste management. Washington: World Bank, 2012. (Urban development series; knowledge papers n. 15).

HUANG, Q. et al. Identifying the socioeconomic drivers of solid waste recycling in China for the period 2005-2017. **Science of The Total Environment**, v. 725, p. 138137, Jul. 2020. ISSN 0048-9697.

HUANG, S. L.; CHEN, C. W. J. J. O. I. E. Urbanization and socioeconomic metabolism in Taipei: an emergy synthesis. **Journal of Industrial Ecology** v. 13, n. 1, p. 75-93, 2009. ISSN 1088-1980. Doi: 10.1111/j.1530-9290.2008.00103.x

\_\_\_\_\_. et al. Socioeconomic metabolism in Taiwan: Emergy synthesis versus material flow analysis. **Resources Conservation and Recycling**, v. 48, n. 2, p. 166-196, 2006. ISSN 0921-3449. Doi: 10.1016/j.resconrec.2006.01.005

HULLAND, J. Use of partial least squares (PLS) in strategic management research: a review of four recent studies. **Strategic Management Journal**, v. 20, n. 2, p. 195-204, 1999. ISSN 0143-2095.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Comércio**. 2016.

\_\_\_\_\_. Coordenação de População e Indicadores Sociais. 2017.

\_\_\_\_\_. **Tire sales in Brazil from 2010 to 2015**. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Contas Nacionais, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Relatório de pneumáticos**. 2014.

\_\_\_\_\_. **Relatório de pneumáticos**. 2015.

\_\_\_\_\_. **Relatório de pneumáticos**. 2016.

\_\_\_\_\_. **Relatório de pneumáticos**. 2017.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Pesquisa sobre pagamentos ambientais urbanos para gestão dos resíduos sólidos (relatório de pesquisa)**. Governo Federal. Departamento de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais (Dirur), 2010. v. 1.

IORGULESCU, R. I. Poverty, socioeconomic metabolism, and the multi-scale integrated analysis approach. **Procedia Economics**, v. 8, p. 407-413, 2014. ISSN 2212-5671.

ISLAM, S. N. Inequality and environmental sustainability. **Department of Economic and Social Affairs**, United Nations, DESA Working Paper n. 145, 2015.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos Avançados**, v. 25, n. 71, p. 135-158, 2011. ISSN 0103-4014.

JAISWAL, A.; KUMAR, S. Waste legislation across the globe: an overview. In: PANDEY, A.; LARROCHE, C.; SANROMAN, M. A.; DU, G. (ed.). **Current developments in biotechnology and bioengineering**. Elsevier, 2019. p.11-30.

JARVIS, C. B.; MACKENZIE, S. B.; PODSAKOFF, P. M. J. J. O. C. R. A critical review of construct indicators and measurement model misspecification in marketing and consumer research. **Journal of Consumer Research**, v. 30, n. 2, p. 199-218, 2003. ISSN 0093-5301. Doi: 10.1086/376806

JÖRESKOG, K. G. J. P. Some contributions to maximum likelihood factor analysis. **Psychometrika**, v. 32, n. 4, p. 443-482, 1967. ISSN 0033-3123.

\_\_\_\_\_. A general approach to confirmatory maximum likelihood factor analysis. **Psychometrika**, v. 34, n. 2, p. 183-202, 1969. ISSN 0033-3123.

\_\_\_\_\_. Statistical analysis of sets of congeneric tests. **Psychometrika**, v. 36, n. 2, p. 109-133, 1971. ISSN 0033-3123.

KALHOR, T. et al. Modeling of energy ratio index in broiler production units using artificial neural networks. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 17, p. 50-55, 2016. ISSN 2213-1388.

KANNAN, D.; DIABAT, A.; SHANKAR, K. M. Analyzing the drivers of end-of-life tire management using interpretive structural modeling (ISM). **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 72, n. 9-12, p. 1603-1614, 2014. ISSN 0268-3768.

KANNANGARA, M. et al. Modeling and prediction of regional municipal solid waste generation and diversion in Canada using machine learning approaches. **Waste management**, v. 74, p. 3-15, 2018. ISSN 0956-053X.

KARAAĞAÇ, B.; KALKAN, M. E.; DENİZ, V. End of life tyre management: turkey case. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 19, n. 1, p. 577-584, 2017. ISSN 1438-4957.

KAZUVA, E.; ZHANG, J. Analyzing municipal solid waste treatment scenarios in rapidly urbanizing cities in developing countries: The case of Dar es Salaam, Tanzania. **International journal of environmental research and public health**, v. 16, n. 11, p. 2035, 2019.

KENNEDY, C.; CUDDIHY, J.; ENGEL-YAN, J. J. J. O. I. E. The changing metabolism of cities. **Journal of Industrial Ecology**, v. 11, n. 2, p. 43-59, 2007. ISSN 1088-1980.

KESER, S.; DUZGUN, S.; AKSOY, A. Application of spatial and non-spatial data analysis in determination of the factors that impact municipal solid waste generation rates in Turkey. **Waste Management**, v. 32, n. 3, p. 359-371, 2012. ISSN 0956-053X.

KHANDELWAL, H. et al. Application of life cycle assessment in municipal solid waste management: A worldwide critical review. **Journal of Cleaner Production**, v. 209, p. 630-654, 2019. ISSN 0959-6526.

KLINE, R. B. J. J. O. P. A. Software review: software programs for structural equation modeling: Amos, EQS, and LISREL. **Journal of Psychoeducational Assessment**, v. 16, n. 4, p. 343-364, 1998. ISSN 0734-2829.

KLINE, R. B. **Principles and practice of structural equation modeling**. Guilford publications, 2015. ISBN 1462523358.

KNICKMEYER, D. Social factors influencing household waste separation: a literature review on good practices to improve the recycling performance of urban areas. **Journal of Cleaner Production**, p. 118605, 2019. ISSN 0959-6526.

KOLEKAR, K.; HAZRA, T.; CHAKRABARTY, S. A review on prediction of municipal solid waste generation models. **Procedia Environmental Sciences**, v. 35, p. 238-244, 2016. ISSN 1878-0296.

KOVÁCS, Z. L. **Redes neurais artificiais**. Livraria da Fisica, 2002. ISBN 8588325144.

KRAUSMANN, F. et al. Global socioeconomic material stocks rise 23-fold over the 20th century and require half of annual resource use. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 114, n. 8, p. 1880-1885, 2017a. ISSN 0027-8424.

\_\_\_\_\_. et al. Material flow accounting: measuring global material use for sustainable development. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 42, p. 647-675, 2017b. ISSN 1543-5938.

KRAUSMANN, F. et al. From resource extraction to outflows of wastes and emissions: The socioeconomic metabolism of the global economy, 1900–2015. **Global environmental change**, v. 52, p. 131-140, 2018. ISSN 0959-3780.

KRIVTSOV, V. V.; TANANKO, D. E.; DAVIS, T. P. Regression approach to tire reliability analysis. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 78, n. 3, p. 267-273, 2002. ISSN 0951-8320.

KUMAR, N. R.; KUMAR, R. S. J. I. J. O. E. R.; TECHNOLOGY. Closed loop supply chain management and reverse logistics-A literature review. **International Journal of Engineering Research and Technology**, v. 6, n. 4, p. 455-468, 2013.

KUMAR, A.; SAMADDER, S. R. A review on technological options of waste to energy for effective management of municipal solid waste. **Waste Management**, v. 69, p. 407-422, 2017. ISSN 0956-053X.

LAGARINHOS, C. A.; TENÓRIO, J. A. Logística reversa dos pneus usados no Brasil. **Polímeros**, v. 23, n. 1, p. 49-58, 2013.

LANDI, D. et al. Reuse scenarios of tires textile fibers: an environmental evaluation. **Procedia Manufacturing**, v. 21, p. 329-336, 2018. ISSN 2351-9789.

\_\_\_\_\_.; VITALI, S.; GERMANI, M. Environmental analysis of different end of life scenarios of tires textile fibers. **Procedia CIRP**, v. 48, p. 508-513, 2016. ISSN 2212-8271.

- LEE, L. et al. On the use of partial least squares path modeling in accounting research. **International Journal of Accounting Information Systems**, v. 12, n. 4, p. 305-328, 2011. ISSN 1467-0895.
- LEI, K. et al. Mass, energy, and emergy analysis of the metabolism of Macao. **Journal of Cleaner Production**, v. 114, p. 160-170, 2016. ISSN 0959-6526.
- LEWIS, B. R.; TEMPLETON, G. F.; BYRD, T. A. J. E. J. O. I. S. A methodology for construct development in MIS research. **Journal of Management Information Systems**, v. 14, n. 4, p. 388-400, 2005. ISSN 0960-085X.
- LI, X. et al. Comparison of end-of-life tire treatment technologies: A Chinese case study. **Waste Management**, v. 30, n. 11, p. 2235-2246, 2010. ISSN 0956-053X.
- LIU, H.; MI, X.-W.; LI, Y.-F. Wind speed forecasting method based on deep learning strategy using empirical wavelet transform, long short term memory neural network and Elman neural network. **Energy Conversion Management**, v. 156, p. 498-514, 2018. ISSN 0196-8904.
- LOMBARDI, L.; CARNEVALE, E.; CORTI, A. A review of technologies and performances of thermal treatment systems for energy recovery from waste. **Waste management**, v. 37, p. 26-44, 2015. ISSN 0956-053X.
- LONCA, G. et al. A bi-dimensional assessment to measure the performance of circular economy: a case study of tires end-of-life management. In: (ed.). **Designing sustainable technologies, products and policies**. Springer, 2017. p.33-42.
- \_\_\_\_\_. et al. Does material circularity rhyme with environmental efficiency? Case studies on used tires. **Journal of cleaner production**, v. 183, p. 424-435, May. 2018. ISSN 0959-6526.
- LOULOU, R. et al. **Documentation for the times model**. Part II. 2005.
- MA, B. et al. Recycle more, waste more? When recycling efforts increase resource consumption. **Journal of Cleaner Production**, v. 206, p. 870-877, 2019. ISSN 0959-6526.
- MACHIN, E. B.; PEDROSO, D. T.; CARVALHO JR, J. A. de. Energetic valorization of waste tires. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 68, p. 306-315, 2017. ISSN 1364-0321.
- MADDEN, B. et al. Using the waste Kuznet's curve to explore regional variation in the decoupling of waste generation and socioeconomic indicators. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 149, p. 674-686, 2019. ISSN 0921-3449.
- MADRID-LÓPEZ, C.; GIAMPIETRO, M. The water metabolism of socio-ecological systems: Reflections and a conceptual framework. **Journal of Industrial Ecology**, v. 19, n. 5, p. 853-865, 2015. ISSN 1088-1980.
- MAIER, S.; OLIVEIRA, L. B. J. R.; REVIEWS, S. E. Economic feasibility of energy recovery from solid waste in the light of Brazil' s waste policy: the case of Rio de Janeiro. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 35, p. 484-498, 2014. ISSN 1364-0321.
- MAREGA, F. The Retreaded Tyres Case in WTO: An Important Multilateral Achievement by Brazil. In: (ed.). **The WTO Dispute Settlement Mechanism**: Springer, 2019. p.321-338.

MARÔCO, J. Análise de equações estruturais. **ReportNumber**, Lisboa, v. 374, 2010.

MARTINICO-PEREZ, M. F. G. et al. The socio-economic metabolism of an emerging economy: monitoring progress of decoupling of economic growth and environmental pressures in the Philippines. **Ecological Economics**, v. 147, p. 155-166, 2018. ISSN 0921-8009.

MASSARUTTO, A. Economic aspects of thermal treatment of solid waste in a sustainable WM system. **Waste Management**, v. 37, p. 45-57, 2015. ISSN 0956-053X.

MATTHEWS, E. et al. **The weight of nations**. 2000.

MAZZANTI, M.; MONTINI, A.; ZOBOLI, R. Municipal waste generation and socioeconomic drivers: Evidence from comparing Northern and Southern Italy. **The Journal of Environment & Development**, v. 17, n. 1, p. 51-69, 2008. ISSN 1070-4965.

\_\_\_\_\_.; ZOBOLI, R. Waste generation, waste disposal and policy effectiveness: Evidence on decoupling from the European Union. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 52, n. 10, p. 1221-1234, 2008. ISSN 0921-3449.

MCGAW, B.; JÖRESKOG, K. G. J. B. J. O. M.; PSYCHOLOGY, S. Factorial invariance of ability measures in groups differing in intelligence and socioeconomic status. **British Journal of Mathematical and Statistical Psychology**, v. 24, n. 2, p. 154-168, 1971. ISSN 0007-1102.

MEGA, V. P. Sustainable development, energy and the city: a civilisation of concepts and actions. **Springer Science & Business Media**, 2005. ISBN 0387243542.

MEGIDDO, T. Beyond Fragmentation: On International Law's Integrationist Forces. **Yale Journal of International Law**, v. 44, n. 1, p. 4, 2019. ISSN 0889-7743.

MFRURAL. **Chip de pneu fazemos contrato de fornecimento para grandes quantidades**. <https://www.mfrural.com.br/detalhe/245680/pneu-chip-granulado-e-po>. Acesso em: 10 mar. 2020.

MIDSON, S. P. Industrial applications for aluminum semi-solid castings. Solid State Phenomena, **Trans Tech Publ.**, p. 487-495, 2015.

MIKKULAINEN, R. et al. Evolving deep neural networks. In: (ed.). **Artificial Intelligence in the Age of Neural Networks and Brain Computing**. Elsevier, 2019. p. 293-312.

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. **Input-output analysis: foundations and extensions**. Cambridge University Press, 2009. ISBN 1139477595.

MMEREKI, D. et al. Status of waste tires and management practice in Botswana. **Journal of the Air & Waste Management Association**, v. 69, n. 10, p. 1230-1246, 2019. ISSN 1096-2247.

MMEREKI, D.; MACHOLA, B.; MOKOKWE, K. Status of waste tires and management practice in Botswana. **Journal of the Air & Waste Management Association**, v. 69, n. 10, p. 1230-1246, 2019. ISSN 1096-2247.

MOHEE, R.; SIMELANE, T. Future directions of municipal solid waste management in Africa. **Africa Institute of South Africa**, 2015. ISBN 0798304235.

MÜLLER, E. et al. Modeling metal stocks and flows: a review of dynamic material flow analysis methods. **Environmental Science & Technology**, v. 48, n. 4, p. 2102-2113, 2014. ISSN 0013-936X.

MWENDA, A.; KUZNETSOV, D.; MIRAU, S. Time series forecasting of solid waste generation in Arusha city-Tanzania. **Mathematical Theory and Modelling**, v. 4, n. 8, p. 29-39, 2014.

NAKAMURA, S.; NANSAI, K. Input–output and hybrid LCA. In: (ed.). **Special types of life cycle assessment**. Springer, 2016. p. 219-291.

NAVARRO-ESBRI, J.; DIAMADOPOULOS, E.; GINESTAR, D. Time series analysis and forecasting techniques for municipal solid waste management. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 35, n. 3, p. 201-214, 2002. ISSN 0921-3449.

NILSSON, A. E. et al. Towards extended shared socioeconomic pathways: a combined participatory bottom-up and top-down methodology with results from the Barents region. **Global Environmental Change**, v. 45, p. 124-132, 2017. ISSN 0959-3780.

OCDE. La mondialisation des industries dans les pays de l'OCDE. **Documents de travail de l'OCDE sur la science, la technologie et l'industrie 1999/02**. Paris, 1999.

OWUSU-SEKYERE, E.; HARRIS, E.; BONYAH, E. **Forecasting and planning for solid waste generation in the Kumasi metropolitan area of Ghana: an ARIMA time series approach**. 2013. ISSN 2305-3925.

PADOVAN, D. J. E. I. Metabolic exchanges and practices of regulation: the assemblage of environment and society in early social sciences. **Ecological Informatics**, v. 26, p. 6-17, 2015. ISSN 1574-9541.

PAULIUK, S. et al. Toward a practical ontology for socioeconomic metabolism. **Journal of Industrial Ecology**, v. 20, n. 6, p. 1260-1272, 2016. ISSN 1088-1980.

PAULIUK, S. et al. A general data model for socioeconomic metabolism and its implementation in an industrial ecology data commons prototype. **Journal of Industrial Ecology**, v. 23, n. 5, p. 1016-1027, 2019. ISSN 1088-1980.

\_\_\_\_\_.; HERTWICH, E. G. Prospective models of society's future metabolism: what industrial ecology has to contribute. In: (ed.). **Taking stock of industrial ecology**. Springer, Cham, 2016. p. 21-43.

\_\_\_\_\_.; MAJEAU-BETTEZ, G.; MÜLLER, D. B. A general system structure and accounting framework for socioeconomic metabolism. **Journal of Industrial Ecology**, v. 19, n. 5, p. 728-741, 2015. ISSN 1530-9290.

\_\_\_\_\_.; MÜLLER, D. B. The role of in-use stocks in the social metabolism and in climate change mitigation. **Global Environmental Change**, v. 24, p. 132-142, 2014. ISSN 0959-3780.



\_\_\_\_\_.; WOOD, R.; HERTWICH, E. G. Dynamic models of fixed capital stocks and their application in industrial ecology. **Journal of Industrial Ecology**, v. 19, n. 1, p. 104-116, 2015. ISSN 1530-9290.

PEDRAM, A. et al. Integrated forward and reverse supply chain: a tire case study. **Waste Management**, v. 60, p. 460-470, 2017. ISSN 0956-053X.

PEREIRA, M. M. et al. Forecasting scrap tires returns in closed-loop supply chains in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 188, p. 741-750, 2018. ISSN 0959-6526.

PHILIPPI JR, A.; AGUIAR, A. D. Resíduos Sólidos: características e gerenciamento. In: PHILIPPI JR, A. **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**: Barueri, SP: Manole, 2005.

PICKETT, S. T. et al. Evolution and future of urban ecological science: ecology in, of, and for the city. **Ecosystem Health and Sustainability**, v. 2, n. 7, p. e01229, 2016. ISSN 2096-4129.

PIMENTEIRA, C. A. P. **Gestão integrada de resíduos sólidos no Rio de Janeiro: impactos das decisões dos gestores nas políticas públicas**. 2010. Tese (doutorado) – UFRJ/COPPE/Programa de Planejamento Energético, Rio de Janeiro, 2010.

PORTELLA, M. O.; RIBEIRO, J. C. J. Aterros sanitários: aspectos gerais e destino final dos resíduos. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**, v. 4, n. 1, 2014. ISSN 2237-0021.

PREISE, R. et al. Social-ecological systems as complex adaptive systems: organizing principles for advancing research methods and approaches. **Ecology and Society**, v. 23, n. 4, p. 46, 2018. ISSN 1708-3087. Doi: 10.5751/ES-10558-230446

PREFEITURA MUNICIAPL DE VITÓRIA DA CONQUISTA (PMVC). SESEP. 2016.

RAIFEN, C. **Tyre Basics-Passenger Car Tyres, Deuchland, 2013/14**. 2014.

RAMARAD, S. et al. Waste tire rubber in polymer blends: a review on the evolution, properties and future. **Progress in Materials Science**, v. 72, p. 100-140, 2015. ISSN 0079-6425.

RAMAYAH, T.; LEE, J. W. C.; LIM, S. Sustaining the environment through recycling: An empirical study. **Journal of environmental management**, v. 102, p. 141-147, 2012. ISSN 0301-4797.

RAMOS, G.; ALGUACIL, F. J.; LÓPEZ GÓMEZ, F. A. The recycling of end-of-life tyres. Technological review. **Revista de metalurgia**, v. 47, n. 3, p. 273-284, 2011. ISSN 0034-8570. Doi: 10.3989/revmetalm.1052

RECICLANIP. **Principais dados**: Reciclanip. 2014. v. 2. Disponível em: <http://www.reciclanip.com.br>. Acesso em: 10 out. 2019.

\_\_\_\_\_. **Principais dados**: Reciclanip - “Consulta a Homepage”. São Paulo: Reciclanip, 2015. Disponível em: <http://www.reciclanip.com.br>. Acesso em: 10 out. 2019.

\_\_\_\_\_. **Princiapis dados:** Reciclanip - “Consulta a Homepage”. São Paulo: Reciclanip, 2016. Disponível em: <http://www.reciclanip.com.br>. Acesso em: 10 out. 2019.

\_\_\_\_\_. **Princiapis dados:** Reciclanip - “Consulta a Homepage”. São Paulo: Reciclanip, 2017. Disponível em: <http://www.reciclanip.com.br>. Acesso em: 10 out. 2019.

RIAH, K. et al. The shared socioeconomic pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: an overview. **Global Environmental Change**, v. 42, p. 153-168, 2017. ISSN 0959-3780.

RICHTER, N. F. et al. European management research using partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM). **European Management Journal**, v. 33, n. 1, 2016. ISSN 0263-2373. DOI: 10.1016/j.emj.2014.12.001

RIEDIGER, N. D.; SHOOSHARI, S.; MOGHADASI, M. H. The influence of sociodemographic factors on patterns of fruit and vegetable consumption in Canadian adolescents. **Journal of the American Dietetic Association**, v. 107, n. 9, p. 1511-1518, 2007. ISSN 0002-8223.

RIGDON, E. E. et al. Conflating antecedents and formative indicators: A comment on Aguirre-Urreta and Marakas. **Information Systems Research**, v. 25, n. 4, p. 780-784, 2014. ISSN 1047-7047.

\_\_\_\_\_. Choosing PLS path modeling as analytical method in European management research: a realist perspective. **European Management Journal**, v. 34, n. 6, p. 598-605, 2016. ISSN 0263-2373.

\_\_\_\_\_.; SARSTEDT, M.; RINGLE, C. M. J. M. Z. On comparing results from CB-SEM and PLS-SEM: five perspectives and five recommendations. **Marketing • ZFP**, v. 39, n. 3, p. 4-16, 2017. ISSN 0344-1369.

RIMAITYTĖ, I. et al. Application and evaluation of forecasting methods for municipal solid waste generation in an eastern-European city. **Waste Management & Research**, v. 30, n. 1, p. 89-98, 2012. ISSN 0734-242X.

RINGLE, C. M.; DA SILVA, D.; DE SOUZA BIDO, D. J. R. B. D. M. Modelagem de equações estruturais com utilização do SmartPLS. **REMark – Revista Brasileira de Marketing**, v. 13, n. 2, p. 56-73, 2014. ISSN 2177-5184.

ROSSITER, J. R. J. I. J. O. R. I. M. The C-OAR-SE procedure for scale development in marketing. **International journal of research in marketing**, v. 19, n. 4, p. 305-335, 2002. ISSN 0167-8116.

RUIZ, L. G. B. et al. Energy consumption forecasting based on Elman neural networks with evolutive optimization. **Expert Systems with Applications**, v. 92, p. 380-389, 2018. ISSN 0957-4174.

RYBOVA, K. Do Sociodemographic Characteristics in Waste Management Matter? Case Study of Recyclable Generation in the Czech Republic. **Sustainability**, v. 11, n. 7, p. 2030, 2019.

\_\_\_\_\_.; BURCIN, B.; SLAVIK, J. Spatial and non-spatial analysis of socio-demographic aspects influencing municipal solid waste generation in the Czech Republic. **Detritus**, v. 1, n. 1, p. 3, 2018. ISSN 2611-4135.

SANTIAGO, S. B. **Medição da interoperabilidade logística com uso do modelo de equações estruturais**. 2017. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, 2017.

SARKAR, S.; CHAMBERLAIN, J. F.; MILLER, S. A. A comparison of two methods to conduct material flow analysis on waste tires in a small island developing state. **Journal of Industrial Ecology**, v. 15, n. 2, p. 300-314, 2011. ISSN 1088-1980.

SARSTEDT, M.; RINGLE, C. M.; HAIR, J. F. J. H. O. M. R. Partial least squares structural equation modeling. **Handbook of market research**, v. 26, p. 1-40, 2017.

SCHANDL, H. et al. Global material flows and resource productivity: forty years of evidence. **Journal of Industrial Ecology**, v. 22, n. 4, p. 827-838, 2018. ISSN 1088-1980.

SCHILLER, G.; GRUHLER, K.; ORTLEPP, R. Quantification of anthropogenic metabolism using spatially differentiated continuous MFA. **Change and Adaptation in Socio-Ecological Systems**, v. 3, n. 1, p. 119-132, 2017.

SCHMIDT, J. et al. **Recommendation of terminology, classification, framework of waste accounts and MFA, and data collection guideline**. Aalborg, 2012. (EU-CREEA project. Deliverable no. 4.1).

\_\_\_\_\_. et al. Recommendation of terminology, classification, framework of waste accounts and MFA, and data collection guideline. **Compiling and Refining Environmental and Economic Accounts**, v. 4, 2014.

SCHULTMANN, F.; ZUMKELLER, M.; RENTZ, O. Modeling reverse logistic tasks within closed-loop supply chains: An example from the automotive industry. **European Journal of Operational Research**, v. 171, n. 3, p. 1033-1050, 2006. ISSN 0377-2217.

SHAH, K. U. et al. Plastics Waste Metabolism in a Petro-Island State: Towards Solving a “Wicked Problem” in Trinidad and Tobago. **Sustainability**, v. 11, n. 23, p. 6580, 2019.

SHU, X.; HUANG, B. Recycling of waste tire rubber in asphalt and portland cement concrete: An overview. **Construction and Building Materials**, v. 67, p. 217-224, 2014. ISSN 0950-0618.

SHULMAN, V. L. **Tyre recycling**. iSmithers Rapra Publishing, 2004. ISBN 1859574890.

\_\_\_\_\_. Tire Recycling. **Waste**, Elsevier, p. 489-515, 2019.

SIENKIEWICZ, M. et al. Progress in used tyres management in the European Union: a review. **Waste Management**, v. 32, n. 10, p. 1742-1751, 2012. ISSN 0956-053X.

SINGH, D.; SATIJA, A.; HUSSAIN, A. Predicting the calorific value of municipal solid waste of ghaziabad city, uttar pradesh, india, using artificial neural network approach. In: (ed.). **Soft computing: theories and applications**. Springer, 2018. p. 495-503.

SINKOVICS, R. R. et al. A critical look at the use of SEM in international business research. **International Marketing Review**, v. 33, n. 3, 2016. ISSN 0265-1335.

SPEARMAN, C. General intelligence, objectively determined and measured. **American Journal of Psychology**, 2014.

SRUN, P.; KURISU, K. Internal and External Influential Factors on Waste Disposal Behavior in Public Open Spaces in Phnom Penh, Cambodia. **Sustainability**, v. 11, n. 6, p. 1518, 2019.

STONE, M. J. J. O. T. R. S. S. S. B. Cross-validatory choice and assessment of statistical predictions. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 36, n. 2, p. 111-133, 1974. ISSN 0035-9246.

STREUKENS, S.; LEROI-WERELDS, S. Bootstrapping and PLS-SEM: A step-by-step guide to get more out of your bootstrap results. **European Management Journal**, v. 34, n. 6, p. 618-632, 2016. ISSN 0263-2373.

STROBEL, M.; REDMANN, C. Flow cost accounting, an accounting approach based on the actual flows of materials. In: (ed.). **Environmental management accounting: informational and institutional developments**. Springer, 2002. p. 67-82.

SUN, X. et al. Life cycle assessment of Chinese radial passenger vehicle tire. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 21, n. 12, p. 1749-1758, 2016. ISSN 0948-3349.

SWAMI, V. et al. Personality, individual differences, and demographic antecedents of self-reported household waste management behaviours. **Journal of Environmental Psychology**, v. 31, n. 1, p. 21-26, 2011. ISSN 0272-4944.

TEH, S. H.; WIEDMANN, T.; MOORE, S. J. J. O. E. S. Mixed-unit hybrid life cycle assessment applied to the recycling of construction materials. **Journal of Economic Structures**, v. 7, n. 1, p. 13, 2018. ISSN 2193-2409.

TEMME, D.; KREIS, H.; HILDEBRANDT, L. **PLS path modeling: a software review**. SFB 649 discussion paper. 2006.

TENENHAUS, M. et al. PLS path modeling. **Computational Statistics & Data Analysis**, v. 48, n. 1, p. 159-205, 2005. ISSN 0167-9473.

TISSOT, H. C.; CAMARGO, L. C.; POZO, A. T. Treinamento de redes neurais feedforward: comparativo dos algoritmos backpropagation e differential evolution. In: BRAZILIAN CONFERENCE ON INTELLIGENT SYSTEMS, 2012. **Anais [...]** 2012.

TRAVERSO, M. et al. Towards social life cycle assessment: a quantitative product social impact assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 23, n. 3, p. 597-606, 2018. ISSN 0948-3349.

TSALIS, T.; AVRAMIDOU, A.; NIKOLAOU, I. E. A social LCA framework to assess the corporate social profile of companies: Insights from a case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 164, p. 1665-1676, 2017. ISSN 0959-6526.

UNITED NATIONS (UN). **International standard industrial classification of all economic activities (ISIC)**. United Nations Publications, 2008. ISBN 9211615186.

VAHL, F. P.; CAMPOS, L. M.; CASAROTTO FILHO, N. Sustainability constraints in techno-economic analysis of general lighting retrofits. **Energy and Buildings**, v. 67, p. 500-507, 2013. ISSN 0378-7788.

VILLELA, G. O. M.; SILVA, F. B. A logística reversa de pneus. **Revista Vianna Sapiens**, v. 10, n. 1, p. 17-17, 2019. ISSN 2177-3726.

VINEY, W. **Waste: a philosophy of things**. A&C Black, 2014. ISBN 1472530012.

WEI, Y. et al. Prediction of municipal solid waste generation in China by multiple linear regression method. **International Journal of Computers and Applications**, v. 35, n. 3, p. 136-140, 2013. ISSN 1206-212X.

WEINSTOCK, M. The metabolism of the city: the mathematics of networks and urban surfaces. **Architectural Design**, v. 81, n. 4, p. 102-107, 2011. ISSN 0003-8504.

WEINZETTEL, J.; KOVANDA, J. J. J. O. I. E. Assessing socioeconomic metabolism through hybrid life cycle assessment: the case of the czech republic. **Journal of Industrial Ecology**, v. 13, n. 4, p. 607-621, 2009. ISSN 1088-1980.

WFD, U. **Guidance on the classification of ecological potential for heavily modified water bodies and artificial water bodies**. 2008.

WILLABY, H. W. et al. Testing complex models with small sample sizes: A historical overview and empirical demonstration of what partial least squares (PLS) can offer differential psychology. **Personality and Individual Differences**, v. 84, p. 73-78, 2015. ISSN 0191-8869.

WISNER, J. D. A structural equation model of supply chain management strategies and firm performance. **Journal of Business logistics**, v. 24, n. 1, p. 1-26, 2003. ISSN 0735-3766.

WONG, K. K.-K. **Mastering partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) with Smartpls in 38 hours**. iUniverse, 2019. ISBN 1532066481.

WRIGHT, S. The method of path coefficients. **The Annals of Mathematical Statistics**, v. 5, n. 3, p. 161-215, 1934. ISSN 0003-4851.

XIAO, L. et al. Characterizing urban household waste generation and metabolism considering community stratification in a rapid urbanizing area of china. **Plos one**, v. 10, n. 12, p. e0145405, 2015. ISSN 1932-6203.

XU, L. et al. Path analysis of factors influencing household solid waste generation: a case study of Xiamen Island, China. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 18, n. 2, p. 377-384, 2016. ISSN 1438-4957.

YANG, D. et al. Cross-boundary environmental effects of urban household metabolism based on an urban spatial conceptual framework: a comparative case of Xiamen. **Journal of Cleaner Production**, v. 27, p. 1-10, 2012. ISSN 0959-6526.

YANG, N. et al. Evaluation of the tire industry of China based on physical input–output analysis. **Journal of Industrial Ecology**, v. 14, n. 3, p. 457-466, 2010. ISSN 1088-1980.

ZHANG, C.; CHEN, W.-Q.; RUTH, M. Measuring material efficiency: a review of the historical evolution of indicators, methodologies and findings. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 132, p. 79-92, 2018. ISSN 0921-3449.

ZHANG, Y. et al. Ecological network analysis of an urban metabolic system based on input – output tables: model development and case study for Beijing. **Science of the Total Environment**, v. 468, p. 642-653, Jan. 2014a. ISSN 0048-9697.

\_\_\_\_\_. et al. Analysis of urban metabolic processes based on input-output method: model development and a case study for Beijing. **Frontiers of earth science**, v. 8, n. 2, p. 190-201, Abr. 2014b. ISSN 2095-0195.

## APÊNDICES

**APÊNDICE A - Questionário Da Pesquisa Socioeconômica**

Nº:.....

Data: / /

**CARACTERIZAÇÃO DO ENTREVISTADO**

Natureza :

Residente  Visitante  Comerciante  Funcionário Público  Empresário  Funcionário Privado  Autônomo  IES- Publica  IES- Privada

**BLOCO 1 – DADOS PESSOAIS (PESQUISA COM A SOCIEDADE)****1. Sexo: ( )M ( )F****2. Qual a sua idade?**

- ( ) Menos de 25
- ( ) De 25 a menos de 35
- ( ) De 35 a menos de 45
- ( ) De 45 a menos de 55
- ( ) De 55 a menos de 65
- ( ) De 65 a mais

**3. Qual o nível de escolaridade?**

- ( ) Fundamental incompleto
- ( ) Fundamental completo
- ( ) Médio incompleto
- ( ) Médio completo
- ( ) Superior incompleto
- ( ) Superior Completo
- ( ) Técnico
- ( ) Outros (mestrando)

**4. De quantas pessoas (maiores de 18 anos) é composta a família, considerando o entrevistado?**

- ( ) 1 pessoa
- ( ) 2 a 3 pessoas
- ( ) 4 a 5 pessoas
- ( ) 6 a 9 pessoas
- ( ) 10 pessoas ou mais

**5. Quantas dessas pessoas, considerando o entrevistado, possuem automóveis?**

- ( ) 1 pessoa
- ( ) 2 a 3 pessoas
- ( ) 4 a 5 pessoas
- ( ) 6 a 9 pessoas
- ( ) 10 pessoas ou mais
- ( ) Todas



**6. Qual a renda bruta do proprietário principal, em Salário Mínimo (SM), a partir de 2010?**

- ( ) Até 2,5 Salário Mínimo (SM)  
 ( ) De 2,5 SM a menos que 10,5 SM  
 ( ) De 10,5 SM a menos que 25,5 SM  
 ( ) De 25,5 SM a menos que 50,5 SM  
 ( ) De 50,5 SM a menos que 105,5 SM  
 ( ) De 105,5 SM a menos que 505,5 SM  
 ( ) Acima de 505,5 SM

**BLOCO 2 - DADOS SOBRE ASPECTOS LEGAIS (PESQUISA COM A SOCIEDADE)**

**Legislação**

7. Em sua opinião a prefeitura sabe das responsabilidades quanto ao lixo, no âmbito municipal, estadual e federal, em sua cidade?  Sim ( ) Não

8. Você tem conhecimento se existe um Plano Municipal de Resíduos Sólidos em seu Estado?  Sim ( ) Não. Em caso afirmativo, como se enquadra o seu município?

---

9. Você tem conhecimento se existe um Inventário municipal de Resíduos Sólidos em seu município?  Sim ( ) Não. Em caso afirmativo, qual o tipo:

- Industrial  Hospitalar  Rural  Saneamento básico  Resíduo da construção civil  
 Tecnológico  Pneumático  Combustíveis

10. Você tem conhecimento se existe um Plano Diretor Regional de Resíduos Sólidos que abrange seu Município?  Sim ( ) não.

Em caso afirmativo, como as soluções definidas para seu município estão sendo cumpridas? Caso não estejam sendo cumpridas, por quê?

---

11. Seu município tem um Plano Diretor?  Sim  Não

Em caso afirmativo, como o lixo municipal está contemplado neste Plano?

---

Qual o ano do ultimo plano diretor?

---

12. Seu município tem um Plano Diretor Municipal de Resíduos Sólidos?

- Sim  Não.

Em caso afirmativo, ele está sendo cumprido? Caso não esteja sendo cumprido, por quê?

---

**BLOCO 3 - DADOS SOBRE ASPECTOS GERAIS (PESQUISA COM A SOCIEDADE)****Serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo.**

13. Quais os tipos de lixo produzidos no município?

( )Domiciliar ( )Público ( )Comercial ( )Hospitalar ( )Rural ( )Terminal Rodoviário  
Reformadoras de Pneus Pneus Inservíveis Tecnológico ( )Resíduo da Construção Civil

14. Quanto de cada tipo de lixo é gerado em seu município?

Domiciliar \_\_\_\_\_ t/dia Agrícola \_\_\_\_\_ t/dia  
 Pública \_\_\_\_\_ t/dia industrial \_\_\_\_\_ t/dia  
 Comercial \_\_\_\_\_ t/dia Pneus inservíveis \_\_\_\_\_ t/dia  
 Aeroporto \_\_\_\_\_ t/dia Terminal rodoviário \_\_\_\_\_ t/dia  
 Tecnológico \_\_\_\_\_ t/dia entulho \_\_\_\_\_ t/dia  
 Serviços hospitalares e de saúde \_\_\_\_\_ kg/dia

15. O município cobra pelo serviço de limpeza urbana e/ou coleta de lixo?

( )Sim  Não.

Em caso positivo, qual a forma de cobrança? Taxa específica Tarifa por serviços especiais  
Taxa junto com o IPTU Outra.

16. Qual o percentual do Orçamento Municipal destinado aos serviços de limpeza urbana e /ou coleta de lixo?

Até 5% Entre 5% e 10% Entre 10% e 15% Entre 15% e 20% Mais de 20%

17. Qual o percentual de domicílios do seu município tem o lixo coletado?

\_\_\_\_\_ %

18. Qual a composição do lixo domiciliar coletado?

\_\_\_\_\_ % matéria orgânica \_\_\_\_\_ % papel \_\_\_\_\_ % vidro \_\_\_\_\_ % plástico  
 \_\_\_\_\_ % metal \_\_\_\_\_ % outros quais? \_\_\_\_\_

**Coleta, Varrição e Capina**

19. Existe varrição de vias públicas? ( )Sim  Não

Com que frequência? Alta ( )Média Baixa Muito Baixa Péssimo Nula.

20. Existe capina de vias públicas? ( )Sim  Não

Com que frequência? Alta ( )Média Baixa Muito Baixa Péssimo Nula.

21. Existe limpeza de bueiros? ?  Sim  Não

Com que frequência? Alta Média Baixa Muito Baixa Péssimo Nula.

22. Existe coleta de pneus voluntária no município?  Sim  Não

Com que frequência? Alta Média Baixa Muito Baixa Péssimo Nula.

**Destino e quantidade do lixo coletado:**

23. Considera a destinação final do lixo municipal:

Muito Eficiente Eficiente Pouco Eficiente Péssima Nula.

24. Como é feito o controle da quantidade de lixo a ser destinado?

Pesado na balança Outro Qual? \_\_\_\_\_

25. Considera este sistema:

Muito Eficiente  Eficiente  Pouco Eficiente  Péssimo  Nulo

26. Assinale abaixo onde é feita a destinação?

Vazadouro a céu aberto  quantos? \_\_\_\_\_

Vazadouro em áreas alagadas  quantos? \_\_\_\_\_

Aterro controlado  quantos? \_\_\_\_\_

Aterro sanitário  quantos? \_\_\_\_\_

Estação de compostagem  quantos? \_\_\_\_\_

Estação de triagem para reciclagem  quantos? \_\_\_\_\_

Incineração  quantos? \_\_\_\_\_

Despejo em local não-convencional  quantos? \_\_\_\_\_

Outros  quantos? \_\_\_\_\_

27. A destinação final dos Resíduos Sólidos Urbanos é feita:

dentro do município  em outro município.

28. Onde fica(m) o(s) local(ais) de destinação do lixo?

A) Dentro do perímetro urbano:  próximo a residências  próximo a áreas de proteção  ambiental  outras áreas

B) Fora do perímetro urbano:  próximo a residências  próximo a áreas com atividade agrícola/pecuária  próximo a áreas de proteção ambiental  outras áreas

29. Quanto a Prefeitura gasta com os serviços de destinação final do lixo (excluindo os serviços de limpeza pública e/ou coleta e transporte)? \_\_\_\_\_/mês (incluir todos os custos, como mão-de-obra, manutenção, operação, energia, combustíveis, etc.).

### Entulho

30. Existe coleta de entulhos e de bens móveis inservíveis?  Sim  Não

31. Qual a quantidade coletada? \_\_\_\_\_ t/mês

32. Existe fiscalização por parte da Prefeitura sobre o entulho coletado por Empresas privadas?  Sim  Não

### Coleta e destino pneu inservível (pneu sucata)

33. A prefeitura faz a coleta deste tipo de lixo?  Sim  Não

34. Em caso positivo, tem veículo apropriado para o serviço?  Sim  Não

35. Como é feito o tratamento deste lixo?

Incinerador  Aproveitamento Energético  Reciclagem  N.A.

36. Como é feita a destinação deste tipo de lixo? Para o mesmo local dos demais tipos de lixo?  Aterro Sanitário  Incineração Integrada  Reciclanip

37. Qual é o custo de todo este serviço para a prefeitura? \_\_\_\_\_/mês.

38. A destinação final destes resíduos é considerada:

Muito Aceitável  Aceitável  Pouco Aceitável  Péssimo  Nulo

### Informações sobre catadores de lixo

39. A prefeitura tem registro dos catadores em seu município?  Sim  Não.

40. Foi feito algum cadastro deles?  Sim  Não

41. Como a Prefeitura encara a presença de catadores na(s) unidade(s) de destino final do lixo?

Muito Aceitável  Aceitável  Pouco Aceitável  Péssimo  Nulo

42. Existe algum trabalho social desenvolvido com os catadores?  Sim  Não  
 43. Existe organização social de catadores (cooperativas, associações, etc.)  Sim  Não

### **Informações sobre distritos/bairros com serviço de limpeza e/ou coleta de lixo**

44. Qual a eficiência dos serviços abaixo:

#### **Limpeza urbana**

Muito Eficiente ( ) Eficiente  Pouco Eficiente  Péssimo  Nulo

#### **Remoção de entulhos**

Muito Eficiente  Eficiente ( ) Pouco Eficiente  Péssimo  Nulo

#### **Coleta de Lixo**

Muito Eficiente ( ) Eficiente  Pouco Eficiente  Péssimo  Nulo

#### **Coleta de Lixo Hospitalar**

Muito Eficiente  Eficiente  Pouco Eficiente  Péssimo  Nulo

#### **Coleta de lixo especial**

Muito Eficiente  Eficiente  Pouco Eficiente  Péssimo  Nulo

#### **Coleta seletiva**

Muito Eficiente  Eficiente  Pouco Eficiente  Péssimo  Nulo

#### **Tratamento e disposição**

Muito Eficiente  Eficiente  Pouco Eficiente  Péssimo  Nulo

#### **Reciclagem**

Muito Eficiente  Eficiente  Pouco Eficiente  Péssimo  Nulo

45. Qual é a sua avaliação geral dos serviços de Limpeza Pública?

Ótimo ( ) Bom  Regular  Ruim  Péssimo

### **Coleta Seletiva no município**

46. Existe coleta seletiva no município?  Sim  Não

47. Houve campanha de esclarecimento/conscientização na coleta seletiva?  Sim  Não

48. Se for a Prefeitura, quantas pessoas trabalham neste serviço? \_\_\_\_\_

49. Número estimado de residências cobertas pela coleta seletiva \_\_\_\_\_

50. Número estimado de pessoas residentes cobertas pela coleta seletiva \_\_\_\_\_

51. Quantidade estimada de material reciclável coletado \_\_\_\_\_ t/dia

52. Esta quantidade é considerada:

Alta  Média  Baixa  Muito Baixa  Péssimo  Nula.

53. Qual a área de abrangência da coleta seletiva?

Todo o município  bairros selecionados  somente o distrito sede

### **Coleta de Recicláveis**

54. O controle da Coleta de Recicláveis no município é:

Ótimo  Bom  Regular  Ruim  Péssimo

55. Qual é o principal receptor final da coleta recicláveis?

Comerciantes de materiais recicláveis  entidades beneficentes  indústrias recicladoras

depósitos/aparistas  outros quem? \_\_\_\_\_

56. Qual a participação da população na coleta seletiva?

Alta  Média  Baixa  Muito Baixa  Péssimo  Nula.

57. Existe participação de catadores na coleta seletiva?

- Em cooperativas  Isolados  
 Não existe participação  
 Todas as participações

**58. Qual o custo para Prefeitura da coleta seletiva \_\_\_\_\_/mês?  
 (procure identificar custo com pessoal/equipamentos/operação e manutenção). É um valor:**

**59. Qual o nível de aceitação:**

- Muito Aceitável  Aceitável  Pouco Aceitável  Péssimo  Nulo  
 60. A Prefeitura sabe quanto do lixo coletado seletivamente (em quilos ou toneladas por dia ou mês) deixa de ir para o local de destinação final (lixão ou aterro)? \_\_\_\_\_  
 61. Considera esta quantidade:  
 Ótimo  Bom  Regular  Ruim  Péssimo.

### **Previendo a situação futura do município**

62. A estimativa de crescimento do seu município para os próximos anos é:  
 (X)Alta  Média  Baixa  Muito Baixa  Péssimo  Nula (aumento de população, aumento de área urbana, aumento de industrialização, etc.)  
 63. Existe um planejamento para a quantidade de lixo a ser gerada no município daqui a 5,10, 15 e 20 anos  Sim  Não (em toneladas por dia, por mês e por ano)?

- 
64. Coleta e transporte?  Sim  Não  
 65. Tratamento do lixo?  Sim  Não  
 66. Disposição final:  Sim  Não  
 67. Aproveitamento energético dos resíduos:  Sim  Não  
 68. Aproveitamento dos resíduos tecnológico:  Sim  Não  
 69. Aproveitamento dos resíduos pneumáticos para aditivo:  Sim  Não  
 70. O local ou locais para onde o lixo é destinado hoje:  
 Muito Suficiente  Suficiente  Pouco Suficiente  Péssimo  Nulo para receber o lixo? Por quanto tempo? \_\_\_\_\_  
 71. Existem projetos do município em relação a ?. Novos locais para a destinação do lixo?  
 Sim  Não  
 72. Recuperação de áreas das células fechadas do aterro sanitário?  
 Muito Eficiente  Eficiente  Pouco Eficiente  Péssimo  Nulo  
 73. Programas de Educação e Conscientização Ambiental?  
 Muito Eficiente  Eficiente  Pouco Eficiente  Péssimo  Nulo

### **BLOCO 4 - DADOS ESPECÍFICOS SOBRE PNEUS INSERVÍVEIS E ATERRO SANITÁRIO (PESQUISA COM A SOCIEDADE)**

#### **Logística Reversa**

74. O(a) senhor (a) sabe o que vem a ser logística reversa: ( ) Sim  Não  
 75. O(a) senhor (a) sabia que os pneus inservíveis têm valor econômico e utilidade após consumo, ou vida útil: ( ) Sim  Não  
 76. Caso afirmativo questão 5, qual a destinação correta dos pneus substituídos:  
 Lixão  Aterro Controlado  Aterro Sanitário  Na loja que comprou o pneu novo  
 Borracharia  Incinerador ( ) Reciclador  Recauchutador  Reformador  Deixo em casa  
 Ecopontos  
 77. Caso afirmativo bloco 1, questão 5, qual a frequência de troca de pneus do seu carro (s):

menos de 50.000 km ou 3 anos  entre 50.000 km (3 anos) ou 70.000 km (5 anos)  acima de 70.000 km (5 anos)  Não se Aplica (NA)

78. O(a) senhor (a) ver oportunidades de negócios, a partir dos pneus inservíveis (sucatas) que são lançados para o meio ambiente após consumo:  Sim  Não

79. O(a) senhor (a) ver oportunidades ambientais, a partir coleta dos pneus inservíveis (sucatas) que são lançados para o meio ambiente após consumo:  Sim  Não

80. O(a) senhor (a) já esteve no aterro sanitário:  Sim  Não

81. O(a) senhor (a) conhece a função do aterro sanitário:  Sim  Não

82. O(a) senhor (a) sabe que os materiais do aterro sanitário podem ser reaproveitados:  Sim  Não

83. O(a) senhor (a) sabe que existe uma cooperativa de reciclagem de resíduos no aterro sanitário:  Sim  Não

### **BLOCO 5 - DADOS ECONÔMICOS/NEGÓCIOS (PESQUISA COM A SOCIEDADE)**

84. O(a) senhor (a) sabe que a renda per capita do município Vitória da Conquista é cerca de 10% maior do que a renda do Estado da Bahia:  Sim  Não

85. O(a) senhor (a) sabe que no aterro é possível estabelecer correlação com consumo da cidade. Nos últimos dois anos o consumo aumento cerca de 20%.  Sim  Não

86. O(a) senhor (a) sabe que é possível gerar oportunidades de negócios na cidade através dos resíduos sólidos:  Sim  Não

87. O(a) senhor (a) apostaria no reaproveitamento de materiais dos resíduos sólidos:  Sim  Não

88. Qual seu nível de aceitação do reaproveitamento de materiais dos resíduos sólidos para formação de novos negócios:

Muito Aceitável  Aceitável  Pouco Aceitável  Péssimo  Nulo

89. O(a) senhor (a) se tivesse recurso investiria no empreendedorismo de reaproveitamento de pneus inservíveis:  Sim  Não

90. Qual seria o seu nível de aceitação:

Muito Aceitável  Aceitável  Pouco Aceitável  Péssimo  Nulo

91. O(a) senhor (a) trabalharia numa empresa de recuperação de pneus inservíveis:  Sim  Não

92. Qual seria o seu nível de aceitação:

Muito Aceitável  Aceitável  Pouco Aceitável  Péssimo  Nulo

93. O(a) senhor (a) compraria pneus reformados de empresas da localidade:  Sim  Não

94. Se sim, qual seria o seu nível de aceitação:

Muito Aceitável  Aceitável  Pouco Aceitável  Péssimo  Nulo

95. O(a) senhor (a) repararia os pneus do seu carro em reformadoras localidade

Sim  Não.

96. Em quantos ciclos seria o seu nível de aceitação:

1Ciclo  2 Ciclos  3 Ciclos  4 Ciclos  5 Ciclos

97. O(a) senhor (a) sabe que o preço de um pneu recuperado é cerca de 40% do pneu novo (não ambiental)  Sim  Não.

98. O(a) senhor (a) sabe que a carcaça do pneu reparado, na região do involucrio, tem mais resistência que a carcaça de pneu novo  Sim  Não.

99. O(a) senhor (a) sabe que o pneu inservível, depois do uso, no final da sua vida útil, se não for destinado corretamente leva 200 anos para decomposição e além disso é artefato que gera vetores doenças tropicais e tem alto poder de combustão (inflamabilidade)  Sim  Não.

100. O(a) senhor (a) sabe que o pneu abandonado na cidade ou em locais remotos é um custo ambiental alto para sociedade, sobretudo impacta o meio ambiente, devido a poluição e a estética do gabarito socioeconômico da cidade ( )Sim  Não.

101. O(a) senhor (a) sabe que o pneu coletado por agentes públicos e privados ajudam na saúde pública, além de criar oportunidade objetivas de negócios para cidade que gera uma gama de resíduos sólidos ( )Sim  Não.

102. Considerando que o pneu inservível é um bem econômico que pode ser recuperado pela sociedade, qual o seu nível de aceitação em relação à ideia do reaproveitamento e reutilização: ( )Muito Aceitável  Aceitável  Pouco Aceitável  Péssimo  Nulo

103. O(a) senhor(a) apoiaria politicamente a instalação de uma usina de pneus inservíveis com garantia de geração de trabalho e renda: ( )Sim  Não.

104. Qual o seu nível de aceitação em relação à ideia de instalação de uma usina de reaproveitamento energético no aterro sanitário:

( )Muito Aceitável  Aceitável  Pouco Aceitável  Péssimo  Nulo

105. Considerando a importância do fator trabalho como meio do desenvolvimento de uma sociedade, o(a) senhor(a) concordaria que a ampliação das oportunidades de trabalho, renda e benefícios sociais para cidade estimularia outras oportunidades:

( )Sim  Não.

106. Qual o seu nível de aceitação em relação dos benefícios sociais:

( )Muito Aceitável  Aceitável  Pouco Aceitável  Péssimo  Nulo

#### **BLOCO 6 - DADOS SOCIAIS/AMBIENTAIS (PESQUISA COM A SOCIEDADE)**

107. O(a) senhor (a) sabe que a inconstante de disposição de lixo na cidade causa danos à saúde e implica em altos gastos sociais e ambientais: ( )Sim  Não

108. O(a) senhor (a) faz o descarte correto do lixo produzido em sua casa:  Sim ( ) Não

109. De acordo com a resposta anterior, qual a sequência combinada que o (a) senhor(a) adota diariamente para o descarte de lixo:

Separar o reciclável; Separar lixo seco e orgânico

Separar o não reciclável; Não separar o lixo seco e orgânico

Separar o lixo seco e orgânico; Separar o reciclável

Não separar o lixo seco e orgânico; Separar o não reciclável

Tanto faz a sequência combinada

( ) Não uso sequência combinada

110. O(a) senhor (a) sabe que caso adote uma sequência não combinada poderá causar acidente no aterro sanitário ou locais onde existem catadores (recicladores):

( )Sim  Não

111. Qual sua opinião sobre o nível de aceitação da reeducação ambiental da sociedade local em relação à gestão doméstica do lixo:

( )Muito Aceitável  Aceitável  Pouco Aceitável  Péssimo  Nulo

112. Especificamente sobre o pneu inservível, é de conhecimento da sociedade que eles causam problema à saúde formando vetores de doenças tropicais. Você aceitaria aproveitar os pneus para reuso, a partir de uma compreensão da economia circular dos materiais que são retratados, usados e depois descartados.

( )Sim  Não

113. O benefício social do pneu é claro para todos, no transporte de cargas e pessoas junto ao conjunto de automóveis. Existem normas, regras e leis para logística reversa desses materiais que estão em todos os lugares da cidade, mesmo com a campanha da dengue. Qual o motivo de acordo com as alternativas a seguir, porque todos os anos a coleta de pneus inservíveis é recorrente a partir da campanha da dengue:

Educação Ambiental Políticas Públicas Gestão Municipal Comportamento social ( )  
Todas alternativas estão corretas.

114. De acordo com a questão anterior, você considera importante a educação ambiental na escola formal: ( )Sim  Não

115. Qual o seu grau de aceitação para uma mudança de cultura ambiental e da gestão dos resíduos sólidos na cidade:

( )Muito Aceitável Aceitável Pouco Aceitável Péssimo Nulo



## APÊNDICE B - Questionário (Constructos e Indicadores) com escala likert 1 a 5

ITEM	CONSTRUCTO – METABOLISMO SOCIOECONÔMICO DOS RESÍDUOS (SEM <sub>w</sub> )
<b>Qual a importância (...) para avaliar o metabolismo socioeconômico do SEM<sub>w</sub> : (1 = baixa importância, 5 = alta importância)</b>	
SEM <sub>w</sub> _1	do <i>CUSTO AMBIENTAL</i> ...
SEM <sub>w</sub> _2	da <i>ANÁLISE DE FLUXO DE MATERIAIS (AFM)</i> ...
SEM <sub>w</sub> _3	das condições da <i>ECONOMIA CIRCULAR</i> ...
SEM <sub>w</sub> _4	do <i>VALOR ECONÔMICO</i> dos materiais reaproveitados...
SEM <sub>w</sub> _5	da análise do <i>CICLO DE VIDA (ACV)</i> ...
SEM <sub>w</sub> _6	da contabilização do <i>BALANÇO DE MASSA</i> ...
SEM <sub>w</sub> _7	da <i>ANÁLISE DE ENTRADAS E SAÍDAS (IOA)</i> ...
SEM <sub>w</sub> _8	da medição da <i>TAXA METABÓLICA</i> de resíduos
ITEM	CONSTRUCTO – FLUXO DIRETO MATERIAIS (DMF)
<b>Qual a importância (...) para avaliar os fluxos diretos de materiais no SEM<sub>w</sub>: (1 = baixa importância, 5 = alta importância)</b>	
DMF_1	da <i>REDE DE FORNECEDORES</i> atacadista de pneus novos ...
DMF_2	da <i>REDE DE SUPRIMENTO</i> de varejista de pneus novos...
DMF_3	da <i>DEMANDA</i> de pneus...
DMF_4	dos <i>PEDIDOS</i> de pneus...
DMF_5	da <i>LOCALIZAÇÃO</i> dos fornecedores de pneus...
DMF_6	da <i>REGULAÇÃO</i> que estabelece condicionantes ...
DMF_7	do <i>MARKETING</i> de pneus...
ITEM	CONSTRUCTO – FLUXO REVERSO DE MATERIAIS (RMF)
<b>Qual a importância (...) para avaliar os fluxos reversos de materiais no SEM<sub>w</sub>: (1 = baixa importância, 5 = alta importância)</b>	
RMF_1	da <i>COLETA</i> de ELTs na cidade...
RMF_2	do <i>PLANEJAMENTO URBANO</i> da cidade em relação à coleta de ELTs...
RMF_3	do <i>ACUMÚLO</i> de pneus em fim de vida (ELTs)...
RMF_4	das <i>EXTERNALIDADES (importações)</i> de ELTs ...
RMF_5	da <i>DESTINAÇÃO FINAL</i> de ELTs ...
RMF_6	da <i>RECICLAGEM</i> de ELTs ...
RMF_7	das <i>RECAUCHUTAGEM</i> ELTs ...
RMF_8	das <i>PREVISÕES</i> dos fluxos de resíduos (ELTs) ...
RMF_9	da <i>GESTÃO DE RESÍDUOS</i> na cidade...
RMF_10	do <i>TREINAMENTO</i> da equipe de limpeza urbana...
ITEM	CONSTRUCTO – AMBIENTE SOCIOECONÔMICO OU FATORES SOCIOECONÔMICOS (SEF)
<b>Qual a importância (...) na avaliação do SEM<sub>w</sub> : (1 = baixa importância, 5 = alta importância)</b>	
SEF_1	do <i>INVESTIMENTO</i> municipal...
SEF_2	da <i>POLÍTICA</i> municipal na limpeza da cidade ...
SEF_3	do <i>SANEAMENTO BÁSICO</i> na limpeza da cidade ...
SEF_4	do <i>PIB (renda agregada)</i> da economia de pneus...
SEF_5	do <i>CONSUMO</i> de pneus e ELTs ...
SEF_6	do <i>CULTURAL</i> local na ...



**UFBA**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
ESCOLA POLITÉCNICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM ENGENHARIA INDUSTRIAL - PEI**

Rua Aristides Novis, 02, 6º andar, Federação, Salvador BA

CEP: 40.210-630

Telefone: (71) 3283-9800

E-mail: [pei@ufba.br](mailto:pei@ufba.br)

Home page: <http://www.pei.ufba.br>