

MODELO PARA DIAGNOSTICAR RESÍDUOS SÓLIDOS DE UMA CIDADE DE MÉDIO PORTE: CASO DE PNEUS INSERVÍVEIS

MODEL FOR DIAGNOSING SOLID WASTE IN A MEDIUM-SIZED CITY: THE CASE OF END-OF-LIFE TIRES

MODELO PARA DIAGNOSTICAR RESÍDUOS SÓLIDOS EN UNA CIUDAD DE TAMAÑO MEDIO: EL CASO DE LOS NEUMÁTICOS FUERA DE USO

Euclides Santos Bittencourt¹, Mario dos Santos Bulhões², Marcelo Santana Silva³

DOI: 10.54899/dcs.v23i86.3960

Recibido: 04/12/2025 | Aceptado: 08/12/2025 | Publicación en línea: 08/01/2026.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo propor e validar um modelo teórico para avaliar o Metabolismo Socioeconômico dos Resíduos (SEMw) associados aos Pneus em Fim de Vida (ELTs), integrando fatores técnicos e sociais. Para isso, empregou-se a Modelagem de Equações Estruturais por Mínimos Quadrados Parciais (PLS-SEM), adequada para dados não paramétricos e modelos exploratórios com múltiplas relações causais. O modelo apresentou elevada consistência interna e forte capacidade explicativa, especialmente nos Fatores Socioeconômicos (SEF) e no próprio SEMw. Os resultados evidenciaram que os Fluxos Reversos de Materiais (RMF) exercem influência central no metabolismo dos resíduos, afetando diretamente os Fluxos Diretos de Materiais (DMF) e o SEMw, além de impactar indiretamente os SEF. A rejeição das hipóteses H1 e H6 indicou que o SEMw não é determinado apenas pelo consumo de pneus ou por fatores sociodemográficos isolados, mas pela mediação exercida pelos Fatores Sociodemográficos (SDF) e, sobretudo, pelos SEF, em consonância com a interpretação da Curva Ambiental de Kuznets. As simulações mostraram que fluxos desconhecidos de ELTs (fd1) alteram o balanço de massa e evidenciam a subnotificação como um entrave ao planejamento da Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (GRSU). O modelo demonstrou utilidade para orientar ações como fortalecimento da logística reversa, controle de estoques clandestinos e integração entre políticas urbanas e sanitárias. Embora aplicado a um estudo de caso, o método é replicável e pode ser estendido a outros tipos de resíduos e contextos municipais, contribuindo para o aprimoramento de políticas de economia circular e da gestão de resíduos sólidos urbanos.

Palavras-chave: Metabolismo Socioeconômico. Fluxos de Materiais. ELTs. Previsão de ELTs. Modelagem de Equações Estruturais.

¹ Doutor em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, Bahia, Brasil.
E-mail: euclyd13@gmail.com

² Doutor em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, Bahia, Brasil.
E-mail: mario29b@gmail.com

³ Pós-Doutor em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, Bahia, Brasil.
E-mail: marcelosilva@ifba.edu.br

ABSTRACT

This study aimed to propose and validate a theoretical model to assess the Socioeconomic Metabolism of Waste (SEMw) associated with End-of-Life Tires (ELTs), integrating both technical and social factors. To achieve this, Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) was employed, a suitable approach for nonparametric datasets and exploratory models with multiple causal relationships. The model demonstrated high internal consistency and strong explanatory power, particularly for the Socioeconomic Factors (SEF) construct and for SEMw itself. The results showed that Reverse Material Flows (RMF) play a central role in the waste metabolism, directly affecting Direct Material Flows (DMF) and SEMw, and indirectly influencing SEF. The rejection of hypotheses H1 and H6 indicated that SEMw is not determined solely by tire consumption or isolated sociodemographic variables, but rather by the mediating effects of Sociodemographic Factors (SDF) and especially SEF, consistent with interpretations of the Environmental Kuznets Curve. Simulations revealed that unknown ELT flows (fd1) alter the mass balance and highlight underreporting as a barrier to Urban Solid Waste Management (GRSU). The model proved useful for guiding actions such as strengthening reverse logistics, controlling clandestine stocks, and integrating urban and public health policies. Although applied to a case study, the method is replicable and can be extended to other waste types and municipal contexts, contributing to the improvement of circular economy policies and solid waste management strategies.

Keywords: Socioeconomic Metabolism. Material Flows. End-of-Life Tires (ELTs). ELT Forecasting. Structural Equation Modeling.

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo proponer y validar un modelo teórico para evaluar el Metabolismo Socioeconómico de los Residuos (SEMw) asociado a los Neumáticos Fuera de Uso (ELTs), integrando factores técnicos y sociales. Para ello, se empleó la Modelación de Ecuaciones Estructurales por Mínimos Cuadrados Parciales (PLS-SEM), un método adecuado para datos no paramétricos y modelos exploratorios con múltiples relaciones causales. El modelo presentó alta consistencia interna y fuerte capacidad explicativa, especialmente en los Factores Socioeconómicos (SEF) y en el propio SEMw. Los resultados evidenciaron que los Flujos de Materiales Reversos (RMF) ejercen un papel central en el metabolismo de los residuos, afectando directamente los Flujos de Materiales Directos (DMF) y el SEMw, además de influir indirectamente en los SEF. El rechazo de las hipótesis H1 y H6 indicó que el SEMw no está determinado únicamente por el consumo de neumáticos o por factores sociodemográficos aislados, sino por la mediación de los Factores Sociodemográficos (SDF) y, especialmente, de los SEF, en consonancia con la interpretación de la Curva Ambiental de Kuznets. Las simulaciones mostraron que los flujos desconocidos de ELTs (fd1) alteran el balance de masa y evidencian la subnotificación como un obstáculo para la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos (GRSU). El modelo demostró ser útil para orientar acciones como el fortalecimiento de la logística reversa, el control de los acopios clandestinos y la integración entre políticas urbanas y sanitarias. Aunque aplicado a un estudio de caso, el método es replicable y puede extenderse a otros tipos de residuos y contextos municipales, contribuyendo al perfeccionamiento de las políticas de economía circular y de la gestión de residuos sólidos urbanos.

Palabras clave: Metabolismo Socioeconómico. Flujos de Materiales. ELTs. Predicción de ELTs. Modelación de Ecuaciones Estructurales.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado da geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), impulsionado pela urbanização, pelo avanço tecnológico e pela intensificação do consumo, tem ampliado os impactos ambientais e os riscos à saúde pública (Mazzanti; Zoboli, 2008; Gupta *et al.*, 2015; Alfaia *et al.*, 2017). No Brasil, embora a Política Nacional de Resíduos Sólidos e as resoluções específicas para pneus em fim de vida (ELTs) estabeleçam diretrizes importantes, persistem limitações técnicas, operacionais e institucionais que comprometem a gestão desses resíduos (Lagarinhos; Tenório, 2013). Esses desafios são agravados pela influência de fatores socioeconômicos, culturais e estruturais que moldam os fluxos de materiais e a eficácia da logística reversa.

Nesse contexto, compreender o metabolismo socioeconômico dos resíduos (SEMw) é essencial para aprimorar estratégias de coleta, reaproveitamento e destinação final, especialmente em resíduos inertes de alto impacto ambiental, como os ELTs. A literatura destaca a necessidade de modelos capazes de integrar variáveis técnicas — como fluxos diretos (DMF) e reversos (RMF) — a fatores sociodemográficos (SDF) e socioeconômicos (SEF), permitindo explicar como padrões de consumo, políticas públicas e condições econômicas influenciam a dinâmica dos resíduos.

O modelo proposto busca suprir a falta de ferramentas capazes de integrar fatores técnicos e socioeconômicos na análise dos resíduos urbanos. Ao estruturar essas relações em um arcabouço causal, a abordagem permite identificar limitações nos fluxos de ELTs e apoiar decisões estratégicas em logística reversa e planejamento urbano. Assim, contribui para ampliar a compreensão do SEMw e oferece uma metodologia aplicável a outros resíduos e contextos municipais.

A Modelagem de Equações Estruturais (MEE), particularmente na abordagem Partial Least Squares (PLS-SEM), oferece uma estrutura robusta para analisar relações causais complexas em cenários que envolvem múltiplos constructos e dados não paramétricos, sendo

adequada para fenômenos que combinam dimensões técnicas e sociais (Fornell; Larcker, 1981; Hair Jr. *et al.*, 2017).

Diante dessa lacuna, este estudo propõe e valida um modelo teórico para avaliar o SEMw de ELTs, integrando DMF, RMF, SDF e SEF para explicar, de forma sistêmica, a dinâmica dos fluxos de pneus em contexto urbano. O modelo é aplicado ao município de medido porte com cerca de 300.000 ou 400.000 habitantes, que apresenta desafios estruturais de contabilização, reaproveitamento e destinação de ELTs, constituindo um cenário adequado para testar a eficácia da abordagem proposta.

REFERENCIAL TEÓRICO

Visão Geral dos RSU no Brasil

A geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) tem aumentado no Brasil em decorrência do crescimento populacional e do avanço tecnológico (Mazzanti; Zoboli, 2008; Gupta *et al.*, 2015; Alfaia *et al.*, 2017), ampliando impactos ambientais e riscos à saúde (Hoornweg; Bhada-Tata, 2012). A Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (GRSU) organiza procedimentos de coleta, tratamento e destinação conforme normas e planejamentos urbanos (Allesch; Brunner, 2014; Bing *et al.*, 2016), contribuindo para evitar conflitos regulatórios (Gottinger, 2018).

O marco legal brasileiro, estruturado pela Lei nº 12.305/2010 e pelas Resoluções CONAMA nº 258/1999 e nº 416/2009, define a responsabilidade compartilhada pela destinação de pneus inservíveis (ELTs), determinando a coleta de um pneu descartado para cada pneu novo comercializado (Brasil, 2009). Apesar dessas diretrizes, persistem limitações técnicas na destinação de ELTs e outros RSU (Lagarinhos; Tenório, 2013). Desde a Constituição de 1988, políticas urbanas e intermunicipais buscaram aprimorar o saneamento e a gestão dos resíduos (Guellati *et al.*, 2017), embora modelos compulsórios iniciais tenham gerado resultados insatisfatórios (Pimenteira, 2010).

Os RSU são compostos predominantemente por matéria orgânica, papel, plásticos, metais, vidros e ELTs, variando conforme hábitos de consumo, poder econômico, padrões sociais, urbanização e fatores culturais (Philippi Jr.; Aguiar, 2005). Parte desses materiais pode ser reaproveitada pela logística reversa (LR), sendo encaminhada à reciclagem, reutilização ou aplicações marginais (Abubakar *et al.*, 2019). A viabilidade dessas aplicações depende do

ambiente econômico, dos custos de recuperação e das externalidades associadas, que influenciam a redefinição das funções e do valor dos materiais (Vahl *et al.*, 2013; Massarutto, 2015).

Equações Estruturais

A Modelagem de Equações Estruturais (MEE), utilizada desde os anos 1980 (Fornell; Larcker, 1981), combina análise de caminho (Wright, 1934) e análise fatorial (Spearman, 1914) para estimar relações entre variáveis observáveis e latentes. Trata-se de uma abordagem multivariada fundamentada em modelos teóricos, que permite testar hipóteses causais e validar estruturas conceituais (Gefen *et al.*, 2000; Marôco, 2010). A MEE é composta por um modelo externo (mensuração) e um modelo interno (estrutural), assegurando confiabilidade, validade e significância estatística (Hair Jr. *et al.*, 2017). Os constructos exógenos e endógenos são medidos por indicadores e suas respectivas cargas fatoriais, enquanto as relações estruturais são representadas por coeficientes de caminho e erros associados (Kline, 2015; Santiago, 2017).

Os indicadores reflexivos captam variações decorrentes do comportamento do constructo, refletindo seus efeitos sobre as variáveis observadas (Castaño-Martínez *et al.*, 2015). Já os indicadores formativos operam de modo oposto, compondo o constructo a partir de múltiplos efeitos, cuja estabilidade pode ser afetada por tamanho amostral e multicolinearidade (Fornell; Larcker, 1981; Byrne, 2013). Ambos os tipos podem coexistir em uma mesma modelagem, conforme a natureza teórica do constructo e os objetivos da análise.

METODOLOGIA

A MEE foi desenvolvida para avaliar o SEMw integrando variáveis métricas (DMF, RMF) e não métricas (SEF, SDF), aplicada ao caso dos fluxos de ELTs em um município Baiano, um resíduo de alto impacto ambiental e sujeito a falhas de contabilização. O método, originalmente apresentado em artigo na revista Sustainability, utilizou variáveis manifestantes e latentes para testar relações causais entre esses constructos. As hipóteses foram estimadas pelo método Partial Least Squares (PLS) no software SmartPLS-SEM, adequado para dados não paramétricos em escala Likert. A escolha pelo PLS fundamenta-se na robustez para amostras pequenas e dados não normais (Rigdon *et al.*, 2017), bem como no uso do bootstrapping para testar a significância dos coeficientes (Streukens; Leroiwerelds, 2016; Henseler; Ringle;

Sinkovics, 2009). O método também se mostra eficiente sob restrição amostral (Davari; Rezazadeh, 2013; Hair *et al.*, 2017).

Procedimento do Método PLS

O procedimento adotado na MEE com PLS-SEM compreendeu: (1) revisão da literatura; (2) identificação dos constructos e indicadores; (3) definição do modelo preliminar; (4) elaboração do questionário, amostragem e coleta de dados; (5) simulação e análise dos modelos de mensuração e estrutural com ajustes; e (6) apresentação e discussão dos resultados.

Revisão da Literatura do Fenômeno Investigado

A revisão utilizou palavras-chave nas bases Web of Science, Scopus e Science Direct, abrangendo metabolismo socioeconômico, equações estruturais, fluxos de materiais, logística direta e reversa de pneus, economia circular, fatores socioeconômicos e sociodemográficos e sustentabilidade ambiental. Esses elementos estruturaram o quadro teórico e as hipóteses do SEMw. O quadro teórico integra quatro variáveis latentes: DMF, referente aos fluxos e ao estoque de pneus novos; RMF, associado aos fluxos reversos de ELTs reaproveitados; SDF, composto por fatores sociais e demográficos; e SEF, que representa o ambiente socioeconômico no qual ocorrem consumo, circulação de materiais e geração de resíduos.

Os constructos e seus indicadores permitem avaliar as relações que estruturam o SEMw, considerando a transferência dos materiais até o descarte no meio ambiente. metodologia de um artigo delineia os procedimentos empregados para conduzir a pesquisa, incluindo o tipo de estudo, a seleção da amostra, os métodos de coleta e análise de dados, considerações éticas e limitações do estudo. Sua descrição detalhada e transparente é essencial para garantir a replicabilidade e a confiabilidade dos resultados, além de proporcionar uma base sólida para a interpretação e a generalização dos achados, como apresentado no Quadro 1.

Quadro 1

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)
H2	DMF têm efeito direto no SEF.	Ferrer (1997), Strobel e Redmann (2002), Chang (2008), Mazzanti <i>et al.</i> (2008), Kannan, Diabat e Shankar (2014).
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).
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.	Ghinea <i>et al.</i> (2016), Xu <i>et al.</i> (2016), Kannangara <i>et al.</i> (2018), Rybova <i>et al.</i> (2018),
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)
H8	RMF têm efeito direto no SEMw.	Ramayah <i>et al.</i> (2012), Agrawal, Singh e Murtaza (2015), Lonca <i>et al.</i> (2018),

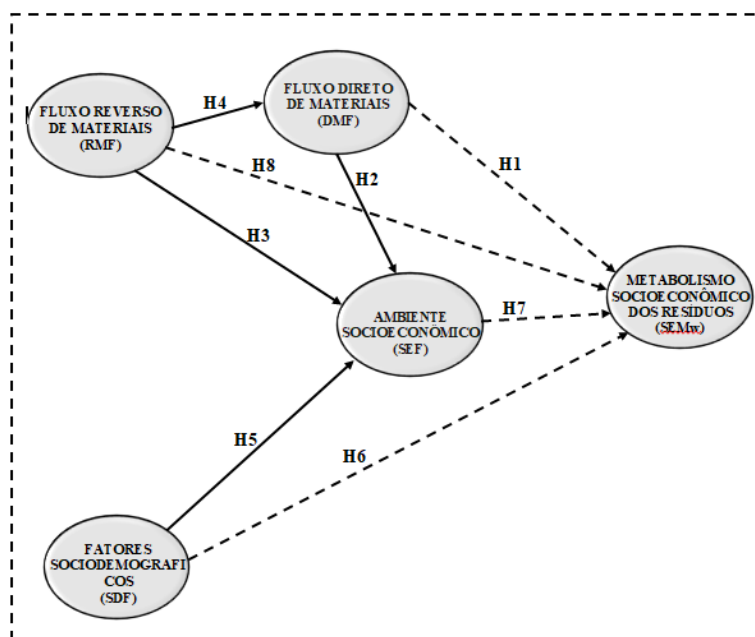
Fonte: Autores.

Modelo Teórico

O modelo teórico adotado considera que os constructos técnicos (DMF e RMF) e sociais (SEF e SDF) se relacionam com o SEMw. A Figura 1 ilustra essa estrutura, conforme hipóteses definidas no Quadro 12. As hipóteses H2, H3 e H5 influenciam diretamente o SEF e indiretamente o SEMw, enquanto H1, H6, H7 e H8 exercem influência direta sobre o SEMw. A hipótese H4 indica que os DMF são afetados pelas variações dos estoques de materiais secundários provenientes da logística reversa dos RMF.

Figura 1

Modelo Teórico para Avaliar o SEMw



Fonte: Autores.

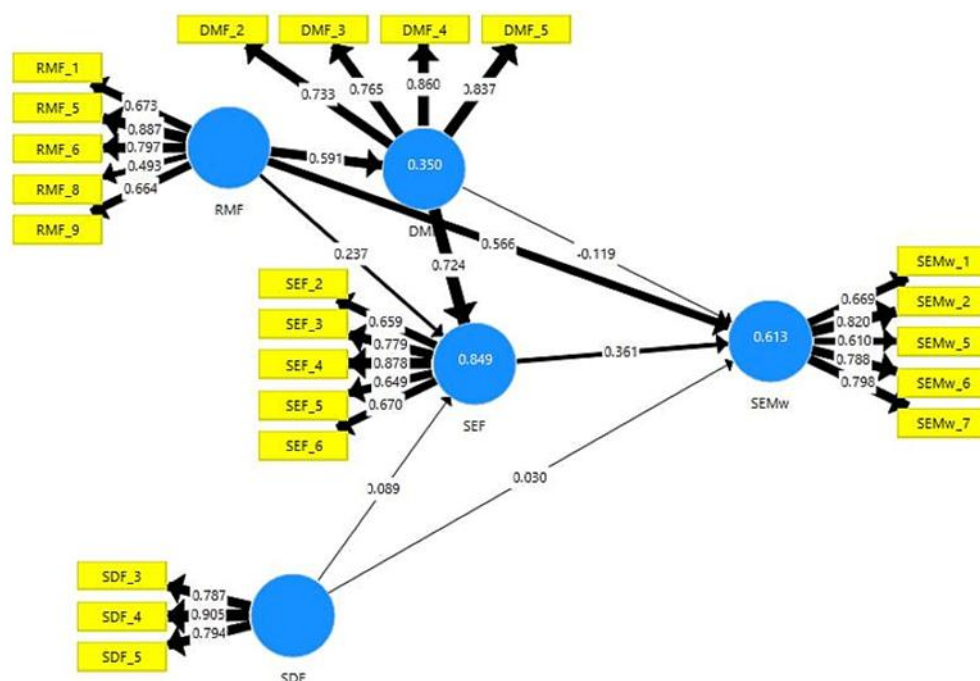
RESULTADOS E DISCUSSÕES

O A Modelagem de Equações Estruturais (MEE) foi utilizada para consolidar o referencial teórico e mensurar o SEMw, tendo os SEF como representação do ambiente econômico. A ausência de políticas sanitárias adequadas influencia esse ambiente, contribuindo para a formação de estoques urbanos de ELTs e seus impactos ambientais, cenário em que a MEE se mostra útil para identificar relações estruturais e orientar estratégias de controle.

É possível observar na Figura 02 o modelo aplicado ao metabolismo socioeconômico dos ELTs, os indicadores validados e as hipóteses H1 a H8 revelam padrões relevantes. A hipótese H1 ($\beta = -0,119$) indica que os DMF influenciam negativamente o SEMw, evidenciando que variações de renda não determinam isoladamente o consumo e que fatores socioeconômicos e políticas públicas modulam essa relação (Mazzanti; Montini; Zoboli, 2008). Já H2 ($\beta = 0,724$) demonstra influência direta e positiva dos DMF sobre os SEF, reforçando o papel central do mercado de reposição e das políticas regulatórias baseadas em responsabilidade compartilhada (Chang, 2008). Esses resultados confirmam que os DMF estruturam parte importante da dinâmica socioeconômica que determina o metabolismo dos ELTs.

Figura 2

Modelo de caminho, cargas externas e coeficientes estruturais.



Fonte: Autores.

Como visto na Figura 02 na hipótese H3 ($\beta = 0,237$), verifica-se que os ELTs coletados pela logística reversa são reaproveitados pelos SEF, mesmo diante das limitações da GRSU. Esse resultado é coerente com H4 ($\beta = 0,591$), que mostra influência positiva dos RMF sobre os DMF, indicando integração entre fluxos diretos e reversos. Em H8 ($\beta = 0,566$), os RMF impactam diretamente o SEMw, reforçando que a eficiência dessa integração depende da qualidade da gestão de resíduos (Govindan; Soleimani; Kannan, 2015).

As hipóteses H5 ($\beta = 0,089$) e H6 ($\beta = 0,030$) evidenciam influências discretas do SDF sobre SEF e SEMw, mostrando que fatores sociodemográficos atuam como preditores secundários. Já H7 ($\beta = 0,361$) demonstra que os SEF exercem forte impacto no SEMw, refletindo dinâmicas associadas ao crescimento populacional, renda e condições econômicas locais. Os constructos exibiram confiabilidade satisfatória, com alfas de Cronbach superiores a 0,7.

Os indicadores excluídos apresentaram cargas fatoriais abaixo de 0,708 ou desempenho insuficiente nos testes de confiabilidade, mesmo quando superiores a 0,5, seguindo as recomendações do SEM-PLS, que prioriza a confiabilidade individual e convergente dos indicadores (Hair *et al.*, 2016; Hayduk & Littvay, 2012).

A formulação das hipóteses busca testar o modelo teórico derivado do estado da arte, articulando a demanda e o comportamento de consumo segundo a lógica da utilidade marginal. Embora pneus descartados ainda preservem parte de sua massa útil, são frequentemente eliminados com fraturas e deformações que inviabilizam sua recauchutagem, exceto em pneus de caminhões, cuja maior resistência estrutural permite reaproveitamento pontual. No entanto, a cadeia de suprimentos do município não oferece estímulos efetivos ao reuso.

Para fins analíticos, considera-se a distinção entre fluxos diretos de materiais (DMF) e fluxos reversos (RMF), influenciados por fatores sociais que modulam padrões de consumo, inclusive sob restrições orçamentárias. Dada a dificuldade de quantificar ELTs, aplica-se a análise fatorial confirmatória para assegurar validade e confiabilidade dos constructos latentes.

A análise do modelo de medição Tabela 1 confirma consistência interna e validade convergente adequadas (alfa de Cronbach, CR e rho_A > 0,7; AVE > 0,5), em conformidade com Hair Jr. *et al.* (2016, 2017). Esses resultados são sensíveis a erros aleatórios que comprometem a precisão das medidas diretas e indiretas. Em estudos exploratórios, admite-se manter indicadores com cargas fatoriais inferiores a 0,708, sobretudo quando se utilizam escalas categóricas (Hulland, 1999; Hair Jr. *et al.*, 2016, 2017).

Tabela 1

Resultados do teste do modelo de medição com os indicadores validado.

Constructo	Indicador	Descrição	Carga	Cronbach's Alpha	rho_A	CR	AVE
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				
	RMF_9	Gestão de resíduos	0,664				
Fatores Sociodemográficos (SDF)	SDF_3	Renda per capita	0,787	0,782	0,874	0,869	0,689
	SDF_4	Escolaridade	0,905				
	SDF_5	Densidade populacional	0,794				
Fatores Socioeconômicos (SEF)	SEF_2	Política municipal	0,659	0,780	0,807	0,851	0,537
	SEF_3	Saneamento básico	0,779				
	SEF_4	PIB (renda agregada)	0,878				
	SEF_5	Consumo	0,649				
	SEF_6	Cultura local	0,670				
Metabolismo	SEMw_1	Custo ambiental	0,669	0,820			
	SEMw_2	AFM	0,820				

Socioeconômico dos Resíduos (SEMw)	SEMw_5	ACV	0,610	0,793	0,803	0,858	0,550
	SEMw_6	Balanço de massa	0,788				
	SEMw_7	IOA	0,798				

Fonte: Autores.

O indicador RMF_8 (Forecasts) foi mantido no modelo mesmo apresentando carga fatorial abaixo de 0,708 (0,493), devido à sua relevância para o planejamento e gestão dos resíduos sólidos. Conforme Hulland (1999), indicadores com cargas inferiores ao limite recomendado podem ser preservados quando sua exclusão compromete a confiabilidade composta ou a validade de conteúdo. No presente estudo, a remoção do RMF_8 reduziria a confiabilidade do constructo RMF (Alfa de Cronbach e AVE), justificando sua permanência, assim como ocorre com os indicadores entre 0,6 e 0,7 (RMF_1, RMF_9, SEF_2, SEF_5, SEF_6, SEMw_1 e SEMw_5), que permanecem coerentes com o modelo teórico.

Por outro lado, o indicador SEF_1_Investimento, embora com carga próxima ao limiar (0,637), foi excluído devido à colinearidade e à presença de cargas cruzadas, indicando baixa confiabilidade e conflito com a dinâmica econômica local. As medidas de confiabilidade composta variaram entre 0,799 e 0,877, e o Alfa de Cronbach entre 0,759 e 0,816, todos acima do mínimo recomendado de 0,7 (Gefen, Straub & Rigdon, 2011). A AVE, entre 0,512 e 0,689, também se manteve acima do limiar de 0,5 (Hair Jr. *et al.*, 2016).

Os ajustes obtidos por meio das análises fatorial exploratória (EFA) e confirmatória (CFA) asseguraram coerência teórica e permitem replicar o modelo em outros contextos, possibilitando variações aninhadas à mesma estrutura conceitual (Ringle, Silva & Bido, 2014; De Souza Bido & Da Silva, 2019). A validade discriminante, avaliada pelo critério de Fornell-Larcker, mostrou-se adequada, com raízes quadradas da AVE superiores às correlações entre constructos, confirmando que cada constructo representa dimensões distintas do fenômeno analisado, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2

Validade do discriminante (Critério Fornell e Lacker)

	DMF	RMF	SDF	SEF	SEMw
DMF	0,800				
RMF	0,591	0,715			
SDF	0,336	0,360	0,830		
SEF	0,694	0,697	0,417	0,732	
SEMw	0,549	0,658	0,345	0,662	0,742

Fonte: Autores.

Correlação elevada entre variáveis latentes (constructos) pode gerar cargas fatoriais excessivamente altas (acima de 0,90), indicando colinearidade e risco de cargas cruzadas, o que compromete a independência entre constructos e a precisão da medida indireta (Hair Jr. *et al.*, 2016). Assim, cada variável latente deve capturar o fenômeno de forma autônoma, conforme definido pelo pesquisador na estrutura do questionário e fundamentado no estado da arte (Lewis *et al.*, 2005).

Na abordagem reflexiva, o constructo influencia seus indicadores, e a inclusão ou exclusão de indicadores altera sua medida indireta. Entretanto, as correlações entre constructos não distorcem a medição individual de cada variável latente no modelo externo, preservando a validade e reduzindo vieses (Hair Jr. *et al.*, 2016).

Tabela 3

Resultado do modelo estrutural

Hipóteses	R ₂	Std Beta	Std Error	[t-value*]	Decisão	f ₂	Q ₂	q ₂
H1 DMF -> SEMw	0,613	-0,119	0,123	0,968	Não Suportado	-0,008	0,292	-0,006
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
H6 SDF -> SEMw	0,613	0,030	0,089	0,338	Não Suportado	0,313	0,292	-0,003
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

Fonte: Autores.

Os resultados do procedimento de bootstrap levaram à rejeição das hipóteses H1 e H6, cujos t-values ficaram abaixo de 1,96 ($p < 0,05$). Essa rejeição é explicada pelo fato de que aumentos nos DMF e nos SDF não afetam diretamente o SEMw, mas apenas exercem influência por meio do ambiente econômico (SEF), em consonância com o comportamento descrito pela Curva Ambiental de Kuznets (EKC).

Como pode ser visto na Tabela 3, a análise do tamanho do efeito f^2 mostrou forte impacto de H2 ($f^2 = 2,152$) e H7 ($f^2 = 1,711$), efeitos médios para H3 ($f^2 = 0,212$) e H4 ($f^2 = 0,538$) e efeito pequeno para H5 ($f^2 = 0,040$). A relevância preditiva (Q^2), obtida pelo procedimento blindfolding, reforçou esses padrões: H2 (0,279) e H4 (0,236) apresentaram efeitos moderados; H3 (0,030) e H5 (0,020), efeitos pequenos; e H8 (0,107), efeito forte na predição do SEMw.

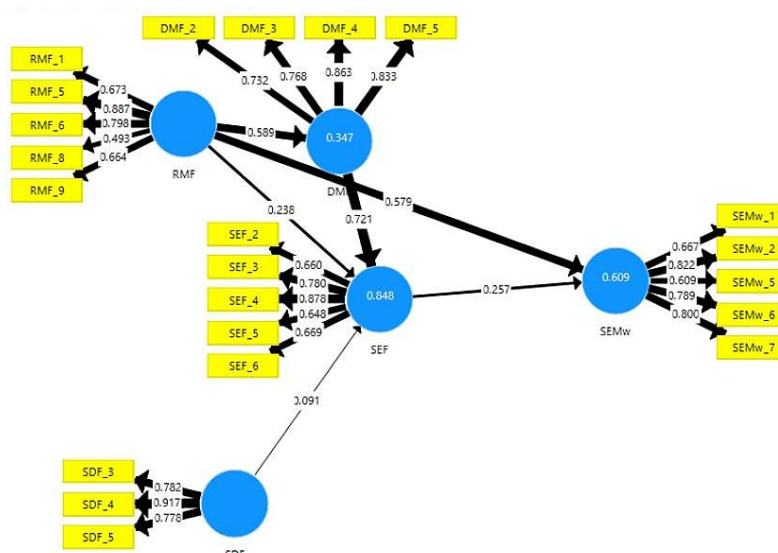
Com nível de significância de 5%, foram suportadas as hipóteses H2, H3, H4, H7 e H8, apresentando t-values acima do limiar recomendado. A MEE demonstrou coerência teórica,

conforme diretrizes de Hair Jr. *et al.* (2016) e De Souza Bido & Da Silva (2019), além de estabilidade nos coeficientes estruturais, indicando que os constructos exógenos explicam de forma consistente os constructos endógenos previstos no modelo, conforme a Tabela 3.

Cabe destacar que os resultados são específicos à amostra analisada. Outras amostragens podem produzir novas configurações nas relações entre constructos técnicos (DMF, RMF) e sociais (SDF, SEF) após novas CFAs. No modelo final — já sem H1 e H6 — observa-se uma hierarquia clara de importância entre indicadores e constructos Tabela 4, reforçando o potencial da modelagem como ferramenta prática para o planejamento da gestão de resíduos sólidos.

Figura 3

Modelo Estrutural após testes e ajustes



Fonte: Autores.

O modelo estrutural é apresentado pelas seguintes equações:

$$DFM = 0,589RMF + \zeta_1 \quad (01)$$

$$SEF = 0,665RMF + 0,091SDF + \zeta_2 \quad (02)$$

$$SEMw = 0,750RMF + 0,024SDF + \zeta_3 \quad (03)$$

onde:

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

A simulação das Equações 01 a 02 permite estimar RMF e SDF a partir de grandezas mássicas ou monetárias. Para a Equação 22, os RMF foram obtidos diretamente pela pesagem dos ELTs coletados na logística reversa (238 t/ano), acrescidos de 61 t/ano de entregas diretas. Com o coeficiente de 0,589, estima-se que o mercado de reposição deverá ofertar cerca de 140 t/ano de DMF. A diferença de 10 t/ano entre os valores empíricos e a estimativa da MEE reflete a incerteza do modelo. Esse resultado reforça que o aumento dos RMF reduz impactos ambientais associados tanto à produção de pneus novos quanto à destinação final dos ELTs.

Nas Equações 03 e 04, utilizou-se apenas o indicador SDF_3 (renda per capita) em condições *ceteris paribus*, pois os demais indicadores sociais exigiriam conversões metodológicas complexas. Considerando-se a renda per capita de (R\$ 18.589,99; IBGE, 2017) e o custo médio de beneficiamento de ELTs (R\$ 300/t; Mfrural, 2020), obteve-se um equivalente de 5,6 t/ano para o parâmetro SDF, resultando em SEF = 163,91 t/ano pela Equação 23. Em usos específicos, como pavimentação com pó de borracha, esse custo pode chegar a R\$ 700/t (De Faria & Vieira, 2015).

O aumento de DMF no ambiente econômico (SEF) mostrou-se pouco sensível aos SDF, já que além da renda per capita, variáveis como escolaridade e densidade populacional também influenciam o consumo. Embora os SDF apresentem impacto reduzido (5,6 t/ano), a dinâmica econômica sustentável indica que a oferta de pneus novos se relaciona ao aumento dos RMF, pois a recauchutagem tende a substituir parte dos DMF no mercado de reposição.

A simulação da Equação 03 mensura o SEMw como a quantidade, em toneladas, de fluxos reversos influenciados pelos fatores socioeconômicos. Os RMF constituem o componente dominante (0,750), enquanto os SDF exercem participação discreta (0,024). Assim, pequenas variações na renda per capita já são percebidas nos SEF. A memória de cálculo resulta em SEMw = 179,99 t/ano, valor alinhado ao balanço de massa observado em 2016.

É possível observar na Tabela 4 que o indicador DMF_5 — referente à localização dos fornecedores — representa 43% do constructo DMF, condizente com as características logísticas da cidade (Strobel & Redmann, 2002; Dombi *et al.*, 2018). Para o constructo SEF, a influência dos DMF distribui-se entre SEF_4 (54%), SEF_3 (16%), SEF_6 (11%), SEF_5 (10%) e SEF_2 (8%), indicando que o PIB local é o principal elemento na formação dos RMF.

Tabela 4

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
	DMF_5	Localização	0,836	34,36	43
	Σ		3,197	79,025	100
Fluxos Reversos de Materiais (RMF)	RMF_1	Coleta	0,698	10,928	14
	RMF_5	Destinação Final	0,876	35,930	47
	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
	Σ		3,500	76,243	100
Fatores Sociodemográficos (SDF)	SDF_3	Renda “per capita”	0,788	5,062	24
	SDF_4	Escolaridade	0,904	10,016	47
	SDF_5	Densidade Populacional	0,795	6,015	29
	Σ		2,487	21,093	100
Fatores Socioeconômico ou Ambiente Socioeconômico (SEF)		Política municipal	0,659	5,742	8
	SEF_3	Saneamento básico	0,776	11,991	16
	SEF_4	PIB (renda agregada)	0,876	40,137	54
	SEF_5	Consumo	0,654	7,651	10
	SEF_6	Cultura local	0,672	8,147	11
	Σ		3,637	73,668	100
Metabolismo Socioeconômico dos Resíduos (SEMw)			712	10,047	13
	SEMw_2	AFM	0,788	23,318	30
	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
	Σ		3,673	77,575	100

Fonte: Autores.

Conforme indicado na Tabela 4, a MEE permite compreender o comportamento da sociedade no descarte de pneus em fim de vida (ELTs) e orientar a GRSU na otimização de recursos financeiros e humanos, visando maior eficiência na limpeza urbana. No planejamento dos fluxos diretos de pneus, a localização estratégica da cidade, favorecida pela BR-116, requer uma atuação mais robusta no controle das redes de suprimento. Embora exista monitoramento pelas empresas revendedoras cadastradas, canais informais ou clandestinos comprometem o controle dos resíduos, exigindo ações de proteção para mitigar impactos ambientais.

Quanto aos fluxos reversos, além das ações da Secretaria de Limpeza Urbana, da Secretaria de Infraestrutura e da Secretaria Municipal de Saúde no combate a endemias, torna-se necessária a adoção de normas municipais mais rígidas para coibir estoques irregulares de ELTs

e usos inadequados desses materiais. A ampliação da coleta depende diretamente do comportamento socioeconômico da cidade, como demonstrado pelo metabolismo socioeconômico modelado pela MEE.

A Tabela 5 apresenta a logística de ELTs antes e depois da identificação dos fluxos desconhecidos (fd1). A detecção desses fluxos depende do suporte tecnológico empregado pela GRSU para localizar estoques clandestinos em áreas remotas e assegurar sua destinação ambientalmente adequada. Os valores são estimados pelas equações estruturais (01, 02 e 03) e podem ser expressos em termos mássicos (t), monetários (R\$) ou por unidade de ELTs.

Tabela 5

Simulação dos ELTs considerando as equações geradas na modelagem

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

Fonte: Autores.

Os valores obtidos com e sem o balanço de massa dos fluxos de ELTs desconhecidos (fd1) evidenciam como a GRSU pode orientar seu planejamento. A logística reversa se torna mais eficaz quando incorpora as dimensões dos constructos não métricos SDF e SEF, permitindo que as ações da gestão reflitam o comportamento socioeconômico local.

A caracterização do fenômeno não deve se limitar a indicadores mássicos ou energéticos, como preconiza o metabolismo socioeconômico tradicional. Nesta tese, fatores como política municipal e cultura local foram confirmados como variáveis subjacentes relevantes, influenciando diretamente o metabolismo socioeconômico dos resíduos (SEMw) no caso dos ELTs. Nos constructos SEF e SDF, renda e escolaridade têm peso determinante, embora o modelo trate apenas de um resíduo específico — os ELTs — decorrente das dinâmicas econômicas diretas e indiretas da sociedade. O procedimento de modelagem pode ser aplicado a outros resíduos de difícil destinação, desde que exista o mínimo controle sobre a pesagem.

No município estudado, a propensão marginal a consumir, impulsionada pela renda, afeta a dinâmica de geração e controle dos resíduos sólidos, conforme demonstrado pela análise de fluxos de materiais (AFM), que mensura o SEMw. O nível de escolaridade também influencia a

geração de resíduos, pois maior compreensão socioeconômica tende a reduzir impactos ambientais. A expansão dessa abordagem para resíduos de construção e demolição (RCD) ou outros resíduos inertes exige avaliar amplamente os fatores socioeconômicos que permeiam as atividades da construção civil.

CONCLUSÃO

A MEE mostrou-se adequada para explicar o SEMw dos ELTs para o município estudado, apresentando boa consistência interna e alta capacidade explicativa, especialmente para SEF e SEMw. Os resultados indicam que os RMF exercem influência central no metabolismo dos resíduos, afetando diretamente DMF e SEMw e, indiretamente, os SEF. A relação entre DMF e SEF confirma que o mercado de reposição de pneus molda o ambiente econômico local, no qual PIB, saneamento, consumo e cultura são preditores relevantes.

A rejeição das hipóteses H1 e H6 sugere que o SEMw não depende apenas do consumo de pneus ou de fatores sociodemográficos isolados, mas da mediação exercida pelos SEF, em conformidade com a Curva Ambiental de Kuznets. As simulações mostram que a inclusão dos fluxos desconhecidos (fd1) altera o balanço de massa e evidencia a subnotificação como um entrave ao planejamento da GRSU. A incorporação de SEF e SDF permite converter fatores socioeconômicos — como renda, escolaridade e condições institucionais — em parâmetros operacionais para estratégias de coleta, reciclagem e recauchutagem.

A MEE oferece suporte ao planejamento da gestão de ELTs, orientando ações como fortalecimento da logística reversa, controle de estoques clandestinos e combate ao mercado informal, além de integrar GRSU, infraestrutura urbana e vigilância em saúde para mitigar impactos ambientais. Embora baseada em um estudo de caso, a abordagem metodológica é replicável e pode ser estendida a outros resíduos de difícil destinação, bem como ampliada em estudos futuros para séries temporais, comparações entre municípios e avaliação de políticas alternativas.

REFERÊNCIAS

Abubakar, A., Umaru, K., & David, S. S. (2019). An appraisal of solid waste management in Minna, Niger State. *AU-eJournal of Interdisciplinary Research*, 4(2).

- Alfaia, R. G. S. M., Costa, A. M., & Campos, J. C. (2017). Municipal solid waste in Brazil: A review. *Waste Management & Research*, 35(12), 1195–1209.
- Allesch, A., & Brunner, P. H. (2014). Assessment methods for solid waste management: A literature review. *Waste Management & Research*, 32(6), 461–473.
- Bach, H., *et al.* (2004). Combining socio-demographic and logistic factors to explain the generation and collection of waste paper. *Resources, Conservation and Recycling*, 41(1), 65–73.
- Bing, X., Bloemhof-Ruwaard, J., & van der Vorst, J. G. (2016). Research challenges in municipal solid waste logistics management. *Waste Management*, 48, 584–592.
- Brasil. (2009). *Resolução CONAMA nº 416/2009*.
- Castaño-Martínez, M. S., Méndez-Picazo, M. T., & Galindo-Martín, M. A. (2015). Policies to promote entrepreneurial activity and economic performance. *Management Decision*, 53(9), 2073–2087.
- Chang, N.-B. (2008). Economic and policy instrument analyses in support of the scrap tire recycling program in Taiwan. *Journal of Environmental Management*, 86(3), 435–450.
- De Faria, J. S., & Vieira, C. M. (2015). Incorporação de resíduo pó de borracha em cerâmica vermelha. *Anais do Encontro de Engenharia*.
- De Souza Bido, D., & Da Silva, D. J. A. (2019). SmartPLS 3: especificação, estimação, avaliação e relato. *Administração: Ensino e Pesquisa*, 20(2), 1–31.
- Diamantopoulos, A., & Siguaw, J. A. (2006). Formative versus reflective indicators in organizational measure development. *Journal of Business Research*, 17(4), 263–282.
- Dombi, M., *et al.* (2018). The structure of socio-economic metabolism and its drivers on household level in Hungary. *Journal of Cleaner Production*, 172, 758–767.
- Dos Santos, G. V., Lima, A. A., & Bezerra, I. F. O. (2019). Analysis of the paths covered by discarded tires. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*.
- Durdyey, S., *et al.* (2018). The construction client satisfaction model: A PLS-SEM approach. *Journal of Civil Engineering and Management*, 24(1), 31–42.
- Ecoinvent. (2016). *Ecoinvent version 3 – Life cycle inventory database*.
- El-Haggar, S., & Samaha, A. (2019). Sustainable utilization of municipal solid waste. In *Roadmap for global sustainability*.
- Elliot, T., *et al.* (2018). A proposal to integrate system dynamics and carbon metabolism for urban planning. *Procedia CIRP*, 69, 78–82.
- Esposito Vinzi, V., *et al.* (2010). *Handbook of partial least squares*. Springer.

- Etrma. (2017). *End-of-life tyres management report*. <https://www.etrma.org/wp-content/uploads/2019/11/20191119-Europe-92-of-all-End-of-Life-Tyres-collected-and-treated-in-2017.pdf> (Acessado em 15/02/2019).
- Eurostat. (2001). *Economy-wide material flow accounts and derived indicators*. <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/5855193/KS-34-00-536-EN.PDF.pdf> (Acessado em 21/04/2020).
- Ferrer, G. (1997). The economics of tire remanufacturing. *Resources, Conservation and Recycling*, 19(4), 221–255.
- Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*, 18(1), 39–50.
- Gefen, D., Rigdon, E. E., & Straub, D. (2011). Editor's comments: An update and extension to SEM guidelines. *MIS Quarterly*, iii–xiv.
- Ghinea, C., *et al.* (2016). Forecasting municipal solid waste generation using prognostic tools and regression analysis. *Journal of Environmental Management*, 182, 80–93.
- Govindan, K., Soleimani, H., & Kannan, D. (2015). Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 240(3), 603–626.
- Guellati, Y., Monteiro, C. D., & Oliveira Jr., A. D. (2017). *O Brasil em 2035: tendências e incertezas para a área social*. IPEA. <https://repositorio.ipea.gov.br/server/api/core/bitstreams/b8ae7b3e-49f8-408f-862a-c2c6c2864c35/content> (Acessado em 28/04/2018).
- Haas, W., *et al.* (2015). How circular is the global economy? *Journal of Industrial Ecology*, 19(5), 765–777.
- Hair Jr., J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2017). *A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)*. Sage.
- Hayduk, L. A., & Littvay, L. (2012). Should researchers use single indicators...? *BMC Medical Research Methodology*, 12, 159.
- Henseler, J., Ringle, C. M., & Sinkovics, R. R. (2009). The use of partial least squares path modeling in international marketing. *Advances in International Marketing*, 277–319.
- Hoornweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). *What a waste: A global review of solid waste management*. World Bank.
- Kannan, D., Diabat, A., & Shankar, K. M. (2014). Analyzing the drivers of end-of-life tire management using ISM. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 72(9–12), 1603–1614.

- Kannangara, M., *et al.* (2018). Modeling and prediction of regional municipal solid waste generation and diversion in Canada using machine learning approaches. *Waste Management*, 74, 3–15.
- Kline, R. B. (2015). *Principles and practice of structural equation modeling*. Guilford.
- Knickmeyer, D. (2019). Social factors influencing household waste separation. *Journal of Cleaner Production*, 118605.
- Lagarinhos, C. A., & Tenório, J. A. S. (2013). Logística reversa de pneus usados no Brasil. *Polímeros*, 23(1), 49–58.
- Lewis, B. R., Templeton, G. F., & Byrd, T. A. (2005). A methodology for construct development in MIS research. *Journal of Management Information Systems*, 14(4), 388–400.
- Lonca, G., *et al.* (2018). Does material circularity rhyme with environmental efficiency? *Journal of Cleaner Production*, 183, 424–435.
- Madden, B., *et al.* (2019). Using the waste Kuznets curve to explore regional variation in the decoupling of waste generation and socioeconomic indicators. *Resources, Conservation and Recycling*, 149, 674–686.
- Marôco, J. (2010). *Análise de equações estruturais*. ReportNumber.
- Massarutto, A. (2015). Economic aspects of thermal treatment of solid waste. *Waste Management*, 37, 45–57.
- Mazzanti, M., Montini, A., & Zoboli, R. (2008). Municipal waste generation and socioeconomic drivers. *The Journal of Environment & Development*, 17(1), 51–69.
- Pedram, A., *et al.* (2017). Integrated forward and reverse supply chain: A tire case study. *Waste Management*, 60, 460–470.
- Philippi Jr., A., & Aguiar, A. D. (2005). Resíduos sólidos: características e gerenciamento. In *Saneamento, saúde e ambiente*.
- Pimenteira, C. A. P. (2010). *Gestão integrada de resíduos sólidos no Rio de Janeiro* (Tese de doutorado, UFRJ). https://www.ppe.coppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/doutorado/Cicero_Augusto_Prudencio_Pimenteira.pdf (Acessado em 15/08/2019).
- Ramayah, T., Lee, J. W. C., & Lim, S. (2012). Sustaining the environment through recycling. *Journal of Environmental Management*, 102, 141–147.
- Riediger, N. D., Shooshtari, S., & Moghadasian, M. H. (2007). The influence of sociodemographic factors on patterns of fruit and vegetable consumption in Canadian adolescents. *Journal of the American Dietetic Association*, 107(9), 1511–1518.

- Ringle, C. M., da Silva, D., & de Souza Bido, D. (2014). Modelagem de equações estruturais com o SmartPLS. *REMark*, 13(2), 56–73.
- Rybova, K., *et al.* (2018). Spatial and non-spatial analysis of socio-demographic aspects influencing municipal solid waste generation in the Czech Republic. *Detritus*, 1(1), 3–12.
- Santiago, S. B. (2017). *Medição da interoperabilidade logística com uso do modelo de equações estruturais* (Tese de doutorado, UFSC). <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/187556/PEPS5682-T.pdf> (Acessado em 22/09/2019).
- Schultmann, F., Zumkeller, M., & Rentz, O. (2006). Modeling reverse logistic tasks within closed-loop supply chains: An example from the automotive industry. *European Journal of Operational Research*, 171(3), 1033–1050.
- Spearman, C. (2014). General intelligence, objectively determined and measured. *American Journal of Psychology*. (Original work published 1914).
- Streukens, S., & Leroi-Werelds, S. (2016). Bootstrapping and PLS-SEM: A step-by-step guide. *European Management Journal*, 34(6), 618–632.
- Strobel, M., & Redmann, C. (2002). Flow cost accounting. In *Environmental management accounting*. Springer.
- Vahl, F. P., Campos, L. M. S., & Casarotto Filho, N. (2013). Sustainability constraints in lighting retrofits. *Energy and Buildings*, 67, 500–507.
- Xu, L., *et al.* (2016). Path analysis of factors influencing household solid waste generation: A case study of Xiamen Island, China. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 18(2), 377–384.