



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**

**CENTRO TECNOLÓGICO**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO  
SUSTENTÁVEL**

**LAYARA MOREIRA CALIXTO**

**AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS NOS  
RENDIMENTOS FINANCEIROS DE CATADORES INTEGRADOS EM  
ORGANIZAÇÕES DE CATADORES DE MATERIAIS RECICLÁVEIS**

**VITÓRIA, ES**

**2020**

**LAYARA MOREIRA CALIXTO**

**AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS NOS  
RENDIMENTOS FINANCEIROS DE CATADORES INTEGRADOS EM  
ORGANIZAÇÕES DE CATADORES DE MATERIAIS RECICLÁVEIS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável.

**Orientador:** Prof. Dr. Renato Ribeiro Siman

**Coorientadoras:** Prof. Dra. Gisele de Lorena Diniz Chaves  
e Dra. Luciana Harue Yamane

**VITÓRIA, ES**

**2020**

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

---

C153a Calixto, Layara Moreira, 1996-  
Avaliação da implementação de políticas públicas nos rendimentos financeiros de catadores integrados em organizações de catadores de materiais recicláveis / Layara Moreira Calixto. 2020.  
141 f. : il.

Orientador: Renato Ribeiro Siman.

Coorientadores: Gisele de Lorena Diniz Chaves, Luciana Harue Yamane.

Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia de Desenvolvimento Sustentável) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Gestão integrada de resíduos sólidos. 2. Catadores de lixo. I. Siman, Renato Ribeiro. II. Chaves, Gisele de Lorena Diniz. III. Yamane, Luciana Harue. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. V. Título.

CDU: 628

---

# LAYARA MOREIRA CALIXTO

## AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS NOS RENDIMENTOS FINANCEIROS DE CATADORES INTEGRADOS EM ORGANIZAÇÕES DE CATADORES DE MATERIAIS RECICLÁVEIS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável (Modalidade Profissional) da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável na área de concentração em Saneamento Ambiental e Saúde Pública.

Aprovada em 18 de dezembro 2020.

### COMISSÃO EXAMINADORA

---

Prof. D.Sc. Renato Ribeiro Siman  
Orientador - PPGES / CT / UFES

---

Prof<sup>a</sup>. D.Sc. Luciana Harue Yamane  
Coorientadora - PPGES / CT / UFES

---

Prof<sup>a</sup>. D.Sc. Gisele Lorena Diniz Chaves  
Coorientadora – PPGEN / CEUNES / UFES

---

Prof. D.Sc. Ednilson Silva Felipe  
Examinador Interno – PPGES / CT / UFES

---

Prof. D.Sc. Diogo Appel Colvero  
Examinador Externo – EMC / UFG

Em conformidade com as normas prescritas na Portaria Normativa Nº. 03/2020 – PRPPG/UFES, a assinatura do examinador externo (Prof. D.Sc. Diogo Appel Colvero) foi representada neste documento pela respectiva assinatura do presidente da sessão, Prof. D.Sc. Renato Ribeiro Siman. Ato contínuo, o Sr. Presidente da banca examinadora atesta que, a defesa foi realizada por meio de videoconferência, ou outro suporte eletrônico a distância equivalente.

---

Prof. D.Sc. Renato Ribeiro Siman  
Orientador – PPGES / CT / UFES



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

**PROTOCOLO DE ASSINATURA**



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por  
RENATO RIBEIRO SIMAN - SIAPE 1790301  
Departamento de Engenharia Ambiental - DEA/CT  
Em 23/12/2020 às 08:36

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:  
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/116943?tipoArquivo=O>



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

**PROTOCOLO DE ASSINATURA**



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por  
EDNILSON SILVA FELIPE - SIAPE 2524538  
Departamento de Economia - DE/CCJE  
Em 23/12/2020 às 08:43

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:  
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/116951?tipoArquivo=O>

À Deus e à minha família.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, agradeço à Deus por estar comigo em todos os momentos e renovar minhas forças em tempos difíceis. Dele, por Ele e para Ele são todas as coisas;

Agradeço aos meus pais, meus irmãos e meus cunhados, pois são o alicerce de todas as minhas conquistas. À Mariany e Filipe, que acolheram meus desabafos, principalmente no último ano, deixo um agradecimento especial;

Agradeço aos meus orientadores, Prof. Renato, Prof. Luciana e Prof. Gisele, pela disponibilidade, ensinamentos, correções e empenho em fazer essa pesquisa ter sucesso;

Meu agradecimento também a todos os colegas do Lagesa/PPGES, especialmente Larisse, Izabella, João e Priscila pelo convívio diário e descontraído;

Não posso deixar de mencionar minha dupla Larissa, cuja amizade foi sem dúvida um dos maiores presentes do mestrado. Agradeço por termos tido o apoio uma da outra em todos os momentos;

Agradeço à Andressa, Henrique, Júlia, Kelly, Laís e Talita, que estão em minha vida há 7 anos. Obrigada pelo cuidado, pela parceria e pela amizade que se fortaleceu ao longo de todo esse tempo;

Por fim, agradeço a todos os demais não mencionados aqui, mas que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho.



*The solutions to small problems yield small rewards.*

**Jay W. Forrester**

## RESUMO

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi um marco regulatório norteador do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, apontando para o incentivo à reciclagem de resíduos sólidos e tornando prioridade o direcionamento de resíduos sólidos coletados seletivamente para organizações de catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis (OCMRR). A maior parte dos catadores realiza longas jornadas de trabalho e recebem salários baixos, principalmente devido às dificuldades enfrentadas na etapa de triagem com baixa produtividade e presença de rejeitos. O percentual de rejeitos presentes nos resíduos varia conforme a fonte geradora e a modalidade de coleta seletiva, e sua presença está relacionada principalmente à falta de conscientização da população acerca da correta separação na fonte. Outro fator que afeta a produtividade é a infraestrutura, que está relacionada com a capacidade de receber material. Entretanto, o baixo faturamento das OCMRR obtido com a comercialização de recicláveis não permite investimento em melhorias de processo. Além disso, de nada adianta a melhoria de infraestrutura se as OCMRR não têm acesso aos resíduos em volume suficiente, seja de fontes domiciliares ou de grandes geradores particulares, fator esse influenciado diretamente pelo aumento da cobertura de coleta seletiva e do incentivo à implementação de parcerias com grandes geradores. Nesse sentido, o objetivo geral deste estudo é avaliar o efeito de políticas públicas de educação ambiental, de incentivo às parcerias, de ampliação da cobertura de coleta seletiva e das estratégias de coleta seletiva nos rendimentos financeiros dos catadores integrados em OCMRR. O método utilizado foi a dinâmica de sistemas mediante simulação e análise de 22 cenários. Dentre os principais resultados, observou-se que a política de educação ambiental tem baixo impacto na renda dos catadores se implantada isoladamente. A política de ampliação da cobertura de coleta seletiva em 15% e 30% não apresentou diferenças devido às limitações infraestruturais das OCMRR estudadas. Quanto à estratégia de coleta seletiva, a modalidade PEV foi a que apresentou maior retorno financeiro por tonelada de resíduo triada. Entretanto, a política de incentivo às parcerias teve maior impacto nos rendimentos, sendo a única que permitiu aos associados receberem salários maiores que o salário mínimo vigente. Quanto aos cenários de governança, em que todas as políticas eram implementadas concomitantemente com investimento em infraestrutura, observou-se que os cenários de implementação total das políticas,

considerando como estratégia de coleta seletiva a utilização majoritária da modalidade PEV, o alcance de renda dos catadores foi o maior de todos os cenários. Entretanto, o cenário com investimento em infraestrutura limitou o salário individual dos catadores, embora as receitas globais da OCMRR e a quantidade de resíduos triados, tenha sido maior que no cenário sem investimento.

**Palavras-chave:** Gerenciamento de resíduos. Organizações de catadores. Políticas públicas. Rendimentos. Dinâmica de sistemas.

## ABSTRACT

In Brazil, the National Solid Waste Policy (PNRS) was a guiding regulatory framework regarding the management of urban solid waste, aiming at encouraging the recycling of solid waste and making it a priority to direct selectively collected solid waste to waste pickers organizations (WPO). Most waste pickers have long working hours and receive low wages, mainly due to the difficulties faced in the screening stage with low productivity and the presence of tailings. The percentage of tailings present in the waste varies according to the generating source and the type of selective collection, and its presence is mainly related to the population's lack of awareness. Another factor that affects productivity is the infrastructure, which is related to the ability to receive material. However, the low turnover of WPO obtained with the sale of recyclables does not allow investment in process improvements. Furthermore, there is no point in improving infrastructure if WPO do not have access to waste in sufficient volume, whether from household sources or large private generators, a factor directly influenced by the increase in selective collection coverage and the incentive to implement partnerships with large generators. In this sense, the general objective of this study was to evaluate the effect of public policies on environmental education, incentives for partnerships, expansion of selective collection coverage and selective collection strategies on the financial income of the collectors integrated in WPO. The methodology used was systems dynamics through scenario analysis. Among the main results, it was observed that the environmental education policy has a low impact on the income of waste pickers. The policy of expanding selective collection coverage by 15% and 30% did not differ due to the infrastructural limitations of the WPO studied. As for the selective collection strategy, the PEV modality was the one that presented the highest financial return per ton of waste sorted. However, the policy of encouraging partnerships had a greater impact on income, being the only one that allowed members to receive salaries higher than the current minimum wage. As for the governance scenarios, where all policies were implemented together with investment in infrastructure, it was observed that the scenarios of total implementation of the policies, considering as a selective collection strategy the majority use of the PEV modality, the reach of the collectors' income was the greatest of all scenarios. However, the scenario with investment in infrastructure limited the individual wages of waste pickers, although

WPO's global revenues, as well as the amount of waste sorted, was higher than in the scenario without investment.

**Keywords:** Waste management. Waste Picker Organizations. Public policies. Income. System dynamics.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Índices de geração de RSU <i>per capita</i> mundial conforme nível de renda. .....	25
Figura 2 - Fluxo do resíduo na cadeia de reciclagem.....	28
Figura 3 – Cadeia produtiva da reciclagem e atividades operacionais realizadas pelas associações de catadores de materiais recicláveis.....	38
Figura 4 - Passos da modelagem em dinâmica de sistemas. ....	47
Figura 5 - Exemplo de diagrama causal para população. ....	49
Figura 6 - Notação do diagrama de estoque e fluxo.....	52
Figura 7 - Diagrama de causa e efeito do modelo sobre políticas públicas no resultado financeiro dos catadores formalizados em OCMRR.....	64
Figura 8 - Diagrama de estoque e fluxo proposto. ....	67
Figura 9 – Comportamento da variável estoque “Receitas” ao longo do tempo de simulação. ....	80
Figura 10 – Comportamento das variáveis: <b>(a)</b> “Geração total de RSU” quando a taxa de geração per capita de resíduos é nula; <b>(b)</b> “Receitas” quando as produtividades de triagem são nulas; <b>(c)</b> “Associados” quando a variável “ÁREA POR CATADOR” é 200 m <sup>2</sup> /catador; <b>(d)</b> “Área de triagem” quando a variável “CUSTO POR ÁREA” é R\$7.000/m <sup>2</sup> ; <b>(e)</b> “Capacidade de triagem” quando a variável “ÁREA POR TONELADA” é 3t/Ano.....	82
Figura 11 - Análise de sensibilidade das variáveis <b>(a)</b> "Receitas"; e <b>(b)</b> "renda total por associado".....	84
Figura 12 – Curva <i>S-shaped</i> de comportamento do índice de rejeitos dos resíduos oriundos de coleta seletiva em função da implementação da política de educação ambiental na <b>(a)</b> modalidade mista; <b>(b)</b> modalidade PEV; <b>(c)</b> modalidade porta a porta; e <b>(d)</b> doações de grandes geradores. ....	87
Figura 13 – Série histórica do número de empresas e outras organizações no município da Serra. ....	89
Figura 14 - Curva <i>S-shaped</i> de comportamento da variável “doações” em função da implementação da política de incentivo às parcerias. ....	90

Figura 15 – Comportamento da variável “renda total por associado” e quantidade de resíduos triados no cenário base e no cenário onde há investimento por parte das organizações de catadores. ....	95
Figura 16 - Comportamento da variável "renda total por associado" e quantidade de resíduos triados conforme implementação da política de educação ambiental. ....	96
Figura 17 – Quantidade de resíduos vendidos e renda por catador por resíduo triado nos cenários de implementação da política de educação ambiental.....	98
Figura 18 - Comportamento da variável "renda total por associado" e quantidade de resíduos triados conforme implementação da política de incentivo às parcerias com geradores particulares.....	100
Figura 19 - Quantidade de resíduos vendidos e renda por catador por resíduo triado nos cenários de implementação da política de incentivo às parcerias com geradores particulares.....	102
Figura 20 - Comportamento da variável "renda total por associado" e quantidade de resíduos triados conforme estratégia de coleta seletiva.....	104
Figura 21 - Quantidade de resíduos vendidos e renda por catador por resíduo triado nos cenários de estratégias de coleta seletiva. ....	105
Figura 22 - Comportamento da variável "renda total por associado" e quantidade de resíduos triados conforme ampliação da cobertura de coleta seletiva. ....	106
Figura 23 - Quantidade de resíduos vendidos e renda por catador por resíduo triado nos cenários de implementação da política ampliação da coleta seletiva.....	107
Figura 24 - Déficit de área conforme implementação da política de ampliação da coleta seletiva. ....	108
Figura 25 - Comportamento da variável "renda total por associado" e quantidade de resíduos triados conforme estratégia de governança.....	110
Figura 26 - Quantidade de resíduos vendidos e renda por catador por resíduo triado nos cenários de estratégias de governança.....	111
Figura 27 – Receitas geradas nos cenários de estratégias de governança. ....	112

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Avaliação da eficiência de separação de resíduos na fonte geradora conforme taxa de rejeitos. ....	34
Quadro 2 - Procedência de materiais recicláveis, problemas de acesso dos catadores e respectivas soluções. ....	43
Quadro 3 – Testes de confiabilidade. ....	54
Quadro 4 – Agrupamento de testes de confiabilidade em categorias de modelagem. ....	55
Quadro 5 - Matriz de pesquisa. ....	56
Quadro 6 – Variáveis selecionadas para o teste de condições extremas. ....	60
Quadro 7 – Parâmetros de entrada para simulação do modelo ....	74
Quadro 8 - Área estimada e equipamentos previstos para galpões de triagem. ....	75
Quadro 9 – Informações sobre as organizações de catadores da Serra. ....	78
Quadro 10 – Valores iniciais atribuídos às variáveis estoque. ....	79
Quadro 11 – Equações relativas às diferentes efetividades de implementação da política de educação ambiental. ....	85
Quadro 12 - Equações relativas às diferentes efetividades de implementação da política de incentivo às parcerias ....	88
Quadro 13 – Ações a serem implementadas ao longo de 20 anos conforme PERS-ES. ....	88
Quadro 14 – Variáveis e equações da variável “doações”. ....	90
Quadro 15 - Variações do cenário de percentual de modalidades de coleta seletiva ....	91
Quadro 16 – Metas de ampliação de cobertura de coleta seletiva para o Espírito Santo até 2039. ....	91
Quadro 17 – Cobertura de cobertura de coleta seletiva para a Serra até 2039 (em % de massa de resíduos). ....	92
Quadro 18 – Descrição dos cenários avaliados. ....	93



Quadro 19 - Resumo dos principais resultados de cada cenário. ....	114
Quadro 20 – Equações do índice de rejeito para cada modalidade de coleta seletiva. .....	140

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produtividades físicas médias dos catadores de acordo com os graus de eficiência das organizações de catadores de materiais recicláveis.....	39
Tabela 2 - Preço de venda de materiais recicláveis em diversas cidades (R\$/t). ....	42
Tabela 3 -Dados referentes às OCMRR da Serra/ES. ....	57
Tabela 4 -Valores mínimo, máximo, médio e desvio padrão das variáveis de preço por tonelada de recicláveis para análise de sensibilidade.....	62
Tabela 5 – Preços de venda praticados pelas OCMRR do município de Serra/ES (preço por kg).....	76
Tabela 6 – Dados para o cálculo da produtividade de cada modalidade .....	77
Tabela 7 - Valores de entrada da variável "taxa de crescimento geométrico".....	78
Tabela 8 – Custos estimados dos equipamentos utilizados no processo de triagem das OCMRR da Serra. ....	79
Tabela 9 - Verificação da diferença na variável “renda por catador” para diferentes <i>time step</i> .....	81
Tabela 10 - Índice de rejeitos, por modalidade, no município da Serra.....	139
Tabela 11 - Índice de rejeitos (Y) em função da política de educação ambiental (x). .....	139
Tabela 12 – Coeficientes “a” e “d” da função para cada modalidade. ....	140

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>20</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>24</b>
<b>3.</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>25</b>
3.1	GERENCIAMENTO INTEGRADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS .....	25
3.1.1	Coleta seletiva.....	27
3.1.2	Organizações de catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis (OCMRR): inserção social e produtiva .....	36
3.2	DINÂMICA DE SISTEMAS: O MÉTODO.....	46
3.2.1	Modelos causais .....	49
3.2.2	Modelos de estoque e fluxo .....	51
3.2.3	Testes de confiabilidade .....	53
<b>4.</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>56</b>
4.1	APRESENTAÇÃO DA PESQUISA.....	56
4.2	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL .....	56
4.2.1	Etapa I - Elaboração do diagrama de causa e efeito .....	57
4.2.2	Etapa II - Elaboração do diagrama de estoque e fluxo e formulação matemática do modelo .....	58
4.2.3	Etapa III - Testes de confiabilidade .....	58
4.2.4	Etapa IV – Descrição e análise de cenários.....	62
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>64</b>
5.1	ETAPA I - ELABORAÇÃO DO DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO .....	64
5.2	ETAPA II - ELABORAÇÃO DO DIAGRAMA DE ESTOQUE E FLUXO E FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO MODELO .....	66
5.2.1	Parâmetros para simulação do modelo .....	74
5.3	ETAPA III - TESTES DE CONFIABILIDADE .....	79

<b>5.3.1</b>	<b>Avaliação de estrutura .....</b>	<b>79</b>
<b>5.3.2</b>	<b>Consistência dimensional.....</b>	<b>80</b>
<b>5.3.3</b>	<b>Erro de integração .....</b>	<b>80</b>
<b>5.3.4</b>	<b>Análise de condições extremas .....</b>	<b>81</b>
<b>5.3.5</b>	<b>Adequação de limites .....</b>	<b>83</b>
<b>5.3.6</b>	<b>Análise de sensibilidade .....</b>	<b>83</b>
<b>5.4</b>	<b>ETAPA IV – DESCRIÇÃO E ANÁLISE DE CENÁRIOS.....</b>	<b>85</b>
<b>5.4.1</b>	<b>Descrição de cenários.....</b>	<b>85</b>
<b>5.4.2</b>	<b>Análise de cenários .....</b>	<b>95</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>115</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>119</b>
	<b>APÊNDICE A – EQUAÇÕES DE MODELAGEM .....</b>	<b>130</b>
	<b>APÊNDICE B – DADOS DE PRODUTIVIDADE E PARCERIAS OBTIDOS COM LIGAÇÕES.....</b>	<b>134</b>
	<b>APÊNDICE C – DETERMINAÇÃO DAS EQUAÇÕES DA CURVA S-SHAPED....</b>	<b>139</b>

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que norteia a gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU) foi promulgada pelo congresso nacional em 2010 por meio da Lei Federal nº12.305 (BRASIL, 2010). A PNRS determina que a disposição final em aterros seja praticada apenas para rejeitos, que corresponde à fração que não apresenta outra opção de destinação final por motivos técnicos ou econômicos que não o aterro sanitário. Dessa forma, a lei orienta para a escolha de outras formas de destinação, como a reciclagem, assim como é feito em diversos países (BERG *et al.*, 2018; ESTAY-OSSANDON; MENA-NIETO; HARSCH, 2018; VALENZUELA-LEVI, 2020).

Além disso, a referida legislação brasileira prioriza o direcionamento de resíduos sólidos coletados seletivamente para OCMRR, estimulando, com isso, a formalização de catadores e promovendo sua inserção social no mercado da reciclagem (BRASIL, 2010). No entanto, apesar da integração das OCMRR estar prevista na PNRS bem como na política de gerenciamento de resíduos de outros países (APARCANA, 2017; FIDELIS *et al.*, 2020; KASINJA; TILLEY, 2018; SCHENCK *et al.*, 2019; SILVA, WEINS; POTINKARA, 2019; SIMATELE; DLAMINI; KUBANZA, 2017; STEUER *et al.*, 2017), as organizações de catadores de materiais recicláveis enfrentam problemas relacionados à eficiência no processo de produção, impactando diretamente em seus ganhos financeiros (APARCANA, 2017; FIDELIS *et al.*, 2020; GUTBERLET, 2015; SIMAN *et al.*, 2020; TACKLA; BALDAM; SIMAN, 2017; TIRADO-SOTO; ZAMBERLAN, 2013; VELIS *et al.*, 2012).

Conforme evidenciado em muitos estudos, a maioria dos catadores possuem longas jornadas de trabalho e recebem salários abaixo do valor mínimo praticado em suas regiões (ALMEIDA; FIGUEIREDO; DANTAS, 2017; ANDRADE *et al.*, 2020; FIDELIS *et al.*, 2020; SILVA, 2017; ZON *et al.*, 2020). Esse baixo rendimento está ligado principalmente às dificuldades enfrentadas pelas OCMRR na etapa de triagem, que constitui na atividade de agregação de valor dos materiais recicláveis e também o gargalo das organizações. Isso se deve principalmente ao fato de que, em sua maioria, as OCMRR realizam essa etapa de forma manual e com baixa produtividade, além de ser dificultada pela presença de rejeitos (ALMEIDA; FIGUEIREDO; DANTAS, 2017; FIDELIS *et al.*, 2020; GALL *et al.*, 2020; SIMAN *et al.*, 2020; TACKLA; BALDAM; SIMAN, 2017; ZON *et al.*, 2020).

Além de dificultar a etapa de triagem, a presença de rejeitos contamina outros materiais, reduzindo o potencial de reciclagem e, conseqüentemente, desvalorizando até 37% dos resíduos (CONKE, 2018; FREITAS; FONSECA, 2012; PINHA; SAGAWA, 2020; RADA *et al.*, 2018; VARELLA, 2011; XUE *et al.*, 2019). No geral, altos índices de rejeitos na oferta de resíduo na coleta estão relacionados a erros dos usuários na etapa de separação na fonte, e varia conforme a modalidade de coleta seletiva (CONKE, 2018; DUTRA; YAMANE; SIMAN, 2018; ESTAY-OSSANDON; MENA-NIETO; HARSCH, 2018; FIDELIS *et al.*, 2020; FREITAS; FONSECA, 2012; STRUK, 2017; XUE *et al.*, 2019; MANNARINO; FERREIRA; GANDOLLA, 2016; PINHA; SAGAWA, 2020).

A modalidade de coleta seletiva domiciliar porta a porta é aquela mais conveniente do ponto de vista dos moradores devido à menor distância ao ponto de entrega, e, por isso, apresenta maior quantidade e menor índice de rejeitos comparado à modalidade ponto-a-ponto, quando a entrega é feita mediante Locais de Entrega Voluntária (LEV) ou Pontos de Entrega Voluntária (PEV) (BERTANZA; ZILIANI; MENONI, 2018; FERREIRA *et al.*, 2017; FERRONATO *et al.*, 2020a; MAGALHÃES, 2020; STRUK, 2017). Quanto aos resíduos oriundos de doações de geradores particulares, embora estes apresentem uma menor parcela dentre todas as fontes recebidas pelas OCMRR, verifica-se melhor qualidade com relação a taxa de rejeitos comparada àquela fonte domiciliar (ANDRADE *et al.*, 2020; CAMPOS, 2013; MAGALHÃES, 2020; PARREIRA, 2010; PORTO, 2019).

Considerando que o percentual de rejeitos está ligado ao comportamento dos usuários do sistema de coleta seletiva, a implementação de políticas de educação ambiental com campanhas públicas de conscientização contínua afeta positivamente a disposição da população em realizar a separação adequada antes de destinar esse material aos pontos de coleta (ARBUÉS; VILLANÚA, 2016; BERGERON, 2016; FAN; YANG; SHEN, 2019; FARLEY; BANERJEE; COOPER, 2019; MENG *et al.*, 2019; ROUSTA *et al.*, 2015; SIMONETTO *et al.*, 2014; SUKHOLTHAMAN; SHARP, 2016; WANG, 2020).

Além da heterogeneidade dos resíduos destinados a coleta seletiva devido à presença de rejeitos, outro fator que afeta a produtividade do processo de triagem é a infraestrutura dos centros de triagem, que está relacionada à capacidade das OCMRR em receber, armazenar, triar e expedir material selecionado (APARCANA, 2017;

FIDELIS *et al.*, 2020; GUTBERLET, 2015; SIMAN *et al.*, 2020; TACKLA; BALDAM; SIMAN, 2017; TIRADO-SOTO; ZAMBERLAN, 2013; VELIS *et al.*, 2012). Entretanto, o faturamento obtido com a comercialização de recicláveis permite remunerações no limite da sobrevivência, o que leva a maioria das OCMRR à depender de subsídios governamentais para melhorar a infraestrutura e, conseqüentemente, avolumar seus ganhos financeiros (DUTRA; YAMANE; SIMAN, 2018; NAVARRETE-HERNANDEZ; NAVARRETE-HERNANDEZ, 2018; PINHA; SAGAWA, 2020; SIMAN *et al.*, 2020; ZON *et al.*, 2020).

Não obstante, a melhoria de infraestrutura de triagem de nada adianta se as OCMRR não tiverem acesso aos resíduos em quantidades que as possibilite obter um lucro substancial (DUTRA; YAMANE; SIMAN, 2018; GHISOLFI *et al.*, 2017). As principais fontes de resíduos aos quais os catadores têm acesso são a coleta seletiva domiciliar e os grandes geradores particulares (ANDRADE *et al.*, 2020; FREITAS; FONSECA, 2012; MAGALHÃES, 2020; PORTO, 2019). Nesse sentido, a ampliação da cobertura de coleta seletiva implica em um significativo aumento da quantidade de resíduos destinados às OCMRR, e conseqüentemente, aumento da renda global (DUTRA; YAMANE; SIMAN, 2018; PINHA; SAGAWA, 2020).

Entretanto, embora seja importante o acesso dos catadores aos resíduos domiciliares, a experiência em recuperação de material para subsistência acumulada por décadas pelos catadores os levou a se concentrar em geradores de resíduos de médio ou grande porte, com os quais mantêm contato pessoal e acordos implícitos (VILLALBA, 2020), e isso se deve principalmente ao importante retorno que as parcerias dão às OCMRR em relação à qualidade do material. A produtividade de triagem chega a ser 1,7 maior que a produtividade de triagem dos resíduos oriundos de coleta seletiva domiciliar, além de obter lucro 15% maior, e, por isso, a implementação de políticas públicas de incentivo às parcerias tem muita importância para a OCMRR, e deve ser acompanhada de mecanismos legais (ANDRADE *et al.*, 2020; BESEN *et al.*, 2017; GUTBERLET, 2015; CAMPOS, 2013; MAGALHÃES, 2020; PARREIRA, 2010; PORTO, 2019).

Diante de todos os aspectos expostos e considerando a importância de aumentar os rendimentos financeiros dos catadores de forma a alcançarem melhores condições de vida, a presente pesquisa teve por objetivo avaliar o efeito de políticas públicas de educação ambiental, de incentivo às parcerias com geradores particulares, de

ampliação da cobertura de coleta seletiva e das estratégias de coleta seletiva nos rendimentos financeiros dos catadores integrados em OCMRR.

Para isso, o método utilizado foi a dinâmica de sistemas, que se apresenta como uma ferramenta eficaz de suporte à gestores na tomada de decisão, principalmente considerando que sistemas reais não são lineares e que as políticas públicas interferem umas nas outras de forma mútua (STERMAN, 2000). Além disso, a presença de estruturas críticas atrasos em sua implementação, que fazem com que não haja efeito imediato, geram comportamentos inesperados como oscilações e ampliações (FORRESTER, 1968; MORECROFT, 2015).



## 2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo foi avaliar o efeito de políticas públicas de educação ambiental, de incentivo às parcerias com geradores particulares, de ampliação da cobertura de coleta seletiva e das estratégias de coleta seletiva nos rendimentos financeiros dos catadores integrados em organizações de catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis.

Para alcançar o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Identificar variáveis relativas às modalidades de coleta seletiva, estabelecimento de novas parcerias com geradores particulares, políticas de educação ambiental e ampliação da cobertura de coleta seletiva, relacionando-as com os rendimentos financeiros dos catadores em um diagrama de causa e efeito;
- Elaborar um diagrama de estoque e fluxo baseando-se no método de dinâmica de sistemas e realizar a formulação matemática do modelo;
- Aferir a confiabilidade do modelo proposto;
- Definir e analisar cenários para estratégias de desenvolvimento financeiro das organizações de catadores usando como estudo de caso o município da Serra/ES.

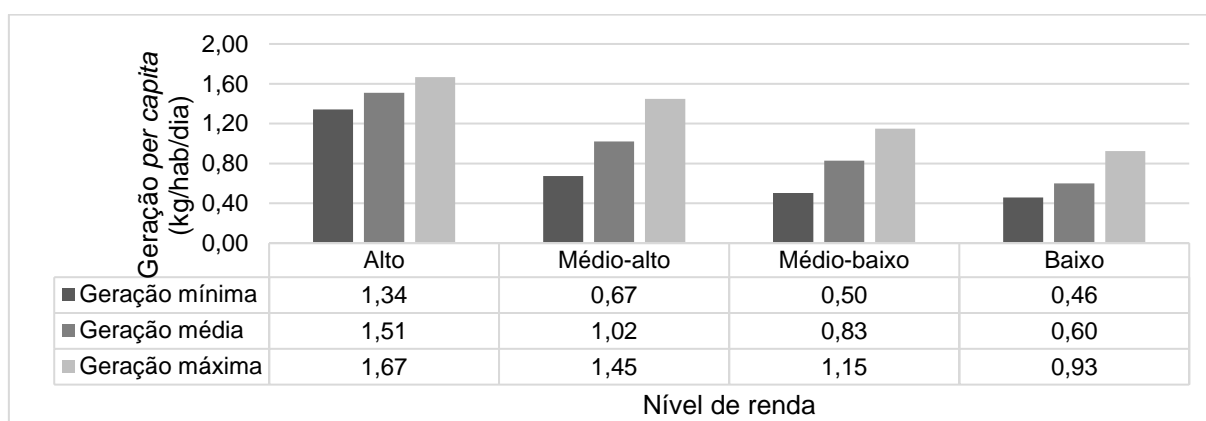
### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 GERENCIAMENTO INTEGRADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A gestão integrada de resíduos sólidos compreende a elaboração e a execução de um conjunto de elementos de tomada de decisão que afetam o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos (RSU). Todo esse planejamento tem sido elaborado na perspectiva do desenvolvimento sustentável, considerando nas suas formulações a participação tanto das autoridades públicas e privadas competentes, quanto de setores da sociedade civil envolvidos na sua gestão (IYAMU; ANDA; HO, 2020; RIBEIRO *et al.*, 2014). Nesse sentido, a busca de soluções para a gestão e gerenciamento dos RSU deve considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, conforme definido pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010).

Com relação ao gerenciamento dos RSU, o comportamento da sociedade em questão influencia diretamente as operações de coleta, transporte, transbordo, destinação e disposição final (ESTAY-OSSANDON; MENA-NIETO; HARSCH, 2018; MOURA; PINHEIRO; CARMO, 2018; RIBEIRO *et al.*, 2014). A evolução na quantidade e na complexidade dos resíduos está muito relacionada com o crescimento populacional e o desenvolvimento econômico da sociedade geradora (AL-KHATIB; ELEYAN; GARFIELD, 2015; BERG *et al.*, 2018; GRAZHDANI, 2016; KUMAR *et al.*, 2018; SUKHOLTHAMAN; SHARP, 2016; VALENZUELA-LEVI, 2020; DIAS *et al.*, 2012). A Figura 1 apresenta os resultados do estudo de Wilson *et al.* (2012), relacionando a geração per capita de RSU com o nível de renda de 20 municípios em diversos países.

Figura 1 – Índices de geração de RSU *per capita* mundial conforme nível de renda.



Fonte: Adaptado de Wilson *et al.* (2012). Níveis de renda conforme PIB per capita: Alto: US\$12.196 ou mais; Médio-alto: US\$3.946-US\$12.195; Médio-baixo: US\$996-3.945; Baixo: US\$995 ou menos

Conforme observado na Figura 1, fica evidente que municípios com níveis de renda mais altos estão relacionados à maior geração de resíduos *per capita*. Entretanto, Campos (2012) aponta que na Europa o crescimento na geração de resíduos ocorre em proporções bem menores que o PIB, ao contrário do Brasil.

A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública (ABRELPE) também aponta a tendência de aumento na geração per capita de RSU no Brasil, corroborando com Campos (2012). Em 2018, o valor alcançado foi de 1,039kg/hab/dia (ABRELPE, 2019). O serviço de coleta convencional desses resíduos atendia cerca de 92% da população (BRASIL, 2019; ABRELPE, 2019) e tem a tendência de crescer, uma vez que a universalização da prestação dos serviços é um dos objetivos da PNRS (BRASIL, 2010). Esse serviço difere da coleta seletiva por não possuir segregação dos resíduos na fonte conforme suas características (CONKE; NASCIMENTO, 2018).

No geral, os resíduos coletados seletivamente devem seguir para destinações como reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e aproveitamento energético. Já os resíduos coletados de forma convencional seguem prioritariamente para aterros sanitários que, embora seja uma forma ambientalmente adequada de disposição final, tem uma tendência mundial de minimização (BERG *et al.*, 2018; DUTRA; YAMANE; SIMAN, 2018; ESTAY-OSSANDON; MENA-NIETO; HARSCH, 2018; MANNARINO; FERREIRA; GANDOLLA, 2016; ZHANG; KEAT; GERSBERG, 2010). Conforme preconiza a PNRS, a disposição final dos resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários deve ser considerada como última alternativa, quando não há qualquer possibilidade de reutilização ou reciclagem (BRASIL, 2010).

Não obstante, no âmbito do gerenciamento integrado de resíduos, a PNRS tem como um de seus princípios a formalização e a integração de organizações de catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis (OCMRR) na cadeia produtiva da reciclagem (BRASIL, 2010). Isso inclui a priorização tanto de contratação desses agentes para execução da coleta seletiva municipal quanto para a triagem dos resíduos coletados e posterior reinserção no mercado de reciclagem pela sua comercialização. Entretanto, apesar do arcabouço legal em vigor pretender a priorizar a integração das OCMRR à gestão dos RSU, é necessário que as administrações locais promovam políticas públicas que assegurem o fluxo de materiais recicláveis coletados para esses agentes através de acordos estáveis (DUTRA; YAMANE; SIMAN, 2018; GHISOLFI *et al.*, 2017; GUTBERLET, 2015).

De forma geral, é evidente que para se obter sucesso na gestão compartilhada dos resíduos sólidos é necessário que os governos locais se comprometam a fornecer serviços de coleta seletiva de forma a incentivar as formas alternativas de destinação de resíduos. Entretanto, também é necessário garantir que esses resíduos cheguem aos galpões de triagem das organizações de catadores, que desempenham papel fundamental da cadeia de recuperação desses materiais.

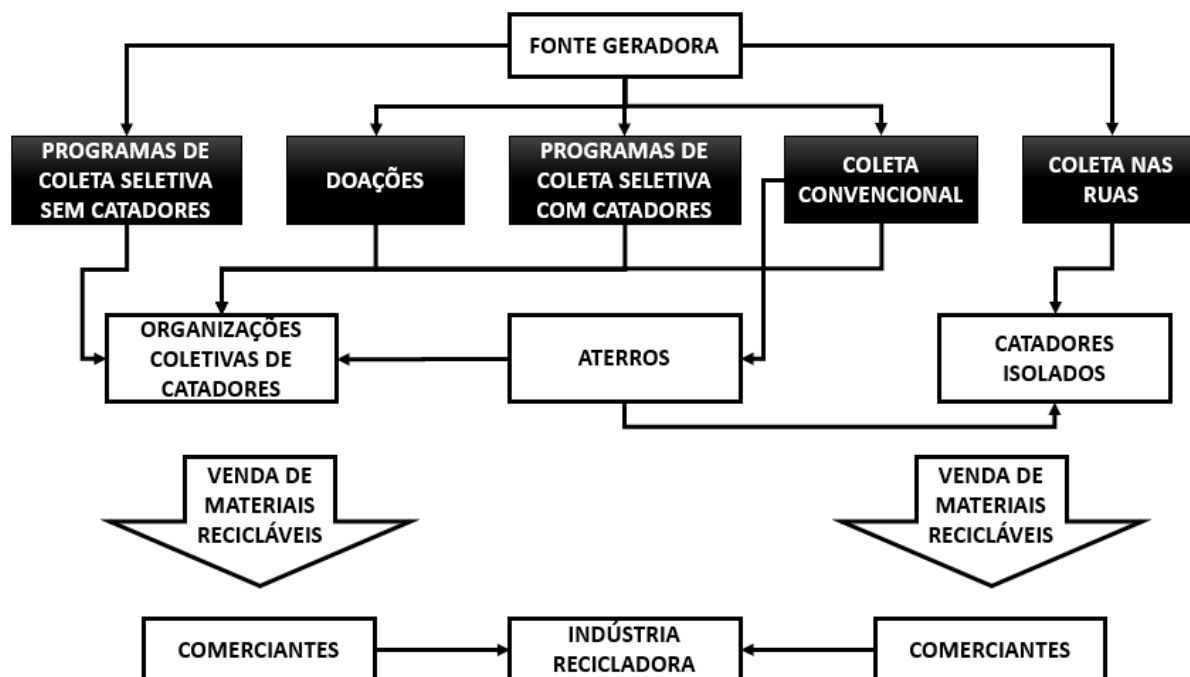
Na Seção 3.1.1 serão tratados aspectos relacionados ao índice de cobertura e às estratégias de coleta seletiva, que são objetos de análise dessa pesquisa, finalizando com a importância das políticas de educação ambiental nos programas de execução desse serviço. Na Seção 3.1.2, serão tratados aspectos relacionados aos catadores, como inclusão no gerenciamento de resíduos, produtividade de triagem, rendimentos e garantia de acesso aos resíduos, incluindo políticas de incentivos às parcerias com grandes geradores.

### **3.1.1 Coleta seletiva**

Conforme definido pela PNRS, a coleta seletiva consiste no sistema de recolhimento de materiais recicláveis previamente segregados na fonte geradora de acordo com sua constituição ou composição (BRASIL, 2010). O objetivo principal é propiciar a reciclagem, a qual remete às etapas de recuperação de recicláveis dos resíduos urbanos e sua utilização como matéria-prima secundária.

Assim sendo, a coleta seletiva é um dos elos da cadeia de reciclagem, que abrange os programas de separação na fonte geradora, de coleta seletiva e triagem de resíduos, passando pela classificação, prensagem e comercialização, até a logística do transporte dos materiais, deixando-os prontos para serem utilizados como matérias-primas secundárias (SILVA, 2017). Na Figura 2 podem ser visualizados os principais atores, estruturas e relações comerciais que compõem a cadeia de reciclagem.

Figura 2 - Fluxo do resíduo na cadeia de reciclagem.



Fonte: Adaptado de Freitas e Fonseca (2012)

Conforme a interpretação da Figura 2, dentro do contexto da cadeia de reciclagem, percebe-se que a coleta seletiva e as doações são alguns dos elos que permitem que os resíduos com potencial reciclável cheguem nas OCMRR, que triam os materiais e, posteriormente, vendem-nos aos comerciantes e a indústria recicladora. Esses materiais podem ser coletados por catadores informais, por catadores organizados em associações/cooperativas, por intermediários (sucateiros), pela prefeitura ou por empresas terceirizadas dentro de contratos de coleta seletiva (PAES *et al.*, 2020).

Dentre os benefícios da coleta seletiva, na esfera ambiental, destaca-se a redução da disposição final em “lixões” e também em aterros sanitários, consequentemente prolongando a vida útil deste último (AL-KHATIB; ELEYAN; GARFIELD, 2015; BERG *et al.*, 2018; DUTRA; YAMANE; SIMAN, 2018; FERRONATO *et al.*, 2020a; KOLLIKATHARA; FENG; YU, 2010; NIZAMI *et al.*, 2017; PAES *et al.*, 2020; PINHA; SAGAWA, 2020; SUKHOLTHAMAN; SHARP, 2016; XIAO *et al.*, 2020; ZON *et al.*, 2020). Estimativas feitas para a cidade de Campania, Itália, apontaram que um aumento de 2% para 70% da taxa de coleta seletiva diminui o aterramento de 12% para 1%, ao longo de 10 anos (DI NOLA; ESCAPA; ANSAH, 2018).

Além disso, a coleta seletiva apropriada evita a contaminação dos materiais passíveis de reciclagem aumentando seu valor agregado com a venda do material segregado

(CONKE, 2018; FREITAS; FONSECA, 2012; GUADAGNIN *et al.*, 2014; RADA *et al.*, 2018; VARELLA, 2011; XUE *et al.*, 2019), e a posterior reciclagem dos resíduos diminui a exploração de recursos naturais não renováveis (AL-KHATIB; ELEYAN; GARFIELD, 2015; RIBEIRO *et al.*, 2014; WANG; YOU, 2020).

Com relação a atual cobertura da coleta seletiva no Brasil, dados do Panorama de Resíduos Sólidos apontam que, em 2018, cerca de 73% dos municípios tinham alguma iniciativa de coleta seletiva (ABRELPE, 2019). É necessário pontuar que na maioria desses municípios, a atividade se concentra somente em uma parcela do território, geralmente nos centros urbanos.

Em contraponto aos dados mais recentes divulgados pela ABRELPE, Conke e Nascimento (2018) constataram que a coleta seletiva ocorre em apenas 41% dos municípios brasileiros, e apenas 10% do resíduo potencialmente reciclável é recolhido. Analogamente, Ibáñez-Forés *et al.*, (2018) identificaram que uma abrangência da prestação do serviço de 30% da população levou à coleta seletiva de apenas 3,59% dos resíduos recicláveis. Outros valores semelhantes foram encontrados em Goiás e Sorocaba, 2% e 3%, respectivamente (COLVERO *et al.*, 2020; LIMA; MANCINI, 2017; PAES *et al.*, 2020). Isso implica que a cobertura da coleta seletiva precisa ser ampliada não somente em abrangência, mas também em eficiência no desvio desses resíduos do aterro sanitário.

Como se pode perceber, mesmo com a existência de programas de coleta seletiva, o volume de resíduos recicláveis coletados ainda é baixo, embora alguns autores afirmem que cerca de 30% dos resíduos sólidos urbanos brasileiros são passíveis de reciclagem (SILVA, 2017; DUTRA; YAMANE; SIMAN, 2018; FERRONATO *et al.*, 2020a; ZHANG *et al.*, 2019), mostrando o potencial de desvio de resíduos recicláveis que ainda é desperdiçado. Estimativas apontam que a implementação da coleta seletiva à uma cobertura de 50% aumentaria em quase 200% a quantidade de resíduos enviados para a reciclagem, desviando os resíduos que são atualmente dispostos em aterros (DUTRA; YAMANE; SIMAN, 2018; FERRONATO *et al.*, 2020a).

Conforme reportado no Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Espírito Santo (ESPÍRITO SANTO, 2019), 64 dos 78 municípios do estado declararam que realizam a coleta seletiva, atendendo cerca de 34% da população. Entretanto, assim como acontece em outros municípios brasileiros, este processo não é universalizado,

mesmo que os municípios detenham mecanismos, como roteiros em bairros específicos, coleta porta a porta e postos de entrega voluntária (ZON *et al.*, 2020).

Quando se compara os dados brasileiros disponíveis com os dados de outros países e respectivas estratégias adotadas, fica evidente a necessidade de ampliação da cobertura da coleta seletiva, bem como de investimento em infraestrutura e estratégias de comunicação, visto que esta combinação permitiu que países europeus aumentassem a reciclagem para taxas acima de 40% (WILSON *et al.*, 2012). Na Província de Trento, a cobertura da coleta seletiva aumentou de 21% em 2002 para 80%, sendo uma das maiores da Itália (RADA *et al.*, 2018). Em Medellín, Colômbia, existem metas de 70% de coleta seletiva em 2030, sendo que o município já aumentou suas taxas de 4% em 2016 para 23% em 2018 (VALENZUELA-LEVI, 2020).

Estabelecer metas de reciclagem em atos normativos locais também estimula compulsoriamente a ampliação da cobertura da coleta seletiva. Por exemplo, a Comissão Europeia estabeleceu como meta para 2025 e 2030 que a taxa de reutilização e reciclagem no continente alcance 60% e 65%, respectivamente (BOURGUIGNON, 2018; BERG *et al.*, 2018). Estima-se que o aumento das metas de reciclagem de 50% em 2020 para 70% em 2030 nas ilhas Canárias levaria a um aumento de 58,51% de reciclagem de papel/papelão e 38,18% de embalagens em geral ao final de 15 anos (ESTAY-OSSANDON; MENA-NIETO; HARSCH, 2018). Para ampliar tanto a abrangência quanto a eficiência da coleta seletiva, o planejamento parte da definição das estratégias de execução.

Não há uma única estratégia ideal para a coleta seletiva, pois recomenda-se que seja estudada de acordo com as particularidades de cada município em conformidade com o plano municipal de resíduos sólidos e o mercado de compra de resíduos recicláveis, bem como a capacidade econômica para tais ampliações (BESEN *et al.*, 2017). No Brasil, a prestação desse serviço é de responsabilidade dos municípios e pode ser realizada basicamente por duas modalidades, que também podem ser combinadas entre si: porta a porta e ponto a ponto (BESEN; FRACALANZA, 2016; CAMPOS, 2013; KALA; BOLIA; SUSHIL, 2020; VARELLA, 2011; WANG, *et al.*, 2020).

A coleta porta a porta é aquela onde os moradores colocam os recicláveis previamente separados nas calçadas próximas à suas casas (BERG *et al.*, 2018; BERTANZA; ZILIANI; MENONI, 2018; BESEN; FRACALANZA, 2016; FERREIRA *et al.*, 2017). Já a coleta ponto a ponto é feita utilizando Pontos/Postos de Entrega Voluntária (PEV)

ou Locais de Entrega Voluntárias (LEV), que são pequenos depósitos colocados em pontos físicos no município onde os moradores depositam seus resíduos recicláveis de forma espontânea (BERG *et al.*, 2018; BESEN; FRACALANZA, 2016; GUADAGNIN *et al.*, 2014; KALA; BOLIA; SUSHIL, 2020). No Brasil, enquanto a PNRS descreve que essa segregação pode se dar minimamente em resíduos secos e resíduos úmidos, existem diversas estratégias que sugerem a segregação entre as diversas tipologias de resíduos secos, como papel, plástico, vidro, entre outros (FERREIRA *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2017; STRUK, 2017).

Cada modalidade de coleta possui suas particularidades quanto à qualidade e quantidade de resíduos provenientes da coleta. A quantidade está relacionada ao volume coletado e leva em consideração a frequência de coleta. Por outro lado, a qualidade/homogeneidade está relacionada ao percentual de rejeitos verificado após a análise do que de fato segue para comercialização de sua fração reciclável, visto que representam a fração de resíduos não recicláveis tecnicamente ou economicamente (CONKE, 2018; DUTRA; YAMANE; SIMAN, 2018; BRASIL, 2010).

Dessa forma, a literatura tem reportado que a modalidade porta a porta, no geral, apresenta maior quantidade e qualidade resíduos se comparada a modalidade PEV (BERTANZA; ZILIANI; MENONI, 2018; FERREIRA *et al.*, 2017; FERRONATO *et al.*, 2020a; MAGALHÃES, 2020; STRUK, 2017). Com relação a qualidade, a literatura reporta que a coleta porta a porta apresenta até 72,5% a menos de rejeitos, o que implica em 69% a mais de resíduos recicláveis do que a modalidade PEV (BERTANZA; ZILIANI; MENONI, 2018). Entretanto, quando a análise se restringe à resíduos de papel e plástico, a diferença no percentual de resíduos efetivamente recicláveis pode ser de apenas 26% (BERTANZA; ZILIANI; MENONI, 2018; STRUK, 2017).

Tais evidências se devem provavelmente ao fato de a coleta seletiva porta a porta ser mais conveniente do ponto de vista dos moradores, pois requer menor esforço devido à menor distância do local de separação dos resíduos (KNICKMEYER, 2020; FERRONATO *et al.*, 2020a; STRUK, 2017; WANG *et al.*, 2020). Por outro lado, como na modalidade PEV o principal elemento que influencia em sua produtividade é a densidade populacional planejada para uso do equipamento urbano (local de entrega pré-determinado), quanto maior o raio de ação do equipamento, menor é a eficiência



do mesmo (OLIVEIRA *et al.*, 2017). Ferronato *et al.* (2020b) descrevem que a distância dos moradores até o ponto de coleta não deve ser maior que 250m.

Quando o serviço é oferecido de maneira mista, Bertanza, Ziliani, e Menoni (2018) apontam que o percentual de rejeitos também pode ser mediano se comparada às duas modalidades isoladamente, sendo por vezes aproximadamente 16% superior à modalidade porta a porta. Em contrapartida, Struk (2017) constatou que a combinação das duas modalidades não demonstrou diferenças significativas se comparado à coleta porta a porta. Quanto ao de volume de resíduos, Magalhães (2020) aponta que a modalidade mista supera as demais.

A estratégia de coleta seletiva também depende do agente executor responsável pela coleta seletiva, podendo ser com participação ou não de catadores de materiais recicláveis, organizados ou atuando de forma independente (FIDELIS; COLMENERO, 2018; IBÁÑEZ-FORÉS *et al.*, 2018; KUMAR *et al.*, 2018; PAES *et al.*, 2020; STEUER *et al.*, 2017; TACKLA; BALDAM; SIMAN, 2017). No geral, a escolha do agente executor influencia no custos para a administração pública, uma vez que a coleta feita com catadores é menos dispendiosa do que aquela realizada por empresas privadas ou até mesmo pela própria prefeitura (FERRONATO *et al.*, 2020a; RUTKOWSKI; RUTKOWSKI, 2015; VARELLA, 2011).

De qualquer forma, a prática de coleta seletiva em parceria com organizações de catadores recebe diversas denominações, tais como coleta seletiva solidária, coleta seletiva com inclusão social e coleta seletiva com inclusão socioproductiva de catadores. Esta prática sempre é interessante quando se quer considerar a inserção dos catadores no mercado de trabalho, além de implementar a aplicação de políticas para promover sua integração aos sistemas municipais de coleta seletiva, gerando renda e proporcionando melhores condições de trabalho (BESEN *et al.*, 2017; DUTRA; YAMANE; SIMAN, 2018; GUTBERLET, 2015; TIRADO-SOTO; ZAMBERLAN, 2013).

No Espírito Santo, segundo diagnóstico do Plano Estadual de Resíduos Sólidos, a execução da coleta seletiva ocorre sobretudo utilizando organizações de catadores, atuando de forma independente em 55% dos municípios e mediante parceria com prefeituras e/ou empresas em 15% dos municípios. A responsabilidade pela atividade fica por conta da prefeitura em apenas 25% dos municípios, também sendo realizada exclusivamente por empresas contratadas em 5% (ESPÍRITO SANTO, 2019).

Além das modalidades usuais de coleta seletiva domiciliar, outra forma de o fluxo de resíduos chegar às OCMRR é a doação por parte de geradores particulares, tais como empresas privadas e condomínios, ou mesmo entidades públicas (ANDRADE *et al.*, 2020; FREITAS; FONSECA, 2012). O acesso a esses materiais deve ser incentivado mediante apoio legal de incentivo às parcerias, conforme será discutido na próxima seção.

De qualquer forma, o material oriundo de doações apresenta como principal característica a sua maior homogeneidade material, com maior percentual de resíduos como papel e plástico e menor percentual de rejeitos se comparado às fontes domiciliares. Alguns autores apontam que, enquanto os resíduos oriundos dos programas de coleta domiciliar apresentam índice de rejeitos de até 40%, aqueles oriundos de geradores particulares são próximos de 5%, o que torna a produtividade de triagem até 1,7 vezes maior e o lucro por peso de resíduo 15% maior (ANDRADE *et al.*, 2020; CAMPOS, 2013; MAGALHÃES, 2020; PARREIRA, 2010; PORTO, 2019). Em contrapartida, as doações chegam em quantidade bem menor comparado aos resíduos oriundos de fontes domiciliares, podendo chegar a valores entre 12% e 19% do total de resíduos triados (ANDRADE *et al.*, 2020; MAGALHÃES, 2020; PORTO, 2019).

O índice de rejeitos reduz a produtividade econômica do processo de triagem nos galpões das organizações de catadores, impactando no resultado comercial de tais empreendimentos sócio produtivos. Além disso, sua presença no fluxo de resíduos dificulta a etapa de separação e contamina outros materiais, reduzindo o potencial de reciclagem e conseqüentemente a desvalorização de até 37% dos resíduos (CONKE, 2018; FREITAS; FONSECA, 2012; PINHA; SAGAWA, 2020; RADA *et al.*, 2018; VARELLA, 2011; XUE *et al.*, 2019). Simonetto *et al.* (2014) identificaram que um aumento de 30% na composição de resíduos recicláveis nos resíduos oriundos de coleta seletiva, em detrimento do índice de rejeitos, aumentaria o percentual de resíduos encaminhados para a reciclagem de cerca de 12% para aproximadamente 27%.

A média de rejeitos da coleta seletiva no Brasil é de 26% (CEMPRE, 2019a), considerando materiais que não possuem técnicas de reciclagem economicamente viáveis. Resultados similares foram obtidos em Blumenau (SC), onde a média de rejeitos foi de 30,5%, incluindo materiais potencialmente recicláveis que a cooperativa

não fornece para o mercado da reciclagem por limitações técnicas e financeiras (MOURA; PINHEIRO; CARMO, 2018). Em Curitiba (PR), a taxa de rejeitos da coleta seletiva esteve bem próxima a de Blumenau, registrando 30%, enquanto em Brasília o valor chegou a 70% (CONKE, 2018). Segundo a autora, essa diferença possivelmente está relacionada à discordância entre os horários de coleta e os horários oficialmente divulgados, diminuindo o empenho da população em segregar corretamente os resíduos.

Segundo Besen *et al.* (2017), a porcentagem de rejeitos é um indicador da eficiência da separação dos resíduos na fonte geradora, que sugerem um critério de classificação conforme Quadro 1.

Quadro 1 – Avaliação da eficiência de separação de resíduos na fonte geradora conforme taxa de rejeitos.

<b>Taxa de rejeitos (%)</b>	<b>Avaliação</b>
≤ 5	Muito favorável
5,1 a 10	Favorável
10,1 a 29,9	Desfavorável
≥ 30	Muito desfavorável

Fonte: Besen *et al.* (2017)

Com base na classificação apresentada no Quadro 1, podemos verificar que a média de rejeitos no Brasil está desfavorável. No Espírito Santo, dois estudos identificaram percentual de rejeitos de 20,17% (DUTRA; YAMANE; SIMAN, 2018) e de 10% (MAGALHÃES, 2020). Essa diferença está relacionada também à quantidade de OCMRR participantes, que pertencem à diferentes municípios com programas de coleta seletiva diferentes entre si.

Outro elemento essencial para a redução da taxa de rejeito é a presença de programas de educação e comunicação social para a coleta, incorrendo em equívocos dos usuários na etapa de separação na fonte, ou baixa adesão destes aos programas existentes (CONKE, 2018; DUTRA; YAMANE; SIMAN, 2018; ESTAY-OSSANDON; MENA-NIETO; HARSCH, 2018; FIDELIS *et al.*, 2020; FREITAS; FONSECA, 2012; STRUK, 2017; XUE *et al.*, 2019; MANNARINO; FERREIRA; GANDOLLA, 2016; PINHA; SAGAWA, 2020). Se comparado à maioria dos países de alta renda, a segregação de resíduos na fonte geradora nos países de renda inferior não são uma prática muito popular, sendo verificado nos primeiros legislação que torna compulsória a separação dos resíduos na fonte (IYAMU; ANDA; HO, 2020; KNICKMEYER, 2020).

Devido a essa importância, a adoção de políticas públicas de educação ambiental deve ser focada na conscientização da população, divulgação do programa de coleta seletiva e orientação dos usuários quanto ao funcionamento do programa. Diversos autores constataram que campanhas públicas de conscientização contínua afetam positivamente nas atitudes de reciclagem, que incluem a disposição da população em realizar a separação antes de depositar esse material nos pontos de coleta (ARBUÉS; VILLANÚA, 2016; BERGERON, 2016; FAN; YANG; SHEN, 2019; FARLEY; BANERJEE; COOPER, 2019; MENG *et al.*, 2019; ROUSTA *et al.*, 2015; SIMONETTO *et al.*, 2014; SUKHOLTHAMAN; SHARP, 2016; WANG, 2020).

Em termos numéricos, em um estudo feito na Polônia, a campanha de educação ambiental aumentou em 275% o número de famílias participantes na separação ativa de resíduos em um ano (GRODZIŃSKA-JURCZAK *et al.*, 2006). Em Bangkok, o aumento na quantidade de pessoas participantes ativas da separação de resíduos de 8% para 80% aumentou gradativamente em 73% a quantidade de resíduos encaminhados para a reciclagem (SUKHOLTHAMAN; SHARP, 2016). Da mesma forma, a combinação de instrumentos infraestruturais e recursos cognitivos de conscientização para incentivar as famílias a implementar a separação na fonte foi responsável pela redução em 13% de rejeitos enviados para incineração em favor de um aumento de 35% nos resíduos secos destinados para a reciclagem em Genova, Itália (BERGERON, 2016).

Já no Brasil, uma análise do sistema de coleta seletiva implementado em Londrina mostra que a promoção da educação ambiental pelos catadores sobre a forma de fazer a separação e o cronograma de coleta fez com que, em 5 anos, a cobertura de coleta aumentasse de 36% para 100%, a participação popular de 30% para 70% e a taxa de material recuperado em relação à quantidade coletada convencionalmente de 2,92% para 24,17% (LIMA; SILVA, 2013). Em Minas Gerais, um programa de conscientização feito pelos próprios catadores fez o índice de rejeitos cair de 17% em 2001 para 4% em 2009, uma redução de aproximadamente 76% (PARREIRA, 2010). Embora o efeito da educação ambiental na separação de resíduos seja positivo, Pickering *et al.* (2020) e Wang *et al.*, (2020) afirmam que a ligação do conhecimento de como resolver os problemas ambientais e o comportamento individual em si não é linear, mas um caminho mais complexo, existindo uma discrepância entre a intenção e o comportamento de separação em si. Complementarmente, Wang *et al.* (2019)

apontam que a informação pública tem uma influência direta na intenção de separação, mas o efeito é relativamente pequeno.

Uma vez discutidos os aspectos relacionados à ampliação da cobertura e estratégias de coleta seletiva, bem como os efeitos da educação ambiental nos rejeitos e seus impactos nos processos de triagem dos resíduos nas OCMRR, o próximo tópico discute o processo de formalização e a inclusão das OCMRR no gerenciamento de resíduos, produtividade de triagem, rendimentos e garantia de acesso aos resíduos, incluindo políticas de incentivos às parcerias com grandes geradores.

### **3.1.2 Organizações de catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis (OCMRR): inserção social e produtiva**

Os impactos sociais relacionados à coleta seletiva abrangem substancialmente a geração de empregos e renda com a inclusão sócio produtiva dos catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis. A necessidade de emprego e renda é a base do engajamento desses atores na cadeia de reciclagem devido à sua situação de vulnerabilidade social, além de reconhecimento e respeito em suas respectivas comunidades (FIDELIS *et al.*, 2020; GUADAGNIN *et al.*, 2014; HARTMANN, 2018; KASINJA; TILLEY, 2018; SCHENCK *et al.*, 2019; SIMATELE; DLAMINI; KUBANZA, 2017; STEUER *et al.*, 2017).

A recuperação de materiais recicláveis pode ser feita tanto por catadores formalizados, geralmente em cidades de renda alta, quanto por catadores informais que não possuem qualquer tipo de vínculo com setor público ou privado, predominante em municípios de baixa renda (ALELUIA; FERRÃO, 2016; FIDELIS *et al.*, 2020; FIDELIS; COLMENERO, 2018; KUMAR *et al.*, 2018; WILSON *et al.*, 2012). Levando em consideração alguns exemplos globais na África, América Latina e Ásia, muitos catadores autônomos atuam informalmente em locais de disposição final ou recolhendo resíduos em contêineres de rua, conforme observado em diversos estudos (BOTELLO-ÁLVAREZ *et al.*, 2018; FERRONATO *et al.*, 2019; HARTMANN, 2018; NYATHI; OLOWOYO; OLUDARE, 2018; SANDHU; BURTON; DEDEKORKUT-HOWES, 2017; SIMATELE; DLAMINI; KUBANZA, 2017; STEUER; RAMUSCH; SALHOFER, 2018).

Entretanto, embora esses atores sejam responsáveis pela maior parcela de resíduos encaminhados à reciclagem, a natureza informal dos catadores autônomos os torna sujeitos à uma grande flutuação diária nos rendimentos já que o volume de material recuperado é pequeno e depende essencialmente do tempo empregado na atividade de catação e triagem, sem contar as condições precárias de trabalho (ALMEIDA; FIGUEIREDO; DANTAS, 2017; KASINJA; TILLEY, 2018; NYATHI; OLOWOYO; OLUKARE, 2018; SCHENCK *et al.*, 2019; VILJOEN; BLAAUW; SCHENCK, 2016). Navarrete-Hernandez e Navarrete-Hernandez (2018) apontam que a institucionalização de catadores aumenta seu lucro em US\$2,47 por hora e os salários mensais em US\$300,88, ou 0,93 vezes o salário mínimo vigente em Santiago, Chile.

Por esse motivo, a política de resíduos em alguns países como Colômbia, Filipinas e Bangladesh visam a integração do setor informal, e em outros como Brasil, Peru, Índia e Jamaica existe o incentivo à formalização de catadores informais mediante a criação de associações, cooperativas e pequenas empresas (APARCANA, 2017; DIAS, 2016; FIDELIS *et al.*, 2020; MEDINA, 2000; SCHEINBERG, 2012; SILVA; WEINS; POTINKARA, 2019; VALENZUELA-LEVI, 2020). Essas formas de constituição representam uma estrutura jurídica legal mais adequada para esses agentes de baixa renda, pois possibilita a redução de impostos, a prática coletiva de decisões, legalização da comercialização dos recicláveis, capacidade de reunir recursos para comprar melhores equipamentos e facilidade de empréstimos do governo e de contratação como prestadores de serviços (APARCANA, 2017; BOTELLO-ÁLVAREZ *et al.*, 2018; GUTBERLET, 2015; DIAS, 2016; FIDELIS *et al.*, 2020; SCHEINBERG, 2012; BUQUE; RIBEIRO, 2015; SILVA, GOES, ALVAREZ, 2013; OGUNTOYINBO, 2012).

No Brasil, o incentivo para a criação e o desenvolvimento das organizações formais de catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis partiu da PNRS, que tem como um de seus princípios a integração e formalização desses catadores na cadeia produtiva da reciclagem (BRASIL, 2010). Entretanto, o processo de formalização dos catadores brasileiros começou com o reconhecimento da profissão de catador pelo Ministério do Trabalho e Emprego, constando na Classificação Brasileira de Ocupações (CBO) desde 2002, e com a criação do Comitê Interministerial de Inclusão Social dos Catadores de Lixo (CIISC) em 2003.

Desde 2006, estava prevista a destinação de resíduos recicláveis descartados pelos órgãos e entidades da administração pública federal a associações e cooperativas de catadores (BRASIL, 2006). Assim, ficou estabelecida uma primeira iniciativa de parceria entre esses agentes para a realização da coleta seletiva solidária, embora o decreto ainda não tivesse sido implantado na totalidade dos órgãos públicos federais (SILVA, GOES, ALVAREZ, 2013).

Na Figura 3 pode-se verificar um esquema simplificado das principais atividades operacionais realizadas pelas OCMRR no fluxo dos resíduos recicláveis ao qual elas têm acesso, tanto da coleta seletiva domiciliar quanto daqueles oriundos de doações.

Figura 3 – Cadeia produtiva da reciclagem e atividades operacionais realizadas pelas associações de catadores de materiais recicláveis.



Fonte: Adaptado de Siman *et al.* (2020)

Na Figura 3, deve-se destacar que a etapa de coleta de resíduos pode não ser executada pelas OCMRR, pois, conforme já discutido, esse serviço também pode ser feito pela prefeitura ou por empresas privadas contratadas. Nesse caso, as OCMRR começam sua atuação a partir da etapa de recepção de resíduos, sendo comum receber mais de uma vez e de fontes diferentes (PORTO, 2019). Entretanto, a triagem é a atividade de agregação de valor dos materiais recicláveis e também o gargalo das organizações, que em sua maioria a realizam de forma manual e com baixa produtividade, além de ser dificultada pela presença de rejeitos (ALMEIDA; FIGUEIREDO; DANTAS, 2017; FIDELIS *et al.*, 2020; GALL *et al.*, 2020; PARREIRA, 2010; PARREIRA; OLIVEIRA; LIMA, 2009; SIMAN *et al.*, 2020; VARELLA, 2011; ZON *et al.*, 2020).

A produtividade de triagem, medida geralmente em t/catador/mês, é o principal indicador de eficiência física das OCMRR, e juntamente com a eficiência de mercado influencia diretamente nas receitas dessas organizações (DAMÁSIO, 2014). Poucos estudos se concentram em analisar as eficiências das OCMRR a nível de país, e os dados mais recentes apontam que 60% das organizações coletivas no Brasil estão em situação de baixa ou baixíssima eficiência (FREITAS; FONSECA, 2012). A Tabela

1 apresenta os indicadores que medem a eficiência média do trabalho de triagem dos integrantes da OCMRR propostos por Bésen *et al.* (2017).

Tabela 1 - Produtividades físicas médias dos catadores de acordo com os graus de eficiência das organizações de catadores de materiais recicláveis.

<b>Indicador de eficiência</b>	<b>Produtividade média (t/catador/mês)</b>
Muito favorável	$\geq 3,00$
Favorável	2,01 a 2,99
Desfavorável	1,01 a 2,00
Muito desfavorável	$\leq 1,00$

Fonte: Bésen *et al.* (2017), p. 46.

Conforme mostra a Tabela 1, quanto maior o indicador de eficiência das OCMRR maior é a produtividade individual dos catadores. Com base nessa classificação, Zon *et al.* (2020) identificaram que 39% das OCMRR no Espírito Santo apresentaram produtividade muito desfavorável, ao passo que em 13% das OCMRR o indicador foi considerado muito favorável. Analogamente, Dutra, Yamane e Siman (2018) identificaram que a produtividade média das OCMRR de uma região no mesmo estado era de 2,3t/catador/mês, sendo 66% das OCMRR em situação muito desfavorável ou desfavorável e 22% em situação muito favorável.

Segundo Tackla, Baldam e Siman (2017), cerca de 48 disfunções presentes em OCMRR contribuem para baixas eficiências, que inclui carência de equipamentos, falta de capacitação dos catadores, dificuldades técnicas na administração, restrição de acesso aos resíduos e ausência de infraestrutura adequada de trabalho. Entretanto, a precariedade de maquinários e infraestrutura é a principal disfunção que afeta negativamente na produtividade, pois inviabiliza a operacionalização de algumas atividades desenvolvidas pelos catadores, como coleta, segregação, acondicionamento e agregação de valor aos materiais (APARCANA, 2017; FIDELIS *et al.*, 2020; GUTBERLET, 2015; SIMAN *et al.*, 2020; TACKLA; BALDAM; SIMAN, 2017; TIRADO-SOTO; ZAMBERLAN, 2013; VELIS *et al.*, 2012).

Estudos feitos no Chile mostram que o fornecimento de ferramentas e/ou máquinas pode aumentar a produtividade dos catadores em 0,4t/catador/mês (NAVARRETE-HERNANDEZ; NAVARRETE-HERNANDEZ, 2018). Além disso, o reforço na capacidade de catadores graças à programas de apoio implementado pelo município, previsto no plano de gestão de resíduos local, elevou a produtividade média dos catadores de 1,64t/catador/mês em 2017 para 2,37t/catador/mês em 2018



(VALENZUELA-LEVI, 2020), considerando 8 horas por dia e 21 dias por mês de trabalho.

Embora seja evidente que a existência de infraestrutura está diretamente relacionada ao aumento dos ganhos dos catadores, os reduzidos recursos financeiros das organizações impede que haja manutenção de capital de giro para investir em melhorias do processo de produção (BUQUE; RIBEIRO, 2015; DUTRA; YAMANE; SIMAN, 2018; VAN ZEELAND, 2013). A prática de remuneração das organizações de catadores pelos serviços executados é incomum, principalmente no que diz respeito aos catadores informais (BESEN; FRACALANZA, 2016; IPEA, 2010; PARREIRA, 2010), e quando existe é feita apenas pelo serviço de coleta (ALMEIDA; FIGUEIREDO; DANTAS, 2017; FIDELIS; COLMENERO, 2018). Além disso, o faturamento obtido com a comercialização de recicláveis permite remunerações no limite da sobrevivência, o que leva a maioria das OCMRR à depender de subsídios governamentais para cobrir despesas, ampliar sua infraestrutura e, conseqüentemente, avolumar seus ganhos financeiros (NAVARRETE-HERNANDEZ; NAVARRETE-HERNANDEZ, 2018; PINHA; SAGAWA, 2020; SIMAN *et al.*, 2020; ZON *et al.*, 2020).

Lima e Mancini (2017) identificaram que a implementação de investimentos dos setores público e privado em infraestrutura e capacitação nas OCMRR de Sorocaba, entre os anos 2008 e 2015, levou à um aumento de 55% na produtividade individual dos catadores, além de um aumento de 270% nos resíduos coletados e integração de 78 novos catadores (aumento de 140%). Com isso, a renda por catador aumentou em 202%, passando de R\$379,48/mês para R\$1.149,18/mês. Analogamente, Dutra, Yamane e Siman (2018) estimaram que um investimento de US\$2,5M em adequação e ampliação da capacidade de triagem das OCMRR concomitantemente com a ampliação da coleta seletiva para 50%, demandaria a inclusão de 189 novos catadores para atender aos requisitos do cenário proposto, um aumento de 103%.

A existência de infraestrutura não está relacionada apenas ao aumento na produtividade individual do catador, mas também na capacidade de recebimento e armazenamento de resíduos (brutos e triados, bem como rejeitos) e movimentação de cargas nas OCMRR. Muitos autores evidenciam que a ampliação da coleta seletiva esbarra não só nas limitações técnicas e de recursos humanos, como também naquelas de infraestruturais das unidades de beneficiamento, independente de qual

seja o processo empregado (PINHA; SAGAWA, 2020; WANG; YOU, 2020; XIAO *et al.*, 2020).

Embora Fidelis e Colmenero (2018) tenham identificado que raramente as OCMRR tenham estoque de produtos, indicando que os materiais são rapidamente comercializados, Porto (2019) identificou um acúmulo de resíduos no pátio de triagem de uma OCMRR do Espírito Santo incluindo materiais com mais de 3 meses, dificultando o rastreio de sua origem. Deve-se considerar que a variável que mais influencia nesse aspecto é a produtividade, que, quando baixa, impede os catadores de beneficiar todo o material caso seja recebido em grandes volumes.

Não obstante, a ausência de infraestrutura também impacta no preço obtido pelo material reciclável, pois impede o armazenamento de materiais em quantidades suficientes para comercializá-los diretamente para a indústria e, conseqüentemente, faz com que os catadores comercializem o material a preços menores para agentes intermediários, ou atravessadores (DUTRA; YAMANE; SIMAN, 2018; KASINJA; TILLEY, 2018; SIMAN *et al.*, 2020; TIRADO-SOTO; ZAMBERLAN, 2013; VACCARI; PERTEGHELLA, 2016; VELIS *et al.*, 2012; ZON *et al.*, 2020). Kumar *et al.* (2018) apontam que, na Índia, os intermediários recebem valores até 16% maiores que os catadores na venda de plástico, pois conseguem armazenar volumes maiores de resíduos. Garantir a consistência do fornecimento é um pré-requisito importante para colocar em operação um negócio formal de reciclagem (GALL *et al.*, 2020).

Nesse contexto, Almeida, Figueiredo e Dantas (2017) identificaram que a integração de catadores informais à uma OCMRR e implantação de galpões de triagem e beneficiamento permitiria a eliminação de agentes intermediários em suas negociações. Conseqüentemente, foi estimado um aumento de aproximadamente 67% nas receitas globais dos catadores, mesmo considerando os custos relacionados à incorporação do negócio de coleta de materiais recicláveis, como impostos, depreciação e fundo de reserva. Entretanto, o investimento inicial de cerca de R\$1,6 milhões de reais não foi deduzido do lucro obtido, sendo necessário subsídio governamental.

Além do volume de resíduos, outros aspectos levam à uma grande oscilação no preço de venda de um mesmo produto, como a qualidade do material classificado, deficiência de negociação, mudanças na demanda de produtos e ausência de empresas de reciclagem (FIDELIS; COLMENERO, 2018; GALL *et al.*, 2020; IPEA,

2010; KASINJA; TILLEY, 2018; PORTO, 2019; RIBEIRO *et al.*, 2014; SIMAN *et al.*, 2020; SUTHAR; RAYAL; AHADA, 2016; TACKLA; BALDAM; SIMAN, 2017; VACCARI; PERTEGHELLA, 2016). A Tabela 2 apresenta o preço de venda de alguns materiais recicláveis em diversas cidades do Brasil, em 2019.

Tabela 2 - Preço de venda de materiais recicláveis em diversas cidades (R\$/t).

Material	Cidade (Estado)					
	São Paulo (SP)	Belo Horizonte (MG)	Nova União (MG)	Mesquita (RJ)	Cambará (PR)	Florianópolis (SC)
Papelão	580	590	590	350	390	410
Papel branco	800	900	1000	450	300	460
Latas de Aço	550	580	610	560	380	500
Latas de Alumínio	5300	4000	4300	3500	3600	4200
Vidros	180	70	70	60	50	80
Plástico rígido	1850	1500	1400	1200	700	1750
PET	2800	3000	3000	1900	1500	2100
Plástico filme	600	500	1100	800	350	800
Longa vida	250	200	200	150	200	240

Fonte: Cempre (2019b)

Conforme observado na Tabela 2, existe uma grande variação no valor dos materiais de uma cidade para outra, com diferenças de até 260%, e um dos fatores que levam a isso é o beneficiamento do material, pois aqueles que passam por limpeza e prensagem tendem a ser mais valorizados. Andrade *et al.* (2020) identificaram variações de até 471% no mesmo material, ao passo que Fidelis e Colmenero (2018) apontaram uma variação de 53% no preço de venda de PET principalmente devido à ausência de poder de barganha pela ausência de capital de giro ou venda futura.

Essa dificuldade de comercialização leva as organizações de catadores a descartarem resíduos potencialmente recicláveis devido à seu baixo preço de venda, o que resulta no aumento de rejeitos (FIDELIS; COLMENERO, 2018; KUMAR *et al.*, 2018; SIMAN *et al.*, 2020; STEUER *et al.*, 2017). Além disso, os catadores têm a tendência de comercializar materiais com maior valor comercial e maior volume, geralmente papéis e plásticos (AL-KHATIB; AL-SARI'; KONTOGIANNI, 2020; ANDRADE *et al.*, 2020; EZEAH; FAZAKERLEY; ROBERTS, 2013; FIDELIS; COLMENERO, 2018; KASINJA; TILLEY, 2018; KUMAR *et al.*, 2018; NAVARRETE-HERNANDEZ; NAVARRETE-HERNANDEZ, 2018; PORTO, 2019; SUTHAR; RAYAL; AHADA, 2016). Alguns estudos apontam que catadores autônomos de países da África chegam a receber de 2 a 3 vezes o valor do salário mínimo local quando se

concentram em materiais de maior valor de mercado (ANDRIANISA *et al.*, 2018; KASINJA; TILLEY, 2018).

Não obstante, outro aspecto a ser considerado no que tange às OCMRR é o acesso aos resíduos. Apesar do arcabouço legal sustentar a integração dos catadores à gestão dos RSU inclusive na esfera estadual é necessário que as administrações municipais promovam políticas públicas eficazes que assegurem o fluxo de materiais recicláveis para esses agentes (DUTRA; YAMANE; SIMAN, 2018; FREITAS; FONSECA, 2012; GHISOLFI *et al.*, 2017; GUTBERLET, J., 2015; RIBEIRO *et al.*, 2014). O Quadro 2 sumariza os problemas enfrentados pelas OCMRR no acesso ao material reciclável e também apresenta respectivas soluções de acordo com a procedência.

Quadro 2 - Procedência de materiais recicláveis, problemas de acesso dos catadores e respectivas soluções.

<b>Procedência</b>	<b>Descrição dos problemas de acesso</b>	<b>Soluções</b>
Ruas e áreas urbanas	Algumas prefeituras dificultam a presença e o tráfego de catadores	Estabelecer parcerias entre prefeituras e cooperativas
Coleta seletiva	Deficiências na destinação do material reciclável	Ordenação da destinação do material: instituir legislação que preveja a destinação do material proveniente da coleta seletiva às cooperativas de catadores ou estabelecer parcerias.
Grandes geradores	Alguns não permitem acesso	Exigência legal de acesso ao material: na maioria dos casos as terceirizadas ou as prefeituras removem os resíduos diretamente para os seus destinos finais, sem qualquer separação ou triagem. A legislação poderia impor a necessidade de separação dos materiais recicláveis às cooperativas de catadores. Há também a possibilidade de estabelecer parcerias.
Feiras e eventos	Alguns não permitem acesso	
Coleta pública	Muitas prefeituras não permitem acesso	
Empresas terceirizadas	O material reciclável recolhido é enterrado ou comercializado	

Fonte: Adaptado de Damásio (2010); Freitas e Fonseca (2012)

Conforme observa-se no Quadro 2, para garantir o acesso do material reciclável às OCMRR, as soluções indicadas se resumem ao estabelecimento de parcerias e a necessidade de cumprimento de atos normativos. Os esforços em infraestrutura devem ser acompanhados de garantia de acesso aos resíduos em volume suficiente para comercialização (DUTRA; YAMANE; SIMAN, 2018; GHISOLFI *et al.*, 2017; PINHA; SAGAWA, 2020), o que vai ao encontro da necessidade de ampliar a cobertura da coleta seletiva e garantir o acesso das OCMRR aos resíduos coletados. Considerando que todo o resíduo presente no fluxo da coleta seletiva de Araraquara (SP) fosse enviado para as OCMRR, um aumento na cobertura de coleta de 8,45%

para 15% aumentaria as receitas totais em aproximadamente 70% ao longo de 20 anos (PINHA; SAGAWA, 2020).

Em contraponto, identificou-se no município de Sorocaba que apenas 3% dos RSU eram destinados às OCMRR, sendo que outros 36% de resíduos recicláveis eram encaminhados à aterros (PAES *et al.*, 2020). Dutra, Yamane e Siman (2018) constataram que se todos os materiais recicláveis que atualmente seguem para aterros sanitários fossem disponibilizados para as associações, haveria um aumento de quase 800% nos rendimentos dos catadores na região específica de estudo.

Embora seja importante o acesso dos catadores aos resíduos domiciliares, a experiência em recuperação de material para subsistência acumulada por décadas pelos catadores os levou a se concentrar em geradores de resíduos de médio ou grande porte, com os quais mantêm contato pessoal e acordos implícitos (VILLALBA, 2020), e isso se deve principalmente ao importante retorno que as parcerias dão às OCMRR em relação à qualidade do material. No estudo de Demajorovic *et al.* (2014), um ano de parceria da associação com uma empresa fornecedora de vidro culminou em uma variação de 131 toneladas de vidro para 387 toneladas, representando um aumento de 195% na quantidade de vidro recebida.

Por isso, a corresponsabilidade entre parceiros da gestão de resíduos sólidos e o estabelecimento de parcerias é particularmente importante para as OCMRR, não apenas com o governo, mas também com os potenciais geradores de resíduos (BESEN *et al.*, 2017; GUTBERLET, 2015). Entretanto, Zon *et al.* (2020) identificaram que mais da metade das organizações de catadores na área de estudo em questão possuíam resultados muito desfavoráveis no que tange ao desenvolvimento de parcerias.

Corroborando com essa deficiência, diversos autores identificam que a parcela de resíduos oriunda dessa fonte é bem menor se comparada à coleta seletiva domiciliar, com valores entre 12% e 19% do total de resíduos triados (ANDRADE *et al.*, 2020; MAGALHÃES, 2020; PORTO, 2019). Desta forma, em função do importante retorno que as parcerias dão às OCMRR, fica evidente a necessidade da implementação de políticas públicas comprometidas com um processo de transformação social, de forma que o crescimento e a autonomia das organizações de catadores devem ser potencializados com a criação de mecanismos legais que vinculem ou incentivem

parcerias com grandes geradores (DAMÁSIO, 2010; FREITAS; FONSECA, 2012; VAN ZEELAND, 2013).

Um exemplo recente de política pública de incentivo às parcerias é o acordo setorial de embalagens em geral assinado em 2015, que prioriza a destinação desses materiais para os galpões das OCMRR, onde será realizada a triagem e, posteriormente, a comercialização para as recicladoras (BRASIL, 2015). Na primeira fase, que durou até 2017, houve um aumento de 26,8% na recuperação de embalagens e 802 cooperativas de catadores foram beneficiadas (CEMPRE, 2019a).

Em todos os aspectos tratados nesse tópico, o objetivo é sempre melhorar o retorno financeiro dos catadores, pois geralmente esses agentes possuem longas jornadas de trabalho e recebem salários abaixo do valor mínimo vigente devido ao fato de sua receita ser proveniente de forma majoritária da venda de recicláveis (ALMEIDA; FIGUEIREDO; DANTAS, 2017; ANDRADE *et al.*, 2020; FIDELIS *et al.*, 2020; SILVA, 2017; ZON *et al.*, 2020). Segundo Besen *et al.* (2017), valores menores que um salário mínimo ainda indicam situação socioeconômica desfavorável para os catadores.

Dantas *et al.* (2017) identificaram rendimentos mensais menores que o salário mínimo da época, entre R\$300/catador e R\$500/catador em uma associação do Rio Grande do Norte, valor esse recebido após dedução de custos operacionais. Analogamente, Andrade *et al.* (2020) destacaram que cerca de 75% dos catadores de uma associação no Pará recebiam valores inferiores ao salário mínimo, e o maior valor alcançado foi de R\$1.406,83/catador.

Nas OCMRR do Espírito Santo, os rendimentos médios identificados por vários autores apresentam grande variação, com valores de R\$506,19/catador (PORTO, 2019), R\$945,09/catador (DUTRA; YAMANE; SIMAN, 2018) e R\$830,39/catador (ZON *et al.*, 2020). Todos os valores obtidos estão abaixo do salário mínimo vigente no período de análise, e a variação se deve principalmente às diferentes produtividades encontradas nos estudos.

Na Bahia, o rendimento médio mensal com a venda de reciclável dos catadores autônomos era de R\$518,00/catador (ALMEIDA; FIGUEIREDO; DANTAS, 2017). Os catadores que recebiam acima do salário mínimo eram poucos, no geral aqueles que trabalhavam no lixão próximo, indicando que quanto maior o número de catadores em

locais com pequenas quantidades de resíduos, menor a renda per capita dos catadores.

Por outro lado, no Paraná, Fidelis e Colmenero (2018) identificaram uma média de R\$884,25/catador, sendo que apenas duas cooperativas recebiam abaixo do salário mínimo vigente na época. Além disso, os autores identificaram duas cooperativas onde a renda média era superior a R\$1.000,00/catador. Entretanto, deve-se considerar que a receita total das cooperativas não se deve apenas à comercialização dos resíduos, mas abrange também um pagamento pelo serviço prestado na coleta.

A ponderação de todas as variáveis relacionadas a ampliação de cobertura e das estratégias de coleta seletiva, e de políticas públicas de educação ambiental e de incentivos às parcerias e seus impactos nos rendimentos dos catadores faz parte de um sistema complexo. Existem muitos métodos que podem ser aplicados para auxiliar na construção de um sistema de suporte à tomada de decisão, mas a dinâmica de sistemas tem sido muito utilizada para dar suporte aos gestores em suas decisões, principalmente considerando que políticas públicas possuem um comportamento peculiar (DI NOLA; ESCAPA; ANSAH, 2018; ESPINOZA *et al.*, 2017). Assim, o próximo tópico apresenta uma breve descrição da metodologia.

### 3.2 DINÂMICA DE SISTEMAS: O MÉTODO

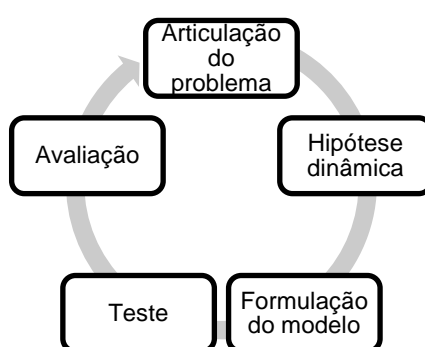
A técnica utilizada em dinâmica de sistemas foi apresentada inicialmente no livro *Industrial Dynamics* (FORRESTER, 1961), e é especialmente desenhada para lidar com sistemas de larga escala e complexos. Seu princípio básico é entender como os principais objetos em um sistema específico interagem uns com os outros por um ciclo de realimentação, ou *feedback loop*. O entendimento inadequado da dinâmica de sistemas com *feedbacks* de informações complicados pode render um julgamento não confiável sobre mudanças e decisões (FORRESTER, 1968).

Na visão de Tang e Vijay (2001), a dinâmica de sistemas é um método que permite ao analista decompor um sistema social ou comportamental complexo em seus componentes e então integrá-los em um todo que pode ser visualizado e simulado. Ao contrário dos sistemas abertos, onde não existem ciclos de realimentação e as relações de causa e efeito são lineares, os sistemas fechados, que são mais comuns nos estudos de dinâmica de sistemas, são influenciados pelo seu próprio comportamento no passado, o que caracteriza um *feedback loop*. Nesse caso, a

causa e o efeito se confundem, pois a mudança em uma variável afeta outras variáveis, que por sua vez afetam a variável original.

Sterman (2000) aponta que a ferramenta dinâmica de sistemas permite ganhar uma visão vantajosa em situações de complexidade dinâmica, e é cada vez mais utilizada para identificar decisões de sucesso em empresas privadas e políticas públicas. O método de dinâmica de sistemas trata de um processo cíclico que passa por constante interação e refinamento. A Figura 4 apresenta os passos da modelagem em dinâmica de sistemas.

Figura 4 - Passos da modelagem em dinâmica de sistemas.



Fonte: Adaptado de Sterman (2000)

A primeira etapa de articulação do problema apresentada na Figura 4 é uma das mais importantes, pois é onde um propósito claro é definido. Nessa fase da pesquisa são definidos o tema (problema), quais são as variáveis-chave, o horizonte temporal, e o padrão de comportamento do problema em questão, chamado modo de referência (STERMAN, 2000). Determinar onde está o problema e os objetivos são duas questões fundamentais e que devem bem definidas nesse estágio (ASLANI; HELO; NAARANOJA, 2014).

O próximo passo é formular a hipótese dinâmica, que é a teoria que explica o comportamento problemático identificado (DI NOLA; ESCAPA; ANSAH, 2018). Nessa etapa são elaborados mapas de estrutura causal baseada na hipótese inicial, variáveis chaves, modelos de referência e outros dados disponíveis. O objetivo é definir as variáveis incorporadas no diagrama por meio da investigação se elas têm uma relação pré-estabelecida e demonstrada. Essas relações podem ser dadas por conceitos teóricos ou experiência de atores envolvidos no sistema (ESPINOZA *et al.*, 2017).

Algumas ferramentas citadas por Sterman (2000) que auxiliam no estabelecimento e entendimento dessas relações são os diagramas de limites do modelo, diagramas de



subsistema, diagramas causais, diagramas de estoque e fluxo e diagramas de políticas estruturais. A seleção fica a critério do modelador conforme a necessidade de esclarecimento do problema em questão. Di Nola, Escapa e Ansa (2018) apontam que os diagramas causais, ou de causa e efeito, e os diagramas de estoque e fluxo são as principais ferramentas do modelo dinâmico.

Na terceira etapa, o intuito é formular um modelo de simulação. Isso significa mudar de um modelo conceitual para um modelo formal com equações, parâmetros e condições iniciais (STERMAN, 2000). Em geral, essa etapa de estabelecimento do modelo é realizada com os *softwares* de simulação computacional Stella (ESPINOZA *et al.*, 2017; GALARZA *et al.*, 2015; HÉNAULT-ETHIER; MARTIN; HOUSSET, 2017; KOLLIKATHARA; FENG; YU, 2010; SUFIAN; BALA, 2007), Vensim (BAHIA *et al.*, 2018; DI NOLA; ESCAPA; ANSAH, 2018; DING *et al.*, 2018; GHISOLFI *et al.*, 2017; JIA *et al.*, 2017; SIMONETTO *et al.*, 2014; SUKHOLTHAMAN; SHARP, 2016; TAN *et al.*, 2018; YAO *et al.*, 2018; YUAN; WANG, 2014) ou ainda o *iThink* (YUAN *et al.*, 2012).

A etapa de teste do modelo começa assim que a primeira equação é escrita. Parte do teste é comparar o comportamento simulado do modelo com o comportamento real do sistema. Sterman (2000) enfatiza que os modelos não podem ser validados, pois são representações limitadas e simplificadas do mundo real. Entretanto, testes de confiabilidade podem ser aplicados para minimizar erros e melhorar o modelo (MORECROFT, 2015).

Dentre os testes de confiabilidade existentes, um dos mais úteis é garantir a consistência dimensional entre as unidades de medida nas equações do modelo (MORECROFT, 2015). Sterman (2000) também aponta que o teste de consistência dimensional é o mais básico de todos, é deve ser o primeiro a ser feito. Outros testes aplicados em diversos estudos são o de condições extremas, erro de integração e a análise de sensibilidade (DING *et al.*, 2018; GHISOLFI *et al.*, 2017; JIA *et al.*, 2017; PINHA; SAGAWA, 2020; YUAN *et al.*, 2012; YUAN; WANG, 2014). Espinoza *et al.* (2017) apontam que, paralelamente, também pode ser realizada uma verificação informal com especialistas como forma de avaliar a qualidade do modelo.

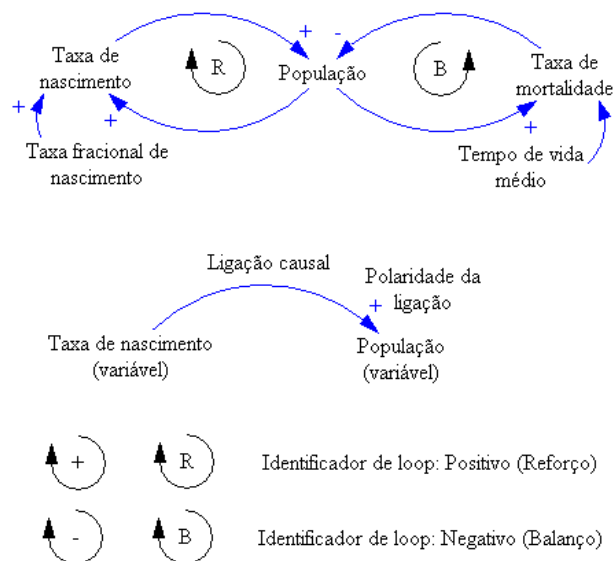
Por fim, faz-se a avaliação de diversos cenários para proposição de políticas. O *design* de políticas inclui a criação de estratégias, estruturas e regras de decisão totalmente novas que podem resultar em mudanças nos ciclos de *feedback* dominantes,

redesenho da estrutura de estoque e fluxo ou eliminação de atrasos. Ressalta-se que, como os sistemas reais são altamente não-lineares, as políticas geralmente interferem umas nas outras, o que torna necessária uma nova análise de robustez e sensibilidade (STERMAN, 2000).

### 3.2.1 Modelos causais

Os modelos causais são diagramas que servem para explicitar qualitativamente as relações de causa e efeito que ocorrem dentro de um sistema complexo consistindo em variáveis conectadas por setas que representam a influência causal entre elas. Tais modelos são importantes na identificação e representação da estrutura dos ciclos de realimentação (ou *feedback loops*) mais importantes (MORECROFT, 2015; STERMAN, 2000). A Figura 5 apresenta as simbologias utilizadas na construção do diagrama causal.

Figura 5 - Exemplo de diagrama causal para população.



Fonte: Adaptado de Sterman (2000)

Na Figura 5 é possível observar que a taxa de nascimento é determinada pela população e pela taxa fracional de nascimento, e, analogamente, a taxa de morte é influenciada pelo tempo de vida médio e a população. Cada seta é acompanhada por uma polaridade positiva ou negativa, que indica como a variável dependente muda quando a variável independente muda, e cada ciclo acompanha um identificador que mostra a influência do comportamento das variáveis no sistema como um todo.

Uma ligação positiva (+) significa que se a causa aumenta, o efeito cresce acima do que teria sido se a causa não aumentasse. Por outro lado, uma ligação negativa (-) significa que se a causa cresce, o efeito diminui abaixo do que teria sido caso a causa não aumentasse (STERMAN, 2000). Pode-se dizer que ligações positivas representam relações diretamente proporcionais, ao passo que as ligações negativas denotam relações inversamente proporcionais (MORECROFT, 2015). Sterman (2000) ressalta que as polaridades das ligações descrevem a estrutura do sistema, e não o comportamento das variáveis em si. Isso significa que o símbolo positivo ou negativo indica o que aconteceria se houvesse uma mudança, mas não que ela necessariamente vai acontecer.

Os *feedbacks loops* são vistos como o elemento estrutural básico dos sistemas, pois é o contexto no qual cada decisão é tomada. Cada decisão é tomada com base na condição existente do sistema, e também influencia essa condição (FORRESTER, 1968). Os ciclos importantes são destacados por um identificador de *loop* que circula na mesma direção do ciclo e mostra se ele é positivo (de reforço, identificado pela letra "R") ou negativo (de balanço, identificado pela letra "B") (MORECROFT, 2015; STERMAN, 2000).

Um *feedback loop* positivo indica que a ação aumenta o estado do sistema para produzir ainda mais ação. Isso significa que o ciclo amplifica a mudança, pois um aumento ou diminuição em uma variável leva a um aumento (ou diminuição) adicional em si mesmo (MORECROFT, 2015). O ciclo positivo produz um afastamento exponencial de alguma condição de referência ou neutra, geralmente a de atividade zero (FORRESTER, 1968).

Por outro lado, o ciclo de *feedback* negativo leva a um comportamento de busca de objetivo (ou *goal seeking*). Isso significa que uma partida do ponto de referência produz uma ação que força o sistema para a posição de equilíbrio. O efeito do *feedback* do loop é, portanto, neutralizar o sistema, o que implica que o aumento em uma variável leva a uma diminuição em si (FORRESTER, 1968; MORECROFT, 2015).

Outra estrutura que influencia no sistema e pode ser representado no diagrama de causa e efeito são os atrasos, ou *delays*. Os *delays* são retardos que fazem com que uma ação produza efeitos não imediatos, mas diferentes no tempo e no espaço (FORRESTER, 1968; MORECROFT, 2015). Essas estruturas são críticas e

responsáveis por grande parte dos sistemas complexos, pois geram comportamentos inesperados como oscilações e amplificações (STERMAN, 2000).

Embora os diagramas de causa e efeito sejam muito eficazes para identificar os *feedbacks* importantes, eles não são suficientes por si só como base para um modelo e para simulação (MORECROFT, 2015; STERMAN, 2000). É necessário convertê-los em um modelo dinâmico de simulação, que inclui acumulação de estoques, relações causais, fluxos de informação e equações algébricas, que serão apresentadas no tópico subsequente.

### **3.2.2 Modelos de estoque e fluxo**

Quando se deseja representar quantitativamente as relações entre as variáveis, os modelos de estoque e fluxo são mais adequados (AMARAL, 2012). Esses modelos, assim como os modelos causais, são estruturados em forma de diagrama, mas as relações são expressas através de equações. Sterman (2000) destaca que os diagramas de estoque e fluxo, juntamente com os ciclos, são conceitos centrais da teoria da dinâmica.

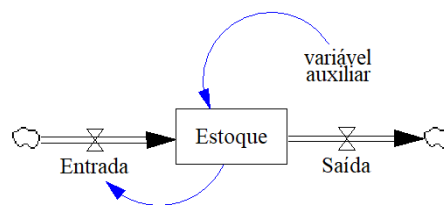
Para Forrester (1968), a estrutura da dinâmica industrial reconhece apenas duas classes de variáveis fundamentais do sistema como sendo necessárias e suficientes: as variáveis de nível (estoques) e as variáveis de taxa (fluxo). Para o autor, as demais variáveis podem ser incorporadas às equações de estoque e fluxo. Entretanto, Sterman (2000) afirma que para dar mais clareza ao diagrama, é comum utilizar variáveis auxiliares, que podem ser funções dos estoques, constantes ou entradas exógenas. Embora seja possível eliminá-las e reduzir o modelo a um conjunto de equações que consiste apenas em estoques e fluxos, o uso dessas variáveis é importante na modelagem em si por questões de compreensão.

Os fluxos representam o transporte de recursos no sistema, controlados por equações que incluem as variáveis de taxa. As taxas alteram os valores dos estoques, e suas equações são expressões algébricas sem referência ao tempo (FORRESTER, 1968). No diagrama, os fluxos de entrada são representados por um tubo apontando para o estoque (adicionando), ao passo que para os fluxos de saída, o tubo é apontado do estoque para fora (subtraindo). As válvulas no tubo controlam os fluxos (STERMAN, 2000).

Os estoques consistem em acumulações de algum recurso e são dependentes dos fluxos de entrada e saída (STERMAN, 2000). As equações de estoque são integrações que acumulam os efeitos das taxas, descrevem a condição ou estado do sistema e geram informação na qual as decisões são baseadas (FORRESTER, 1968). Nos diagramas, os estoques são representados por retângulos. Conforme apontado por Morecroft (2015), essa estrutura é muito importante na dinâmica de sistemas, pois pode ser considerados um tipo de memória, armazenando os resultados de ações passadas.

Sterman (2000) cita outra estrutura que compõe o diagrama de estoque e fluxo: as fontes externas e os sumidouros, ambos representados por uma nuvem. Quando o fluxo sai da nuvem representa uma fonte externa, cujo estoque que o originou está fora da fronteira dos limites modelo em estudo. Quando o fluxo vai na direção da nuvem representa um sumidouro, e estoques onde os fluxos drenam estão fora dos limites do sistema. A estrutura de todo estoque e fluxo é composta desses elementos, cujo exemplo é apresentado na Figura 6:

Figura 6 - Notação do diagrama de estoque e fluxo.



Fonte: Adaptado de Sterman (2000)

As convenções do diagrama de estoque fluxo mostradas na Figura 6 foram originadas por Forrester (1961), baseando-as no conceito hidráulico do fluxo de água que entra e que sai dos reservatórios. Dessa forma, é útil comparar estoques com banheiras de água. Assim como a quantidade de água na banheira em qualquer tempo é a acumulação de água que entrou menos a água que saiu, da mesma forma acontece com qualquer material no estoque. Os fluxos, em geral, serão funções do estoque e de outras variáveis de estado e parâmetros. O estoque acumula ou integra seus fluxos, e o fluxo líquido no estoque é igual a taxa de mudança dele. Assim, a acumulação no estoque corresponde a uma equação integral, conforme descrito na Equação 1:

$$\text{Estoque}(t) = \int_{t_0}^t [\text{Entrada} - \text{Saída}]dt + \text{Estoque}(t_0) \quad \text{Eq. 1}$$

Na Eq.1 *Entrada* representa todos os fluxos que entram entre o tempo  $t_0$  e o tempo  $t$ , e *Saída* representa todos os fluxos que saem no mesmo intervalo de tempo. Dessa forma, o estoque em um tempo  $t_1$  será a soma do estoque no tempo  $t_0$  e do fluxo de entrada no tempo  $t_1$ , diminuindo o fluxo de saída no tempo  $t_1$ .

Em uma situação em que é conhecido o comportamento do fluxo que entra no estoque de forma gráfica ao longo do tempo, é possível obter o comportamento do estoque mediante uma integração gráfica. O método de integração de Euler é o mais simples e comumente utilizado, pois assume que o fluxo permanece constante através de um intervalo de tempo  $dt$ . Entretanto, o método de Runge-Kutta encontra uma melhor aproximação da taxa média entre  $t$  e  $t+dt$ , o que confere maior acurácia comparado ao método de Euler, embora demande maior capacidade computacional (STERMAN, 2000).

Na modelagem em si, esse intervalo  $dt$  é chamado de *time step*, e quanto menor o valor selecionado, maior é a acurácia da simulação (STERMAN, 2000). No *software* Vensim PLE®, uma vez selecionado a unidade de tempo que será feita a simulação (ano, mês, semana, dia, hora, minutos ou segundos), seleciona-se o *time step*, que pode ser 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64 ou 1/128.

### 3.2.3 Testes de confiabilidade

Devido às diversas simplificações feitas na modelagem de dinâmica de sistemas, não é possível validar os modelos, uma vez que são representações limitadas da realidade (STERMAN, 2000). Entretanto, alguns testes podem ser aplicados de forma a aferir a confiabilidade do modelo como os propostos por Forrester e Senge (1980), e posteriormente adaptados por Sterman (2000). O Quadro 3 apresenta os doze testes propostos e seus respectivos objetivos.

Quadro 3 – Testes de confiabilidade.

Teste	Objetivo principal
Adequação de limites	Identificar se o comportamento do modelo e se as recomendações mudam significativamente quando os limites são mudados
Avaliação de estrutura	Identificar se a estrutura do modelo é consistente com o conhecimento descritivo do sistema e se está de acordo com as leis básicas da física;
Consistência dimensional	Identificar se cada equação é consistente dimensionalmente sem uso de parâmetros que não tenham real significado no mundo.
Avaliação de parâmetros	Identificar se os valores dos parâmetros são consistentes com a descrição e o conhecimento numérico do sistema e se têm correspondência no mundo real.
Condições extremas	Identificar se as equações ainda fazem sentido e se o modelo responde de forma plausível sob condições extremas.
Erro de integração	Identificar se os resultados são sensíveis à escolha do <i>time step</i> ou do método de integração.
Reprodução de comportamento	Identificar se o modelo reproduz o comportamento de interesse no sistema (de forma quantitativa e qualitativa)
Anomalia de comportamento	Identificar a ocorrência de comportamento anômalo quando as premissas do modelo são modificadas ou deletadas.
Membro de família	Identificar se o modelo gera o comportamento observado em outras instâncias do mesmo modelo
Comportamento inesperado	Identificar se o modelo gera um comportamento não previsto anteriormente
Análise de sensibilidade	Identificar se os valores numéricos, o comportamento e as implicações das políticas mudam significativamente quando as premissas de parâmetros, limites, e agregação variam ao longo de uma faixa plausível de incerteza.
Melhoria de sistema	Identificar se o processo de modelagem ajudou a mudar o sistema para melhor.

Fonte: Adaptado de Sterman (2000)

Mais tarde, Zagonel e Cobert (2006) propuseram um agrupamento dos testes do Quadro 4 em cinco categorias de acordo com o objetivo da modelagem, qual seja: (1) mapeamento do sistema; (2) modelagem quantitativa; (3) teste de hipóteses; (4) análise de incertezas; e (5) previsão/otimização. Os autores separaram alguns dos testes propostos por Sterman em componentes para acomodá-los em cada categoria, resultando em 24 testes conforme apresentado no **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

Quadro 4 – Agrupamento de testes de confiabilidade em categorias de modelagem.

<b>Categoria</b>	<b>Descrição</b>	<b>Testes sugeridos</b>	<b>Nível</b>
Mapeamento do sistema	Qualitativo e Indutivo. Envolve desenhar diagramas de influência, diagramas de causa e efeito, diagramas de estoque e fluxo ou qualquer forma de mapeamento ou organização dos elementos que formam um sistema. Tenta obter as principais inter-relações causais, vínculos e interdependências interorganizacionais	Validade visual (avaliação da estrutura por dedução)	I
		Validade das regras de decisão (foco estrutural)	A
Modelagem quantitativa	Quantitativo e descritivo. Envolve formulação e simulação, sendo amplamente focado no sistema. Enfatiza a dinâmica de estoque e fluxo e os efeitos de atrasos. Requer especificação das regras de decisão que regem as inter-relações, tendo foco em representar e rastrear consequências. Às vezes rica em complexidade de detalhes	Conservação física	B
		Consistência dimensional	B
		Erro de integração	B
		Teste de condições extremas	I
		Avaliação de parâmetros	I
		Reprodução de comportamentos Básicos	I
		Teste endógeno de reprodução de comportamentos	A
		Teste de adequação de limites (modos de comportamento)	A
Teste de hipóteses	Quantitativo e dedutivo. Requer declarar uma hipótese que explique o comportamento dinâmico da estrutura causal do sistema, sendo amplamente focado no problema. Enfatiza dinâmicas ricas em <i>feedback</i> , aprendizado e exploração do efeito de mudanças na estrutura do sistema. Focado na compreensão.	Teste qualitativo de comportamento-problema	B
		Adequação de limites (problema de endogeneidade)	B
		Validade das regras de decisão (foco político)	I
		Avaliação de comportamentos Inesperados	I
		Análise de sensibilidade do Comportamento	I
		Teste de condições extremas (foco no comportamento)	I
		Testes de anomalia de comportamento	A
		Membro da família (generabilidade)	A
Análise de incertezas	Quantitativo e exploratório. Requer examinar a sensibilidade comportamental e quantitativa. Enfatiza o teste da robustez dos resultados produzidos pela modelagem quantitativa e pelo teste de hipóteses. É focado na incerteza e risco e na identificação de pontos de alavancagem para intervir no sistema	Análise de sensibilidade quantitativa	B
		Análise de sensibilidade política	I
		Adequação de limites (implicações políticas)	A
Previsão ou otimização	Quantitativo e preditivo. Dentro da faixa de parâmetros especificados no modelo, tenta lançar luz sobre os padrões comportamentais futuros e os valores quantitativos transversais das variáveis de interesse, ou sugerir soluções ótimas ou robustas que maximizem ou "satisfaçam" funções utilitárias específicas	Correspondência de comportamento	B
		Previsão de comportamento	I
		Previsão de comportamento alterado	A

Fonte: Adaptado de Zagonel e Cobert (2006). Legenda: B: Básico; I: Intermediário; A: Avançado



## 4. METODOLOGIA

### 4.1 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA

Essa pesquisa se enquadra na linha de pesquisa desenvolvida pelo Laboratório de Gestão do Saneamento Ambiental (Lagesa), que trata do Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos. O Lagesa realiza parcerias e projetos de extensão com diversas organizações, tanto privadas como do poder público, o que possibilitou o desenvolvimento de diversas pesquisas nos últimos anos que proporcionaram estrutura de dados e referências para que novas pesquisas sejam embasadas e contextualizadas, como é o caso da presente pesquisa.

### 4.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O procedimento experimental adotado está sumarizado no Quadro 5 que mostra a matriz de desenvolvimento da pesquisa para atingir o objetivo geral, sendo que as etapas serão detalhadas nos tópicos que seguem.

Quadro 5 - Matriz de pesquisa.

<b>OBJETIVO GERAL</b>	
Avaliar o efeito da ampliação de cobertura e das estratégias de coleta seletiva, e de políticas públicas de educação ambiental e de desenvolvimento de parcerias na eficiência econômica de organizações de catadores de materiais recicláveis	
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>MÉTODO/FERRAMENTA</b>
Elaborar um diagrama de causa e efeito identificando as relações entre as variáveis e as influências sobre a sustentabilidade econômica das organizações de catadores de materiais recicláveis	Pesquisa documental Revisão bibliográfica Modelagem com <i>software</i> Vensim PLE®
Elaborar diagrama de estoque e fluxo e realizar a formulação matemática do modelo	Modelagem com <i>software</i> Vensim PLE®
Aferir a confiabilidade do modelo proposto	Avaliação de estrutura Análise de consistência dimensional Teste de erro de integração Teste de condições extremas Análise de sensibilidade
Definir e analisar cenários dinâmicos com estratégias de desenvolvimento financeiro das organizações de catadores de materiais recicláveis	Pesquisa documental Revisão bibliográfica Modelagem com <i>software</i> Vensim PLE®

Fonte: Autoria própria

A última etapa de definição e análise de cenários foi feita utilizando como estudo de caso o município da Serra/ES, cuja população no ano de 2019 era estimada em 517.510 habitantes (BRASIL; CASTIGLIONI; FELIPE, 2018). A motivação para a

escolha do município foi essencialmente pela qualidade e organização dos dados disponíveis no município acerca da coleta seletiva.

O município possui três OCMRR em operação atualmente: Abrasol, Amarvila e Recuperlixo. Na Tabela 3 são apresentados os dados referentes à área de cada galpão e a quantidade de associados de cada organização.

Tabela 3 -Dados referentes às OCMRR da Serra/ES.

OCMR	Área (m <sup>2</sup> )	Quantidade de associados
Abrasol	1.000	13
Amarvila	1.246	5
Recuperlixo	1.450	18

Fonte: Aderes (2017)

#### 4.2.1 Etapa I - Elaboração do diagrama de causa e efeito

A primeira etapa teve como objetivo identificar como a renda individual dos catadores é impactada pela estratégia de coleta seletiva e pelas políticas de ampliação de cobertura de coleta seletiva, de educação ambiental e de incentivo ao estabelecimento de parcerias com geradores particulares. Assim, inicialmente foram identificadas as variáveis relacionadas ao processo de triagem e comercialização de resíduos por parte dos catadores, sendo que esse estágio da pesquisa foi conduzido mediante pesquisa bibliográfica e documental.

A elaboração do diagrama de causa e efeito depende da identificação das relações que existem entre as variáveis estudadas. Assim, foi realizada uma avaliação qualitativa da influência das variáveis umas nas outras, bem como a identificação de seus ciclos de balanço e de reforço. Essas relações também foram obtidas por meio de pesquisa documental e pesquisa bibliográfica nos diversos artigos já citados na revisão bibliográfica.

A estruturação do diagrama foi realizada por meio de linguagem de programação computacional usando *software* Vensim PLE®, pois além de ser utilizado por diversos autores é uma versão gratuita da empresa Ventana Systems e destinado para uso educacional.

#### **4.2.2 Etapa II - Elaboração do diagrama de estoque e fluxo e formulação matemática do modelo**

Uma vez estruturadas as operações do sistema com o desenvolvimento dos diagramas de ciclos causais, a segunda etapa consistiu em traduzir essas relações em formulações matemáticas utilizando os diagramas de estoque e fluxo. Essa etapa tem por objetivo avaliar de forma quantitativa o comportamento das variáveis ao longo do tempo. Foram definidas as variáveis e constantes, além da especificação de suas unidades e de todas as equações do modelo para variáveis de estoque, fluxo e auxiliares. Também foi utilizado o *software* Vensim PLE® para realização desta etapa.

A formulação de equações e a obtenção dos dados quantitativos necessários para construção do modelo foram baseadas em trabalhos científicos e documentos obtidos mediante revisão bibliográfica e pesquisa documental. Especialmente, foram utilizados dados do PERS-ES (ESPÍRITO SANTO, 2019) e de um estudo conduzido pelo Instituto Sindimicro (ADERES, 2017), pois abrangeram o município da Serra.

#### **4.2.3 Etapa III - Testes de confiabilidade**

Na Etapa III foi aferida a confiabilidade do modelo proposto. Conforme categorias definidas por Zagonel e Cobert (2006) e apresentadas na Seção 3.2.3, essa pesquisa se enquadra na categoria de modelagem quantitativa, pois está focada em entender balanços de massa, parâmetros, gargalos e pontos de decisão, além de representar sistemas quantificáveis mediante formulação indutiva e descritiva e simulação sendo recomendados 8 testes de confiabilidade (ZAGONEL; COBERT, 2006).

Seguindo a recomendação dos autores, os testes aplicados ao modelo foram: Conservação física (Avaliação de estrutura); Consistência dimensional; Erro de integração; Teste de condições extremas; Avaliação de parâmetros; Reprodução de comportamentos Básicos; Teste endógeno de reprodução de comportamentos; Teste de adequação de limites (modos de comportamento).

Para os testes de Reprodução de comportamentos, Avaliação de parâmetros e Teste endógeno de reprodução de comportamentos é necessário ter uma série histórica de dados que não está disponível, portanto, não foi possível realizá-los. Todavia, a ausência dessas análises não prejudica a avaliação do modelo, pois os demais testes aplicados também são utilizados em diversos estudos consultados e conferem a confiabilidade necessária ao modelo (ARDI; LEISTEN, 2016; DI NOLA; ESCAPA;

ANSAH, 2018; DING et al., 2018; GHISOLFI et al., 2017; JIA et al., 2017; PINHA; SAGAWA, 2020; SUKHOLTHAMAN; SHARP, 2016; YUAN et al., 2012; YUAN; WANG, 2014). Além disso, adicionalmente foi realizado o teste de análise de sensibilidade.

#### 4.2.3.1 Avaliação de estrutura

A verificação de conservação física, ou avaliação de estrutura, tem por objetivo verificar se existem violações de qualquer lei física, principalmente de matéria e energia, nas estruturas de estoque e fluxo do sistema. Assim, estoques como população e inventários não podem ter valores negativos e, portanto, os fluxos de saída devem aproximar-se de zero quanto o estoque se aproxima de zero (STERMAN, 2000).

Dessa forma, durante as simulações foram verificadas todas as variáveis do tipo estoque para identificar se alcançariam valores negativos em algum momento do horizonte de tempo simulado e se todo o estoque seguia para algum fluxo.

#### 4.2.3.2 Consistência dimensional

O teste de consistência dimensional é o mais básico dentre os testes, tendo por objetivo verificar se as unidades das equações e variáveis estão consistentes. Alguns *softwares* fazem essa checagem de forma automática, verificando se as unidades das variáveis das equações são consistentes. Ressalta-se que não é apropriado utilizar variáveis arbitrárias que não tenham real significado apenas para corrigir a consistência da equação (STERMAN, 2000).

Foi realizada a análise de consistência dimensional de forma automática no *software* Vensim PLE® mediante o comando “Check Units”. Sempre que o modelo identificava alguma inconsistência, as unidades foram corrigidas.

#### 4.2.3.3 Erro de integração

Sterman (2000) aponta que o teste de erro de integração deve ser a primeira verificação do modelo. Segundo o autor, os resultados do modelo não devem ser sensíveis à escolha do método de integração e do *time step*. Para tanto, recomenda-se que seja feita a simulação com mais de um método de integração e com tantos

*time step* forem necessários até verificar que os resultados não apresentam variações significativas.

Para o modelo proposto, foram feitas simulações utilizando a técnica de integração de Euler e o método Runge-Kutta, de forma a verificar se existiam diferenças significativas no resultado. Paralelamente, a análise do *time step* também foi conduzida fazendo a simulação utilizando os valores 1,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$  e  $\frac{1}{8}$ , de forma que foi verificado em qual deles a diferença não era significativa com relação à simulação anterior.

#### 4.2.3.4 Análise de condições extremas

A análise de condições extremas verifica a robustez da simulação. Isso significa que o modelo terá um comportamento de forma realista mesmo quando as variáveis assumem valores extremos, de forma separada ou de forma simultânea. Um inventário, por exemplo, não pode assumir valores abaixo de zero, não importa a demanda ao qual está submetido. Dessa forma, se identificado um comportamento improvável, deve-se avaliar novamente a equação e corrigi-la (STERMAN, 2000).

As variáveis submetidas a valores extremos para esse teste, bem como o comportamento esperado para verificação, estão apresentadas no Quadro 6.

Quadro 6 – Variáveis selecionadas para o teste de condições extremas.

Variáveis	Valor extremo	Comportamento esperado
TAXA DE GERAÇÃO PER CAPITA	0	Não haverá geração de RSU, bem como a triagem dos resíduos oriundos de coleta seletiva será nulo
Produtividade PEV, PP, misto e GG	0	A triagem dos resíduos oriundos da coleta seletiva e dos geradores particulares será nula, assim como a receita e a renda por catador
ÁREA POR CATADOR	200	Aumento lento ou inexistente da quantidade de catadores
ÁREA POR TONELADA	3	Aumento da capacidade de triagem
CUSTO UNITÁRIO POR ÁREA	7.000	Aumento lento ou inexistente da área de triagem

Fonte: Autoria própria. Legenda: PP: Porta a porta; GG: Grande Gerador.

#### 4.2.3.5 Adequação de limites

O último teste realizado teve o objetivo de avaliar se os limites definidos para o modelo estão adequados ao propósito da modelagem. Essa verificação pode ser feita utilizando gráficos de limites do modelo, diagramas causais e de estoque fluxo, e

inspeção direta das equações do modelo, ou ainda utilizar opiniões de especialistas e revisão de literatura (STERMAN, 2000).

Assim, foi feita inspeção direta das equações do diagrama de estoque fluxo para verificar se as variáveis exógenas do modelo, ou seja, as constantes, deveriam ser incluídas como parte integrante do modelo.

#### 4.2.3.6 Análise de sensibilidade

O teste de sensibilidade é feito alterando as suposições sobre o valor de uma ou mais variáveis constantes no modelo e examinando as saídas resultantes (BASTOS E WILKINSON, 2010). Esse processo pode ser feito de forma manual, onde as simulações são feitas repetidamente para obter uma dispersão dos valores de saída. Entretanto, o software Vensim utiliza o método de Monte Carlo, que torna este procedimento automático e permite diversas de simulações com constantes amostradas em uma faixa de valores (STERMAN, 2000; VENTANA SYSTEMS, 2020).

A condução do teste de sensibilidade foi feita utilizando o botão de comando da análise no software Vensim. Assim, foram selecionadas as variáveis relacionadas ao preço dos materiais recicláveis, pois são constantes que sofrem grandes flutuações de uma região para outra. O número de simulações foi mantido em 200, valor padrão do software, bem como o número de ruído inicial de 1234. Considerou-se a distribuição normal aleatória para os dados de entrada no teste, pois assumiu-se que valores próximos à média têm maior probabilidade de ocorrer do que aqueles distantes da média.

Os valores máximo, mínimo, média e desvio padrão para distribuição normal foram calculados utilizando como base os preços médios de algumas cidades no Brasil (Tabela 2, Seção 3.1.2) e nos preços médios dos materiais vendidos pelas OCMRR da Serra (Tabela 5, Seção 5.2.1). A Tabela 4 apresenta os valores obtidos. A forma de alteração das variáveis utilizada foi a do hipercubo latino, por garantir que toda a gama de cada parâmetro variado seja explorada exaustivamente no número de simulações especificado, além de permitir testes mais rápidos em modelos grandes (VENTANA SYSTEMS, 2020).

Tabela 4 -Valores mínimo, máximo, médio e desvio padrão das variáveis de preço por tonelada de recicláveis para análise de sensibilidade.

Variável	Min	Máx	Méd	DP
PREÇO PAPEL	R\$150,00	R\$1.000,00	R\$413,00	R\$220,00
PREÇO PLÁSTICO	R\$350,00	R\$3.000,00	R\$1.263,00	R\$73,00

Fonte: Autoria própria

#### 4.2.4 Etapa IV – Descrição e análise de cenários

Por fim, na última etapa foi realizada a simulação do modelo com avaliação de diversos cenários no *software* Vensim PLE® com estratégias de desenvolvimento financeiro das organizações de catadores de materiais recicláveis. A escala de tempo utilizada foi anual, com horizonte de tempo de 20 anos. Esta escolha foi feita com base no tempo de implementação de políticas públicas proposto pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares) e porque muitas estatísticas sobre gerenciamento de resíduos estão disponíveis anualmente. Esse tempo foi considerado para tomadas de decisão a longo prazo com análise de diferentes cenários.

Os cenários foram propostos com a definição de diferentes realidades para a aplicação de políticas públicas de educação ambiental, que favorecem a diminuição de rejeitos, políticas de incentivo às parcerias, que favorecem a destinação de resíduos por parte de grandes geradores, política de ampliação da cobertura de coleta seletiva, e a escolha de diferentes estratégias de coleta seletiva que priorizem determinadas modalidades. Assim, foi possível avaliar o impacto dessas variáveis na lucratividade a longo prazo para os catadores formalizados em organizações.

As variáveis relacionadas às políticas públicas não são quantitativas, e por isso são atribuídos valores referentes à implementação oficial e fiscalização dos seus objetivos e instrumentos legais. Além disso, essas variáveis possuem comportamento com atrasos no crescimento uma vez que existe um tempo para a conformidade antes da sua implementação ou execução efetiva, e isso implica que as ações são implementadas gradualmente até atingir seu objetivo.

O percentual de rejeitos dentro de cada estratégia de coleta seletiva está diretamente relacionado à implementação das políticas de educação ambiental, bem como o estabelecimento de parcerias se dá mediante políticas de incentivos e regulamentações. Por esse motivo, a avaliação dessas variáveis foi realizada mediante sua inserção no modelo através da curva de aprendizagem em formato S,

conforme metodologia utilizada por Ghisolfi *et al.* (2017) e Fontoura, Chaves e Ribeiro (2019).

Adicionalmente, foram incluídos cenários em que existisse investimento próprio das organizações de catadores em infraestrutura. Isso se fez necessário pois a implementação da política de ampliação da coleta seletiva culminou em um aumento significativo da quantidade de resíduos enviados para a triagem, o que levou à necessidade de avaliação do efeito da origem dos recursos financeiros para a ampliação da capacidade de triagem. A descrição dos cenários será feita na seção de resultados, pois para melhor compreensão é necessário antes visualizar o diagrama de estoque e fluxo.

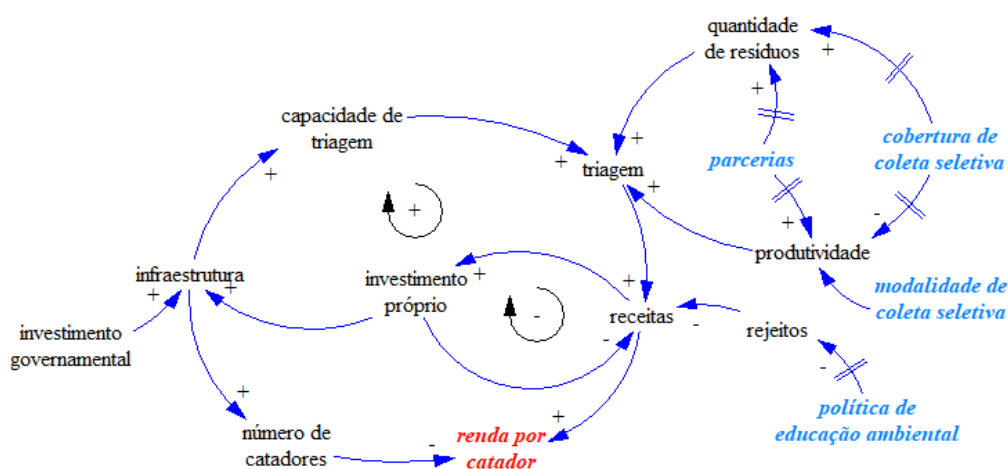


## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 ETAPA I - ELABORAÇÃO DO DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO

Um modelo de simulação em dinâmica de sistemas foi estruturado para a avaliação das políticas públicas sobre a receita recebida pelos catadores com a triagem e venda de resíduos recicláveis, selecionando-se as variáveis de interesse, de acordo com o objetivo apresentado. O diagrama de causa e efeito é apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Diagrama de causa e efeito do modelo sobre políticas públicas no resultado financeiro dos catadores formalizados em OCMRR.



Fonte: Autoria própria

Na Figura 7, as variáveis de cor azul são aquelas cuja influência será avaliada na variável de interesse “renda por catador”, de vermelho. No diagrama, observa-se que quantidade de resíduos enviados para a triagem é influenciada de forma positiva pela ampliação da cobertura de coleta seletiva e pela ampliação de parcerias com grandes geradores (CONKE; NASCIMENTO, 2018; DUTRA; YAMANE; SIMAN, 2018; PARREIRA, 2010; STRUK, 2017; RADA *et al.*, 2018; XUE *et al.*, 2019). Ou seja, quanto mais resíduos são coletados seletivamente e quanto mais geradores particulares de resíduos (não domiciliares) enviam seus resíduos aos catadores, maior será a quantidade de resíduos que segue para triagem, incrementando os rendimentos das OCMRR beneficiadas.

É fácil identificar também que quanto maior a quantidade de resíduos que chega para as OCMRR, maior será a triagem, uma vez que esse processo se dá em função do acesso dos catadores aos resíduos. Ou seja, quanto maior acesso aos resíduos

recicláveis, maior será a quantidade de resíduos triados (DAMÁSIO, 2010; DUTRA; YAMANE; SIMAN, 2018; FREITAS; FONSECA, 2012; GHISOLFI *et al.*, 2017).

A variável produtividade também influencia na triagem de forma diretamente proporcional, uma vez que essa variável é definida como a quantidade de resíduos triados por cada catador por unidade de tempo (IPEA, 2010). Essa variável sofre influência da modalidade de coleta seletiva, pois pode variar de acordo com a qualidade do material coletado (BESEN *et al.*, 2017) que por sua vez varia conforme a modalidade de coleta seletiva (BERTANZA; ZILIANI; MENONI, 2018; STRUK, 2017).

A produtividade global da triagem é negativamente influenciada pela cobertura de coleta e positivamente influenciada pelas parcerias, pois na triagem dos resíduos de doações os catadores apresentam menor rejeito e maior produtividade que na triagem de resíduos oriundos de coleta seletiva domiciliar (ALMEIDA; FIGUEIREDO; DANTAS, 2017; CAMPOS, 2013; MAGALHÃES, 2020; PARREIRA, 2010; PORTO, 2019).

Conforme já exposto, o resultado financeiro das OCMRR é diretamente influenciado pela triagem, pois é o processo de agregação de valor aos resíduos para posterior comercialização (FIDELIS *et al.*, 2020; FREITAS; FONSECA, 2012; GALL *et al.*, 2020; GUTBERLET, 2015; PARREIRA, 2010; SIMAN *et al.*, 2020; ZON *et al.*, 2020). Entretanto, a presença de rejeitos diminui a lucratividade da atividade, pois estes serão triados, tomando tempo e esforço dos catadores, porém não serão comercializados finalmente (CONKE, 2018; RADA *et al.*, 2018; XUE *et al.*, 2019).

A quantidade de rejeitos nos resíduos enviados para a coleta seletiva está relacionada ao esforço da população em fazer a separação correta dos resíduos (MANNARINO; FERREIRA; GANDOLLA, 2016; RADA *et al.*, 2018). Dessa forma, a implementação de políticas públicas de educação ambiental levam a uma maior disposição dos moradores em segregar os resíduos antes de entregá-los ao serviço de coleta, diminuindo possivelmente também a quantidade de rejeitos (XU; LING; WU, 2018; MENG; WEN; QIAN, 2018; XU *et al.*, 2017; SUKHOLTHAMAN; SHARP, 2016; ROUSTA *et al.*, 2015).

O lucro nas associações, por sua vez, influencia de forma diretamente proporcional os investimentos próprios em infraestrutura, isto é, quanto menor o lucro menos capital

de giro esses agentes dispõem para investir em infraestrutura (DUTRA; YAMANE; SIMAN, 2018). Entretanto, esse investimento próprio provém do lucro obtido com a comercialização, ou seja, quanto mais recursos próprios a associação investe, menor será o lucro líquido. Aqui é observado um ciclo de *feedback* negativo. Esse investimento em infraestrutura também pode ser subsidiado pelo governo mediante investimentos externos (NAVARRETE-HERNANDEZ; NAVARRETE-HERNANDEZ, 2018; PINHA; SAGAWA, 2020; SIMAN *et al.*, 2020).

A ausência de infraestrutura é um fator limitante para a operacionalização da triagem (GUTBERLET, 2015; TACKLA, 2016; TIRADO-SOTO; ZAMBERLAN, 2013; VELIS *et al.*, 2012). Portanto, a melhoria da infraestrutura aumenta a capacidade de triagem das organizações de catadores, que por sua vez aumenta a triagem dos resíduos. Assim, um ciclo de *feedback* positivo é fechado.

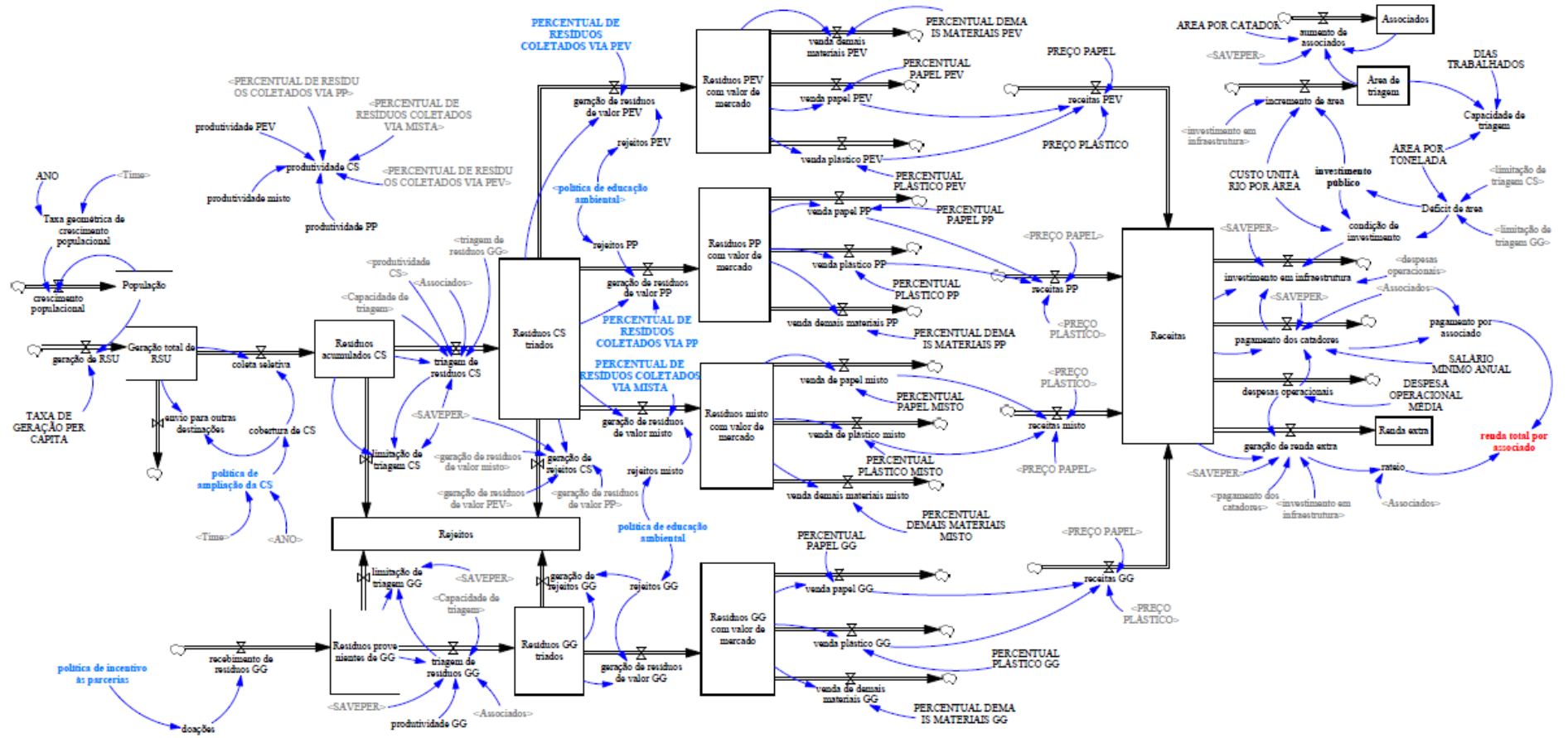
Cumpra observar que o aumento da capacidade de triagem também leva a necessidade de aumentar recursos humanos, aqui representado pelo número de catadores (DUTRA; YAMANE; SIMAN, 2018; PINHA; SAGAWA, 2020). Uma vez que o pagamento de catadores é calculado dividindo o lucro pelo número de catadores, existe uma relação diretamente proporcional entre “pagamento dos catadores” e “lucro” e inversamente proporcional entre “pagamento dos catadores” e “número de catadores”.

## 5.2 ETAPA II - ELABORAÇÃO DO DIAGRAMA DE ESTOQUE E FLUXO E FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO MODELO

Para a simulação ser realizada, torna-se necessário estruturar o modelo em diagramas de estoque e fluxo e equacionar as variáveis inter-relacionadas. A seguir, detalha-se as relações entre as variáveis do modelo, apresentando-se os diagramas de estoque e fluxo, bem como as equações que compõem sua estrutura matemática.

A Figura 8 apresenta o diagrama de estoque e fluxo proposto, onde as variáveis de cor azul são aquelas cuja influência será avaliada na variável de interesse “renda por associado”, de vermelho. Nessa seção serão explicadas apenas as equações das variáveis estoque (dentro dos retângulos), fluxo (acima das setas pretas) e auxiliares (com letras minúsculas, ligadas por setas azuis), que podem também ser consultadas no Apêndice A. As variáveis constantes (nomeadas em caixa alta), que são os parâmetros de entrada do modelo, serão apresentadas na Seção 5.2.1.

Figura 8 - Diagrama de estoque e fluxo proposto.



Fonte: Autoria própria

Os resíduos que chegam nas organizações de catadores são provenientes da coleta seletiva domiciliar municipal e dos geradores particulares. Os catadores geralmente priorizam a triagem dos resíduos oriundos de geradores particulares por apresentarem melhor qualidade, e, por isso, a explicação do diagrama iniciará pelo fluxo na parte inferior, correspondente a esses resíduos.

A variável “recebimento de resíduos GG” é igual à variável “doações”, que por sua vez é influenciada por políticas de incentivo de parcerias com geradores particulares na forma da Eq. 2, cuja formulação será especificada na Seção 5.4.1:

$$\text{doações} = 566,197 * \tanh(10 * \text{política de incentivo às parcerias} - 5,087) + 663,984 \quad \text{Eq. 2}$$

Assim, os resíduos recebidos dessa fonte são acumulados no estoque “Resíduos provenientes de GG”. A triagem desses resíduos é limitada ou pela quantidade de resíduos disponíveis, ou pela produtividade ou pela capacidade de triagem, o que for menor. Por isso, foram utilizadas conjuntamente as funções “IF THEN ELSE”, que remete à uma condição, e a função “MIN”, que seleciona o menor valor entre duas variáveis (Eq. 3). Assim, os resíduos triados seguem para o estoque “Resíduos GG triados”.

$$\text{triagem de resíduos GG} = \text{IF THEN ELSE (Resíduos provenientes de GG/SAVEPER} \leq \text{Capacidade de triagem, MIN (Resíduos provenientes de GG/SAVEPER, produtividade GG * Associados), MIN (Capacidade de triagem, produtividade GG * Associados))} \quad \text{Eq. 3}$$

Na Eq. 3 a variável SAVEPER é definida internamente pelo modelo como a unidade de tempo adotada na modelagem. Nesse caso, ela equivale à unidade ano, e sua função é corrigir a unidade da variável estoque “Resíduos provenientes de GG” para tonelada/ano de forma a corresponder com uma variável fluxo.

Assim, o outro fluxo de saída da variável estoque “Resíduos provenientes de GG” é a limitação de triagem, que é caracterizada pelos resíduos que não puderam ser triados devido à limitação na capacidade de triagem ou na produtividade (Eq. 4). Esses resíduos seguem para o estoque “Rejeito”.

$$\text{limitação de triagem GG} = (\text{Resíduos provenientes de GG/SAVEPER}) - \text{triagem de resíduos GG} \quad \text{Eq. 4}$$

Os resíduos triados possuem sua composição gravimétrica, que inclui os resíduos recicláveis que possuem valor de mercado, ou seja, que são comercializados pelos catadores, e os rejeitos. Esses fluxos são dados em função da porcentagem de rejeitos presente no material, conforme apresentados na Eq. 5 e Eq. 6.

$$\text{geração de rejeitos GG} = \text{Resíduos GG triados} * \text{rejeitos GG} \quad \text{Eq. 5}$$

$$\text{geração de resíduos de valor} = \text{Resíduos GG triados} * (1 - \text{rejeitos GG}) \quad \text{Eq. 6}$$

Entretanto, essa porcentagem de rejeitos é influenciada pela variável “política de educação ambiental” (Eq. 7), que por sua vez é implementada de forma linear (Eq. 8). Ambas as equações serão especificadas na Seção 5.4.1.

$$\text{rejeitos GG} = -0,087 * \tanh(10 * \text{política de educação ambiental} - 4,673) + 0,141 \quad \text{Eq. 7}$$

$$\text{política de educação ambiental} = \text{RAMP}(0.0263158, 2020, 2039) \quad \text{Eq. 8}$$

O estoque “Resíduos GG com valor de mercado” possui fluxos de venda de materiais. Para essa pesquisa, serão avaliadas as vendas de papel e plástico, pois no geral são os materiais que apresentam maior volume e bom preço de mercado (ANDRADE *et al.*, 2020; FIDELIS; COLMENERO, 2018; SUTHAR; RAYAL; AHADA, 2016). Assim, a Eq. 9 e Eq. 10 apresenta os fluxos de venda de papel e plástico, ao passo que a Eq. 11 apresenta o fluxo de venda dos demais materiais.

$$\text{venda papel GG} = \text{Resíduos GG com valor de mercado} * \text{PERCENTUAL PAPEL GG} \quad \text{Eq. 9}$$

$$\text{venda plástico GG} = \text{Resíduos GG com valor de mercado} * \text{PERCENTUAL PLÁSTICO GG} \quad \text{Eq. 10}$$

$$\text{venda demais materiais GG} = \text{Resíduos GG com valor de mercado} * \text{PERCENTUAL DEMAIS MATERIAIS GG} \quad \text{Eq. 11}$$

Em seguida, os fluxos de venda seguem para o bloco de comercialização, onde o fluxo de receitas provenientes dos materiais oriundos de geradores particulares é dado pela Eq. 12:

$$\text{receitas GG} = (\text{venda papel GG} * \text{PREÇO PAPEL}) + (\text{venda plástico GG} * \text{PREÇO PLÁSTICO}) \quad \text{Eq. 12}$$

Voltando ao cálculo da parte dos resíduos que provém da coleta seletiva, é necessário calcular a geração total de resíduos domiciliares. A geração RSU é determinada pela população do município multiplicada pela taxa de geração per capita de resíduos, dada em toneladas por habitante por ano. Dessa forma, obtém-se a variável fluxo que representa quantidade de resíduos em toneladas (Eq. 13).

$$\text{geração de RSU} = \text{População} * \text{TAXA DE GERAÇÃO PER CAPITA} \quad \text{Eq. 13}$$

Entretanto, a população não permanece a mesma ao longo dos anos. O crescimento populacional, no modelo em estudo, é influenciado pela taxa de crescimento populacional. Dessa forma, multiplicando a população atual pela taxa geométrica,

obtem-se o crescimento populacional a cada ano, que incrementa a variável estoque “População” (Eq. 14).

$$\begin{aligned} \text{crescimento populacional} &= \text{População} * \\ \text{Taxa geométrica de crescimento populacional} & \end{aligned} \quad \text{Eq. 14}$$

A variável “Taxa geométrica de crescimento populacional, por sua vez, muda conforme os anos. Os valores de entrada são provenientes do estudo de projeção demográfica feito na ocasião da elaboração do Plano Estadual de Resíduos Sólidos, para cada município do estado do Espírito Santo, e serão apresentados na Seção 5.2.1.

Os resíduos gerados podem ser destinados de diversas formas. Como o foco desse trabalho são os resíduos destinados às associações de catadores, o interesse é apenas na parcela de resíduos oriundos de coleta seletiva. Portanto, os resíduos que seguem para coleta seletiva dependem da cobertura de coleta seletiva (Eq. 15), que nesse caso é dado em função da massa de resíduos encaminhados para essa destinação dividido pelo total de resíduos gerados, e não em função da cobertura territorial ou populacional. Assim, os materiais que seguem para outras destinações são definidos pela porcentagem de resíduos que não são encaminhados para a coleta seletiva (Eq. 16).

$$\text{coleta seletiva} = \text{Geração total de RSU} * \text{cobertura de CS} \quad \text{Eq. 15}$$

$$\text{envio para outras destinações} = \text{Geração total de RSU} * (1 - \text{cobertura de CS}) \quad \text{Eq. 16}$$

Entretanto, a cobertura da coleta seletiva sofre influência de uma política de ampliação do serviço, onde a cada intervalo de tempo existe uma meta de alcance. Ressalta-se que, no modelo, essa variável é igual à variável “política de ampliação da CS”. Optou-se por deixar as duas variáveis para deixar claro de forma visual no modelo que existe uma influência da política de ampliação na cobertura de coleta seletiva. Dessa forma, a variável é será especificada na Seção 5.4.1.

Os resíduos que provém da coleta seletiva se acumulam na variável estoque “Resíduos acumulados”, uma vez que as associações geralmente não fazem diferenciação dessas modalidades na hora de triar. A única priorização existente é com relação aos resíduos oriundos de grandes geradores, ou geradores particulares, por apresentarem melhor qualidade. Assim, além da produtividade e capacidade de

triagem, a triagem dos resíduos de coleta seletiva é limitada pela triagem dos resíduos provenientes de grandes geradores, conforme Eq. 17.

$$\begin{aligned} \text{triagem de resíduos CS} = & \text{IF THEN ELSE (triagem de resíduos GG} < \\ & \text{Capacidade de triagem, IF THEN ELSE (Resíduos acumulados CS/SAVEPER} < \\ & \text{(Capacidade de triagem – triagem de resíduos GG),} \\ & \text{MIN(Resíduos acumulados CS/SAVEPER, produtividade CS * Associados),} \\ & \text{MIN((Capacidade de triagem – triagem de resíduos GG), produtividade CS *} \\ & \text{Associados)), 0)} \end{aligned} \quad \text{Eq. 17}$$

A variável “produtividade CS” é calculada como uma média ponderada das produtividades de cada modalidade de coleta seletiva, seja mista, PEV ou porta a porta (PP), conforme Eq. 18.

$$\begin{aligned} \text{produtividade CS} = & ((\text{PERCENTUAL DE RESÍDUOS COLETADOS VIA MISTA} * \\ & \text{PRODUTIVIDADE MISTO}) + (\text{PERCENTUAL DE RESÍDUOS COLETADOS VIA PEV} * \\ & \text{PRODUTIVIDADE PEV}) + (\text{PERCENTUAL DE RESÍDUOS COLETADOS VIA PP} * \\ & \text{PRODUTIVIDADE PP)) / (\text{PERCENTUAL DE RESÍDUOS COLETADOS VIA MISTA} + \\ & \text{PERCENTUAL DE RESÍDUOS COLETADOS VIA PEV} + \\ & \text{PERCENTUAL DE RESÍDUOS COLETADOS VIA PP)} \end{aligned} \quad \text{Eq. 18}$$

Assim como explicado anteriormente para o fluxo dos resíduos oriundos de geradores particulares, o fluxo “limitação de triagem CS” consiste nos resíduos de coleta seletiva que não foram triados, conforme Eq. 19:

$$\begin{aligned} \text{limitação de triagem GG} = & (\text{Resíduos acumulados CS/SAVEPER}) - \\ & \text{triagem de resíduos CS} \end{aligned} \quad \text{Eq. 19}$$

Quanto aos fluxos de saída do estoque “Resíduos CS triados”, a geração de resíduos de valor depende da modalidade de coleta seletiva adotada, pois cada uma apresenta uma porcentagem de rejeitos diferente. Além disso, com relação à quantidade, cada uma também apresenta uma porcentagem dentro do total de resíduos coletados seletivamente. Assim, tem-se a Eq. 20, Eq. 21 e Eq. 23 para os fluxos de geração de resíduos de valor para as modalidades PEV, porta a porta e misto, respectivamente.

$$\begin{aligned} \text{geração de resíduos de valor PEV} = & \text{Resíduos CS triados} * \\ & \text{PERCENTUAL DE RESÍDUOS COLETADOS VIA PEV} * (1 - \text{rejeitos PEV}) \end{aligned} \quad \text{Eq. 20}$$

$$\begin{aligned} \text{geração de resíduos de valor PP} = & \text{Resíduos CS triados} * \\ & \text{PERCENTUAL DE RESÍDUOS COLETADOS VIA PP} * (1 - \text{rejeitos PP}) \end{aligned} \quad \text{Eq. 21}$$

$$\begin{aligned} \text{geração de resíduos de valor misto} = & \text{Resíduos CS triados} * \\ & \text{PERCENTUAL DE RESÍDUOS COLETADOS VIA MISTA} * (1 - \text{rejeitos misto}) \end{aligned} \quad \text{Eq. 22}$$

As equações dos rejeitos das três modalidades são influenciadas pela variável “política de educação ambiental” da mesma forma como foi explicado para a variável “rejeitos GG”, conforme formulações que serão apresentadas na Seção 5.4.1.



O fluxo de geração de rejeitos da CS é dado em função dos resíduos de valor que foram gerados, conforme Eq. 23 abaixo.

$$\begin{aligned} \text{geração de rejeitos CS} &= (\text{Resíduos CS triados/SAVEPER}) - \\ \text{geração de resíduos de valor misto} &- \text{geração de resíduos de valor PEV} - \\ &\text{geração de resíduos de valor PP} \end{aligned} \quad \text{Eq. 23}$$

Quanto às equações de venda dos materiais, a lógica é a mesma daquela explicada para o fluxo de resíduos provenientes de geradores particulares. Todos os fluxos de receitas para cada modalidade são variáveis de entrada do estoque “Receitas”, cuja saída consiste em quatro fluxos: geração de renda extra (Eq. 24), despesas operacionais (Eq. 25), pagamento dos catadores (Eq. 26) e investimento de infraestrutura (Eq. 27).

$$\begin{aligned} \text{geração de renda extra} &= (\text{Receitas/SAVEPER}) - \text{investimento em infraestrutura} - \\ &\text{pagamento dos catadores} - \text{despesas operacionais} \end{aligned} \quad \text{Eq. 24}$$

$$\text{despesas operacionais} = \text{DESPESA OPERACIONAL MÉDIA} \quad \text{Eq. 25}$$

$$\begin{aligned} \text{pagamento dos catadores} &= \text{MIN} ((\text{Receitas/SAVEPER} - \\ &\text{despesas operacionais}), \text{SALÁRIO MÍNIMO ANUAL} * \text{Associados}) \end{aligned} \quad \text{Eq. 26}$$

$$\begin{aligned} \text{investimento em infraestrutura} &= ((\text{Receitas/SAVEPER}) - \\ &\text{pagamento dos catadores} - \text{despesas operacionais}) * \text{condição de investimento} \end{aligned} \quad \text{Eq. 27}$$

A Eq. 24 representa o valor que será distribuído entre os catadores caso haja um dinheiro extra acima do salário mínimo e não haja necessidade de investimento. Na Eq. 26, o pagamento dos catadores tem um teto, representado pelo salário mínimo anual. Numa hipótese onde não houvesse investimento, o que eles recebessem além do salário ficaria acumulado no estoque de receitas. Dessa forma, para que esse valor extra não fique acumulado no estoque para o próximo ano, ele foi distribuído como uma forma de “bônus” entre os catadores, que o receberão além do salário mínimo fixado.

O fluxo de investimento da Eq.27 só vai ocorrer caso exista necessidade de expansão da área de triagem, ou seja, se o déficit de área for maior que zero, e se o investimento público não suprir a demanda de área.

Na Eq. 28 é apresentado o cenário onde não existirá investimento em nenhuma hipótese, pois de qualquer maneira seu valor será nulo. Nos cenários onde haverá possibilidade de investimento, o segundo “0” da equação, destacado em negrito, foi substituído por “1”, isto é, a variável apresentará valor 0 caso não haja possibilidade de investimento ou 1 caso haja possibilidade de investimento.

$$\text{condição de investimento} = \text{IF THEN ELSE}(\text{déficit de área} > 0, \text{IF THEN ELSE}(\text{investimento público} \geq (\text{déficit de área} * \text{CUSTO UNITÁRIO POR ÁREA}), 0, 0), 0) \quad \text{Eq. 28}$$

A variável “déficit de área” é calculada em função da limitação de triagem dos resíduos provenientes da coleta seletiva e dos geradores particulares, conforme Eq.29 abaixo.

$$\text{déficit de área} = (\text{limitação de triagem CS} + \text{limitação de triagem GG}) * \text{ÁREA POR TONELADA} \quad \text{Eq. 29}$$

O incremento da área ocorre em função dos investimentos em infraestrutura, sejam eles por subsídios ou por parte da própria associação (Eq. 30). Entretanto, o aumento da área leva a uma necessidade de crescimento de mão de obra, conforme Eq. 31.

$$\text{incremento de área} = (\text{investimento em infraestrutura} + \text{investimento público}) / \text{CUSTO UNITÁRIO POR ÁREA} \quad \text{Eq. 30}$$

$$\text{aumento de associados} = \text{MAX}(0, ((\text{Área de triagem} / \text{ÁREA POR CATADOR}) - \text{Associados}) / \text{SAVEPER}) \quad \text{Eq. 31}$$

A variável “investimento público”, para esse modelo, foi considerada de forma pontual ao longo do tempo, conforme será explicado na Seção 5.2.1. Para isso, foi utilizada a função “STEP”, que atribui valor zero até determinado o ano em que se deseja atribuir um valor diferente de zero (Eq. 32).

$$\begin{aligned} & \text{IF THEN ELSE} (\text{Déficit de área} > 0, \\ & 0 + \text{STEP}(1.4041e + 06,2022) - \text{STEP}(1.4041e + 06,2023) \\ & + \text{STEP}(1.4041e + 06,2029) - \text{STEP}(1.4041e + 06,2030) \\ & + \text{STEP}(1.4041e + 06,2036) - \text{STEP}(1.4041e + 06,2037), 0) \end{aligned} \quad \text{Eq. 32}$$

A capacidade de triagem, por sua vez, aumenta à medida que a área de triagem aumenta, como apresentado na Eq. 33. A inserção da variável “DIAS TRABALHADOS” é necessária pois a variável “ÁREA POR TONELADA” representa a capacidade diária de triagem por unidade de área.

$$\text{capacidade de triagem} = (\text{Área de triagem} / \text{ÁREA POR TONELADA}) * \text{DIAS TRABALHADOS} \quad \text{Eq. 33}$$

Por fim, a variável de interesse “renda total por associado” é definida pela soma entre o pagamento por associado (Eq. 34) e o rateio (Eq. 35), conforme Eq. 36.

$$\text{pagamento por associado} = \text{pagamento dos catadores} / \text{Associados} \quad \text{Eq. 34}$$

$$\text{rateio} = \text{geração de renda extra} / \text{Associados} \quad \text{Eq. 35}$$

$$\text{renda total por associado} = \text{pagamento por associado} + \text{rateio} \quad \text{Eq. 36}$$

Uma vez apresentadas todas as equações do diagrama de estoque e fluxo, a próxima seção apresenta os parâmetros de entrada de simulação do modelo.

### 5.2.1 Parâmetros para simulação do modelo

Na Seção 5.2 foi apresentado o equacionamento matemático das variáveis do tipo estoque, fluxo e auxiliares do modelo. Nessa presente seção, são apresentados os valores das constantes, específicas para a aplicação do estudo de caso proposto, conforme Quadro 7, e sua forma de obtenção.

Quadro 7 – Parâmetros de entrada para simulação do modelo

Variável	Unidade	Valor	Referência
ÁREA POR CATADOR	m <sup>2</sup> /catador	60	MMA (2010)
ÁREA POR TONELADA	m <sup>2</sup> /t	300	MMA (2010)
CUSTO UNITÁRIO POR ÁREA	R\$/m <sup>2</sup>	1.265,19	Dutra (2016)
DESPESA OPERACIONAL MÉDIA	R\$/Ano	0	PMS (2019) <sup>1</sup>
DIAS TRABALHADOS	1/Ano	260	Dutra (2016)
PERCENTUAL DEMAIS MATERIAIS GG	1/Ano	0,200	Aderes (2017)
PERCENTUAL DEMAIS MATERIAIS MISTO	1/Ano	0,520	Aderes (2017)
PERCENTUAL DEMAIS MATERIAIS PEV	1/Ano	0,282	Aderes (2017)
PERCENTUAL DEMAIS MATERIAIS PP	1/Ano	0,277	Aderes (2017)
PERCENTUAL PAPEL GG	1/Ano	0,537	Aderes (2017)
PERCENTUAL PAPEL MISTO	1/Ano	0,362	Aderes (2017)
PERCENTUAL PAPEL PEV	1/Ano	0,550	Aderes (2017)
PERCENTUAL PAPEL PP	1/Ano	0,625	Aderes (2017)
PERCENTUAL PLÁSTICO GG	1/Ano	0,263	Aderes (2017)
PERCENTUAL PLÁSTICO MISTO	1/Ano	0,118	Aderes (2017)
PERCENTUAL PLÁSTICO PEV	1/Ano	0,168	Aderes (2017)
PERCENTUAL PLÁSTICO PP	1/Ano	0,098	Aderes (2017)
PREÇO PAPEL	R\$/t	330	PMS (2019) <sup>2</sup>
PREÇO PLÁSTICO	R\$/t	900	PMS (2019) <sup>2</sup>
PRODUTIVIDADE GG	t/catador/Ano	46,51	Aderes (2017)
PRODUTIVIDADE MISTO	t/catador/Ano	35,15	Aderes (2017)
PRODUTIVIDADE PEV	t/catador/Ano	34,86	Aderes (2017)
PRODUTIVIDADE PP	t/catador/Ano	39,40	Aderes (2017)
SALÁRIO MÍNIMO ANUAL	R\$/catadorAno	12.540	Brasil (2020)
TAXA DE GERAÇÃO PER CAPITA	t/hab/Ano	0,33	Espírito Santo (2019)

<sup>1</sup> Dados obtidos mediante contato com a Prefeitura Municipal da Serra.

Fonte: Autoria própria

O valor da variável “ÁREA POR CATADOR” foi obtido considerando que para triar uma tonelada de resíduo em um dia é necessário 300m<sup>2</sup> de área e que cada catador consegue triar 0,2t/dia (MMA, 2010). Assim, chega-se ao valor de 60m<sup>2</sup>/catador.

Quanto ao custo unitário por área, Dutra (2016) identificou um valor de investimento em obras de construção de infraestrutura de R\$752,67/m<sup>2</sup> em 2013, enquanto Martins, Cruz e Couto (2016) identificaram um valor de R\$725,74/m<sup>2</sup>. Entretanto, esses valores aumentam se incluir os equipamentos. O Quadro 8 apresenta os equipamentos necessários para cada tamanho de galpão bem como os custos estimados em 2013 a partir de Dutra (2016), bem como seus valores corrigidos para dez/2020 pelo IPCA.

Quadro 8 - Área estimada e equipamentos previstos para galpões de triagem.

Itens	Tipo de galpão		
	Pequeno	Médio	Grande
Área (m <sup>2</sup> )	300	600	1.200
Equipamentos	1 prensa 1 balança 1 carrinho	1 prensa 1 balança 1 carrinho 1 empilhadeira	2 prensas 1 balança 2 carrinhos 1 empilhadeira
Custo unitário, incluindo equipamentos (R\$/m <sup>2</sup> ) (2013)	860,19	827,37	813,99
Custo unitário, incluindo equipamentos (R\$/m <sup>2</sup> ) (2019)	1.265,19	1.216,91	1.197,23

Fonte: Ministério das Cidades (2008); MMA (2010); Dutra (2016)

Conforme valores do Quadro 8, observa-se que o valor unitário de investimento por área, embutindo-se os custos de equipamentos, não é o mesmo para cada tipo de galpão, uma vez que o número de equipamentos não tem uma relação linear com o tamanho da área. Dessa forma, foi feita uma simulação para identificar quanto a área cresceria e, assim, definir qual dos três valores seria utilizado. Como o aumento de área foi menor que 300m<sup>2</sup>, o custo unitário utilizado permaneceu o mesmo.

A variável “DESPESA OPERACIONAL MÉDIA” indica a parcela de valor do lucro total que as OCMRR desviam para o pagamento de despesas operacionais. Foi identificado durante a execução do projeto “Fortalecimento dos Catadores de Materiais Recicláveis do Estado do Espírito Santo” realizado pelo Instituto Sindimicro-ES em parceria com o Lagesa (ADERES, 2017) que as OCMRR têm suas despesas cobertas pela administração pública. Dessa forma, foi assumido o valor de R\$0,00, uma vez que o valor empregado para cobrir as despesas não parte das OCMRR.

Os dados de composição gravimétrica para cada modalidade de coleta também foram obtidos do mesmo estudo (ADERES, 2017), pois é o estudo mais recente sobre composição gravimétrica dos resíduos provenientes da coleta seletiva na Serra. Assim, o cálculo foi feito dividindo o peso de cada material pelo total de resíduos de valor (sem rejeitos) proveniente de cada uma das modalidades.

O valor de venda do papel foi calculado utilizando a média do valor de venda dos tipos papel branco, papel colorido, papel cartão e papelão das OCMRR do município da Serra. O valor de venda do plástico foi obtido mediante a média de valores de venda do PEAD misto, leitoso e colorido, PET, polietileno cristal e colorido, e plástico filme para as mesmas OCMRR, para os anos de 2019 (Amarvila e Recuperlixo) e 2020 (Abrasol), conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Preços de venda praticados pelas OCMRR do município de Serra/ES (preço por kg).

Material	Associação (Ano)		
	Recuperlixo (2019)	Amarvila (2019)	Abrasol (2020)
Papel Branco	R\$0,41	R\$0,32	R\$0,42
Papel Colorido		R\$0,29	
Papel Cartão		R\$0,17	
Papelão	R\$0,41	R\$0,29	R\$0,36
Plástico	R\$0,41		
Plástico Filme			R\$1,40
PEAD Misto		R\$0,40	
PEAD Leitoso		R\$1,10	
PEAD Colorido		R\$1,00	
PET	R\$1,30	R\$1,30	
Polietileno Cristal		R\$0,80	
Polietileno Colorido		R\$0,40	
Vidro	R\$0,05		
Metal	R\$4,00		R\$0,25
Sucata de ferro pesada	R\$55,00		

Fonte: Elaborado a partir de dados obtidos em contato direto com as OCMRR da Serra/ES.

Quanto aos dados de produtividade de triagem por modalidade, não foi possível utilizar os dados do mesmo estudo pois a quantidade de resíduos provenientes da modalidade “misto” era cerca de 10 vezes maior que das demais modalidades, levando a uma grande discrepância de produtividade. Entretanto, o valor médio geral obtido (sem distinção de fontes) foi de 36,32t/catador/ano ou 140kg/catador/dia para o município da Serra, considerando 260 dias trabalhados (ADERES, 2017).

Assim, para diferenciar as modalidades, foi feito contato com as associações do Espírito Santo e questionado se os catadores sentiam diferença de produtividade entre as fontes de resíduos, de forma que deviam atribuir uma nota de 1 a 10 para

cada fonte. Das respostas de 46 organizações de catadores, foi possível atribuir uma nota média para as modalidades PEV, porta a porta, misto e doações, conforme Tabela 6. O Apêndice B apresenta as notas atribuídas para cada uma das OCMRR.

Tabela 6 – Dados para o cálculo da produtividade de cada modalidade

Modalidade	Nota média	Nota compatibilizada	Massa*	Produtividade (t/catador/ano)
PEV	6,53	0,749	12,88%	34,81
Misto	6,58	0,756	69,35%	35,11
Porta a porta	7,38	0,847	10,28%	39,11
Particular	8,71	1	7,48%	46,35

Fonte: Autoria própria. \*A porcentagem em massa de cada modalidade foi obtida do estudo de Aderes (2017), dividindo a quantidade de resíduos de cada modalidade pelo total de resíduos que chega nas OCMRR do município da Serra.

Observa-se que os valores obtidos estão de acordo com os estudos de Bertanza, Ziliani e Menoni (2018), Struk (2017) e Parreira (2010), cujos resultados corroboram que a modalidade porta a porta tem melhor qualidade que a modalidade PEV, sendo que a modalidade mista apresenta uma qualidade intermediária, e que a triagem dos resíduos de doação apresenta maior produtividade se comparada àquela dos resíduos oriundos da coleta seletiva. Assim, as notas foram compatibilizadas em função daquela com maior nota atribuída (particular), de forma que a média ponderada entre elas, utilizando como fator ponderador a porcentagem em massa de resíduos, fosse a mesma produtividade média de 36,32t/catador/ano (Eq. 37).

$$0,749 * P_{Par} * 0,1288 + 0,756 * P_{Par} * 0,6935 + 0,847 * P_{Par} * 0,1028 + 1 * P_{Par} * 0,0748 = 36,32 \quad \text{Eq. 37}$$

Na Eq. 37,  $P_{Par}$  representa a produtividade de triagem dos resíduos oriundos de doações de particulares, cujo valor obtido foi de 46,35t/catador/ano. As demais produtividades foram calculadas multiplicando esse valor pelas respectivas notas compatibilizadas.

O valor atribuído à variável “SALÁRIO MÍNIMO ANUAL” consiste no salário mínimo vigente no ano de 2020 no Brasil de R\$1.045,00 multiplicado por 12 meses. Nesse sentido, considera-se que as associações só investirão em infraestrutura nos próximos anos se receberem minimamente esse valor, de forma que seja viável a utilização de uma parcela do lucro para aumentar a capacidade de triagem (SIMAN *et al.*, 2020; PINHA; SAGAWA, 2020; DUTRA; YAMANE; SIMAN, 2018; BUQUE; RIBEIRO, 2015; VAN ZEELAND, 2013).

A taxa de geração per capita adotada é aquela identificada nos municípios de faixa populacional entre 250.001 e 1.000.000 de habitantes no Espírito Santo (ESPÍRITO SANTO, 2019), onde a Serra está inserida, de 0,33t/hab/ano.

Quanto à variável “taxa de crescimento populacional”, cada valor correspondente ao seu respectivo ano foi inserido no modelo conforme Tabela 7, cujas projeções foram feitas para o município de Serra na ocasião da elaboração do PERS-ES (ESPÍRITO SANTO, 2019).

Tabela 7 - Valores de entrada da variável "taxa de crescimento geométrico".

Ano	Taxa de crescimento	Ano	Taxa de crescimento
2020	0,021	2030	0,013
2021	0,017	2031	0,009
2022	0,017	2032	0,009
2023	0,017	2033	0,009
2024	0,017	2034	0,009
2025	0,017	2035	0,009
2026	0,013	2036	0,006
2027	0,013	2037	0,006
2028	0,013	2038	0,006
2029	0,013	2039	0,006

Fonte: Brasil, Castiglioni e Felipe (2018)

Quanto à variável “investimento público”, foi considerado o histórico de crescimento no município da Serra com relação às OCMRR existentes (Quadro 9). Considerou-se que os investimentos em construção e equipamentos das associações foram feitos com subsídios externos, e, dessa forma, são investimentos pontuais, o que impossibilita a utilização de uma função contínua.

Quadro 9 – Informações sobre as organizações de catadores da Serra.

Organização	Data de fundação	Área construída (m <sup>2</sup> )	Equipamentos
Abrasol	21/06/2010	1.000	1 mesa de triagem 1 prensa
Amarvila	01/04/2015	1.246	1 esteira manual 1 prensa
Recuperlixo	04/11/2002	1.450	2 prensas

Fonte: Aderes (2017)

Assim, foi considerado que o investimento público relacionado às instalações de triagem de resíduos no município foi feito, em média, de 7 em 7 anos, tanto a infraestrutura construída quanto os equipamentos. Para estimar os valores investidos, considerou-se os preços médio segundo Aderes (2014) e Dutra (2016) atualizados para 2020 pelo valor do IPCA (Tabela 8).

Tabela 8 – Custos estimados dos equipamentos utilizados no processo de triagem das OCMRR da Serra.

<b>Elemento</b>	<b>Custo*</b>	
Prensa enfardadeira vertical	R\$	25.820,53/unidade
Esteira transportadora horizontal de separação de resíduos	R\$	13.565,94/unidade
Mesa para triagem de materiais recicláveis	R\$	3.820,77/unidade
Área construída	R\$	1.107,04/m <sup>2</sup>

Fonte: Aderes (2014); Dutra (2016). \*Preços atualizados para dez/2020 pelo valor do IPCA.

Dessa forma, temos que o investimento médio em galpões de triagem foi de R\$1.404.096,22, em média, a cada 7 anos. Seguindo esse padrão ao longo dos próximos 20 anos, haverá um novo investimento em 2022, 2029 e 2036, e para representá-los foi utilizada a função STEP (ver Seção 5.2).

Por fim, quanto aos valores iniciais das variáveis do tipo estoque, o Quadro 10 apresenta aquelas cujos valores foram calculados.

Quadro 10 – Valores iniciais atribuídos às variáveis estoque.

<b>Variável</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor inicial (2019)</b>
Área de triagem	m <sup>2</sup>	3.696
Associados	catador	36
População	hab	517.510
Geração total de RSU	t	170.778

Fonte: Autoria própria

O valor inicial da área de triagem e o número de associados consistem na soma dos valores para cada uma das três associações do município da Serra (ADERES, 2017). A associação Abrasol possui área de 1000m<sup>2</sup> de galpão e 13 associados, a Amarvila 1.246m<sup>2</sup> e 5 associados e a Recuperlixo 1.450m<sup>2</sup> e 18 associados.

Quanto à população, o valor inicial utilizado refere-se à projeção feita por Brasil, Castiglioni e Felipe (2018) para o município da Serra em 2019. Assim, o valor inicial da geração de resíduos sólidos urbanos foi calculado multiplicando a população pela taxa de geração per capita de 0,33t/hab/ano.

### 5.3 ETAPA III - TESTES DE CONFIABILIDADE

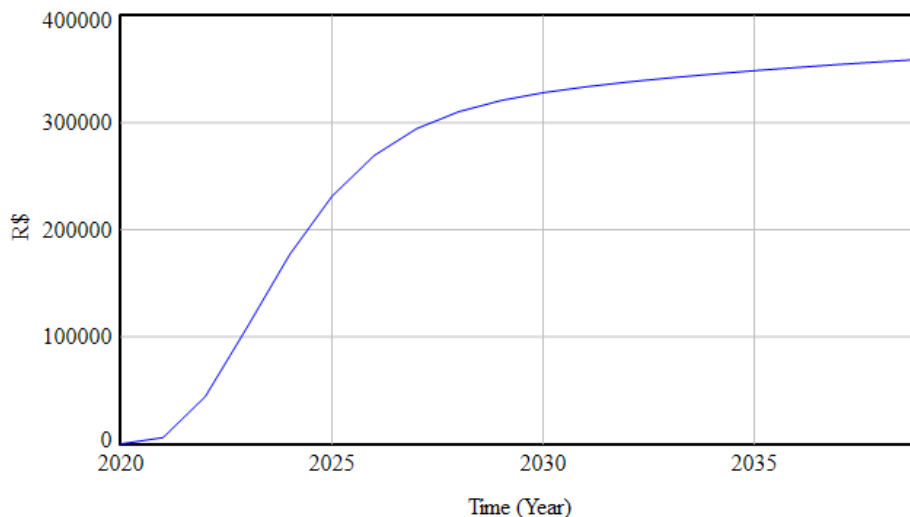
#### 5.3.1 Avaliação de estrutura

De forma a realizar a avaliação da estrutura do modelo e sua conservação física, foi observado o comportamento das variáveis estoque durante a formulação do modelo. A Figura 9 apresenta, como exemplo, o estoque de Receitas, onde observa-se um



comportamento crescente em que valores negativos nunca serão alcançados, satisfazendo as condições necessárias.

Figura 9 – Comportamento da variável estoque “Receitas” ao longo do tempo de simulação.



Fonte: Autoria própria

### 5.3.2 Consistência dimensional

O teste de consistência dimensional foi conduzido no próprio software Vensim, utilizando o comando “*Check Units*”. Inicialmente foram identificadas diversas inconsistências, as quais foram corrigidas até que fosse obtida a mensagem que indica a adequação dimensional de todas as variáveis envolvidas no modelo proposto.

Além disso, foi utilizada a variável interna “SAVEPER”, que representa o intervalo de tempo no qual os resultados da simulação são salvos e cuja unidade é aquela definida para o horizonte de simulação do modelo, nesse caso em anos, para corrigir a unidade de algumas variáveis fluxo. Também foi acrescentada a variável “ANO”, que tem valor 1 e unidade “Ano” para ajustar a unidade das variáveis “Taxa geométrica de crescimento populacional” e “política de ampliação da CS”.

### 5.3.3 Erro de integração

A condução da simulação com os métodos de integração de Euler e Runge-Kutta evidenciou que este último apresentou menor erro na adoção de diferentes valores de *time step*. Esse resultado condiz com Sterman (2000), que afirma que o método de Runge-Kutta tem uma precisão de aproximação muito maior se comparada ao método de Euler, fazendo com que os erros de integração para diversos *dt* sejam muito

menores e haja uma precisão adicional. A Tabela 9 apresenta as variações no resultado conforme a escolha de diferentes *time step* para o método de Runge-Kutta, que foi escolhido para o modelo de dinâmica de sistemas proposto. O percentual de erro foi calculado diminuindo o valor da direita do valor da esquerda e dividindo pelo valor da esquerda.

Tabela 9 - Verificação da diferença na variável “renda por catador” para diferentes *time step*.

Time (Ano)	Time Step 0,125	Erro	Time Step 0,25	Erro	Time Step 0,5	Erro	Time Step 1
2020	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00
2021	112,50	0%	112,50	0%	112,50	0%	112,50
2022	761,40	0%	761,40	0%	761,40	0%	761,40
2023	1812,48	0%	1812,48	0%	1812,48	0%	1812,48
2024	2878,05	0%	2878,05	0%	2878,05	0%	2878,05
2025	3737,52	0%	3737,52	0%	3737,51	0%	3737,50
2026	4344,09	0%	4344,09	0%	4344,09	0%	4344,08
2027	4742,40	0%	4742,40	0%	4742,39	0%	4742,39
2028	4997,95	0%	4997,95	0%	4997,94	0%	4997,94
2029	5165,56	0%	5165,56	0%	5165,56	0%	5165,55
2030	5266,01	0%	5266,01	0%	5266,00	0%	5265,98
2031	5336,12	0%	5336,12	0%	5336,11	0%	5336,11
2032	5401,26	0%	5401,26	0%	5401,26	0%	5401,25
2033	5461,01	0%	5461,01	0%	5461,01	0%	5461,00
2034	5516,05	0%	5516,05	0%	5516,05	0%	5516,04
2035	5567,06	0%	5567,06	0%	5567,06	0%	5567,05
2036	5614,53	0%	5614,54	0%	5614,53	0%	5614,53
2037	5641,41	0%	5641,41	0%	5641,41	0%	5641,39
2038	5663,64	0%	5663,64	0%	5663,64	0%	5663,63
2039	5694,92	0%	5694,93	0%	5694,92	0%	5694,92

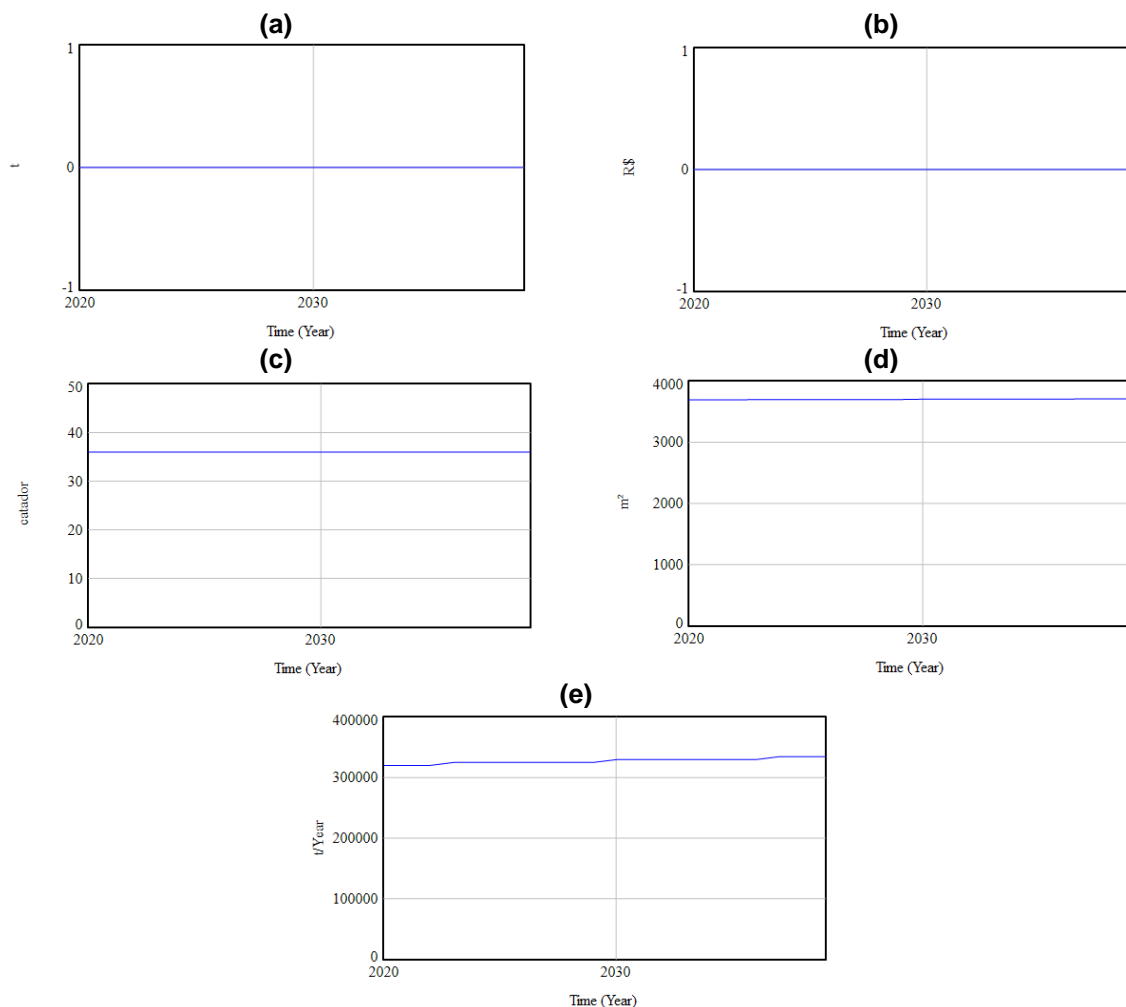
Fonte: Autoria própria.

Conforme apresentado na Tabela 9, observa-se que a escolha de diferentes *time step* levou a um erro praticamente imperceptível ao longo do horizonte de simulação. Ou seja, o propósito do teste foi atendido uma vez que a escolha do *time step* não influenciou de forma significativa nos resultados. Sendo assim, conforme sugerido na literatura (STERMAN, 2000), foi adotado o *time step* de 0,25, ou  $\frac{1}{4}$  do *time step* que apresentou o menor erro.

#### 5.3.4 Análise de condições extremas

Com relação à variável “TAXA DE GERAÇÃO PER CAPITA”, seu valor nulo implica em anulação também do valor inicial da variável estoque “Geração total de RSU”. A Figura 10 (a) apresenta o comportamento da variável “Geração total de RSU”, que é o mesmo para as variáveis “Resíduos acumulados CS” e “Resíduos triados CS”.

Figura 10 – Comportamento das variáveis: **(a)** “Geração total de RSU” quando a taxa de geração per capita de resíduos é nula; **(b)** “Receitas” quando as produtividades de triagem são nulas; **(c)** “Associados” quando a variável “ÁREA POR CATADOR” é 200 m<sup>2</sup>/catador; **(d)** “Área de triagem” quando a variável “CUSTO POR ÁREA” é R\$7.000/m<sup>2</sup>; **(e)** “Capacidade de triagem” quando a variável “ÁREA POR TONELADA” é 3t/Ano



Fonte: Autoria própria

A Figura 10 (b) apresenta o comportamento da variável “Receitas” quando todas as produtividades são nulas. Esse comportamento também é observado nas variáveis estoque “Resíduos CS triados”, “Resíduos GG triados” e nas quatro variáveis estoque de resíduos de valor.

Com relação à variável “ÁREA POR CATADOR”, um valor extremo leva à um aumento lento ou inexistente da quantidade de associados, uma vez que o aumento de trabalhadores está condicionado à área requerida. Assim, a Figura 10 (c) apresenta o comportamento da variável estoque “Associados”, onde observa-se um valor constante ao longo do tempo de simulação que indica que não houve necessidade de aumento de associados. Por consequência, a variável “renda por catador” aumenta, uma vez que as receitas serão divididas com menos catadores.

A Figura 10 (d) apresenta o comportamento da variável estoque “Área de triagem” quando se aumenta o custo por área para R\$7.000/m<sup>2</sup>. Observa-se que essa mudança leva a um aumento quase imperceptível da área de triagem, pois o aumento do custo limita o aumento da área.

A Figura 10 (e) apresenta o comportamento da variável “capacidade de triagem” quando a variável “ÁREA POR TONELADA” é diminuída até 3m<sup>3</sup>/t. Foi observado que, com esse valor, a capacidade de triagem chega na ordem de 300.000 t/ano, ao passo que com o valor original a capacidade é na ordem de 3.000t/ano. Esse comportamento era esperado uma vez que quanto menor a área requerida para triar, mais resíduos serão triados na área disponível.

Em suma, todas as variáveis submetidas às condições extremas propostas influenciaram o comportamento de outras variáveis de forma esperada, corroborando com a confiabilidade do modelo proposto.

### **5.3.5 Adequação de limites**

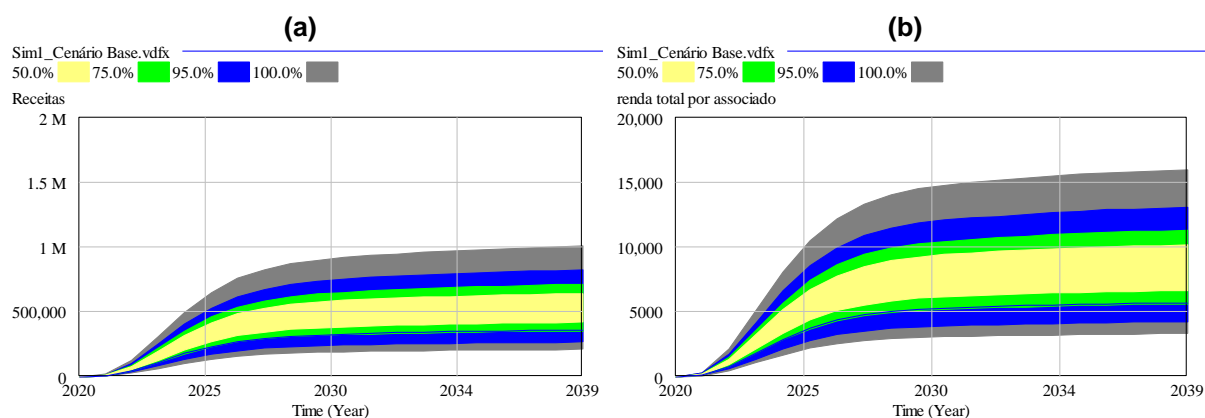
Após a inspeção do modelo de estoque e fluxo, concluiu-se que não era necessário incluir nenhuma variável exógena como variável interna do modelo. Assim, admite-se que os limites do modelo estão adequados ao propósito inicial.

### **5.3.6 Análise de sensibilidade**

Abaixo é apresentado o resultado da análise de sensibilidade das variáveis “Receitas” e “renda total por associado” com relação à variação de preço dos materiais papel e plástico. A linha azul indica o comportamento da variável utilizando os preços adotados no cenário base, e as áreas coloridas indicam a sua variável com probabilidade de ocorrência de 50%, 75%, 95% e 100%.

Observa-se na Figura 11 (a) que os limites extremos de probabilidade de ocorrência dos preços dos materiais implicam em uma faixa de variação da variável “Receitas” de cerca de R\$200.000/ano a R\$1mi/ano em 2039. O cenário base, indicado pela linha azul, encontra-se na faixa de 75% de ocorrência na porção inferior do gráfico, indicando que os preços adotados estão entre os 75% que ocorrem com maior frequência.

Figura 11 - Análise de sensibilidade das variáveis (a) "Receitas"; e (b) "renda total por associado".



Fonte: Autoria própria

De forma análoga, percebe-se na Figura 11(b) que a faixa de variação da variável “renda total por associado” vai de cerca de R\$2.700,00/catador/ano até R\$16.000,00/catador/ano. O cenário base, assim como para a variável “Receitas”, encontra-se na faixa de 75% de ocorrência na porção inferior do gráfico.

Fica evidente que a variação no preço dos materiais tem uma grande influência na variável de saída do modelo, indicando um modelo sensível à essas variáveis, cujos resultados tem a probabilidade de ocorrência conforme representado nas figuras. Por isso, na prática, deve-se atentar para a variação no preço das mercadorias, já que ela influencia fortemente a rentabilidade dos catadores.

## 5.4 ETAPA IV – DESCRIÇÃO E ANÁLISE DE CENÁRIOS

### 5.4.1 Descrição de cenários

O Cenário 1, chamado “Cenário base”, foi idealizado de forma que nenhuma política ou mudança de estratégia de coleta seletiva é implementada, ou seja, todas as variáveis relacionadas às políticas permanecem constantes da forma como são feitas atualmente. Os demais cenários foram criados com base no Cenário 1, sendo modificado apenas o objeto de análise. Ao final desta Seção, é apresentado um quadro contendo todas as modificações de cada cenário.

O Cenário 2 tem por objetivo avaliar o impacto do investimento próprio das organizações de catadores em infraestrutura na renda por associado. Neste cenário, a equação da variável “condição de investimento” é alterada de forma que seu valor poderá ser 0 ou 1, conforme apresentado na Seção 5.2. Nesse caso, não necessariamente haverá um investimento por parte das organizações, mas uma possibilidade caso as condições de déficit de área e de investimento público forem satisfeitas.

Os cenários 3 a 8 têm por objetivo avaliar o impacto da implementação da política de educação ambiental nos rendimentos dos catadores. Assim, foram estabelecidas três condições implementação da política: 0%, 50% e 100%, ou seja, caso sua implementação não seja efetiva, caso seja parcialmente efetiva e caso seja totalmente efetiva. Para isso, foi utilizada a função “Ramp”, que tem como característica um crescimento linear ao longo do tempo de simulação considerando um ano de início e um ano de fim desse comportamento, dada uma inclinação.

Dessa forma, foram obtidas 3 inclinações de reta diferentes para que a função alcançasse os valores de 0%, 50% e 100% ao final do tempo de simulação, conforme Quadro 11.

Quadro 11 – Equações relativas às diferentes efetividades de implementação da política de educação ambiental.

Implementação da política	Inclinação da reta	Equação	Cenários
0	0	Ramp(0,2020,2039)	1
0,5	1/(2039-2020)	Ramp(0.02631579, 2020, 2039)	3, 4 e 5
1	0,5/(2039-2020)	Ramp(0.05263158, 2020, 2039)	6, 7 e 8

Fonte: Autoria própria

Entretanto, também foi avaliada a sensibilidade do modelo à comportamentos diferentes da relação do índice de rejeitos em cada modalidade com a implementação da política de educação ambiental. Assim, as variações de implementação da política de educação ambiental remetem ora a um comportamento onde o progresso não é muito eficaz no início ou com forte resistência inicial à implementação e ora a um comportamento proporcional entre a aplicação das políticas e seus efeitos, descrevendo um crescimento mais próximo ao linear.

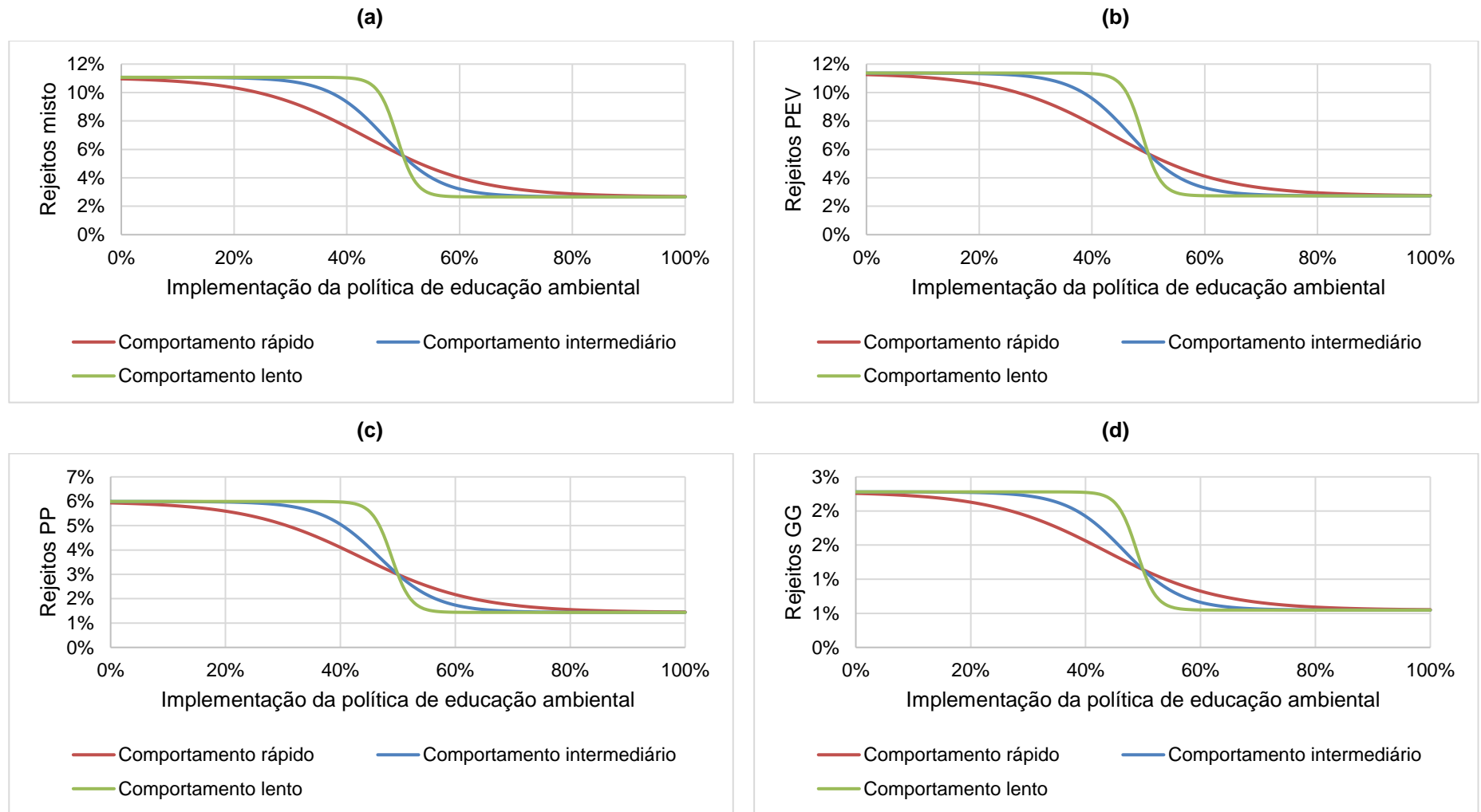
Para representação das variáveis “rejeitos” foi utilizada uma função sigmoide, cujo gráfico possui formato “S” (*S-shaped*), assim como utilizado por Ghisolfi *et al.* (2017) e Fontoura, Chaves e Ribeiro (2019). Essa estratégia é utilizada quando não se conhece o comportamento de uma variável. Uma das funções que podem ser aplicadas é a tangente hiperbólica, dada pela Eq 41:

$$Y = a * \tanh(bx + c) + d \quad \text{Eq. 38}$$

Onde “Y” é a variável com comportamento sigmoide (“rejeitos” em % para cada modalidade), “x” é a variável que representa o percentual alcançado da política pública cuja influência será analisada, e “a”, “b”, “c” e “d” são constantes a serem determinadas, conforme pode ser observado no Apêndice C.

A Figura 12, apresenta os gráficos do comportamento da variável “rejeitos” dos resíduos oriundos de cada uma das modalidades de coleta seletiva (mista, PEV e porta a porta) e de geradores particulares. As diferentes curvas estão relacionadas aos três valores do coeficiente “b”, que representam o comportamento do índice de rejeitos ao longo da implementação da política.

Figura 12 – Curva S-shaped de comportamento do índice de rejeitos dos resíduos oriundos de coleta seletiva em função da implementação da política de educação ambiental na (a) modalidade mista; (b) modalidade PEV; (c) modalidade porta a porta; e (d) doações de grandes geradores.



Fonte: Autoria própria



Analogamente, com o objetivo de avaliar o impacto da política de incentivo a parcerias, sua implementação foi considerada caso não seja efetiva (0%), caso seja parcialmente efetiva (50%) e caso seja totalmente efetiva (100%). As equações de implementação foram as mesmas utilizadas para a análise da política de educação ambiental (Quadro 12). Assim, a implementação não efetiva foi utilizada no cenário base, a implementação parcialmente efetiva nos cenários 9 a 11 e a implementação totalmente efetiva nos cenários 12 a 14.

Quadro 12 - Equações relativas às diferentes efetividades de implementação da política de incentivo às parcerias

Implementação da política	Inclinação da reta	Equação	Cenário
0	0	Ramp(0,2020,2039)	1
0,5	1/(2039-2020)	Ramp(0.02631579, 2020, 2039)	9, 10 e 11
1	0,5/(2039-2020)	Ramp(0.05263158, 2020, 2039)	12, 13 e 14

Fonte: Autoria própria

Da mesma maneira, de forma a avaliar a sensibilidade do modelo à variação do comportamento da curva de doação de resíduos, foi incluído na análise os diferentes comportamentos dessa variável, sendo esse rápido, intermediário e lento. Pode-se citar como exemplo de políticas de incentivo os projetos do PERS-ES (Quadro 13).

Quadro 13 – Ações a serem implementadas ao longo de 20 anos conforme PERS-ES.

Projeto	Ação	Prazo
3.3	4 - Fomentar a segregação dos resíduos gerados como exigência no processo de licenciamento ambiental, com priorização da destinação dos recicláveis para as OCMRR no município	Ano 6
4.1	7 - Incentivar parcerias de empresas privadas e instituições públicas com OCMRR para doação da fração reciclável de resíduos sólidos	Contínuo
4.2	1 - Realizar estudo para determinar incentivos fiscais e financeiros para a segregação dos resíduos na fonte geradora e a coleta das diferentes frações com priorização da participação das OCMRR.	Ano 1 a 2

Fonte: Espírito Santo (2019)

Considerando que essas ações sejam implementadas, espera-se um crescimento na quantidade de resíduos disponibilizados para as OCMRR por parte das empresas privadas. Como o comportamento é desconhecido ao longo dos anos, assumiu-se que o crescimento se dará de forma sigmoideal, assim como para a variável “rejeitos”.

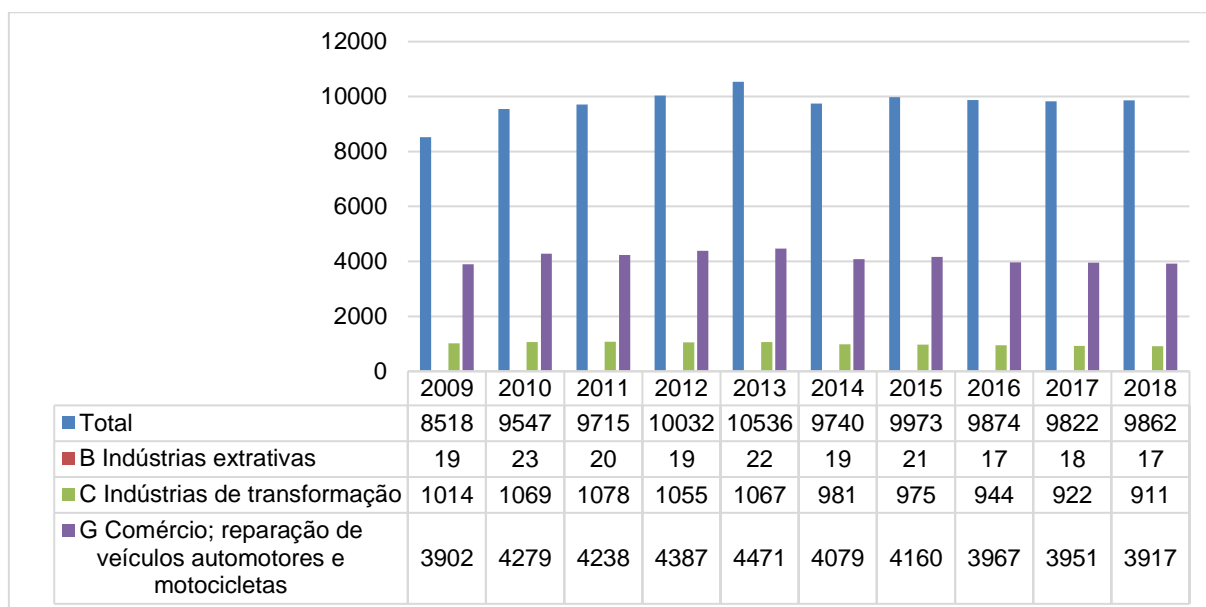
Segundo Aderes (2017), o recebimento de resíduos por parte de empresas parceiras nas OCMRR do município da Serra foi de 97,8 toneladas no ano de 2017, valor esse que será considerado para 2019 por falta de dados mais atuais. Mediante contato com

as associações por telefone, foi identificado que o total de empresas parceiras nas três organizações da Serra é 81 (Apêndice B).

Em consulta ao Cadastro Central de Empresas (CEMPRE) no site do IBGE, em 2018 a Serra possuía 9.862 empresas e outras organizações, distribuídas nas 21 Seções da Classificação Nacional de Atividades Econômicas – CNAE 2.0. A classe mais expressiva é a Classe G (Comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas), que representa 39,7% das empresas cadastradas. As demais classes têm representatividade de menos de 10% (IBGE, 2018).

Considerando a ação do PERS-ES que exigirá no licenciamento ambiental a priorização de organização de catadores na destinação de resíduos recicláveis, e que esse é um processo ao qual os pequenos comércios não estão sujeitos geralmente, foi considerado inicialmente que apenas as indústrias estabelecerão uma parceria com as organizações de catadores, sendo um total de 928 novas parcerias (Classes B e C do CNAE 2.0). Foi considerado ainda que o número de indústrias permanecerá o mesmo ao longo do tempo de simulação, pois não foi possível estabelecer um padrão de comportamento de crescimento utilizando a série histórica de 10 anos do IBGE (Figura 13).

Figura 13 – Série histórica do número de empresas e outras organizações no município da Serra.



Fonte: IBGE – Cadastro Central de empresas (vários anos)

Considerando ainda que existe uma relação proporcional entre a quantidade de empresas parceiras e a quantidade de resíduos recebidos, a quantidade de resíduos

por empresa recebidos atualmente nas organizações do município é de 1,21t/empresa/ano. Assim, a implementação de 928 novas parcerias, além das 81 atuais, faria com que as associações recebessem um total de 1.230,18t/ano. Assumiu-se também que a implementação de 50% da política de incentivo faria com que a quantidade de resíduos fosse 50% do valor total caso todas as parcerias fossem realizadas, ou seja, 615,09t/ano.

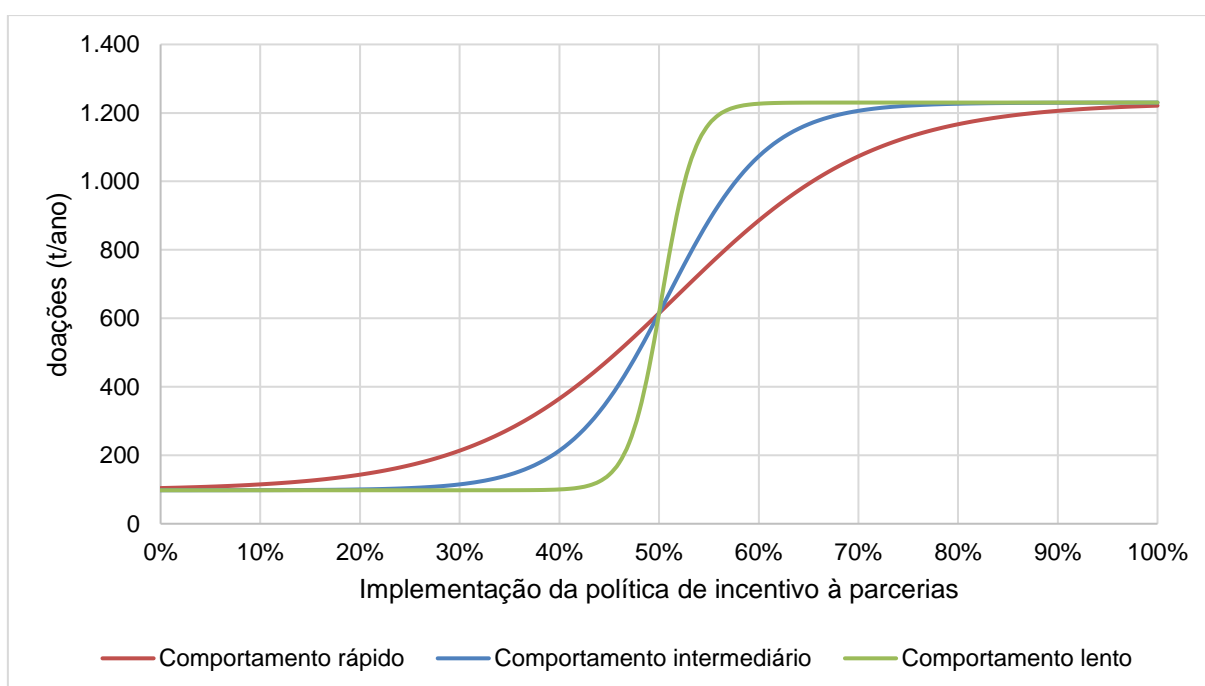
Sendo o raciocínio matemático análogo àquele apresentado para a variável “rejeitos”, os valores das constantes “a” e “d” da função tanh identificados foram 566,197 e 663,984, respectivamente. Considerando um comportamento rápido, lento e intermediário da variável “doações”, foram calculados os valores de “c” e substituídos nas equações, conforme Quadro 14. A Figura 14 apresenta o gráfico de comportamento das curvas.

Quadro 14 – Variáveis e equações da variável “doações”.

b	c	Comportamento	Equação	Cenário
5	-2,587	Rápido	$Y = 566,197 * \tanh(5x - 2,587) + 663,984$	11 e 14
10	-5,087	Intermediário	$Y = 566,197 * \tanh(10x - 5,087) + 663,984$	10 e 13
30	-15,087	Lento	$Y = 566,197 * \tanh(30x - 15,087) + 663,984$	1, 9 e 12

Fonte: Autoria própria

Figura 14 - Curva S-shaped de comportamento da variável “doações” em função da implementação da política de incentivo às parcerias.



Fonte: Autoria própria

O Cenário 15 e o Cenário 16 tiveram intuito de avaliar o impacto dos percentuais de resíduos oriundos de cada uma das modalidades da coleta seletiva nos rendimentos dos catadores, isto é, se a escolha da modalidade da coleta seletiva tem impacto significativo no aspecto financeiro das associações. Dessa forma, foi feita a simulação no cenário base com o valor atual dos percentuais que priorizam a modalidade mista, calculados com base nos valores de Aderes (2017), e as demais simulações foram feitas com variações priorizando ora a modalidade PEV, ora a modalidade porta a porta, conforme mostra Quadro 15.

Quadro 15 - Variações do cenário de percentual de modalidades de coleta seletiva

<b>Cenário</b>	<b>Percentual de resíduos coletados via mista</b>	<b>Percentual de resíduos coletados via PEV</b>	<b>Percentual de resíduos coletados via PP</b>
1	0,750	0,139	0,111
15	0,111	0,750	0,139
16	0,139	0,111	0,750

Fonte: Autoria própria. <sup>1</sup>Valor retirado de Aderes (2017)

Os cenários 17 e 18 avaliaram o impacto da ampliação da cobertura de coleta seletiva nos rendimentos dos catadores conforme metas estabelecidas no PERS-ES (ESPÍRITO SANTO, 2019). Segundo o documento, ao longo de 20 anos a cobertura populacional da coleta seletiva no estado alcançará 100%, conforme evidenciado no Quadro 16.

Quadro 16 – Metas de ampliação de cobertura de coleta seletiva para o Espírito Santo até 2039.

<b>Ano</b>	<b>Atual</b>	<b>2023</b>	<b>2027</b>	<b>2031</b>	<b>2035</b>	<b>2039</b>
Cobertura da coleta seletiva (% da população)	28,15%	40%	55%	70%	85%	100%

Fonte: Espírito Santo (2019)

Uma vez que a cobertura de coleta seletiva utilizada para o modelo de dinâmica de sistemas proposto é em massa de resíduos e que o total de resíduos gerados foi calculado utilizando a população, considera-se que o alcance de 100% de cobertura de coleta seletiva em população equivale a coleta de 30% do total de resíduos. Esse valor corresponde à porcentagem média de resíduos recicláveis nos resíduos sólidos urbanos conforme estudos de alguns autores (SILVA, 2017; DUTRA; YAMANE; SIMAN, 2018; ZHANG *et al.*, 2019).

Foi considerado ainda que a cobertura de coleta seletiva atual no município da Serra é de 0,71%, valor esse obtido mediante divisão do total de resíduos recebidos pelas organizações de catadores do município (ADERES, 2017) pelo total de resíduos

gerados. Esse valor se aproxima da cobertura de coleta seletiva declarada pelo município na ocasião do PERS-ES, de 1% (ESPÍRITO SANTO, 2019). Assim, o Quadro 17 apresenta as variações de cenário que representam o comportamento da cobertura de coleta seletiva no município ao longo dos 20 anos caso as metas não fossem alcançadas (não efetiva), caso as metas fossem alcançadas pela metade (parcialmente efetiva), e na possibilidade que as metas fossem alcançadas em sua totalidade (totalmente efetiva).

Quadro 17 – Cobertura de cobertura de coleta seletiva para a Serra até 2039 (em % de massa de resíduos).

<b>Implementação da política</b>	<b>Cenário</b>	<b>2020</b>	<b>2023</b>	<b>2027</b>	<b>2031</b>	<b>2035</b>	<b>2039</b>
Totalmente efetiva	18	0,71%	12%	17%	21%	26%	30%
Parcialmente efetiva	17	0,71%	6%	8%	11%	13%	15%
Não efetiva	1	0,71%	0,71%	0,71%	0,71%	0,71%	0,71%

Fonte: Autoria própria

Para isso, foi utilizada a função “WITHLOOKUP”, que possibilita a atribuição de valores às variáveis conforme a unidade temporal adotada. No caso do modelo proposto, a cobertura atribuída para cada cenário simulado variou anualmente.

Por fim, o Quadro 18 apresenta um resumo da descrição dos 22 cenários, de forma que todos são baseados no Cenário 1 e as células coloridas são relacionadas às variáveis que sofreram modificação.

Quadro 18 – Descrição dos cenários avaliados.

Objetivos	Cenário	Política de Educação Ambiental	Rejeitos	Política de incentivo às parcerias	Doações	Estratégia de coleta seletiva			Ampliação da CS	Investimento próprio
						PERCENTUAL MISTA	PERCENTUAL PEV	PERCENTUAL PP		
Estabelecer cenário base	1	Não efetiva	Lento	Não efetiva	Lento	0,75	0,139	0,111	Não efetiva	Sem investimento
Avaliar o impacto do investimento próprio	2	Não efetiva	Lento	Não efetiva	Lento	0,75	0,139	0,111	Não efetiva	Com investimento
Avaliar o impacto da implementação da política de educação ambiental	3	Parcialmente efetiva	Lento	Não efetiva	Lento	0,75	0,139	0,111	Não efetiva	Sem investimento
	4	Parcialmente efetiva	Intermediário	Não efetiva	Lento	0,75	0,139	0,111	Não efetiva	Sem investimento
	5	Parcialmente efetiva	Rápido	Não efetiva	Lento	0,75	0,139	0,111	Não efetiva	Sem investimento
	6	Totalmente efetiva	Lento	Não efetiva	Lento	0,75	0,139	0,111	Não efetiva	Sem investimento
	7	Totalmente efetiva	Intermediário	Não efetiva	Lento	0,75	0,139	0,111	Não efetiva	Sem investimento
	8	Totalmente efetiva	Rápido	Não efetiva	Lento	0,75	0,139	0,111	Não efetiva	Sem investimento
Avaliar o impacto da implementação da política de incentivo às parcerias	9	Não efetiva	Lento	Parcialmente efetiva	Lento	0,75	0,139	0,111	Não efetiva	Sem investimento
	10	Não efetiva	Lento	Parcialmente efetiva	Intermediário	0,75	0,139	0,111	Não efetiva	Sem investimento
	11	Não efetiva	Lento	Parcialmente efetiva	Rápido	0,75	0,139	0,111	Não efetiva	Sem investimento
	12	Não efetiva	Lento	Totalmente efetiva	Lento	0,75	0,139	0,111	Não efetiva	Sem investimento
	13	Não efetiva	Lento	Totalmente efetiva	Intermediário	0,75	0,139	0,111	Não efetiva	Sem investimento
	14	Não efetiva	Lento	Totalmente efetiva	Rápido	0,75	0,139	0,111	Não efetiva	Sem investimento
Avaliar o impacto da estratégia de coleta seletiva	15	Não efetiva	Lento	Não efetiva	Lento	0,111	0,75	0,139	Não efetiva	Sem investimento
	16	Não efetiva	Lento	Não efetiva	Lento	0,139	0,111	0,75	Não efetiva	Sem investimento
Avaliar o impacto da ampliação da cobertura de coleta seletiva	17	Não efetiva	Lento	Não efetiva	Lento	0,75	0,139	0,111	Parcialmente efetiva	Sem investimento
	18	Não efetiva	Lento	Não efetiva	Lento	0,75	0,139	0,111	Totalmente efetiva	Sem investimento

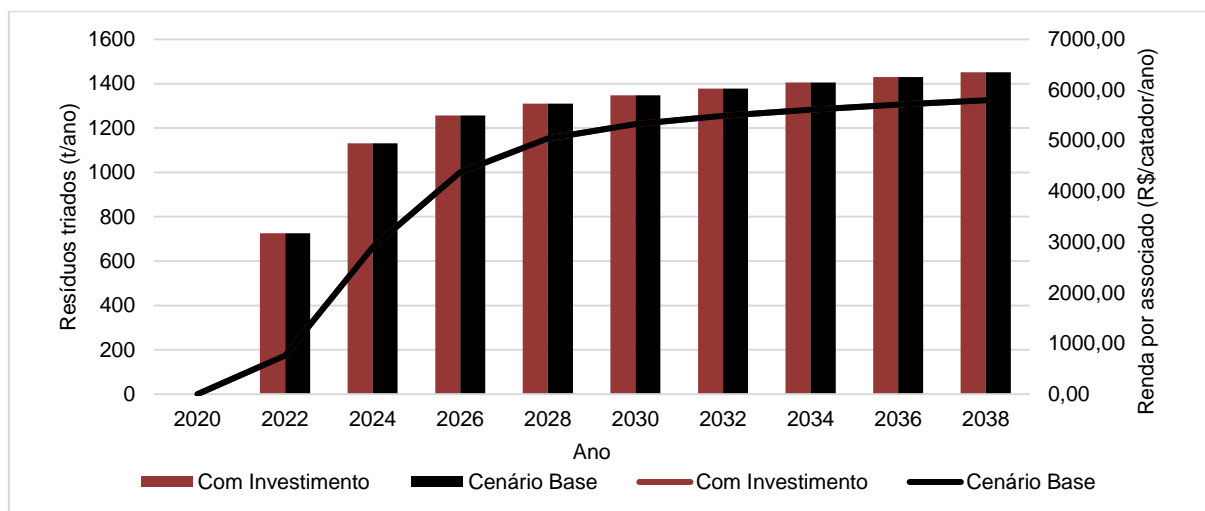
Objetivos	Cenário	Política de Educação Ambiental	Rejeitos	Política de incentivo às parcerias	Doações	Estratégia de coleta seletiva			Ampliação da CS	Investimento próprio
						PERCENTUAL MISTA	PERCENTUAL PEV	PERCENTUAL PP		
Avaliar o impacto da implementação de todas as políticas	19	Parcialmente efetiva	Intermediário	Parcialmente efetiva	Intermediário	0,139	0,111	0,75	Parcialmente efetiva	Sem investimento
	20	Parcialmente efetiva	Intermediário	Parcialmente efetiva	Intermediário	0,139	0,111	0,75	Parcialmente efetiva	Com investimento
	21	Totalmente efetiva	Rápido	Totalmente efetiva	Rápido	0,111	0,75	0,139	Totalmente efetiva	Sem investimento
	22	Totalmente efetiva	Rápido	Totalmente efetiva	Rápido	0,111	0,75	0,139	Totalmente efetiva	Com investimento

Fonte: Autoria própria

### 5.4.2 Análise de cenários

Com relação ao cenário base (Cenário 1), onde não há investimento por parte das associações, e ao cenário com investimento (Cenário 2), os resultados são apresentados na Figura 15. No eixo esquerdo, representado pelo gráfico de colunas, está a quantidade de resíduos triados por ano, e no eixo direito, representado pelo gráfico de linhas, a renda total por associado.

Figura 15 – Comportamento da variável “renda total por associado” e quantidade de resíduos triados no cenário base e no cenário onde há investimento por parte das organizações de catadores.



Fonte: Autoria própria

Conforme observado na Figura 15, não existe diferença entre os dois cenários, sendo em 2039 a renda total por associado alcançará o valor de R\$5.836,32 e a quantidade de resíduos triados alcançará 1.460,37t. Devido à ausência de implementação das políticas públicas, o montante de resíduos cresce apenas em função do aumento da população, permanecendo dentro dos limites da capacidade de triagem atual das organizações de catadores. Por consequência, o déficit de triagem permanece nulo em ambos os cenários, não sendo necessário o investimento em infraestrutura.

Esse valor é bem próximo do encontrado por Porto (2019) e Dantas *et al.* (2017). Entretanto, observa-se que o salário alcançado pelos catadores é menor do que a metade o salário mínimo de R\$12.540,00<sup>2</sup>, valor esse que indica situação

<sup>2</sup> Salário mínimo vigente no Brasil em 2020 conforme medida provisória nº 919, de 30 de janeiro de 2020.

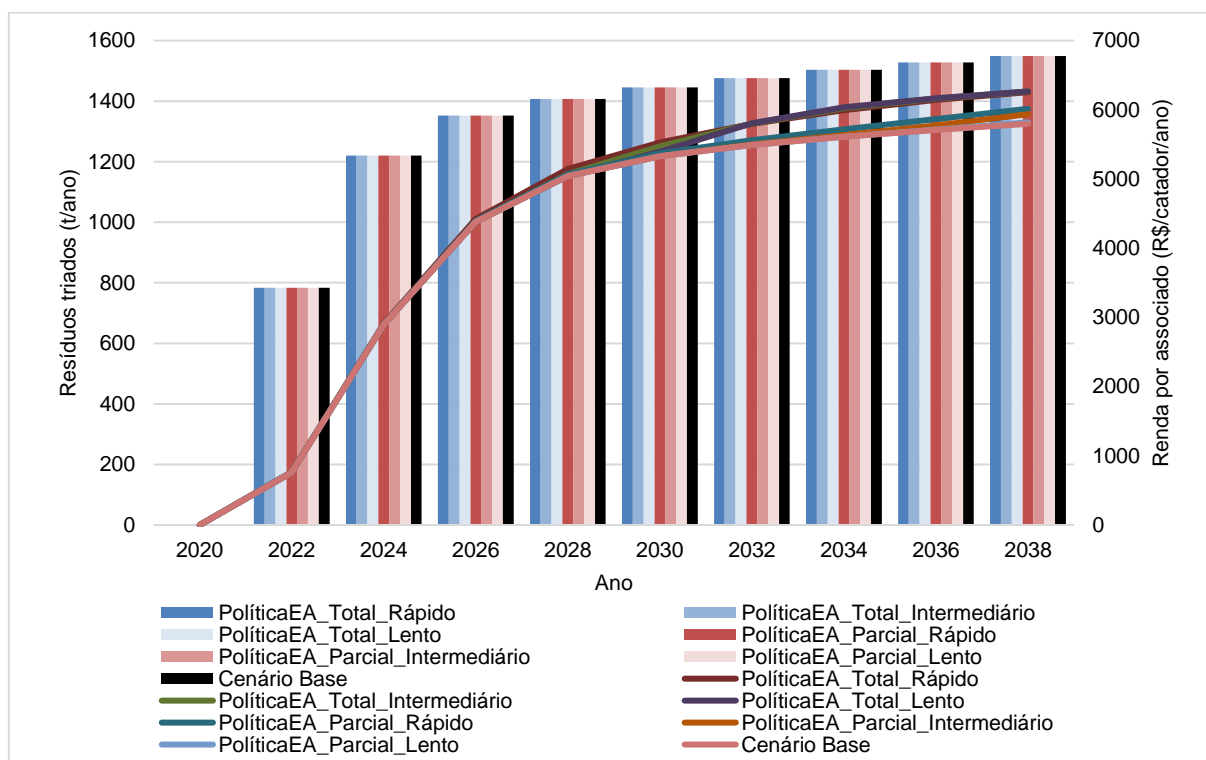


socioeconômica muito desfavorável para os catadores, conforme a classificação proposta por BESEN *et al.* (2017).

Esta projeção corrobora com o identificado por diversos autores, quando identificaram que os catadores recebiam abaixo do salário mínimo (ALMEIDA; FIGUEIREDO; DANTAS, 2017; ANDRADE *et al.*, 2020; DUTRA; YAMANE; SIMAN, 2018; FIDELIS; COLMENERO, 2018; KASINJA; TILLEY, 2018; ZON *et al.*, 2020). Dessa forma, percebe-se que a ausência de políticas públicas inclusivas manteria as OCMRR em uma situação desfavorável quanto à situação econômica de seus associados/cooperados, pois não garante a eles acesso a um incremento real da quantidade de resíduos que seja rentável.

A Figura 16 apresenta o impacto da implementação da política de educação ambiental na variável "renda total por associado" (gráfico de linhas, eixo direito) e na quantidade de resíduos triados (gráfico de barras, eixo esquerdo). Os cenários apresentados são o cenário base e os cenários de implementação da política de educação ambiental parcialmente efetiva (Cenários 3, 4 e 5) em cor vermelha e totalmente efetiva (Cenários 6, 7 e 8), em cor azul.

Figura 16 - Comportamento da variável "renda total por associado" e quantidade de resíduos triados conforme implementação da política de educação ambiental.



Fonte: Autoria própria

Conforme observado na Figura 16, o comportamento da renda por catador permanece praticamente sem mudanças em todos os cenários até o ano 2026, com diferenças em menores que 1%. A partir de 2028, no cenário onde a implementação é total e rápida a renda dos catadores é superior às demais simulações até o ano de 2031, onde ocorre uma inversão e o cenário de comportamento lento começa a superar as demais simulações. Ao final do tempo de simulação, os três cenários de implementação total da política de educação ambiental alcançam uma diferença positiva de cerca de 8% em relação ao cenário base, com um valor de R\$6.301,49/catador/ano. Tais cenários leva os catadores a uma situação socioeconômica desfavorável.

Considerando os cenários em que implementação é parcialmente efetiva, não ocorreu a inversão observada no cenário de implementação total. As diferenças em torno de 1% começam a aparecer a partir de 2031, quando a renda dos catadores passa a ser maior no cenário rápido do que nos cenários lento e intermediário, alcançando R\$6.084,34/catador/ano ao final do período de simulação. Esse valor supera o cenário base em 4,2%.

Percebe-se que a implementação parcial da política de educação ambiental não foi suficiente para tirar os catadores de situação socioeconômica muito desfavorável em nenhum cenário (BESEN *et al.*, 2017). Nessa situação, as organizações ainda não dispõem de capital suficiente para fazer investimentos, mesmo se fosse necessário, conforme também observado na maioria das OCMRR estudadas na região do oeste do Espírito Santo (DUTRA; YAMANE; SIMAN, 2018).

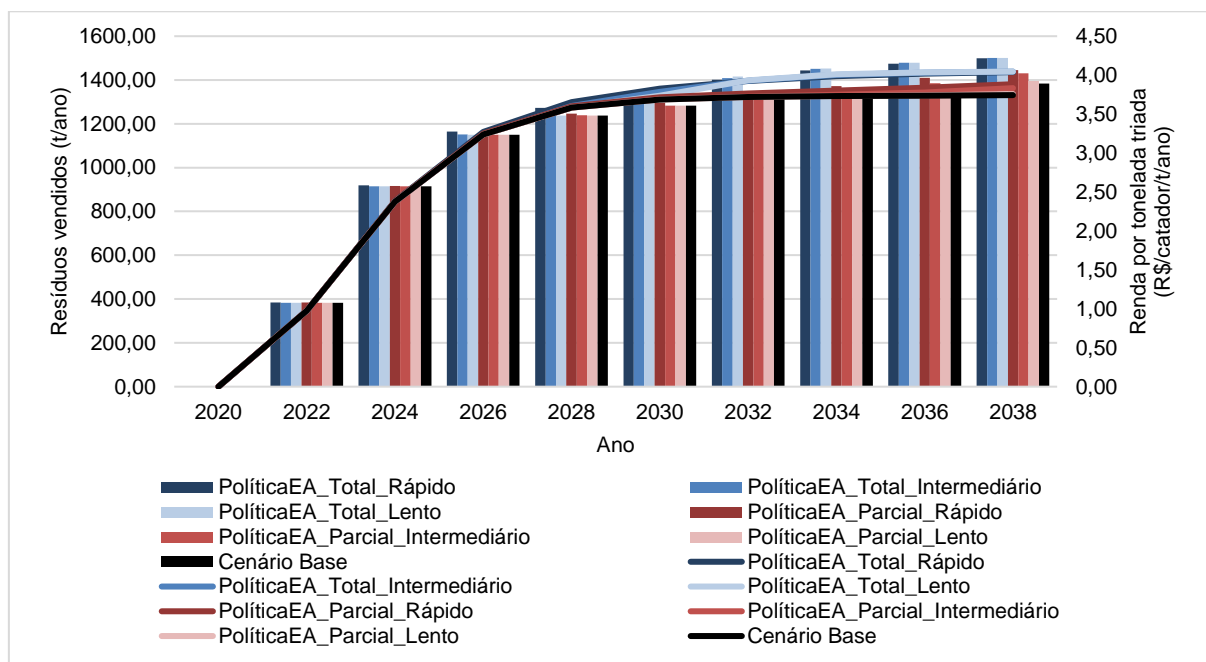
Isso se deve ao fato de a política de educação ambiental não ter impacto na quantidade de resíduos entregues para a triagem, uma vez que sua influência é exercida fundamentalmente apenas no percentual de rejeitos presente nos resíduos. A quantidade de resíduos triados é a mesma para todos os cenários, atingindo um total de 1.558,15t em 2039.

Em todos os cenários de implementação da política de educação ambiental, o déficit de área é nulo embora haja um singelo aumento na quantidade de resíduos e, conseqüentemente, não há necessidade de investimento próprio por parte das OCMRR. Isso implica ou em uma sub utilização do espaço disponível para triagem dos resíduos, considerando que a indicação geral para construções de galpões de triagem é de 300m<sup>2</sup> para cada tonelada triada por dia (MMA, 2010), ou que os

investimentos médios governamentais adotados são suficientes para suprir a demanda pela ampliação de infraestrutura.

Uma outra análise é apresentada na Figura 17. No eixo esquerdo, é apresentada a quantidade total de resíduos comercializados por ano, ou seja, a soma dos estoques de resíduos de valor das diversas fontes e modalidades de coleta. Os dados são contabilizados no gráfico de colunas. No eixo direito, é apresentado um indicador obtido mediante a divisão das receitas totais pela quantidade total de resíduos triados por ano e pelo número de catadores, e os dados são contabilizados no gráfico de linhas. Ou seja, o valor indica quanto cada catador recebe por tonelada triada na organização.

Figura 17 – Quantidade de resíduos vendidos e renda por catador por resíduo triado nos cenários de implementação da política de educação ambiental.



Fonte: Autoria própria

Embora a quantidade de resíduos triados seja a mesma para todos os cenários, a quantidade de resíduos vendidos, ou seja, que efetivamente seguiram para a reciclagem, foi diferente em cada cenário. Os três cenários de implementação total alcançaram em 2039 cerca de 1.510t de resíduos, valor 8,5% maior que o cenário base, de 1.392t. Já os cenários de implementação parcial rápido, intermediário e lento superaram o cenário base em 5%, 4,4% e 2,7%, respectivamente. Isso já era esperado, pois a separação de resíduos a nível domiciliar aumenta o volume de

recicláveis enviados para a coleta seletiva (GUTBERLET *et al.*, 2016; SUKHOLTHAMAN; SHARP, 2016).

Esses resultados estão bem aquém daqueles encontrados por Simonetto *et al.* (2014), que aponta que em um cenário em que a população é preocupada com as questões ambientais a quantidade de resíduos enviados à reciclagem pode chegar a 153%. Pickering *et al.* (2020) afirmam que a ligação entre o conhecimento de como resolver os problemas ambientais e o comportamento individual em si não é linear, mas um caminho mais complexo. Complementarmente, Wang *et al.* (2019) apontam que a influência da informação pública tem uma influência direta na intenção de separação, mas o efeito no incremento financeiro do catador é relativamente pequeno.

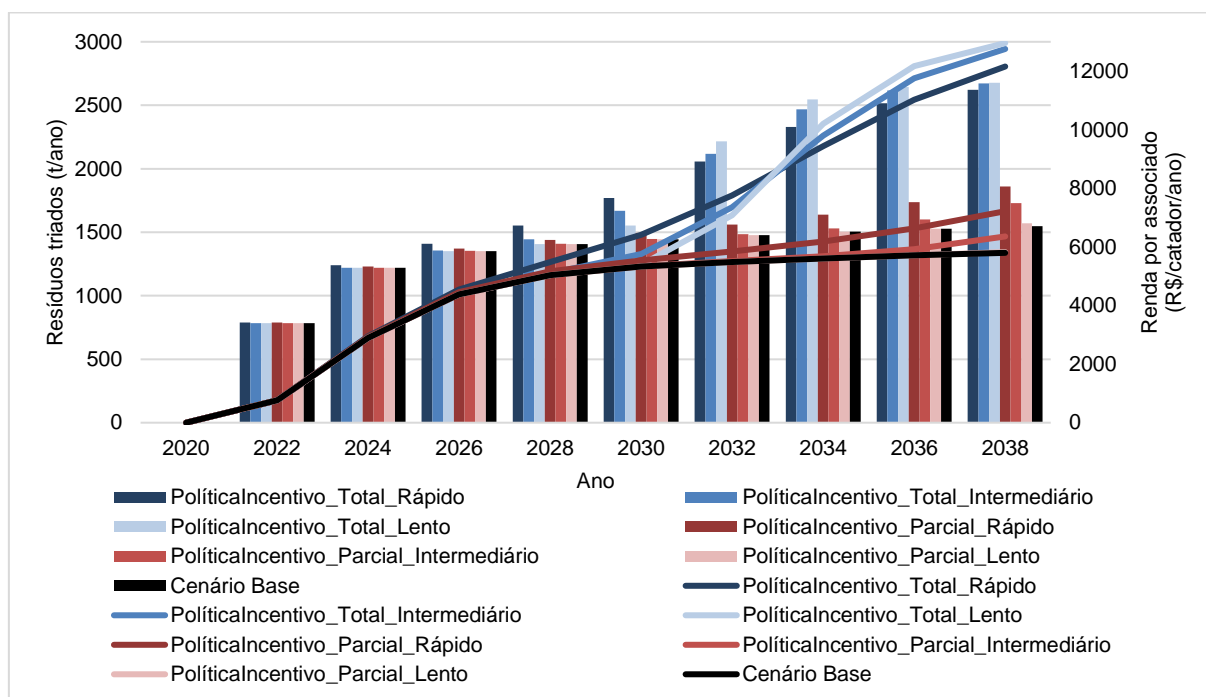
O baixo impacto da política de educação ambiental com relação à renda pode ser também atribuído ao baixo índice de rejeitos já observados para as diferentes fontes de resíduos da área de estudo. A quantidade de resíduos vendidos no cenário de implementação total da política, por exemplo, das fontes PEV e mista foi cerca de 10% maior que o cenário base. Já com relação à fonte de geradores particulares e modalidade porta a porta de geradores domiciliares, que apresentam índice de rejeito ainda menor, a variação foi de 5% e 2%, respectivamente. Isso implica que quanto maior o índice de rejeito, maior o impacto da política de educação ambiental na quantidade de resíduos vendidos e, conseqüentemente, na renda.

Considerando que a quantidade de resíduos triados foi a mesma, era de se esperar que o cenário com maior quantidade de resíduos vendidos obtivesse um valor maior para o indicador renda por tonelada triada. Nos cenários onde esse indicador é maior, existe uma maior eficiência, já que conseguem ter uma maior renda triando a mesma quantidade de resíduos.

Assim, em 2039, todos os cenários com implementação total da política de educação ambiental apresentaram renda por resíduo triado de R\$4,05/catador/t/ano, ao passo que os cenários com implementação parcial da política alcançaram renda por resíduo triado de R\$3,90catador/t/ano, R\$3,87catador/t/ano e R\$3,79catador/t/ano em comportamentos rápido, intermediário e lento, respectivamente. No cenário base, o valor alcançado em 2039 foi de R\$3,75catador/t/ano, ou seja, 8% menor que o cenário de implementação total da política.

A Figura 18 apresenta de forma visual o impacto da implementação da política de incentivo às parcerias na variável “renda por associado” (gráfico de linhas, eixo direito) e na quantidade de resíduos triados (gráfico de barras, eixo esquerdo). Os cenários apresentados são o base e os cenários de implementação da política de incentivo às parcerias parcialmente efetiva (Cenários 9, 10 e 11), em cor vermelha, e totalmente efetiva (Cenários 12, 13 e 14), em tons de azul.

Figura 18 - Comportamento da variável "renda total por associado" e quantidade de resíduos triados conforme implementação da política de incentivo às parcerias com geradores particulares.



Fonte: Autoria própria

Ao contrário da política de educação ambiental, a política de incentivo às parcerias com grandes geradores tem impacto direto na quantidade de resíduos triados, conforme observado na Figura 18. O aumento é expressivamente maior nos cenários de implementação total da política, com uma diferença de cerca de 70% comparado ao cenário base. O cenário de implementação lenta foi o que apresentou maior quantidade de resíduos triados ao final do período de simulação, com 2.689,33t.

Os cenários de implementação parcial rápida, intermediária e lenta apresentaram diferenças de 24%, 17% e 6% comparado ao cenário base, respectivamente. Quando a implementação foi de forma rápida, a quantidade de resíduos foi maior em todos os anos, alcançando 1.931,98t em 2039.

Observa-se que, no cenário base, em 2039 o percentual de resíduos oriundos de doações é de 6% do total de resíduos triados, valor menor que de 12% e 19% identificados por Porto (2019), Magalhães (2019) e Andrade *et al.* (2020). Entretanto, nos cenários de implementação total de parcerias eleva esse percentual para cerca de 45%, ao passo que nos cenários de implementação parcial os valores são de 24%, 20% e 12% para comportamentos rápido, intermediário e lento, respectivamente.

O comportamento da renda por catador permanece praticamente sem mudanças até o ano 2023, com diferenças em torno de 1%. A partir de 2024, o cenário de implementação total da política de forma rápida é o que apresenta maior renda até o ano de 2033, em que a implementação total de forma lenta passa a alcançar valor maior do que todos os cenários. Nesse último cenário, em 2039, a renda dos catadores alcança R\$13.133,79/catador/ano, um aumento de 125% em relação ao cenário base, indicando situação favorável para os catadores (BESSEN *et al.*, 2017). Nos três cenários de implementação total, o valor se aproxima do salário em algumas OCMRR do Paraná, que recebem também pagamento por serviço de coleta seletiva (FIDELIS; COLMENERO, 2018). Observa-se que o cenário de implementação rápida tem um maior efeito à curto prazo, mas a longo prazo a implementação lenta apresenta uma melhoria mais expressiva comparado ao cenário base.

Quanto aos cenários de implementação parcial da política de incentivo às parcerias, as diferenças em relação ao cenário base foram menores. O cenário em que a política é implementada de forma rápida foi o que apresentou maiores valores em todos os anos de simulação, até alcançar o valor de R\$7.572,22/catador/ano, ou seja, 30% acima do cenário base.

Comparando ao salário mínimo, os cenários de implementação total da política de forma lenta e intermediária foram os únicos que alcançaram valores considerados favoráveis por Besen *et al.* (2017). Entretanto, o cenário de implementação total e rápida proporcionou ganho praticamente igual ao salário mínimo, R\$12.539,40/catador/ano. Quanto aos cenários de implementação parcial, aquele com comportamento lento permaneceu em situação muito desfavorável assim como o cenário base, e os cenários com comportamento intermediário e rápido passaram à situação desfavorável.

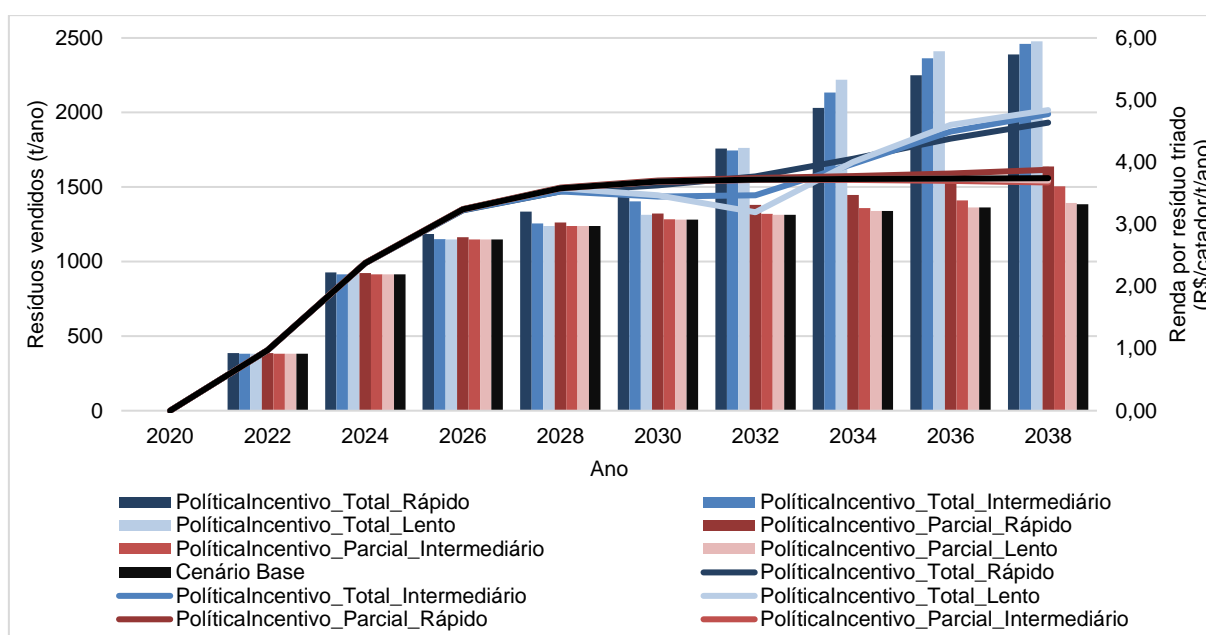
Assim, considera-se que um cenário onde haja implementação total da política de incentivo, as organizações de catadores conseguem alcançar receitas suficientes para

receber um salário mínimo e começar a investir em infraestrutura. Entretanto, em nenhum cenário houve déficit de área, ou seja, a estrutura de triagem existente hoje no município com melhorias feitas apenas com investimentos externos, seguindo o padrão apresentado na metodologia, pode ser suficiente para receber mais de 10 vezes a quantidade de resíduos recebida hoje por parte de grandes geradores.

Além disso, observou-se também que a variável estoque “Resíduos CS triados” não sofreu alterações com os cenários. Ou seja, os catadores conseguem triar tanto os resíduos oriundos da coleta seletiva (na atual situação de cobertura de coleta), quanto os resíduos oriundos das novas parcerias com grandes geradores.

Analogamente à análise feita para a política de educação ambiental, a Figura 19 apresenta a avaliação da renda por quantidade de resíduo triado. No eixo esquerdo, é apresentada a quantidade total de resíduos vendidos por ano (gráfico de barras) e no eixo direito é apresentado o indicador de renda por catador por tonelada triada (gráfico de linhas).

Figura 19 - Quantidade de resíduos vendidos e renda por catador por resíduo triado nos cenários de implementação da política de incentivo às parcerias com geradores particulares.



Fonte: Autoria própria

Conforme observado na Figura 19, a quantidade de resíduos vendidos é expressivamente maior nos cenários de implementação total da política de incentivo às parcerias com grandes geradores. Até 2031, o cenário rápido é o que apresenta maior quantidade de resíduos vendidos e, a partir de então, o cenário lento supera

todos os demais cenários. Comparado ao cenário base, a diferença chega à 79% em 2039 no cenário de implementação lenta, com 2.493,26t de resíduos vendidos. O cenário intermediário apresenta 78% a mais de resíduos vendidos no fim do período de simulação comparado ao cenário base. Demajorovic *et al.* (2014) identificaram aumento de 195% na quantidade de resíduos recebidos com a implementação de parcerias, mas deve-se considerar que as estimativas no presente estudo consideraram um valor médio de doações de cada parceria relativamente baixo devido ao baixo percentual atual de resíduos oriundos dessa fonte.

Quanto aos cenários de implementação parcial, aquele com comportamento rápido foi o maior entre os três em todo o horizonte de simulação, apresentando 22% a mais de resíduos vendidos comparado ao cenário base em 2039. Já nos cenários com comportamento intermediário e lento a quantidade de resíduos vendidos, ao final do período de simulação a quantidade de resíduos vendidos superou o cenário base em 13% e 3%, respectivamente.

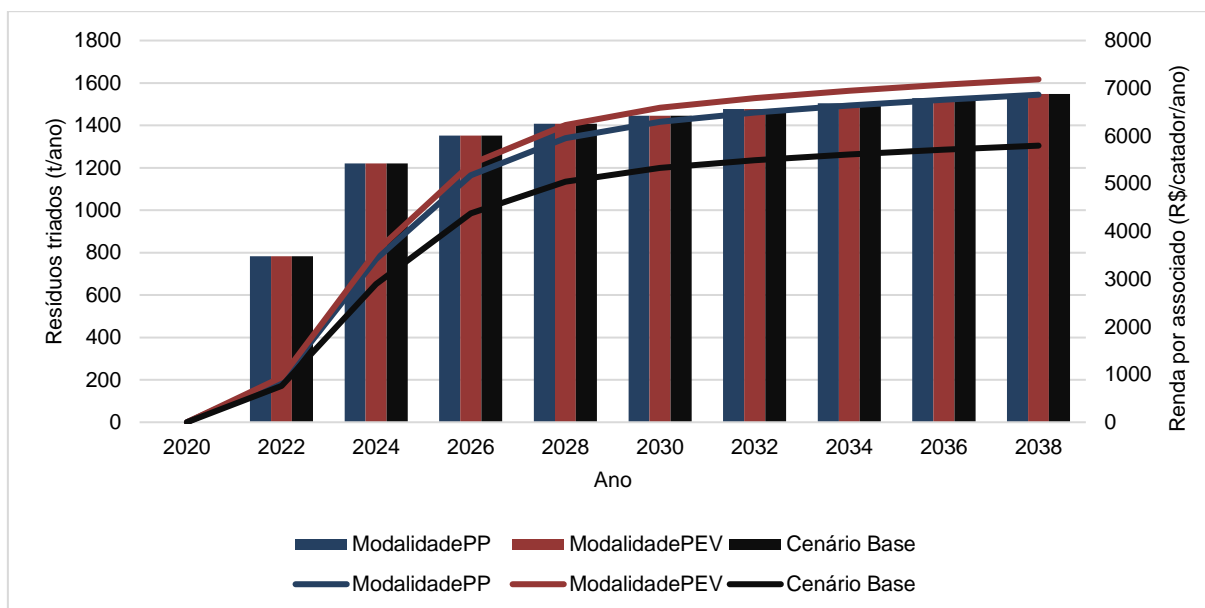
Com relação ao indicador renda por resíduo triado, até o ano de 2026 não existe diferenças significativas. A partir de 2032, o cenário onde a política é implementada de forma total e rápida passa a superar todos os demais cenários. Em 2036, o cenário onde a política é totalmente implementada de forma lenta se torna o cenário com maiores valores.

No último ano de simulação, os valores da renda por resíduo triado para os cenários de implementação total da política são R\$4,73catador/t/ano, R\$4,84catador/t/ano, R\$4,88catador/t/ano para os cenários rápido, intermediário e lento, respectivamente. Já nos cenários de implementação parcial da política, os valores são R\$3,92catador/t/ano, R\$3,67catador/t/ano e R\$3,60catador/t/ano para implementação rápida, intermediária e lenta, respectivamente. Comparado com os cenários de implementação da política de educação ambiental, a implementação de parcerias confere maior produtividade econômica, já que o valor recebido por unidade de resíduo triado é maior.

A Figura 20 ilustra a avaliação do impacto da escolha da estratégia de coleta seletiva na renda do associado e na quantidade de resíduos triados. Os cenários apresentados são o base (Cenário 1), no qual a modalidade mista é priorizada, e os cenários onde a estratégia de coleta seletiva prioriza as modalidades PEV (Cenário 15) e porta a porta (Cenário 16).



Figura 20 - Comportamento da variável "renda total por associado" e quantidade de resíduos triados conforme estratégia de coleta seletiva.

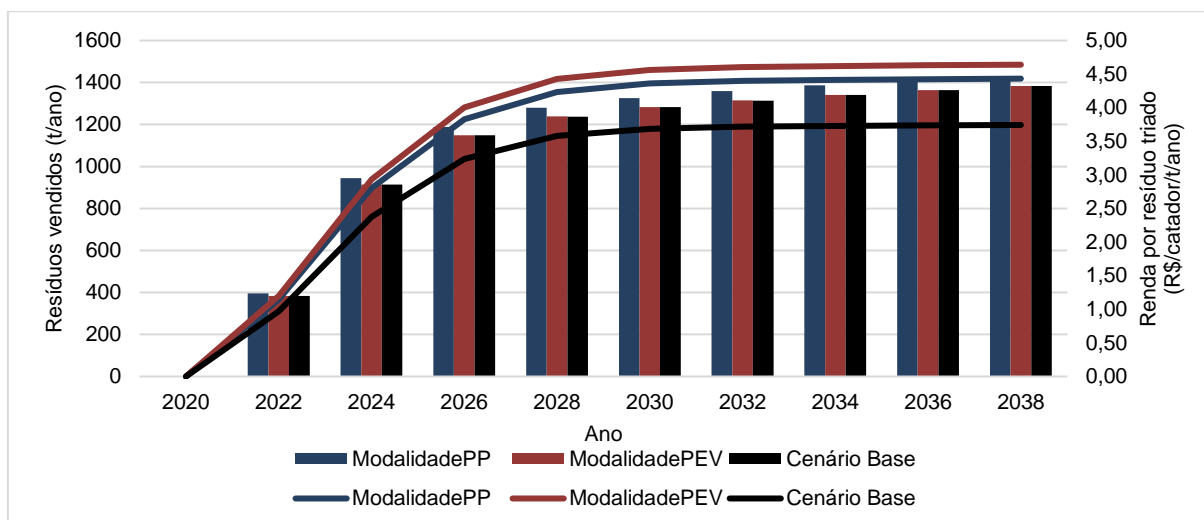


Fonte: Autoria própria

Conforme observa-se na Figura 20, a quantidade de resíduos triados não muda nos diferentes cenários. Isso é porque a mudança de estratégia de coleta diz respeito ao percentual de participação de cada modalidade na coleta seletiva, mas não influencia na quantidade. Entretanto, a simulação onde a estratégia de coleta seletiva PEV é priorizada leva um maior rendimento 24% maior que o cenário base ao longo do período de simulação, alcançando R\$7.235,85/catador/ano em 2039. Já o cenário onde a modalidade porta a porta é priorizada, a renda por catador supera o cenário base em 18%, chegando à R\$6.912,30/catador/ano. Em ambos os cenários a situação socioeconômica dos catadores passa de muito desfavorável para desfavorável conforme BESEN *et al.* (2017).

Fica evidente que o cenário onde a modalidade PEV é priorizada possui uma maior eficiência, pois a mesma quantidade de resíduos triados traz um retorno financeiro maior para os catadores. A Figura 21 apresenta a comparação da quantidade de resíduos vendidos, que foi calculado somando todos os estoques de resíduos com valor de mercado, e o indicador de renda por resíduo triado.

Figura 21 - Quantidade de resíduos vendidos e renda por catador por resíduo triado nos cenários de estratégias de coleta seletiva.



Fonte: Autoria própria

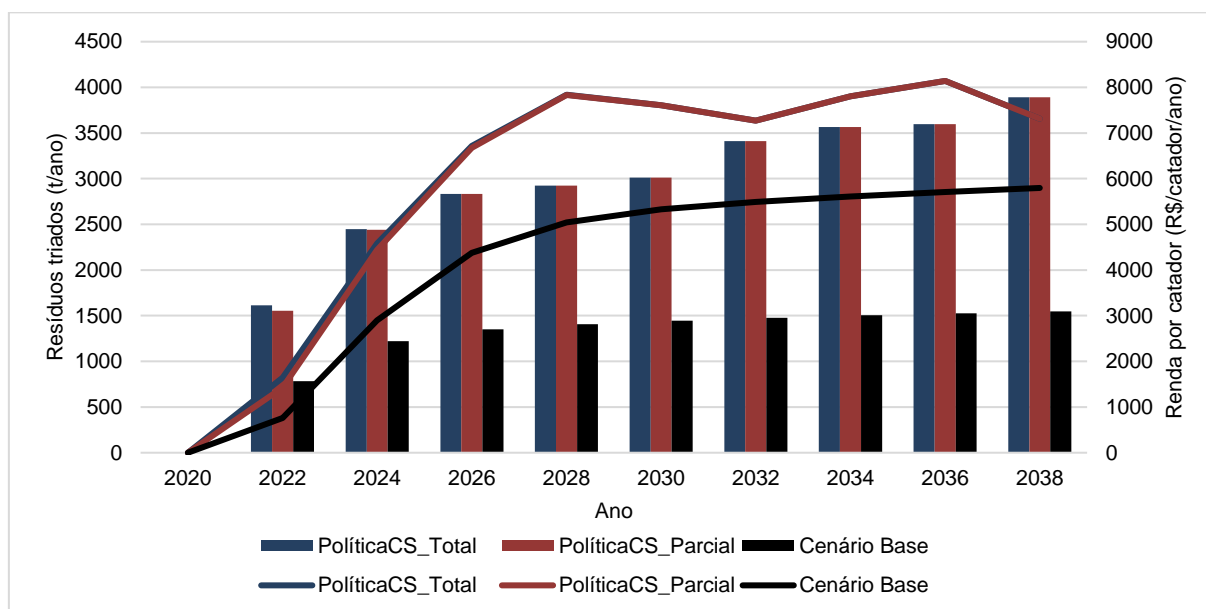
Conforme observa-se na Figura 21, o cenário onde modalidade porta a porta é priorizada apresenta maior quantidade de resíduos vendidos, se comparado aos demais cenários. O valor é cerca de 3% superior comparado ao cenário base, ao longo do período de simulação. Já no cenário onde a modalidade PEV é priorizada, esse valor é praticamente igual ao cenário base, onde a modalidade mista é priorizada. Entretanto, a modalidade PEV apresenta maior renda por resíduo triado, alcançando o valor de R\$4,64/catador/t/ano, ao passo que nos cenários onde a modalidade porta a porta e mista são priorizadas esse valor foi de R\$4,44/catador/t/ano e 3,75/catador/t/ano. Comparado com os cenários de implementação da política de educação ambiental, a mudança na estratégia de coleta seletiva parece mais vantajosa no ponto de vista dos rendimentos por unidade de resíduo triado, ao passo que comparado aos cenários de implementação de política de incentivo às parcerias, a mudança de estratégia de coleta seletiva supera apenas os cenários de implementação parcial.

Observa-se que, embora a modalidade porta a porta apresente maior produtividade de triagem e menor percentual de rejeitos como variáveis de entrada no modelo, a modalidade PEV apresenta maior rendimento por tonelada. Isso se deve, principalmente, à composição gravimétrica dos resíduos oriundos da modalidade PEV que, para o estudo de caso em questão, possui maior percentual de plástico e papel se comparada as demais modalidades.

De outro modo Bertanza, Ziliani, e Menoni (2018) e Wang *et. al* (2019) apontam que a coleta mediante PEV apresenta menor quantidade de recicláveis comparada à modalidade porta a porta. Entretanto, quando Struk (2017) analisa especificamente o percentual de papel e plástico, identificou pouca diferença entre as duas modalidades, embora tenha constatado que a modalidade porta a porta apresentasse uma maior taxa de separação. Isso implica que, de um modo geral, as características dos resíduos oriundos de cada modalidade irão variar conforme o modelo de coleta seletiva implementado, principalmente com relação à distribuição dos PEV, frequência de coleta, entre outros fatores (FERRONATO *et al.*, 2020b; FERREIRA *et al.*, 2017).

Na Figura 22 é apresentado o comportamento da variável “renda por associado” e a quantidade de resíduos triados de acordo com a implementação da política de ampliação da cobertura de coleta seletiva. Os cenários apresentados são o base (Cenário 1), onde a implementação é parcialmente efetiva, e os cenários onde a implementação da política de ampliação da cobertura não é efetiva ou é totalmente efetiva (Cenários 17 e 18).

Figura 22 - Comportamento da variável "renda total por associado" e quantidade de resíduos triados conforme ampliação da cobertura de coleta seletiva.



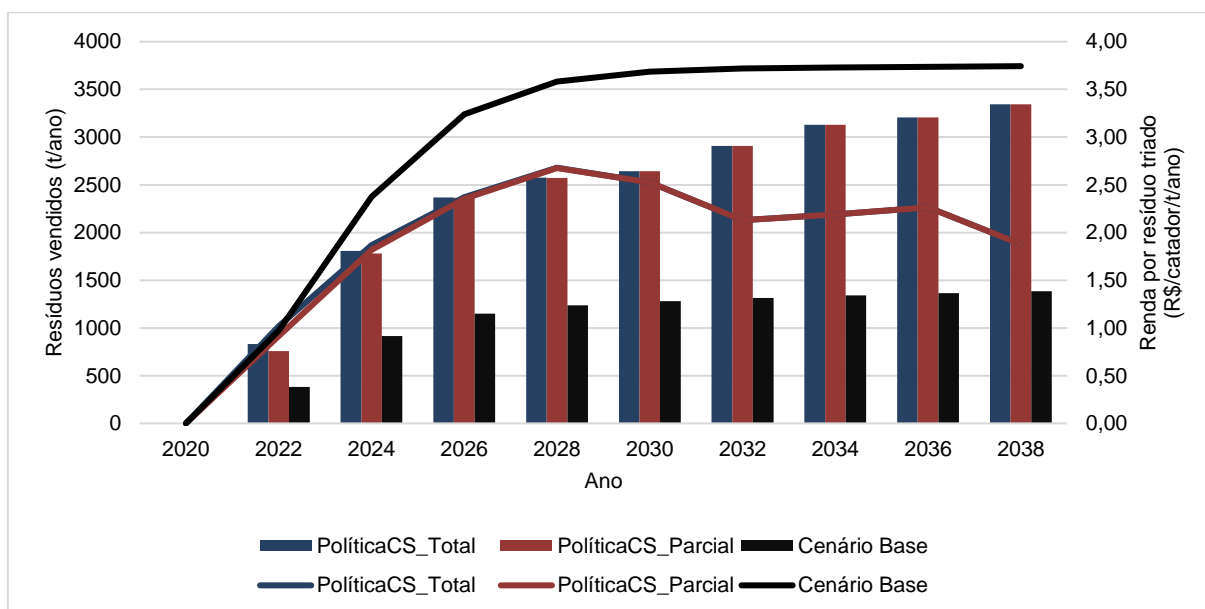
Fonte: Autoria própria

Na Figura 22 evidencia-se que o cenário onde a política de ampliação de coleta seletiva é totalmente efetiva tem uma diferença quase imperceptível comparada ao cenário onde ela é parcialmente efetiva, chegando, em ambos os cenários, ao valor de R\$7.380,83/catador/ano em 2039. Esse valor é superior ao cenário base em 26%,

mas ainda permanece desfavorável para os catadores (BESEN *et al.*, 2017). Pinha e Sagawa (2020) também identificaram que um aumento da taxa de coleta seletiva de 8,56% para 15% resultou em um aumento das receitas totais em 67%. O comportamento do gráfico em forma de “picos” coincide com os anos onde há investimento governamental, havendo uma diminuição do salário por catador devido ao aumento da quantidade de catadores.

Observa-se também que a quantidade de resíduos triados é superior no cenário de implementação total até o ano de 2028, e a partir de então esse valor passa a ser idêntico ao cenário de implementação parcial até o final do período de simulação. Ao final do ano de simulação, a quantidade de resíduos triados em ambos os cenários é de 4.071,03t, 161% maior que no cenário base. Esse comportamento também é observado quando se analisa a quantidade de resíduos vendidos, pois a cobertura de coleta influencia apenas nos resíduos que são enviados para a triagem. A Figura 23 evidencia isso, apresentando a quantidade de resíduos vendidos (colunas) no eixo esquerdo e o indicador de renda por resíduo triado (linha) no eixo direito.

Figura 23 - Quantidade de resíduos vendidos e renda por catador por resíduo triado nos cenários de implementação da política ampliação da coleta seletiva.



Fonte: Autoria própria

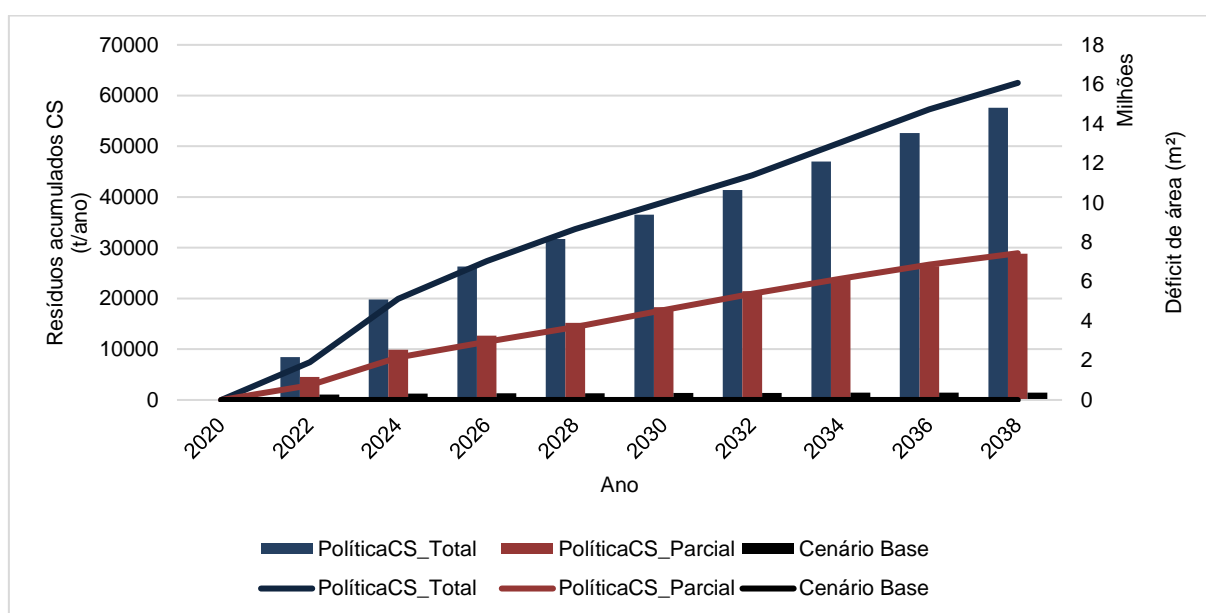
Conforme observado na Figura 23, a quantidade de resíduos vendidos tem o mesmo comportamento dos resíduos triados para os três cenários. Ao final do período de simulação, a quantidade é de 3.497,89t para os cenários de implementação da política, valor 151% maior que no cenário base.

Quanto ao indicador renda por resíduo triado apresentado, observa-se que os cenários de aumento de cobertura de coleta seletiva mostram-se menos vantajosos do que o cenário base. A partir de 2022, quando há o primeiro investimento governamental em infraestrutura o cenário base apresenta maior receita por resíduo triado, embora nos demais cenários o salário por catador seja superior. Em 2039, tanto o cenário de implementação total quanto o parcial alcançaram R\$1,81/catador/t/ano, valor 52% menor que no cenário base.

Esperava-se que, conforme corroborado por Xiao *et al.* (2020), o crescimento na quantidade de resíduos triados fosse proporcional à taxa de coleta seletiva, ou seja, que no cenário de implementação total a quantidade de resíduos triados fosse o dobro comparado com o cenário de implementação parcial. Entretanto, no presente estudo foi considerado que haveria uma limitação na capacidade de triagem das organizações, e por esse motivo a quantidade de resíduos ficou limitada.

É mister apontar que nas simulações dos cenários de aumento da cobertura de coleta seletiva houve déficit de área, diferente dos cenários apresentados anteriormente. Por este motivo, começou a haver investimento governamental, pois é uma das condições da variável. A Figura 24 apresenta o déficit de área (eixo direito, gráfico de linhas) e a quantidade de resíduos acumulados da coleta seletiva (eixo esquerdo, gráfico de barras) ao longo do horizonte de simulação.

Figura 24 - Déficit de área conforme implementação da política de ampliação da coleta seletiva.

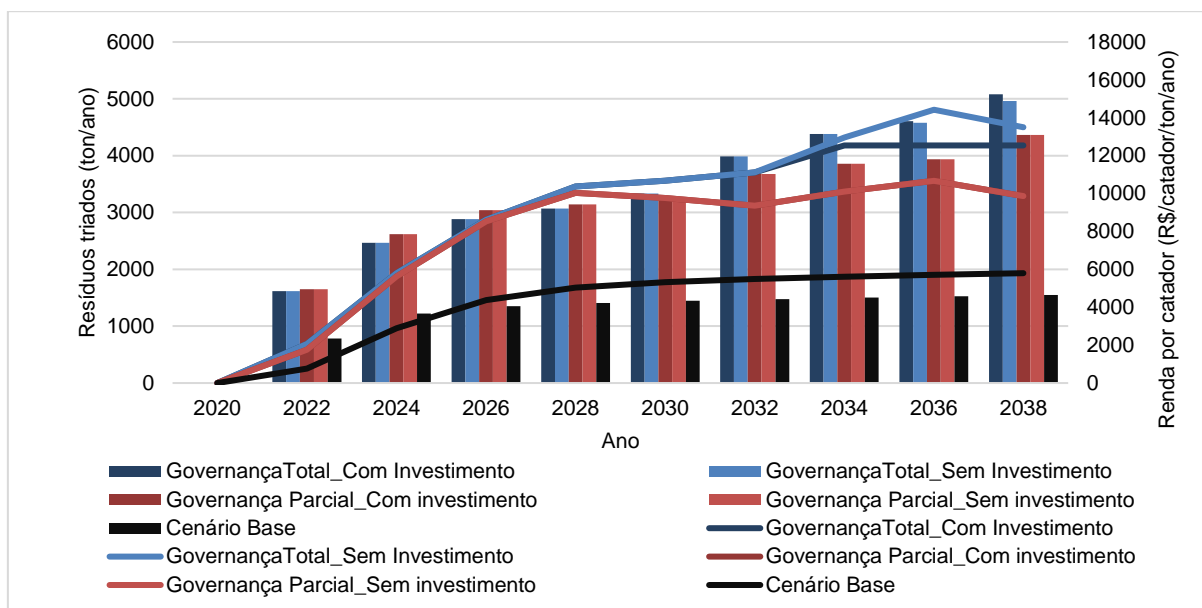


Conforme observado na Figura 24, fica evidente que o aumento de resíduos enviados para a coleta seletiva é proporcional à taxa de coleta. A implementação parcial da política de ampliação da coleta seletiva levou um aumento de 1.943% nos resíduos enviados para a coleta seletiva, e o cenário de implementação total aumentaria em 3.985% esse valor. Entretanto, embora os resíduos cheguem em maior quantidade quanto mais efetiva a política de aumento da cobertura de coleta, sem nenhum investimento além do padrão descrito nos procedimentos metodológicos, as organizações não teriam capacidade para processar o material. Fica evidente que o aumento da quantidade de resíduos esbarra nas limitações infraestruturais já plenamente identificadas em diversos trabalhos acadêmicos (PINHA; SAGAWA, 2020; WANG; YOU, 2020; XIAO *et al.*, 2020), e acaba mais uma vez limitando os ganhos financeiros, o que requer maiores investimentos em melhorias nesse sentido.

Não obstante, como nessas simulações não se previu investimento por parte das OCMRR, fica evidente que o investimento público adotado não foi suficiente para suprir a demanda de área. Em 2039, o déficit alcançará 16.777.434m<sup>2</sup> no cenário de implementação total e de 7.773.539m<sup>2</sup> no cenário de implementação parcial. Considerando que todos os galpões implementados fossem grandes, com custo unitário aproximado de R\$1.197,23 com construção e equipamentos, seria necessário um investimento de cerca de R\$19bilhões o cenário de implementação total e de R\$9bilhões para o cenário de implementação parcial.

A Figura 25 apresenta comportamento da variável “renda por associado” e a quantidade de resíduos triados de acordo com a implementação de políticas com governança total e parcial e conforme investimento próprio das organizações de catadores. Os cenários apresentados são o base (Cenário 1), os cenários com governança parcial sem investimento e com investimento (Cenários 19 e 20) e os cenários com governança total sem investimento e com investimento (Cenários 21 e 22). O comportamento do gráfico em “picos” segue o mesmo raciocínio apresentado para os cenários de ampliação da cobertura de coleta seletiva.

Figura 25 - Comportamento da variável "renda total por associado" e quantidade de resíduos triados conforme estratégia de governança.



Fonte: Autoria própria

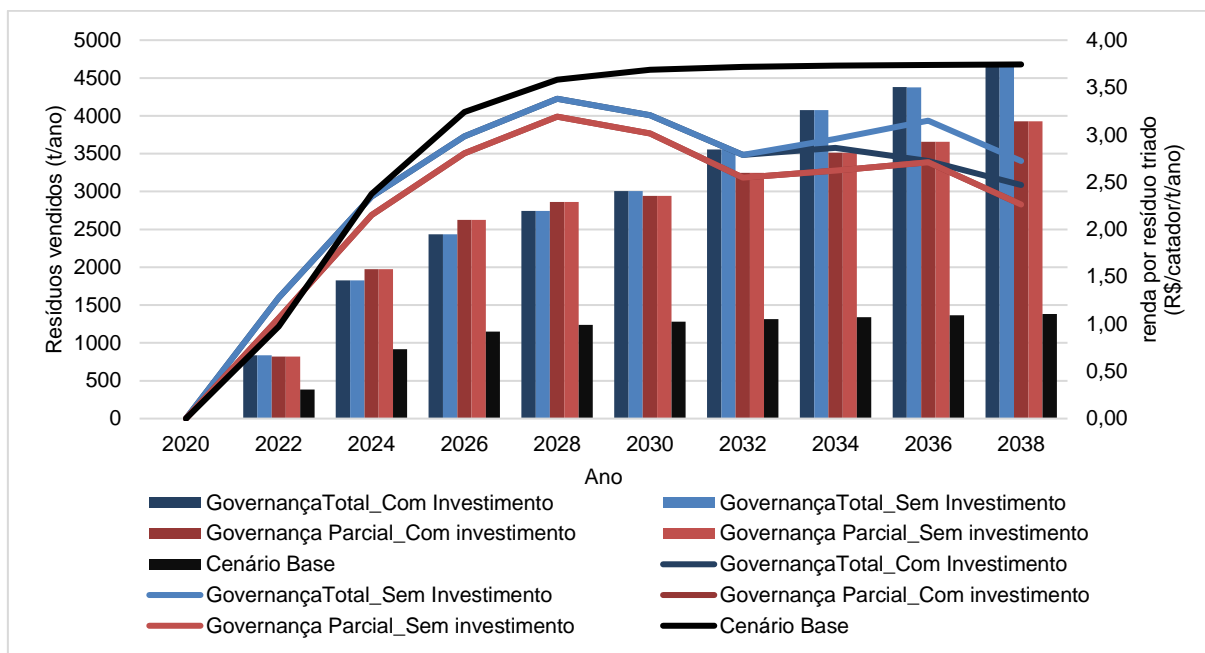
Conforme observa-se na Figura 25, a quantidade de resíduos triados é maior nos cenários de governança total, alcançando 5.327,28t no cenário com investimento próprio e 5.159,58t no cenário sem investimento próprio. A implementação de governança total aumentou em 231% a quantidade de resíduos triados se comparado ao cenário base, e o investimento por parte das organizações de catadores aumentou ainda mais quantidade de resíduos triados em mais 11%.

Quanto à renda dos catadores, o cenário de governança total sem investimento foi o que alcançou maior valor em 2039, chegando a R\$13.701,52/catador/ano. No cenário de governança parcial, a partir de 2034 o salário ficou limitado ao salário-mínimo anual de R\$12.540/catador/ano, pois o restante foi investido em infraestrutura. Por isso, no cenário com investimento a quantidade de resíduos triados é maior.

Nos cenários de governança parcial, a quantidade de resíduos triados no cenário em que há possibilidade de investimento por parte dos catadores coincide com o cenário em que não há investimento próprio. Ambos os cenários alcançaram 4.645,50t em 2039, superando o cenário base em 198%. Isso indica que alguma das condições para haver investimento não foram satisfeitas. Nesse caso foi o salário, uma vez que o maior valor atingido foi R\$10.672,73/catador/ano em 2034, valor este menor que o valor do salário mínimo anual utilizado como condição de investimento.

A Figura 26 apresenta a comparação da quantidade de resíduos vendidos, indicado no eixo esquerdo pelo gráfico de colunas, e o indicador de renda por resíduo triado, representado no gráfico de linhas, no eixo direito.

Figura 26 - Quantidade de resíduos vendidos e renda por catador por resíduo triado nos cenários de estratégias de governança.



Fonte: Autoria própria

Conforme observado na Figura 26, os cenários de implementação total da governança começam a superar os resíduos vendidos nos demais cenários em 2030, alcançando 4.886,91t em 2039 no cenário com investimento e 4.857,29t no cenário sem investimento. Em 2034, quando o salário dos catadores atinge o salário-mínimo é quando o cenário com investimento passa a superar o cenário sem investimento. Já os cenários de implementação parcial permanecem iguais até o final do período de simulação, alcançando 4.201,66t em 2039.

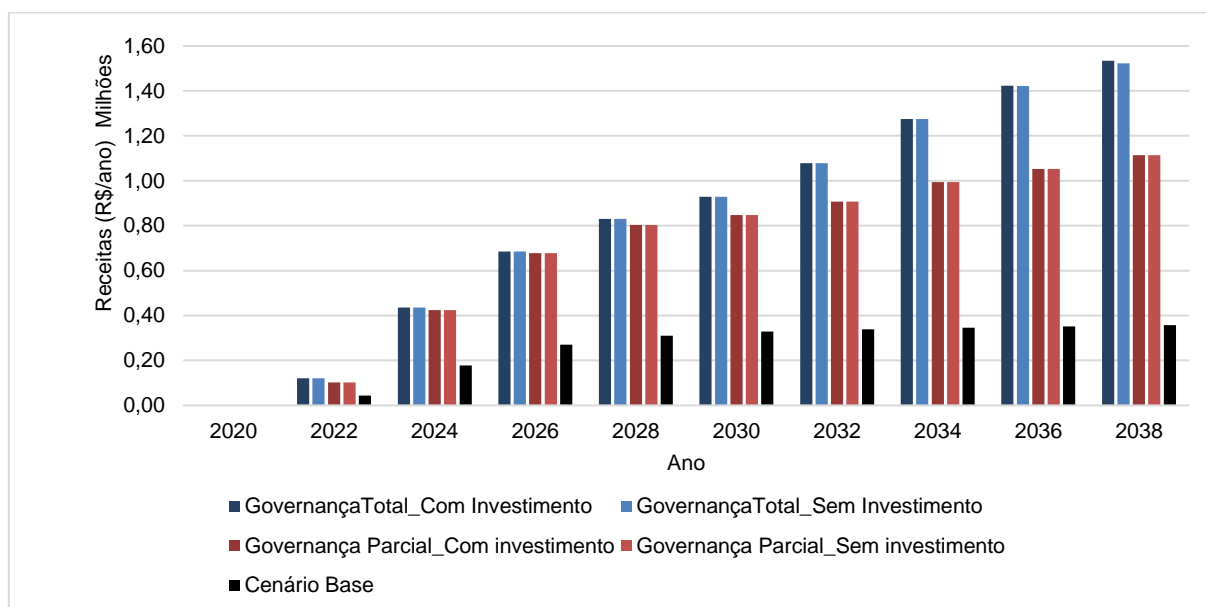
Quando se analisa o indicador de renda por resíduo triado, observa-se que todos os cenários apresentam valores inferiores ao cenário base, alcançando valores 40% menor nos cenários de implementação parcial (R\$2,19/catador/t/ano). Os cenários de implementação total atingem R\$2,35/catador/t/ano e 2,66/catador/t/ano, respectivamente, quando há e quando não há investimento próprio em 2039. Esse comportamento se deve principalmente ao fato de o investimento governamental ter proporcionado um aumento substancial na quantidade de resíduos triados e na quantidade de catadores, crescimento este que não foi acompanhado pelo aumento



salarial. Por isso, embora os rendimentos sejam maiores, a grande quantidade de resíduos triados acaba por diminuir o indicador.

Segundo Pinha e Sagawa (2020), o aumento da cobertura de coleta seletiva em conjunto com melhorias nos processos (treinamento e infraestrutura) de triagem proporcionam maiores lucros do processo. Almeida, Figueiredo e Dantas (2017) também identificaram que o investimento em melhorias nos galpões e equipamentos de triagem e beneficiamento de resíduos levariam a um aumento no lucro em 67,44%. Isso também foi identificado no presente estudo quando se analisa as receitas totais das organizações, conforme Figura 27.

Figura 27 – Receitas geradas nos cenários de estratégias de governança.



Fonte: Autoria própria

A Figura 27 evidencia que nos cenários de implementação parcial e total de governança, onde existe déficit de área e, conseqüentemente, investimento público, as receitas superam o cenário base substancialmente. Os cenários de implementação parcial superam em 227% o cenário base, ao passo que na implementação total sem investimento próprio supera em 340% e com investimento próprio em 347%. Isso ocorre devido ao aumento da capacidade de triagem.

Embora as receitas totais sejam maiores no cenário onde há investimento, deve-se observar também o aumento de catadores ao longo do período de simulação em cada cenário. No cenário de governança total com investimento, a quantidade de associados passou de 36 em 2020 para 121 em 2039, o que implica em um aumento

gradual de 236%. Lima e Mancini (2017) apontaram que a integração gradual dos catadores no sistema formal de gestão de resíduos em Sorocaba, SP, também levou a um aumento de 202% na quantidade de catadores de 2008 a 2015. Já Dutra, Yamane e Siman (2018) identificaram que investimentos em aumento da capacidade das associações em conjunto com a ampliação da coleta seletiva para 50% demandaria um aumento de 103% no número de catadores.

Nos cenários onde não houve déficit de área, ao final do período de simulação, a quantidade de catadores foi de 61, aumento de apenas 69% comparado ao número atual. Esse aumento se deve principalmente ao valor adotado na variável “ÁREA POR CATADOR”, que é bem menor que a área utilizada pelas organizações do município da Serra hoje. Ou seja, um aumento da capacidade de triagem também requer aumento de mão de obra com a integração de mais trabalhadores. Dessa forma, o investimento não se torna tão interessante quando se olha do ponto de vista do rendimento por catador, e não das receitas totais.

Em resumo, o Quadro 19 apresenta as principais evidências observadas em cada cenário com relação ao cenário base.

Quadro 19 - Resumo dos principais resultados de cada cenário.

Cenário	Rendimento por catador (2039)	Considerações	Situação socioeconômica (Bésen <i>et al.</i> , 2017)
Base	R\$5.836,32	Observar que a existência de investimento por parte dos catadores não apresentou diferenças.	Muito desfavorável
Política de Educação Ambiental <b>(TOTALMENTE EFETIVA)</b>	R\$6.308,24	Rendimentos superiores ao cenário base em cerca de 8% com pouca interferência do comportamento da curva S.	Desfavorável (Todas as curvas)
Política de Educação Ambiental <b>(PARCIALMENTE EFETIVA)</b>	R\$6.084,34	Rendimentos superiores ao cenário base em 4,2% no comportamento rápido da curva S e em 1,3% no comportamento lento da curva S.	Muito desfavorável (Todas as curvas)
Política de incentivo às parcerias <b>(TOTALMENTE EFETIVA)</b>	R\$13.133,79	Rendimentos superiores ao cenário base em cerca de 125% no comportamento lento da curva S e 115% no comportamento rápido da curva S.	Desfavorável (Curva S rápida) Favorável (Curva S lenta e intermediária)
Política de incentivo às parcerias <b>(PARCIALMENTE EFETIVA)</b>	R\$7.572,22	Rendimentos superiores ao cenário base em cerca de 30% no comportamento rápido da curva S e 2% no comportamento lento da curva S	Muito desfavorável (Curva S lenta) Desfavorável (Curva S intermediária e rápida)
Estratégia de coleta seletiva <b>(PRIORIZANDO PEV)</b>	R\$7.235,85	Rendimentos superiores ao cenário base em cerca de 24%. Observar que, embora a quantidade de resíduos triados seja a mesma, os rendimentos dessa modalidade são maiores que das outras.	Desfavorável
Estratégia de coleta seletiva <b>(PRIORIZANDO PP)</b>	R\$6.912,30	Rendimentos superiores ao cenário base em cerca de 18%.	Desfavorável
Ampliação da coleta seletiva <b>(TOTALMENTE EFETIVA)</b>	R\$7.380,83	Rendimentos superiores ao cenário base em cerca de 26%. Observar que a quantidade de resíduos triados e, conseqüentemente, os rendimentos permanecem os mesmos do cenário de implementação parcial devido às limitações da capacidade de triagem.	Desfavorável
Ampliação da coleta seletiva <b>(PARCIALMENTE EFETIVA)</b>	R\$7.380,83	Rendimentos superiores ao cenário base em cerca de 26%.	Desfavorável
Governança <b>(TOTALMENTE EFETIVA)</b>	R\$13.701,52	Rendimentos superiores ao cenário base em cerca de 135% no cenário sem investimento próprio e 115% no cenário com investimento próprio. Evidencia-se que a existência de investimento próprio por parte das OCMRR diminui o lucro individual dos catadores.	Favorável
Governança <b>(PARCIALMENTE EFETIVA)</b>	R\$10.187,45	Rendimentos superiores ao cenário base em cerca de 75% com ou sem investimento próprio. Observar que os rendimentos não alcançaram o valor do salário-mínimo, por isso não houve investimento próprio.	Desfavorável

Fonte: Autoria própria

## 6. CONCLUSÃO

Mediante os resultados apresentados e sua discussão, foi possível identificar e compreender o impacto da implementação de políticas públicas de educação ambiental, de incentivo às parcerias, de ampliação da cobertura de coleta seletiva e das estratégias de coleta seletiva nos rendimentos financeiros dos catadores, alcançando aquilo que foi estabelecido como objetivo geral dessa pesquisa.

Foi possível identificar, mediante construção de um diagrama de causa e efeito, as relações existentes entre as variáveis relativas às modalidades de coleta seletiva e às políticas de educação ambiental, incentivo às parcerias e ampliação da cobertura de coleta seletiva, de forma que foram identificadas as relações positivas e negativas, bem como os ciclos de feedback positivo e negativo.

Também foi possível realizar a modelagem matemática do modelo em um diagrama de estoque e fluxo, identificando as variáveis, estoque, fluxo e auxiliares, bem como as equações que as relacionam quantitativamente. Um modelo base foi proposto e os valores atribuídos foram aqueles referentes ao município da Serra, mas a aplicação pode ser feita em qualquer outro município desde que os valores de entrada sejam referentes ao local em questão.

O modelo proposto foi submetido à seis testes de aferição de confiabilidade, os quais obtiveram resultados satisfatórios. Embora outros três não tenham sido aplicados devido à ausência de dados históricos, a confiabilidade do modelo não fica comprometida, já que os demais testes foram utilizados em outros diversos estudos e conferem a confiabilidade necessária ao modelo.

Por fim, a simulação de cenários dinâmicos foi feita e seus resultados analisados. De forma geral, observou-se que a implementação de nenhuma política proposta, ou seja, manter todos os valores constantes ao longo de 20 anos, o rendimento dos catadores permaneceria em condições socioeconomicamente muito desfavorável, com valores menores que 50% o valor do salário-mínimo.

Quanto aos cenários de implementação de políticas, a política de educação ambiental teve baixo impacto nos rendimentos individuais dos catadores comparado às demais políticas. Em termos percentuais, o maior aumento foi de 8%, sendo suficiente para mudar a situação socioeconômica dos catadores para desfavorável apenas nos cenários de implementação total.

A política de incentivo às parcerias foi aquela que apresentou maior impacto nos rendimentos dos catadores, sendo a única que levou a rendimentos superiores a um salário-mínimo. Isso implica que as autoridades públicas devem se concentrar em implementar políticas públicas que incentivem os grandes geradores a destinar seus resíduos para as OCMRR, pois apresentam maior qualidade comparado às fontes domiciliares.

Quanto à estratégia de coleta seletiva, observou-se que aquela que prioriza a modalidade PEV foi a que apresentou maior retorno financeiro por tonelada de resíduo triada. Ou seja, embora a modalidade porta a porta apresente maior produtividade e menor índice de rejeitos, a modalidade PEV apresenta maior percentual de papel e plástico para o caso em questão. Por isso, embora a quantidade de resíduos triados seja a mesma tanto para a estratégia que prioriza modalidade PEV quanto para estratégia que prioriza modalidade porta a porta, a primeira apresenta maior quantidade de resíduos efetivamente vendidos e, por isso, apresenta maiores rendimentos.

Quanto à política de ampliação da cobertura de coleta seletiva, o aumento da taxa de 0,72% para 15% resultou em um aumento de 26% nos rendimentos ao final de 20 anos, o que levou a um salário de cerca de 60% o valor do salário-mínimo. Entretanto, o aumento de 15% para 30% não apresentou qualquer diferença nos rendimentos devido às limitações de infraestrutura das OCMRR estudadas. Isso implica que a ampliação de cobertura de coleta seletiva deve vir acompanhada de melhorias de infraestrutura e recursos humanos.

Neste cenário, observou-se um déficit de área que implicou em um investimento governamental em infraestrutura. Sendo assim, uma vez que a infraestrutura possibilitou um aumento da quantidade de resíduos triados, bem como na quantidade de catadores, o indicador de rendimentos por tonelada triada por catador mostrou-se menor que no cenário base. Isso implica em uma menor produtividade econômica.

Quanto aos cenários de governança, em que todas as políticas eram implementadas juntamente com investimento em infraestrutura, observou-se que os cenários de implementação total das políticas, considerando como estratégia de coleta seletiva a utilização majoritária da modalidade PEV, o alcance de renda dos catadores foi o maior de todos os cenários. Entretanto, o cenário com investimento em infraestrutura limitou o salário individual dos catadores, embora as receitas globais da OCMRR, bem

como a quantidade de resíduos triados tenha sido maior que no cenário sem investimento.

Isso implica que o investimento por parte das OCMRR em infraestrutura aumenta a capacidade de triagem e, por sua vez, a quantidade de resíduos triados e vendidos e o lucro global. Entretanto, isso requer aumento também de mão de obra, e, conseqüentemente, integração de mais catadores que dividirão os lucros totais. Por isso, do ponto de vista das receitas globais, o investimento em infraestrutura tem um impacto positivo, mas quando se olha do ponto de vista do catador individual, os rendimentos são menores do que no cenário sem investimento.

Todavia, deve-se levar em consideração que esse estudo possui algumas limitações, que podem ser consideradas e abordadas em pesquisas futuras. Dessa forma, como complemento desta dissertação são sugeridas as seguintes atividades:

- Não foi considerado nesse estudo que a presença de concorrência com atravessadores e sucateiros, que poderia levar a uma diminuição da quantidade de resíduos vendidos. Para esse estudo, foi considerado que todo material triado era em seguida vendido, o que pode superestimar os resultados;
- Nesse estudo, foi considerado que o preço médio dos recicláveis eram únicos ao longo de 20 anos. Entretanto, sabe-se que esses valores apresentam grande flutuação devido à diversos fatores como presença de rede de comercialização, qualidade do material, volume de material, etc, de forma que não é possível utilizar um valor absoluto. Para tanto, foi feita a análise de sensibilidade para mostrar o impacto dessa variação no modelo;
- Apenas papel e plástico foram considerados para efeitos de venda nesse estudo, por serem os materiais que apresentam maior quantidade e bom preço de venda. Entretanto, para estudos futuros podem ser considerados outros materiais ou até mesmo subdivisões desses mesmos materiais;
- O foco dessa pesquisa era principalmente o aspecto financeiro das OCMRR, ou seja, seus rendimentos. Para uma análise futura, pode ser considerado também o aspecto ambiental do desvio de resíduos de aterros sanitários, bem como uma análise social mais profunda da inclusão de novos associados;
- Ressalta-se uma importante contribuição deste estudo que é a produtividade de triagem conforme fonte dos resíduos, dado este que dificilmente é encontrado na literatura. Não obstante, para este estudo, a produtividade de

triagem dos catadores foi considerada constante ao longo dos anos. Para estudos futuros, pode-se considerar uma influência positiva da melhoria de infraestrutura na produtividade, principalmente no que diz respeito aos equipamentos;

- Quanto à implementação da política de incentivo às parcerias, foi feita uma consideração quanto ao aumento de empresas parceiras de que apenas as indústrias iriam aderir à política. Foi considerado também que a quantidade de resíduo de cada empreendimento seria o mesmo, que corresponde ao valor médio recebido atualmente pelas OCMRR do município em questão. Para estudos futuros, deve-se fazer essa análise de forma particular para o município onde o modelo será aplicado;
- Observa-se que não houve déficit de área em diversos cenários analisados, e isso pode ser devido ao valor padrão utilizado de área considerada por tonelada triada e por catador. Estudos futuros podem fazer essa análise com outros valores;

Por fim, ressalta-se que o modelo proposto foi simulado para a realidade do município da Serra, mas a aplicação pode ser feita em qualquer outro município desde que os valores de entrada sejam referentes ao local em questão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2018/2019**. São Paulo: ABRELPE, 2019.
- ADERES - Agência de Desenvolvimento das Micro e Pequenas Empresas e do Empreendedorismo. **Registro de Preços**. Diário Oficial [do] Estado do Espírito Santo, Vitória, 28 de novembro de 2014. Seção Licitações, p. 5.
- ADERES – Agência de Desenvolvimento das Micro e Pequenas Empresas e do Empreendedorismo. **Relatório de Composição Gravimétrica das Organizações de Catadores de Materiais Recicláveis do Espírito Santo**. 2017
- AL-KHATIB, I. A.; AL-SARI', M. I.; KONTOGIANNI, S. Scavengers' contribution in solid waste management sector in Gaza Strip, Palestine. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 6, 2020.
- AL-KHATIB, I. A.; ELEYAN, D.; GARFIELD, J. A system dynamics model to predict municipal waste generation and management costs in developing areas. **Journal of Solid Waste Technology and Management**, v. 41, n. 2, p. 109–120, 2015.
- ALELUIA, J.; FERRÃO, P. Characterization of urban waste management practices in developing Asian countries: A new analytical framework based on waste characteristics and urban dimension. **Waste Management**, v. 58, p. 415–429, 2016.
- ALMEIDA, M. F. G.; FIGUEIREDO, P. S.; DANTAS, J. The socioeconomic conditions of waste pickers in Bahia , and na evaluation of a workforce restructuring : a multiple case study. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 2–20, 2017.
- AMARAL, J. A. A. do. **Desvendando sistemas**. 1. ed. São Paulo: Ed. do Autor, 2012.
- ANDRADE, A. A., BRAGA, R. M. Q. L., FERNANDES, L. L., GOMES, R. R. K. A. Evaluation of recyclable waste management of a waste pickers' association in Belém, Brazil. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Waste and Resource Management**, v. 173, n. 2, p. 28–39, 2020.
- ANDRIANISA, H. A., RANDRIATSIFERANA, F. M., RAKOTOSON, S. L., RAKOTOARITERA, F. Socio-economic integration of the informal recycling sector through an NGO intervention at the Andralanitra dumpsite in Antananarivo, Madagascar. **Waste Management and Research**, v. 36, n. 1, p. 86–96, 2018.
- APARCANA, S. Approaches to formalization of the informal waste sector into municipal solid waste management systems in low- and middle-income countries: Review of barriers and success factors. **Waste Management**, v. 61, p. 593–607, 2017.
- ARBUÉS, F.; VILLANÚA, I. Determinants of behavior toward selective collection of batteries in Spain. A bivariate probit model. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 106, p. 1–8, 2016.
- ARDI, R.; LEISTEN, R. Assessing the role of informal sector in WEEE management systems: A System Dynamics approach. **Waste Management**, v. 57, p. 3–16, 2016.
- ASLANI, A.; HELO, P.; NAARANOJA, M. Role of renewable energy policies in energy dependency in Finland: System dynamics approach. **Applied Energy**, v. 113, p. 758–765, 2014.



BAHIA, E. T.; TOLEDO, V. C.; FERREIRA, W. R.; TISSOT-LARA, T. A. **Gestão de resíduos sólidos urbanos: cenários na dinâmica de sistemas**. VII Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade, p. 15, 2018.

BASTOS, L.; WILKINSON, R. *Análise Estatística de Simuladores*. 18º SINAPE. Rio de Janeiro, e Nottingham, 2010. 85 p.

BERG, A. B. RADZIEMSKA, M.; ADAMCOVÁ, D.; ZLOCH, J.; VAVERKOVÁ, M. D.. Assessment strategies for municipal selective waste collection - regional waste management. **Journal of Ecological Engineering**, v. 19, n. 1, p. 33–41, 2018.

BERGERON, F. C. Multi-method assessment of household waste management in Geneva regarding sorting and recycling. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 115, p. 50–62, 2016.

BERTANZA, G.; ZILIANI, E.; MENONI, L. Techno-economic performance indicators of municipal solid waste collection strategies. **Waste Management**, v. 74, p. 86–97, 2018.

BESEN, G. R., GÜNTHER, W. M. R., RIBEIRO, H., JACOBI, P. R., DIAS, S. M. **Gestão da coleta seletiva e de organizações de catadores: indicadores e índices de sustentabilidade [livro eletrônico]**. Fundação Nacional da Saúde, Universidade de São Paulo. *Women in Informal Employment: Globalizing and Organizing*. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública, 2017. 60p.

BESEN, G. R.; FRACALANZA, A. P. Challenges for the Sustainable Management of Municipal Solid Waste in Brazil. **Disp**, v. 52, n. 2, p. 45–52, 2016.

BOTELLO-ÁLVAREZ, J. E., RIVAS-GARCÍA, P., FAUSTO-CASTRO, L., ESTRADA-BALTAZAR, A., GOMEZ-GONZALEZ, R. Informal collection, recycling and export of valuable waste as transcendent factor in the municipal solid waste management: A Latin-American reality. **Journal of Cleaner Production**, v. 182, p. 485–495, 2018

BOURGUIGNON, D. **Circular economy package: four legislative proposals on waste**. EPRS - European Parliamentary Research Service, 2018. Disponível em: <[http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2018/625108/EPRS\\_BRI\(2018\)625108\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2018/625108/EPRS_BRI(2018)625108_EN.pdf)>. Acesso em 15 jun 2019.

BRASIL. **Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 2010.

BRASIL. **Acordo setorial para implantação do sistema de logística reversa de embalagens em geral**. Brasília, 2015. Disponível em: <[https://sinir.gov.br/images/sinir/Embalagens%20em%20Geral/Acordo\\_embalagens.pdf](https://sinir.gov.br/images/sinir/Embalagens%20em%20Geral/Acordo_embalagens.pdf)>. Acesso em 01 de outubro de 2020.

BRASIL, G. G.; CASTIGLIONI, A. H.; FELIPE, C. U. **Projeções populacionais para o município de Serra: 2018-2038**. Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Espírito Santo (PERS-ES). Governo do Espírito Santo, 2018.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS): Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2018**. Brasília, 2019.

BRASIL. **Medida provisória nº 919, de 30 de janeiro de 2020.** Dispõe sobre o valor do salário mínimo a vigorar a partir de 1º de fevereiro de 2020. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 2020.

BUQUE, L. I. B.; RIBEIRO, H. Panorama da coleta seletiva com catadores no município de Maputo, Moçambique: Desafios e perspectivas. **Saúde e Sociedade**, v. 24, n. 1, p. 298–307, 2015.

CAMPOS, H. K. T. Renda e evolução da geração per capita de resíduos sólidos no Brasil (Evolution of income and per capita generation of solid wastes in Brazil). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 171–180, 2012..

CAMPOS, L. S. **Processo de triagem dos materiais recicláveis e qualidade: alinhando a estratégia de manufatura às exigências do mercado.** 2013. 152 f. Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.

CEMPRE – COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Review 2019.** São Paulo: 2019a. 36p

CEMPRE – COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Preço dos materiais recicláveis.** 2019b. Disponível em: <<http://cempre.org.br/cempre-informa/id/115/preco-dos-materiais-reciclaveis>>. Acesso em 01 de outubro de 2020.

COLVERO, D. A., RAMALHO, J., GOMES, A. P. D., MATOS, M. A. A., TARELHO, L. A. C. Economic analysis of a shared municipal solid waste management facility in a metropolitan region. **Waste Management**, v. 102, n. August 2014, p. 823–837, 2020.

CONKE, L. S. Barriers to waste recycling development: Evidence from Brazil. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 134, p. 129–135, 2018.

CONKE, L. S.; NASCIMENTO, E. P. A coleta seletiva nas pesquisas brasileiras: uma avaliação metodológica. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 10, n. 1, p. 199–212, 2018.

DAMÁSIO, J. **Estudo da cadeia de comercialização de materiais recicláveis: uma pesquisa exploratória das estruturas de mercado das regiões metropolitanas de Salvador, São Paulo e Brasília.** [S.l: s.n.], 2010.

\_\_\_\_\_. Waste picker's cooperatives in Brazil: Social inclusion while recycling. **Claiming the City: Civil Society Mobilisation by the Urban Poor**, p. 73–84, 2014.

DANTAS, G. C. B. FORBELONI, J. V., PACHECO, A. S. V., CAMPELO, I. C., FARIAS, H. M. Percepção de catadores de resíduos de uma associação localizada na região Seridó / RN sobre as condições adversas de trabalho : uma análise do sujeito coletivo. **REGET**, v. 21, n. 3, p. 210–221, 2017.

DEMAJOROVIC, J., CAIRES, E. F., GONÇALVES, L. N. D. S., SILVA, M. J. D. C. Integrando empresas e cooperativas de catadores em fluxos reversos de resíduos sólidos pós-consumo: o caso Vira-Lata. **Cadernos EBAPE.BR**, v. 12, p. 513–532, 2014.

DI NOLA, M. F.; ESCAPA, M.; ANSAH, J. P. Modelling solid waste management solutions: The case of Campania, Italy. **Waste Management**, v. 78, p. 717–729, 2018.

DIAS, D. M.; MARTINEZ, C. B.; BARROS, R. T. V.; LIBÂNIO, M. Modelo para estimativa da geração de resíduos sólidos domiciliares em centros urbanos a partir de

variáveis socioeconômicas conjunturais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 3, p. 325–332, 2012.

DIAS, S. M. Waste pickers and cities. **Environment and Urbanization**, v. 28, n. 2, p. 375–390, 2016.

DING, Z.; ZHU, M.; TAM, V. W. Y.; YI, G.; TRAN, C. N. N. A system dynamics-based environmental benefit assessment model of construction waste reduction management at the design and construction stages. **Journal of Cleaner Production**, v. 176, p. 676–692, 2018.

DUTRA, R. M. de S. **Avaliação de cenários de compra e venda de resíduos sólidos recicláveis nos municípios do Condoeste/ES**. 2016. 204 f. Universidade Federal do Espírito Santo, 2016.

DUTRA, R. M. S.; YAMANE, L. H.; SIMAN, R. R. Influence of the expansion of the selective collection in the sorting infrastructure of waste pickers' organizations: A case study of 16 Brazilian cities. **Waste Management**, v. 77, p. 50–58, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.05.009>>.

ESPINOZA, A.; BAUTISTA, S.; NARVÁEZ, P. C.; ALFARO, M.; CAMARGO, M. Sustainability assessment to support governmental biodiesel policy in Colombia: A system dynamics model. **Journal of Cleaner Production**, v. 141, p. 1145–1163, 2017.

ESPÍRITO SANTO. **Diagnóstico sobre a gestão dos resíduos sólidos no Espírito Santo**. Plano Estadual de Resíduos Sólidos. 2019

ESTAY-OSSANDON, C.; MENA-NIETO, A.; HARSCH, N. Using a fuzzy TOPSIS-based scenario analysis to improve municipal solid waste planning and forecasting: A case study of Canary archipelago (1999–2030). **Journal of Cleaner Production**, v. 176, p. 1198–1212, 2018.

EZEAH, C.; FAZAKERLEY, J. A.; ROBERTS, C. L. Emerging trends in informal sector recycling in developing and transition countries. **Waste Management**, v. 33, n. 11, p. 2509–2519, 2013.

FAN, B.; YANG, W.; SHEN, X. A comparison study of 'motivation–intention–behavior' model on household solid waste sorting in China and Singapore. **Journal of Cleaner Production**, v. 211, p. 442–454, 2019.

FARLEY, M.; BANERJEE, K. S.; COOPER, V. Perception of middle and low income communities on separation of household waste in the Caribbean region: A case study from Trinidad. **Journal of Environmental Management**, v. 233, n. December 2018, p. 63–68, 2019.

FERREIRA, F.; AVELINO, C.; BENTES, I.; MATOS, C.; TEIXEIRA, C. A. Assessment strategies for municipal selective waste collection schemes. **Waste Management**, v. 59, p. 3–13, 2017.

FERRONATO, N., PREZIOSI, G., PORTILLO, M. A. G., LIZARAZU, E. G. G., TORRETTA, V. Assessment of municipal solid waste selective collection scenarios with geographic information systems in Bolivia. **Waste Management**, v. 102, p. 919–931, 2020a.

FERRONATO, N., PORTILLO, M. A. G., LIZARAZU, G. E. G., TORRETTA, V. Formal

and informal waste selective collection in developing megacities: Analysis of residents' involvement in Bolivia. **Waste Management and Research**, 2020b.

FERRONATO, N., RADA, E. C., PORTILLO, M. A. G., CIOCA, L. I., RAGAZZI, M., TORRETTA, V. Introduction of the circular economy within developing regions: A comparative analysis of advantages and opportunities for waste valorization. **Journal of Environmental Management**, v. 230, n. September 2018, p. 366–378, 2019.

FIDELIS, R.; COLMENERO, J. C. Evaluating the performance of recycling cooperatives in their operational activities in the recycling chain. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 130, n. December 2017, p. 152–163, 2018.

FIDELIS, R., MARCO-FERREIRA, A., ANTUNES, L. C., KOMATSU, A. K. Socio-productive inclusion of scavengers in municipal solid waste management in Brazil: Practices, paradigms and future prospects. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 154, n. July 2019, p. 104594, 2020.

FONTOURA, W. B.; CHAVES, G. de L. D.; RIBEIRO, G. M. The Brazilian urban mobility policy: The impact in São Paulo transport system using system dynamics. **Transport Policy**, v. 73, n. September 2018, p. 51–61, 2019.

FORRESTER, J. W. **Industrial Dynamics**. MIT, Cambridge. 1961

\_\_\_\_\_. Industrial Dynamics - After the First Decade. **Management Science**, v. 14, n. 7, p. 398–415, 1968.

FORRESTER, J. W.; SENGE, P. M. **Tests for building confidence in system dynamics models**. In AA Legasto Jr, JW Forrester and JM Lyneis (eds.). System Dynamics. TIMS Studies in the Management Sciences 14. New York: North-Holland: 209-228. 1980

FREITAS, L. F. S.; FONSECA, I. F. **Diagnóstico sobre catadores de resíduos sólidos**. Ipea, Brasília: 2012. 70p.

GALARZA, L. H. W.; GÓMEZ, S. T. R.; GARCEZ, E. O.; CORREA, É. C.; PORRAS, Á. C.; FORERO, I. H. Modelo dinâmico de sistemas para o gerenciamento de resíduos da construção civil na cidade de Porto Alegre: estudo de caso. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 463–474, 2015.

GALL, M., WIENER, M., DE OLIVEIRA, C. C., LANG, R. W., HANSEN, E. G. Building a circular plastics economy with informal waste pickers: Recyclate quality, business model, and societal impacts. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 156, n. January, p. 104685, 2020.

GHISOLFI, V.; CHAVES, G. D. L. D.; SIMAN, R. R.; XAVIER, L. H. System dynamics applied to closed loop supply chains of desktops and laptops in Brazil: A perspective for social inclusion of waste pickers. **Waste Management**, v. 60, p. 14–31, 2017.

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.

GRODZIŃSKA-JURCZAK, M., TOMAL, P., TARABUŁA-FIERTAK, M., NIESZPOREK, K., READ, A. D. Effects of an educational campaign on public environmental attitudes and behaviour in Poland. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 46, n. 2, p. 182–197, 2006.

GUADAGNIN, M. R.; DAL PONT, C. B.; VALVASSORI, M. L.; WESSLER, L. P. Inclusão de catadores em programas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos no sul catarinense: Acafor um caminho e exemplo possível. **Revista Tecnologia e Ambiente**, v. 20, p. 107–131, 2014.

GUTBERLET, J. Cooperative urban mining in Brazil: Collective practices in selective household waste collection and recycling. **Waste Management**, v. 45, p. 22–31, 2015.

GUTBERLET, J., KAIN, J. H., NYAKINYA, B., OLOKO, M., ZAPATA, P., ZAPATA, M. J. C. Bridging Weak Links of Solid Waste Management in Informal Settlements. **Journal of Environment and Development**, v. 26, n. 1, p. 106–131, 2016.

HARTMANN, C. Waste picker livelihoods and inclusive neoliberal municipal solid waste management policies: The case of the La Chureca garbage dump site in Managua, Nicaragua. **Waste Management**, v. 71, p. 565–577, 2018.

HÉNAULT-ETHIER, L.; MARTIN, J. P.; HOUSSET, J. A dynamic model for organic waste management in Quebec (D-MOWIQ) as a tool to review environmental, societal and economic perspectives of a waste management policy. **Waste Management**, v. 66, n. 2017, p. 196–209, 2017.

IBÁÑEZ-FORÉS, V.; COUTINHO-NÓBREGA, C.; BOVEA, M. D.; DE MELLO-SILVA, C.; LESSA-FEITOSA-VIRGOLINO, J. Influence of implementing selective collection on municipal waste management systems in developing countries: A Brazilian case study. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 134, n. September 2017, p. 100–111, 2018.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cadastro Central de empresas, 2018**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/993>>. Acesso em 22 de julho de 2020.

IPEA. **Pesquisa sobre Pagamento por Serviços Ambientais Urbanos para Gestão de Resíduos Sólidos**. Brasília: 2010. 66p.

IYAMU, H. O.; ANDA, M.; HO, G. A review of municipal solid waste management in the BRIC and high-income countries: A thematic framework for low-income countries. **Habitat International**, v. 95, n. March 2019, 2020.

JIA, S.; YAN, G.; SHEN, A.; ZHENG, J. Dynamic simulation analysis of a construction and demolition waste management model under penalty and subsidy mechanisms. **Journal of Cleaner Production**, v. 147, p. 531–545, 2017.

KALA, K.; BOLIA, N. B.; SUSHIL. Waste management communication policy for effective citizen awareness. **Journal of Policy Modeling**, p. 1–18, 2020.

KASINJA, C.; TILLEY, E. Formalization of informal waste pickers' cooperatives in Blantyre, Malawi: A feasibility assessment. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 4, 2018.

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**, v. 245, p. 118605, 2020.

KOLLIKATHARA, N.; FENG, H.; YU, D. A system dynamic modeling approach for evaluating municipal solid waste generation, landfill capacity and related cost management issues. **Waste Management**, v. 30, n. 11, p. 2194–2203, 2010.

- KUMAR, A., SAMADDER, S. R., KUMAR, N., SINGH, C. Estimation of the generation rate of different types of plastic wastes and possible revenue recovery from informal recycling. **Waste Management**, v. 79, p. 781–790, 2018.
- LIMA, N. S. S.; MANCINI, S. D. Integration of informal recycling sector in Brazil and the case of Sorocaba City. **Waste Management and Research**, v. 35, n. 7, p. 721–729, 2017.
- LIMA, R. M. S. R.; SILVA, S. M. C. P. Avaliação de um programa municipal de coleta seletiva no contexto da política nacional de resíduos sólidos. **Acta Scientiarum - Technology**, v. 35, n. 4, p. 645–653, 2013
- MAGALHÃES, S. C. Z. **Influência das modalidades de execução da coleta seletiva na composição gravimétrica dos resíduos secos recicláveis**. 2020. 134 f. Universidade Federal do Espírito Santo, 2020.
- MANNARINO, C. F.; FERREIRA, J. A.; GANDOLLA, M. Contribuições para a evolução do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil com base na experiência Européia. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 2, p. 379–385, 2016.
- MARTINS, K. N., CRUZ, C., COUTO, M. C. L. Composição de custos de implantação e operação de centrais de valorização de resíduos sólidos urbanos secos. **Revista Científica FAESA**, v. 12, n. 1, p. 23-30, 2016.
- MEDINA, M. Scavenger cooperatives in Asia and Latin America. Global Development Network. **Resources, Conservation and recycling**, v. 31, p. 51–69, 2000.
- MENG, X., TAN, X., WANG, Y., WEN, Z., TAO, Y., QIAN, Y. Investigation on decision-making mechanism of residents' household solid waste classification and recycling behaviors. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 140, n. October 2018, p. 224–234, 2019.
- MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Elementos para a organização da coleta seletiva e projeto de galpões de triagem**. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. Brasília, 2008. 53 p.
- MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Manual para Implantação de Compostagem e de Coleta Seletiva no âmbito de Consórcios Públicos**. Brasília, 2010.
- MORECROFT, J. D. W. **Strategic Modelling and Business Dynamics: A feedback systems approach**. 2. ed. [S.I.]: John Wiley & Sons Ltd, 2015.
- MOURA, J. M. B. M.; GOHR PINHEIRO, I.; CARMO, J. L. Gravimetric composition of the rejects coming from the segregation process of the municipal recyclable wastes. **Waste Management**, v. 74, p. 98–109, 2018.
- NAVARRETE-HERNANDEZ, P.; NAVARRETE-HERNANDEZ, N. Unleashing Waste-Pickers' Potential: Supporting Recycling Cooperatives in Santiago de Chile. **World Development**, v. 101, p. 293–310, 2018.
- NIZAMI, A. S., REHAN, M., NAQVI, M., OUDA, O., SHAHZAD, K., SYAMSIRO, M., WAQAS, M., MIANDAD, R. ASAM, Z. U. Z., ISMAIL, I. M. Energy, Economic and Environmental Savings by Waste Recycling: A Case Study of Madinah City. **Energy Procedia**, v. 142, p. 910–915, 2017.

OLIVEIRA, V.; SOUSA, V.; VAZ, J. M.; DIAS-FERREIRA, C. Model for the separate collection of packaging waste in Portuguese low-performing recycling regions. **Journal of Environmental Management**, v. 216, p. 13–24, 2017.

PAES, M. X., DE MEDEIROS, G. A., MANCINI, S. D., BORTOLETO, A. P., DE OLIVEIRA, J. A. P., KULAY, L. A. Municipal solid waste management: Integrated analysis of environmental and economic indicators based on life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 254, p. 119848, 2020.

PARREIRA, G. F., OLIVEIRA, F. G. DE, LIMA, F. DE P. A. **O gargalo da reciclagem: determinantes sistêmicos da triagem de materiais recicláveis**. XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 1–14, 2009.

PARREIRA, G. F. **Coleta seletiva solidária: agregando valor pela integração da cadeia de reciclagem**. 2010. 156 f. Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

PICKERING, G. J. PICKERING, H. M. G., NORTHCOTTE, A., HABERMEBL, C. Participation in residential organic waste diversion programs: Motivators and optimizing educational messaging. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 158, n. November 2019, p. 104807, 2020.

PINHA, A. C. H.; SAGAWA, J. K. A system dynamics modelling approach for municipal solid waste management and financial analysis. **Journal of Cleaner Production**, p. 122350, 2020.

PORTO, R. N. **Aplicação do pensamento enxuto (lean thinking) em organizações de catadores de materiais recicláveis**. 2019. 100 f. Universidade Federal do Espírito Santo, 2019.

RADA, E.; ZATELLI, C.; CIOCA, L.; TORRETTA, V. Selective collection quality index for municipal solid waste management. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 1, p. 1–17, 2018.

RIBEIRO, L. C. D. S.; FREITAS, L. F. D. S.; CARVALHO, J. T. A.; OLIVEIRA FILHO, J. D. D. Aspectos econômicos e ambientais da reciclagem: Um estudo exploratório nas cooperativas de catadores de material reciclável do estado do Rio De Janeiro. **Nova Economia**, v. 24, n. 1, p. 191–214, 2014.

ROUSTA, K., BOLTON, K., LUNDIN, M., DAHLÉN, L. Quantitative assessment of distance to collection point and improved sorting information on source separation of household waste. **Waste Management**, v. 40, n. 2015, p. 22–30, 2015.

RUTKOWSKI, J. E.; RUTKOWSKI, E. W. Expanding worldwide urban solid waste recycling: The Brazilian social technology in waste pickers inclusion. **Waste Management and Research**, v. 33, n. 12, p. 1084–1093, 2015.

SANDHU, K.; BURTON, P.; DEDEKORKUT-HOWES, A. Between hype and veracity; privatization of municipal solid waste management and its impacts on the informal waste sector. **Waste Management**, v. 59, p. 545–556, 2017.

SCHEINBERG, A. Informal sector integration and high performance recycling: Evidence from 20 cities. In: *Women in Informal Employment Globalizing and Organizing (WIEGO)*, Manchester, v. 23, 2012.

SCHENCK, C. J., BLAAUW, P. F., SWART, E. C., VILJOEN, J. M., MUDAVANHU, N. The management of South Africa's landfills and waste pickers on them: Impacting

lives and livelihoods. **Development Southern Africa**, v. 36, n. 1, p. 80–98, 2019.

SILVA, C. L.; WEINS, N.; POTINKARA, M. Formalizing the informal? A perspective on informal waste management in the BRICS through the lens of institutional economics. **Waste Management**, v. 99, p. 79–89, 2019.

SILVA, S. P. **A organização coletiva de catadores de material reciclável no Brasil: dilemas e potencialidades sob a ótica da Economia Solidária**. Texto para discussão. Ipea, Rio de Janeiro: 2017. 56p.

SIMAN, R. R., YAMANE, L. H., DE LIMA BALDAM, R., TACKLA, J. P., LESSA, S. F. A., BRITTO, P. M. Governance tools: Improving the circular economy through the promotion of the economic sustainability of waste picker organizations. **Waste Management**, v. 105, p. 148–169, 2020.

SIMATELE, D. M.; DLAMINI, S.; KUBANZA, N. S. From informality to formality: Perspectives on the challenges of integrating solid waste management into the urban development and planning policy in Johannesburg, South Africa. **Habitat International**, v. 63, p. 122–130, 2017.

SIMONETTO, E. O.; RODRIGUES, G. O.; DALMOLIN, L. C.; MODRO, N. R. O uso da dinâmica de sistemas para avaliação de cenários da reciclagem de resíduos sólidos urbanos. **Revista GEINTEC**, v. 4, p. 910–924, 2014.

STERMAN, J. D. **Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World**. [S.I.]: MCGraw-Hill Companies, Inc, 2000.

STEUER, B.; RAMUSCH, R.; PART, F.; SALHOFER, S. Analysis of the value chain and network structure of informal waste recycling in Beijing, China. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 117, p. 137–150, 2017.

STEUER, B.; RAMUSCH, R.; SALHOFER, S. P. Can Beijing's informal waste recycling sector survive amidst worsening circumstances? **Resources, Conservation and Recycling**, v. 128, n. October 2017, p. 59–68, 2018.

STRUK, M. Distance and incentives matter : The separation of recyclable municipal waste. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 122, p. 155–162, 2017.

SUFIAN, M. A.; BALA, B. K. Modeling of urban solid waste management system: The case of Dhaka city. **Waste Management**, v. 27, n. 7, p. 858–868, 2007.

SUKHOLTHAMAN, P.; SHARP, A. A system dynamics model to evaluate effects of source separation of municipal solid waste management: A case of Bangkok, Thailand. **Waste Management**, v. 52, p. 50–61, 2016.

SUTHAR, S.; RAYAL, P.; AHADA, C. P. S. Role of different stakeholders in trading of reusable/recyclable urban solid waste materials: A case study. **Sustainable Cities and Society**, v. 22, p. 104–115, 2016.

TACKLA, J. P.; BALDAM, R. de L.; SIMAN, R. R. Occupational dysfunction in creating value proposition for recyclable material collectors organizations in Espírito Santo/Brazil. 2017, [S.I.]: **The Journal of Solid Waste Technology and Management**, Widener University, Philadelphia, 2017. p. 488–499.



TAN, Y.; JIAO, L.; SHUAI, C.; SHEN, L. A system dynamics model for simulating urban sustainability performance: A China case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 199, p. 1107–1115, 2018.

TANG, V.; VIJAY, S. **System Dynamics: Origins, development, and future prospects of a method**. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts: [s.n.], 2001.

TIRADO-SOTO, M. M.; ZAMBERLAN, F. L. Networks of recyclable material waste-picker's cooperatives: An alternative for the solid waste management in the city of Rio de Janeiro. **Waste Management**, v. 33, n. 4, p. 1004–1012, 2013.

VACCARI, M.; PERTEGHELLA, A. Resource recovery from waste by Roma in the Balkans: A case study from Zavidovici (BiH). **Waste Management and Research**, v. 34, n. 9, p. 866–874, 2016.

VALENZUELA-LEVI, N. Waste Political Settlements in Colombia and Chile: Power, Inequality and Informality in Recycling. **Development and Change**, v. 51, n. 4, p. 1098–1122, 2020.

VAN ZEELAND, A. **Challenges for Sustainability of SSE. The Interaction between Popular Economy, Social Movements and Public Policies-Case Study of the Global Alliance of Waste Pickers**. In: UNRISD conference on the Potential and Limits of Social and Solidarity Economy, Geneva. 2013. p. 6-8.

VARELLA, C. V. S. **Revirando o lixo: possibilidades e limites da reciclagem como alternativa de tratamento dos resíduos sólidos**. 2011. 166 f. Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

VELIS, C. A.; WILSON, D. C.; ROCCA, O.; SMITH, S. R.; MAVROPOULOS, A.; CHEESEMAN, C. R. An analytical framework and tool ('InteRa') for integrating the informal recycling sector in waste and resource management systems in developing countries. **Waste Management and Research**, v. 30, n. 9 SUPPL.1, p. 43–66, 2012.

VENTANA SYSTEMS. Vensim Help. Revision Sept 2020. Disponível em: <<http://www.vensim.com/documentation/>>. Acesso em 14 de outubro de 2020

VILJOEN, K.; BLAAUW, P.; SCHENCK, R. "I would rather have a decent job": Potential barriers preventing street-waste pickers from improving their socio-economic conditions. **South African Journal of Economic and Management Sciences**, v. 19, n. 2, p. 175–191, 2016.

VILLALBA, L. Material Flow Analysis (MFA) and waste characterizations for formal and informal performance indicators in Tandil, Argentina: Decision-making implications. **Journal of Environmental Management**, v. 264, n. December 2019, p. 110453, 2020.

WANG, S.; WANG, J.; ZHAO, S.; YANG, S. Information publicity and resident's waste separation behavior: An empirical study based on the norm activation model. **Waste Management**, v. 87, p. 33–42, 2019.

WANG, S., WANG, J., YANG, S., LI, J., ZHOU, K. From intention to behavior: Comprehending residents' waste sorting intention and behavior formation process. **Waste Management**, v. 113, p. 41–50, 2020.

WANG, W.; YOU, X. Benefits Analysis of Classification of Municipal Solid Waste Based on SystemDynamics. **Journal of Cleaner Production**, p. 47, 2020.

WILSON, D. C.; RODIC, L.; SCHEINBERG, A.; VELIS, C. A.; ALABASTER, G. Comparative analysis of solid waste management in 20 cities. **Waste Management and Research**, v. 30, n. 3, p. 237–254, 2012.

XIAO, S.; DONG, H.; GENG, Y.; TIAN, X.; LIU, C.; LI, H. Policy impacts on Municipal Solid Waste management in Shanghai: A system dynamics model analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 262, p. 121366, 2020.

XUE, Y.; WEN, Z.; BRESSERS, H.; AI, N. Can intelligent collection integrate informal sector for urban resource recycling in China? **Journal of Cleaner Production**, v. 208, p. 307–315, 2019.

YAO, L.; LIU, T.; CHEN, X.; MAHDI, M.; NI, J. An integrated method of life-cycle assessment and system dynamics for waste mobile phone management and recycling in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 187, p. 852–862, 2018.

YUAN, H.; CHINI, A. R.; LU, Y.; SHEN, L. A dynamic model for assessing the effects of management strategies on the reduction of construction and demolition waste. **Waste Management**, v. 32, n. 3, p. 521–531, 2012.

YUAN, H.; WANG, J. A system dynamics model for determining the waste disposal charging fee in construction. **European Journal of Operational Research**, v. 237, n. 3, p. 988–996, 2014.

ZAGONEL, A. A., CORBET, T. F. **Levels of Confidence in System Dynamics Modeling: A Pragmatic Approach to Assessment of Dynamic Models**". In: Proceedings of the International Conference of the System Dynamics Society, pp. 1-19, Nijmegen, The Netherlands. 2006

ZHANG, D.; KEAT, T. S.; GERSBERG, R. M. A comparison of municipal solid waste management in Berlin and Singapore. **Waste Management**, v. 30, n. 5, p. 921–933, 2010.

ZON, J. L. N., LEOPOLDINO, C. J., YAMANE, L. H., SIMAN, R. R. Waste pickers organizations and municipal selective waste collection: Sustainability indicators. **Waste Management**, v. 118, p. 219–231, 2020.

## APÊNDICE A – EQUAÇÕES DE MODELAGEM

Variável	Tipo	Unidade	Equação
Área de triagem	Estoque	m <sup>2</sup>	incremento de área + 3696
Associados	Estoque	catador	aumento de associados + 36
aumento de associados	Fluxo	catador/Ano	MAX(0,((Área de triagem/AREA POR CATADOR)-Associados)/SAVEPER)
capacidade de triagem	Auxiliar	t/Ano	(Área de triagem/ÁREA POR TONELADA)*DIAS TRABALHADOS
cobertura de CS	Auxiliar	1/Ano	Política de ampliação da CS
coleta seletiva	Fluxo	1/Ano	Geração total de RSU*cobertura de CS
condição de investimento	Auxiliar	1/Ano	IF THEN ELSE(Déficit de área>0, IF THEN ELSE(investimento público>=(Déficit de área*CUSTO UNITÁRIO POR ÁREA), 0, 0), 0)
crescimento populacional	Fluxo	hab/Ano	População*Taxa geométrica de crescimento populacional
déficit de área	Auxiliar	m <sup>2</sup> /Ano	(limitação de triagem CS+limitação de triagem GG)*ÁREA POR TONELADA
despesas operacionais	Fluxo	R\$/Ano	DESPESA OPERACIONAL MÉDIA
doações	Auxiliar	t/Ano	566,197*tanh(10*política de incentivo às parcerias-5,087)+663,984
envio para outras destinações	Fluxo	t/Ano	Geração total de RSU*(1-cobertura de CS)
geração de rejeitos CS	Fluxo	t/Ano	(Resíduos CS triados/SAVEPER)-geração de resíduos de valor misto-geração de resíduos de valor PEV-geração de resíduos de valor PP
geração de rejeitos GG	Fluxo	t/Ano	Resíduos GG triados*rejeitos GG
geração de renda extra	Fluxo	R\$/ano	(Receitas/SAVEPER)-investimento em infraestrutura-pagamento dos catadores-despesas operacionais
geração de resíduos de valor GG	Fluxo	t/Ano	Resíduos GG triados*(1-rejeitos GG)
geração de resíduos de valor misto	Fluxo	t/Ano	Resíduos CS triados*PERCENTUAL DE RESÍDUOS COLETADOS VIA MISTA*(1-rejeitos misto)
geração de resíduos de valor PEV	Fluxo	t/Ano	Resíduos CS triados*PERCENTUAL DE RESÍDUOS COLETADOS VIA PEV*(1-rejeitos PEV)
geração de resíduos de valor PP	Fluxo	t/Ano	Resíduos CS triados*PERCENTUAL DE RESÍDUOS COLETADOS VIA PP*(1-rejeitos PP)
geração de RSU	Fluxo	t/Ano	População*TAXA DE GERAÇÃO PER CAPITA
Geração total de RSU	Estoque	t	geração de RSU-coleta seletiva-envio para outras destinações + 170778
incremento de área	Fluxo	m <sup>2</sup> /Ano	(investimento em infraestrutura+investimento público)/CUSTO UNITÁRIO POR ÁREA
investimento em infraestrutura	Fluxo	R\$/Ano	((Receitas/SAVEPER)-pagamento dos catadores-despesas operacionais)*condição de investimento

Variável	Tipo	Unidade	Equação
investimento público	Auxiliar	R\$/Ano	IF THEN ELSE( Déficit de área>0, 0+STEP(1.4041e+06,2022) - STEP(1.4041e+06,2023) + STEP(1.4041e+06,2029)- STEP(1.4041e+06,2030) + STEP(1.4041e+06,2036) - STEP(1.4041e+06,2037), 0)
limitação de triagem CS	Fluxo	t/Ano	(Resíduos acumulados CS/SAVEPER)-triagem de resíduos CS
limitação de triagem GG	Fluxo	t/Ano	(Resíduos provenientes de GG/SAVEPER)-triagem de resíduos GG
pagamento dos catadores	Fluxo	R\$/Ano	MIN ((Receitas/SAVEPER-despesas operacionais), SALÁRIO MÍNIMO ANUAL*Associados)
pagamento por associado	Auxiliar	R\$/catador/Ano	pagamento dos catadores/Associados
política de ampliação da CS	Auxiliar	1/Ano	WithLookup(Time/ANO)
política de educação ambiental	Auxiliar	1/Ano	RAMP(0.0263158,2020,2039)
política de incentivo às parcerias	Auxiliar	1/Ano	RAMP(0.0263158,2020,2039)
População	Estoque	hab	crescimento populacional + 517510
produtividade CS	Auxiliar	t/catador/Ano	((PERCENTUAL DE RESÍDUOS COLETADOS VIA MISTA*PRODUTIVIDADE MISTO)+(PERCENTUAL DE RESÍDUOS COLETADOS VIA PEV*PRODUTIVIDADE PEV)+(PERCENTUAL DE RESÍDUOS COLETADOS VIA PP*PRODUTIVIDADE PP))/(PERCENTUAL DE RESÍDUOS COLETADOS VIA MISTA+PERCENTUAL DE RESÍDUOS COLETADOS VIA PEV+PERCENTUAL DE RESÍDUOS COLETADOS VIA PP)
rateio	Auxiliar	R\$/catador/Ano	geração de renda extra/Associados
recebimento de resíduos GG	Fluxo	t/Ano	doações
Receitas	Estoque	R\$	receitas GG+receitas PEV+receitas PP+receitas misto-(pagamento dos catadores+despesas operacionais+investimento em infraestrutura+geração de renda extra + 0
receitas GG	Fluxo	R\$/Ano	(venda papel GG*PREÇO PAPEL)+(venda plástico GG*PREÇO PLÁSTICO)
receitas misto	Fluxo	R\$/Ano	(venda de papel misto*PREÇO PAPEL)+(venda de plástico misto*PREÇO PLÁSTICO)
receitas PEV	Fluxo	R\$/Ano	(venda papel PEV*PREÇO PAPEL)+(venda plástico PEV*PREÇO PLÁSTICO)
receitas PP	Fluxo	R\$/Ano	(venda papel PP*PREÇO PAPEL)+(venda plástico PP*PREÇO PLÁSTICO)

Variável	Tipo	Unidade	Equação
Rejeitos	Estoque	t	geração de rejeitos CS+geração de rejeitos GG+limitação de triagem CS+limitação de triagem GG + 0
rejeitos GG	Auxiliar	1/Ano	$-0,087*\tanh(10*\text{política de educação ambiental}-4,673)+0,141$
rejeitos misto	Auxiliar	1/Ano	$-0,042*\tanh(10x-4,673)+0,069$
rejeitos PEV	Auxiliar	1/Ano	$-0,043*\tanh(10x-4,673)+0,070$
rejeitos PP	Auxiliar	1/Ano	$-0,023*\tanh(10x-4,673)+0,037$
Renda extra	Estoque	R\$	geração de renda extra + 0
renda total por associado	Auxiliar	R\$/catador/Ano	pagamento por associado+rateio
Resíduos acumulados CS	Estoque	t	coleta seletiva-triagem de resíduos CS-limitação de triagem CS + 0
Resíduos CS triados	Estoque	t	triagem de resíduos CS-geração de rejeitos CS-geração de resíduos de valor misto-geração de resíduos de valor PEV-geração de resíduos de valor PP + 0
Resíduos GG com valor de mercado	Estoque	t	geração de resíduos de valor GG-venda de demais materiais GG-venda papel GG-venda plástico GG + 0
Resíduos GG triados	Estoque	t	triagem de resíduos GG-geração de rejeitos GG-geração de resíduos de valor GG + 0
Resíduos misto com valor de mercado	Estoque	t	geração de resíduos de valor misto-venda de papel misto-venda de plástico misto-venda demais materiais misto + 0
Resíduos PEV com valor de mercado	Estoque	t	geração de resíduos de valor PEV-venda demais materiais PEV-venda papel PEV-venda plástico PEV + 0
Resíduos PP com valor de mercado	Estoque	t	geração de resíduos de valor PP-venda demais materiais PP-venda papel PP-venda plástico PP + 0
Resíduos provenientes de GG	Estoque	t	recebimento de resíduos GG-limitação de triagem GG-triagem de resíduos GG + 0
Taxa geométrica de crescimento populacional	Auxiliar	1/Ano	With Lookup (Time/ANO)
triagem de resíduos CS	Fluxo	t/Ano	IF THEN ELSE(triagem de resíduos GG<Capacidade de triagem, IF THEN ELSE(Resíduos acumulados CS/SAVEPER<(Capacidade de triagem-triagem de resíduos GG), MIN(Resíduos acumulados CS/SAVEPER, produtividade CS*Associados) , MIN((Capacidade de triagem-triagem de resíduos GG), produtividade CS*Associados)), 0)
triagem de resíduos GG	Fluxo	t/Ano	IF THEN ELSE(Resíduos provenientes de GG/SAVEPER<=Capacidade de triagem, MIN(Resíduos provenientes de GG/SAVEPER, produtividade GG*Associados),

Variável	Tipo	Unidade	Equação
			MIN(Capacidade de triagem, produtividade GG*Associados))
venda demais materiais GG	Fluxo	t/Ano	Resíduos GG com valor de mercado*PERCENTUAL DEMAIS MATERIAIS GG
venda demais materiais misto	Fluxo	t/Ano	Resíduos misto com valor de mercado*PERCENTUAL DEMAIS MATERIAIS MISTO
venda demais materiais PEV	Fluxo	t/Ano	Resíduos PEV com valor de mercado*PERCENTUAL DEMAIS MATERIAIS PEV
venda demais materiais PP	Fluxo	t/Ano	Resíduos PP com valor de mercado*PERCENTUAL DEMAIS MATERIAIS PP
venda papel GG	Fluxo	t/Ano	Resíduos GG com valor de mercado*PERCENTUAL PAPEL GG
venda papel misto	Fluxo	t/Ano	Resíduos misto com valor de mercado*PERCENTUAL PAPEL MISTO
venda papel PEV	Fluxo	t/Ano	Resíduos PEV com valor de mercado*PERCENTUAL PAPEL PEV
venda papel PP	Fluxo	t/Ano	Resíduos PP com valor de mercado*PERCENTUAL PAPEL PP
venda plástico GG	Fluxo	t/Ano	Resíduos GG com valor de mercado*PERCENTUAL PLÁSTICO GG
venda plástico misto	Fluxo	t/Ano	Resíduos misto com valor de mercado*PERCENTUAL PLÁSTICO MISTO
venda plástico PEV	Fluxo	t/Ano	Resíduos PEV com valor de mercado*PERCENTUAL PLÁSTICO PEV
venda plástico PP	Fluxo	t/Ano	Resíduos PP com valor de mercado*PERCENTUAL PLÁSTICO PP

## APÊNDICE B – DADOS DE PRODUTIVIDADE E PARCERIAS OBTIDOS COM LIGAÇÕES

MUNICÍPIO	NOME DA ASSOCIAÇÃO	1. De quais fontes vocês recebem resíduos? (PEV, Porta a porta, Misto e Doações)	2. Quantas empresas parceiras fazem doações?	3. Percebe diferença de produtividade nas fontes?	4. Valor atribuído:			
					PEV	PP	Misto	Particular
Água Doce do Norte	Associação de Catadores de Recicláveis de Água doce do Norte ES (Acradan)	Porta a Porta e Particular	5	Sim		7		5
Alegre	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Município de Alegre/ES (Ascoma)	PEV, Particular, Porta a Porta e Misto	10	Sim	5	6	7	8
Alto Rio Novo	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Município de Alto Rio do Novo/ES (Shalom)	PEV, Particular, Porta a Porta e Misto	30	Sim	5	9	6	9
Anchieta	Associação da unidade primaria de materiais recicláveis da comunidade de Nova Esperança (Unipran)	PEV, Particular, Porta a Porta e Misto	50 a 60	Sim	5	7	5	10
Aracruz	Cooperativa de trabalho dos catadores de materiais recicláveis (Recycle Aracruz)	PEV, Particular e Porta a Porta	30	Sim	7	8		9
Atilio Vivácqua	Associação de catadores de materiais recicláveis de Atilio Vivácqua (Reciclando para o Futuro)	PEV, Particular, Porta a Porta e Misto	70	Sim	7	9	6	8
Baixo Guandu	Associação de catadores de materiais recicláveis Cidadão Amigo do Meio Ambiente (Ascamare)	PEV e Particular	1	Sim	5			10
Barra de São Francisco	Associação dos catadores de materiais recicláveis de Barra de São Francisco	O recolhimento do resíduo é feito no lixão, não se enquadrando em nenhuma das fontes descritas						
Boa Esperança	Associação de Profissionais da Reciclagem de Boa Esperança (Aprebe)	PEV, Particular e Porta a Porta	6	Sim	5	10		10
Cachoeiro de Itapemirim	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Município de Cachoeiro de Itapemirim/ES (Ascomirim)	PEV, Particular e Porta a Porta	10	Sim	10	5		10

MUNICÍPIO	NOME DA ASSOCIAÇÃO	1. De quais fontes vocês recebem resíduos? (PEV, Porta a porta, Misto e Doações)	2. Quantas empresas parceiras fazem doações?	3. Percebe diferença de produtividade nas fontes?	4. Valor atribuído:			
					PEV	PP	Misto	Particular
Cariacica	Associação de Catadores de Materiais Recicláveis Flex Vida	PEV e Particular	10 a 20	Sim	9			10
Castelo	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis de Castelo/ES (Reciclando Vida)	PEV, Particular, Porta a Porta e Misto	12 a 20	Sim	2	9	6	8
Colatina	Associação de Catadores Colatinense de Materiais Recicláveis (Asccor)	PEV, Particular e Porta a Porta	10 a 15	Sim	4	7		9
Domingos Martins	Associação dos catadores de materiais recicláveis do município de Domingos Martins/ES (ASCDM)	O recolhimento do resíduo é feito na rua, não se enquadrando em nenhuma das fontes descritas						
Dores do Rio Preto	Associação dos catadores de Materiais Recicláveis do Município de Dores do Rio Preto/ES (Ascomdep)	PEV, Particular, Porta a Porta e Misto	6	Sim	10	10	7	10
Ecoporanga	Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Ecoporanga (Ascamare)	PEV, Particular e Porta a Porta	30	Sim	5	8		8
Guarapari	Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Guarapari (Asscamag)	PEV, Particular, Porta a Porta e Misto	150	Sim	6	6	6	6
Ibatiba	Cooperativa de Catadores de Lixo de Ibatiba (Cooperlixo)	PEV, Particular e Porta a Porta	100	Sim	8	9		9
Ibiraçu	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Município de Ibiraçu/ES (Ascomcu)	PEV, Particular e Porta a Porta	6	Sim	8	4		9
Ibitirama	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Município de Ibitirama/ES (Ascami)	PEV e Particular	4	Sim	5			8
Iconha	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Município de Iconha/ES (Amari)	PEV, Particular, Porta a Porta e Misto	Não soube informar, mas disse que basicamente todas as lojas	Sim	7	7	7	9



MUNICÍPIO	NOME DA ASSOCIAÇÃO	1. De quais fontes vocês recebem resíduos? (PEV, Porta a porta, Misto e Doações)	2. Quantas empresas parceiras fazem doações? e empresas da região	3. Percebe diferença de produtividade nas fontes?	4. Valor atribuído:			
					PEV	PP	Misto	Particular
Irupi	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Município de Irupi/ES (Ascompi)	Porta a Porta e Particular	10	Sim		6		6
Itaguaçu	Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Itaguaçu (ACMRI)	PEV, Particular e Porta a Porta	4	Sim	10	8		10
Itapemirim	Associação de catadores de materiais recicláveis de Itapemirim (Ascamari)	PEV e Particular	60	Sim	4			10
Iúna	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Município de Iúna ES (Ascomri)	PEV, Particular, Porta a Porta e Misto	50 a 60	Sim	4	7	6	10
Jaguaré	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Estado do Espírito Santo (Ascamares)	PEV e Particular	5	Sim	5			2
Linhares	Associação dos prestadores de serviço de coleta de materiais recicláveis de Linhares (Acarli)	PEV e Particular	2	Sim	9			10
Marataízes	Associação Dos Catadores de Materiais Recicláveis de Marataízes/ES (Catadores de Esperança)	Particular	2					
Muqui	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Município de Muqui/ES (Ascamarem)	PEV, Particular e Porta a Porta	10 a 12	Sim	8	7		9
Pinheiros	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Município de Pinheiros/ES (Ascap)	Porta a Porta e Particular	10	Sim		6		9
Ponto Belo	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Município de Ponto Belo/ES (Ascompeb)	Reciclam o material do caminhão que faz a coleta no bairro, não existe uma fonte específica						

MUNICÍPIO	NOME DA ASSOCIAÇÃO	1. De quais fontes vocês recebem resíduos? (PEV, Porta a porta, Misto e Doações)	2. Quantas empresas parceiras fazem doações?	3. Percebe diferença de produtividade nas fontes?	4. Valor atribuído:			
					PEV	PP	Misto	Particular
Presidente Kennedy	Associação de Catadores de Material Reciclável de Presidente Kennedy (ASCPK)	PEV e Particular	15	Sim	7			8
Rio Novo do Sul	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Município de Rio Novo do Sul (Ascarenovo)	PEV e Particular (O particular é depositado nas PEVs e o resíduo segue para a associação misturado)	20	Não				
Santa Maria de Jetibá	Associação dos catadores de materiais recicláveis do município de Santa Maria de Jetibá (Asca Samajet)	PEV e Particular (O particular é depositado nas PEVs e o resíduo segue para a associação misturado)	50 a 60	Não				
Santa Teresa	Cooperativa dos agentes ambientais de Santa Teresa	PEV, Porta a Porta e Particular (O particular é depositado nas PEVs e o resíduo segue para a associação misturado)	-	Sim	7	7		
São Domingos do Norte	Associação de Catadores Dominguense (Acad)	PEV, Particular e Porta a Porta	10	Sim	8	8		9
São Mateus	Associação dos catadores de materiais recicláveis de São Mateus (Reciclar)	PEV e Particular	7	Sim	7			10
São Mateus	Associação Dos Recicladores de Resíduos Sólidos de São Mateus/ES (ARRS-SM)	PEV, Particular, Porta a Porta e Misto	7	Sim	7	8	6	5
Serra	Associação Banco Regional Ambiental Solidário (Abrasol)	PEV, Particular e Porta a Porta	25	Sim	5	8		10
Serra	Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Vila Nova de Colares/ ES (Armavila)	PEV, Particular, Porta a Porta e Misto	6	Sim	10	6	9	10
Serra	Associação dos catadores de materiais recicláveis e economia solidaria do município da serra (Recuperlixo)	PEV, Particular e Porta a Porta	50	Sim	7	5		10

MUNICÍPIO	NOME DA ASSOCIAÇÃO	1. De quais fontes vocês recebem resíduos? (PEV, Porta a porta, Misto e Doações)	2. Quantas empresas parceiras fazem doações?	3. Percebe diferença de produtividade nas fontes?	4. Valor atribuído:			
					PEV	PP	Misto	Particular
Sooretama	Associação dos catadores de materiais recicláveis do município de Sooretama/ES (Ascomsoor)	PEV e Particular	7	Sim	4			8
Venda Nova do Imigrante	Associação de Catadores de Material Reciclável de Venda Nova do Imigrante ES (Ascaveni)	PEV e Particular	2	Sim	5			10
Viana	Associação de Catadores de Material Reciclável de Viana/ES (Ascamavi)	PEV, Particular, Porta a Porta e Misto	50	Sim	7	7	8	10
Vila Pavão	Associação de Catadores de Material Reciclável de Vila Pavão/ES (Ascamvip)	Porta a Porta e Particular	15	Sim		6		8
Vitória	Associação Dos Catadores de Materiais Recicláveis de Vitória/ES (Ascamare)	PEV, Particular e Porta a Porta	4	Sim	8	10		10

## APÊNDICE C – DETERMINAÇÃO DAS EQUAÇÕES DA CURVA S-SHAPED

Para determinação das constantes, considerou-se que para a aplicação de 0% da política de educação ambiental o índice de rejeitos se manteria nos valores atuais. Dessa forma, foram utilizados os valores de composição gravimétrica dos resíduos que chegam nas associações de catadores da Serra, conforme Tabela 10. Os dados são de 2017, mas serão adotados para 2019 por falta de estudos mais recentes.

Tabela 10 - Índice de rejeitos, por modalidade, no município da Serra.

Modalidade	Índice de rejeitos
Misto	11,07%
Particular	2,28%
PEV	11,37%
Porta a porta	5,99%

Fonte: Aderes (2017)

Em uma aplicação de 100% das políticas (interferência completa), assumiu-se que haveria uma redução de rejeitos em 76%, assim como observado no estudo de Parreira (2010), e que com a aplicação de 50% (interferência incompleta) das políticas haveria uma redução de 50% dos rejeitos, conforme Tabela 11:

Tabela 11 - Índice de rejeitos (Y) em função da política de educação ambiental (x).

Modalidade	f(0) (sem interferência)	f(0,5) (interferência incompleta)	f(1) (interferência completa)
Misto	0,111	0,056	0,027
Particular	0,023	0,011	0,005
PEV	0,114	0,057	0,027
Porta a porta	0,060	0,030	0,014

Fonte: Autoria própria

Considerando que a função tanh assume valores máximos e mínimos em  $x=1$  e  $x=-1$ , respectivamente, e que se deseja uma função decrescente, será ilustrado o cálculo dos coeficientes “a” e “d” para a modalidade misto (Eq. 39), sendo o raciocínio análogo para as demais modalidades.

$$\begin{cases} a * (-1) + d = 0,111 \\ a * (1) + d = 0,027 \end{cases} \quad \text{Eq. 39}$$

Resolvendo o sistema, identifica-se os valores de “d” e “a”:

- i.  $2d = 0,027 + 0,111 \therefore d = 0,069$
- ii.  $a + 0,069 = 0,027 \therefore a = 0,042$

Assim, para todas as modalidades, os coeficientes “a” e “d” são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Coeficientes “a” e “d” da função para cada modalidade.

Modalidade	a	d
Misto	-0,042	0,069
Particular	-0,009	0,014
PEV	-0,043	0,070
Porta a porta	-0,023	0,037

Fonte: Autoria própria

O coeficiente “b” determina a inclinação da curva, ou seja, com que velocidade o índice de rejeitos irá diminuir em função da implementação da política de educação ambiental, que reflete o comportamento de aprendizagem da população quanto à separação correta dos resíduos. Será ilustrado o cálculo do coeficiente “c” para a modalidade misto e  $b=10$ , sendo o raciocínio análogo para as demais modalidades.

$$F(0,5) = -0,042 * \tanh(10 * (0,5) + c) + 0,069 \therefore c = -4,673$$

O coeficiente “c” foi calculado também para  $b=5$  e  $b=30$ , que representam um comportamento mais rápido e um comportamento mais lento, onde assume os valores -2,173 e -14,673 respectivamente. Esses valores foram os mesmos para todas as modalidades. Dessa forma, o Quadro 20 apresenta as Equações do índice de rejeitos para cada valor de “b”. Ressalta-se que a adoção dos diferentes valores de “b” será utilizada para a simulação de cenários conforme Quadro 20, e o comportamento lento é adotado no cenário base.

Quadro 20 – Equações do índice de rejeito para cada modalidade de coleta seletiva.

Modalidade	b	Comportamento	Equação	Cenário
Misto	5	Rápido	$Y = -0,042 * \tanh(5x - 2,173) + 0,069$	5 e 8
	10	Intermediário	$Y = -0,042 * \tanh(10x - 4,673) + 0,069$	4 e 7
	30	Lento	$Y = -0,042 * \tanh(30x - 14,673) + 0,069$	1, 3 e 6
Particular	5	Rápido	$Y = -0,009 * \tanh(5x - 2,173) + 0,014$	5 e 8
	10	Intermediário	$Y = -0,009 * \tanh(10x - 4,673) + 0,014$	4 e 7
	30	Lento	$Y = -0,009 * \tanh(30x - 14,673) + 0,014$	1, 3 e 6
PEV	5	Rápido	$Y = -0,043 * \tanh(5x - 2,173) + 0,070$	5 e 8
	10	Intermediário	$Y = -0,043 * \tanh(10x - 4,673) + 0,070$	4 e 7
	30	Lento	$Y = -0,043 * \tanh(30x - 14,673) + 0,070$	1, 3 e 6
Porta a porta	5	Rápido	$Y = -0,023 * \tanh(5x - 2,173) + 0,037$	5 e 8
	10	Intermediário	$Y = -0,023 * \tanh(10x - 4,673) + 0,037$	4 e 7
	30	Lento	$Y = -0,023 * \tanh(30x - 14,673) + 0,037$	1, 3 e 6

Fonte: Autoria própria