



Jorge Fernando Hungria Ferreira

Modelo para Definição da Vida Útil Econômica de Veículos Compactadores de Coleta e Transporte de Resíduos Sólidos Urbanos

TESE DE DOUTORADO

Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Tese orientada pelo Prof. Dr. José Almir Rodrigues Pereira
e coorientada pelo Prof. Dr. André Augusto Azevedo Montenegro Duarte

Jorge Fernando Hungria Ferreira

**MODELO PARA DEFINIÇÃO DA VIDA ÚTIL ECONÔMICA
DE VEÍCULOS COMPACTADORES DE COLETA E
TRANSPORTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil.

Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Linha de Pesquisa: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. José Almir Rodrigues Pereira

Coorientador: Prof. Dr. André Augusto Azevedo Montenegro Duarte

Belém
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

H936m Hungria Ferreira, Jorge Fernando.
Modelo para Definição da Vida Útil Econômica de Veículos
Compactadores de Coleta e Transporte de Resíduos Sólidos
Urbanos / Jorge Fernando Hungria Ferreira. — 2024.
198 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. José Almir Rodrigues Pereira
Coorientador(a): Prof. Dr. André Augusto Azevedo
Montenegro Duarte
Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de
Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil,
Belém, 2024.

1. Vida Útil Econômica. 2. Programação Dinâmica. 3.
Técnica de Cenários. 4. Caminhão Compactador. 5. Tomada
de Decisão. I. Título.

CDD 363.7285

MODELO PARA DEFINIÇÃO DA VIDA ÚTIL ECONÔMICA DE VEÍCULOS COMPACTADORES DE COLETA E TRANSPORTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

AUTOR:

JORGE FERNANDO HUNGRIA FERREIRA

TESE SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA
APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO PARÁ, COMO REQUISITO PARA
OBTEÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
ENGENHARIA CIVIL NA ÁREA DE RECURSOS
HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL.

APROVADO EM: 14 / 05 / 2024.

BANCA EXAMINADORA:

**Prof. Dr. José Almir Rodrigues Pereira
Orientador (UFPA)**

Documento assinado digitalmente
gov.br BRUNO DE OLIVEIRA FREITAS
Data: 27/05/2024 08:00:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Prof. Dr. Bruno de Oliveira Freitas
Membro Externo (UTFPR-Londrina)**

Documento assinado digitalmente
gov.br ALINE CHRISTIAN PIMENTEL ALMEIDA
Data: 28/05/2024 00:04:23-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Profa. Dra. Aline Christian Pimentel Almeida
Membro Externo (UFPA)**

Documento assinado digitalmente
gov.br ANDRE AUGUSTO AZEVEDO MONTENEGRO DUARTE
Data: 28/05/2024 11:37:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Prof. Dr. André Augusto Azevedo Montenegro Duarte
Membro Externo (UFPA)**

Documento assinado digitalmente
gov.br LINDEMERIC LIMA FERNANDES
Data: 28/05/2024 10:03:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Prof. Dr. Lindemberg Lima Fernandes
Membro Externo (UFPA)**

Documento assinado digitalmente
gov.br NELIO TEIXEIRA MACHADO
Data: 28/05/2024 16:34:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Prof. Dr. Nélio Teixeira Machado
Membro Interno (UFPA)**

Visto:

**Prof. Dr. Dênio Ramam Carvalho de Oliveira
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, em especial:

Aos meus avós maternos:

Jorge Hughes (*In memorian*) e Ercília Hungria;

Aos meus avós paternos:

Cláudio Ferreira e Raimunda Oliveira (*In memorian*);

Aos meus pais: Junior e Silvia;

E à minha amada esposa: Yasmim.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sua tamanha generosidade, causa pela qual, mesmo diante de tantos caminhos alternativos, ter sido eu trazido até aqui. Graça sem fim.

À minha mãe, Mari Silvia, em quem tive e tenho a sorte de encontrar a personificação mais clara e concreta do significado da palavra “amor”; ao meu pai, Claudio Junior, por todos os conselhos e ensinamentos concedidos, por acreditar em mim e por me impulsionar a ir atrás dos meus sonhos e; ao meu irmão, Cláudio Neto, por ter me apoiado e ajudado em tantos momentos importantes.

À minha esposa Yasmim, pelo companheirismo diário, pelo amor perene, pelas risadas fartas e pelo afago certo. Obrigado por acreditar em mim e por se esforçar tanto em tornar os nossos sonhos realidade. Amo você.

A toda minha família, pelas ajudas tão incontáveis e variadas que levariam muitas páginas para serem descritas. Obrigado meus avós, tios e primos; vocês também contribuíram para essa jornada. E, claro, obrigado, meus sobrinhos Isaac, Davi, Alice e Lucca por abastecer de alegria o tio de você.

Ao professor e orientador José Almir Rodrigues Pereira, pelas portas abertas ao LENHS já na graduação, pelas inúmeras oportunidades concedidas e pelos incentivos e encorajamentos tão importantes e providenciais. Obrigado por todos os conhecimentos e ensinamentos compartilhados ao longo dos últimos 10 anos, foi e é um privilégio ser orientado pelo senhor. Obrigado por tudo, professor.

Ao professor e Coorientador André Augusto Azevedo Montenegro Duarte, pelos caminhos abertos em diferentes áreas do conhecimento e por jogar luz em muitos momentos de incerteza e dúvida ao longo do desenvolvimento desta tese. Do senhor, que é um exímio técnico da engenharia civil e econômica, destaco a sua gentileza pedagógica.

Aos professores da Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental e da Pós-Graduação em Engenharia Civil, a quem agradeço nas pessoas do professor Hélio Almeida (*In memorian*), professor Lindemberg Fernandes e professor Nélio Machado, mestres com quem também tive a alegria de muito aprender.

Aos meus amigos e companheiros de doutorado Jéssica Cristina, Diego Nylander, Fernando Almeira e Fernanda Costa. A todos os meus amigos da graduação, a quem agradeço nas pessoas de Higor Borges, Josiane Coutinho, Wagner Lucena, Vanessa Santos, Marcos Rebelo e Fábio Pereira (Roots). A todos amigos do GPHS e do LENHS,

a quem agradeço nas pessoas da professora Aline Almeida, professor Augusto Rego, professor Raynner Lopes, Nara Moreira, Francianne Mourão, Danilo Oliveira, Ananda Fróes e Luana Menna. Aos profissionais que atuaram e atuam em áreas diversas da UFPA e que tiveram presença marcante nessa minha caminhada, a quem agradeço nos nomes de Kely Lobo, Jessica Souza, Elizeth e seu Roberto.

À empresa Terraplena, pela oportunidade de desenvolver esta tese de doutorado, seja por meio da bolsa concedida junto com o CNPq, seja por meio do espaço concedido e recursos disponibilizados para levantamentos dos dados necessários para a aplicação do modelo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e ao Programa de Mestrado e Doutorado Acadêmico para Inovação – MAI/DAI, pela concessão da bolsa de doutorado que viabilizou o desenvolvimento desta pesquisa.

Por fim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que esse momento pudesse acontecer.

“Cantar era buscar o caminho que vai dar no Sol
Tenho comigo as lembranças do que eu era
Para cantar nada era longe, tudo tão bom
Até a estrada de terra na boleia de caminhão
Era assim” [e ainda é].

(Milton Nascimento e Fernando Brant)

RESUMO

A coleta e transporte dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) demanda de 40% a 60% do custo total da limpeza pública, esta que, em alguns casos, representa até 15% do orçamento de municípios brasileiros. Apesar disso, é comum a substituição de caminhões coletores compactadores sem observar a Vida Útil Econômica - VE (momento ótimo de substituição) para minimizar os custos de gestão das frotas desses veículos. Com isso, o objetivo da Tese foi desenvolver um modelo de análise de custos e benefícios por programação dinâmica e técnica de cenários para a identificação da VE de veículo coletor de RSU. A pesquisa foi dividida em 3 etapas: 1) levantamento, sistematização e análise de dados de vida útil de caminhões coletores compactadores praticados no Brasil; 2) desenvolvimento de modelo combinando Programação Dinâmica e Técnica de Cenários para identificação da VE de caminhões coletores compactadores; 3) aplicação do modelo com dados de caminhão coletores compactadores de empresa que atua no município de Belém - PA. Na pesquisa em documentos oficiais de composição de custo, de processos licitatórios, de tribunais de contas, de projeto básico e de análise orçamentária, foram verificadas substituições dos caminhões coletores compactadores entre 2 e 12 anos, com 42,86% dos eventos ocorrendo em 5 anos e 25,71% em 10 anos. Em seguida, foi desenvolvido o modelo com três cenários alternativos (neutro, otimista e pessimista), com variação dos parâmetros de interesse (Custo Aquisição, Custo de Operação e Manutenção, e Valor de Revenda) para a simulação da substituição dos veículos coletores em até 20 semestres. Com isso, a combinação dos três cenários com as três variáveis de interesse gerou 27 subcenários, que aplicados ao modelo resultaram em valores de VE variando de 10 a 20 semestres, com o maior percentual indicando a substituição no 14º semestre (40,70%) e com 74,00% dos resultados entre o 13º e o 15º semestre (faixa mais provável). Ainda foi constatado que a distribuição dos resultados foi semelhante a uma curva normal em torno da moda (14 semestres), sendo esta igual ao resultado do subcenário de referência com VE de 14 semestres. A substituição ótima do caminhão compactador no 14º semestre resultou, nas simulações, economia variando de R\$ 6.652,31 (0,56%) a R\$ 19.658,21 (1,61%), com média de R\$ 12.803,60 (1,10%), em relação ao custo de continuar operando o veículo por 20 semestres (10 anos). A extração dessa economia média para a frota de 42 caminhões compactadores da empresa corresponde ao valor da compra de quase dois novos caminhões. Assim, foi constatado que o modelo desenvolvido atende à demanda do setor por ferramenta que auxilie na definição técnica e assertiva da VE de caminhões de coleta e transporte de RSU.

Palavras-Chave: Vida Útil Econômica, Programação Dinâmica, Técnica de Cenários; Caminhão Compactador; Tomada de Decisão.

ABSTRACT

The collection and transportation of Urban Solid Waste (USW) demands 40% to 60% of the total cost of public cleaning, which, in some cases, represents up to 15% of the budget of Brazilian municipalities. However, it is common to replace compactor collector trucks without observing the Economic Useful Life - EL (optimal replacement time) to minimize the costs of managing fleets of these vehicles. Therefore, the objective of the Thesis was to develop a cost and benefit analysis model using dynamic programming and scenario techniques for identifying the EL of USW collection vehicle. The research was divided into 3 stages: 1) survey, systematization and analysis of data on the useful life of compactor collector trucks used in Brazil; 2) development of a model combining Dynamic Programming and Scenario Technique to identify the EL of compactor collector trucks; 3) application of the model with data from a compactor collection truck from a company that operates in the city of Belém - PA. In research into official cost composition documents, bidding process documents, audit court documents, basic project documents and budget analysis documents, replacements of compactor collection trucks were found between 2 and 12 years old, with 42.86% of events occurring within 5 years and 25.71% within 10 years. Then, the model was developed with three alternative scenarios (neutral, optimistic and pessimistic), with variation of the parameters of interest (Acquisition Cost, Operation and Maintenance Cost and Resale Value) to simulate the replacement of collection vehicles within 20 semesters. As a result, the combination of the three scenarios with the three variables of interest generated 27 sub-scenarios, which when applied to the model resulted in EL values varying from 10 to 20 semesters, with the highest percentage indicating replacement in the 14th semester (40.70%) and with 74.00% of results between the 13th and 15th semester (most likely range). It was also found that the distribution of results was similar to a normal curve around the mode (14 semesters), which is equal to the result of the reference sub-scenario with EL of 14 semesters. The optimal replacement of the compactor truck in the 14th semester resulted, in simulations, in savings ranging from R\$ 6,652.31 (0.56%) to R\$ 19,658.21 (1.61%), with an average of R\$ 12,803.60 (1.10%), in relation to the cost of continuing to operate the vehicle for 20 semesters (10 years). Extrapolating this average savings to the company's fleet of 42 compactor trucks corresponds to the value of purchasing almost two new trucks. Thus, it was found that the model developed meets the sector's demand for a tool that helps in the technical and assertive definition of the EL of USW collection and transport trucks.

Keywords: Economic Useful Life, Dynamic Programming, Scenario Technique; Compactor Truck; Decision Making.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Percurso da operação dos veículos coletores de RSU.....	25
Figura 2 – Classificação dos veículos coletores de RSU.	28
Figura 3 – Fotografias dos tipos de veículo coletor de RSU.....	33
Figura 4 – Relação entre quotas decrescentes de depreciação e custos de manutenção e reparos.	40
Figura 5 – Relação entre o custo acumulado e a oportunidade de influenciar os custos por uma decisão	49
Figura 6 – Exemplo de curva de banheira.	51
Figura 7 – Gráfico para determinação de vida útil econômica com custo acumulado... .	52
Figura 8 – Gráfico para determinação de vida econômica com custo por unidade de tempo.	53
Figura 9 – Visão esquemática do conceito de cenário.....	60
Figura 10 – Árvore de decisão de caminho ótimo de modelo de programação dinâmica	67
Figura 11 – Fluxograma da pesquisa.....	72
Figura 12 – Evolução do custo em função da utilização.	77
Figura 13 – Evolução do valor de revenda em função da utilização.....	79
Figura 14 – Fluxo de caixa, Valor Futuro e Valor Presente.	80
Figura 15 – Aspectos e seus respectivos fatores para a elaboração dos cenários do modelo.	83
Figura 16 – Cenários do modelo.	84
Figura 17 – Matriz de Hipóteses	86
Figura 18 – Os 27 subcenários do modelo.	89
Figura 19 – Ilustração dos Cenários Neutro, Otimista e Pessimista do Custo de O&M. .	90
Figura 20 – Ilustração dos Cenários Neutro, Otimista e Pessimista do Valor de Revenda.	91
Figura 21 – Correção dos custos e receitas pelos termos com taxa de desconto para valor presente.....	94
Figura 22 –Árvore de decisão com função de minimização de custo.	95
Figura 23 – Número de referências consultadas por estado e região brasileiros.....	101
Figura 24 – Tipos de documentos consultados.....	102

Figura 25 – Gráfico Boxplot dos valores de Vida Útil das classes.	106
Figura 26 – Histograma, ajuste normal e ajuste de suavização das classes de VU.....	108
Figura 27 – Fluxograma do modelo.	112
Figura 28 – Curva de evolução dos Custos de O&M e equação da curva.	115
Figura 29 – Curva do valor de revenda do Caminhão Compactador e equação da curva.	116
Figura 30 – Curva de evolução dos custos de O&M e equação da curva dos três cenários.	118
Figura 31 – Curva do valor de revenda e equação da curva em função dos cenários..	119
Figura 32 –Programação Dinâmica com substituição obrigatória no estágio igual a vida útil máxima.....	121
Figura 33 – Árvore de decisão da configuração da Programação Dinâmica do modelo.	123
Figura 34 –Ilustração da Programação Dinâmica.....	124
Figura 35 –Resultados dos subproblemas relacionados à primeira decisão de substituição.	125
Figura 36 –Faixas de valores de VE resultantes dos subcenários opostos.	129
Figura 37 – Gráfico Boxplot dos valores de Vida Útil Econômica das classes.	131
Figura 38 – Histograma, ajuste normal e ajuste de suavização das classes de VE.	131
Figura 39 – Gráfico de Pareto dos valores de VE.	132
Figura 40 – Gráfico Boxplot dos valores de economia do CSO em relação ao CM20.	136
Figura 41 – Fluxograma adaptável do modelo.	139

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação dos custos de coleta e transporte de RSU.....	38
Quadro 2 – Exemplo do Método Soma dos Dígitos dos Anos.....	41
Quadro 3 – Principais Métodos de elaboração de cenários.....	62
Quadro 4 – Impactos dos cenários nas variáveis de interesse da pesquisa.....	87
Quadro 5 – Variáveis da Programação Dinâmica do Modelo.....	92
Quadro 6 – Exemplo de resolução de Programação Dinâmica do modelo desta pesquisa.	
.....	97
Quadro 7 – Dados dos caminhões compactadores levantados.....	113
Quadro 8 – Dados de entrada do cenário neutro da modelagem.....	117
Quadro 9 – Dados de entrada dos três cenários da modelagem.....	120
Quadro 10 – Relação dos cenários otimista e pessimista das variáveis com os valores de VE.....	128

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAUE	Custo Anual Uniforme Equivalente
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CEPAL	Comissão Econômica para a América Latina
CMT	Custo Médio Total
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
CPC	Comitê de Pronunciamentos Contábeis
CRVL	Certificado de Licenciamento de Veículo
DETRAN	Departamento de Trânsito do Estado
DPVAT	Seguro de Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Via Terrestre
FIPE	Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas
GIRSU	Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IN	Instrução Normativa
IPVA	Imposto sobre Propriedade de Veículos Automotores
MMC	Método de Monte Carlo
NBR	Norma Brasileira
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas
RDO	Resíduos Sólidos Domésticos
RPU	Resíduos Sólidos Públicos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
PD	Programação Dinâmica
SLU	Serviço de Limpeza Urbana
SNIS	Sistema Nacional de Informação sobre o Saneamento
TCM	Tribunal de Contas dos Municípios
UNEP	United Nations Environment Programme
VE	Vida Econômica
VU	Vida Útil

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Despesas gerais e de serviço de limpeza urbana de capitais brasileiras de distrito federal.....	26
Tabela 2 – Quantidade de veículos do setor de coleta e transporte de RSU no Brasil por tipo.....	35
Tabela 3 – Referências de valores de vida útil	103
Tabela 4 – Classes e frequência da série de dados.	106
Tabela 5 – Custo de operação (abastecimento) e de manutenção dos veículos.	113
Tabela 6 – Evolução estimada dos Custos de O&M “C(m,t)”	114
Tabela 7 – Valores residuais levantados.	115
Tabela 8 – Depreciação e valor de revenda do veículo.	116
Tabela 9 – Resultados da modelagem do subcenário 1 (subcenário de referência).	126
Tabela 10 – Resultados de Vida Útil Econômica (VE) organizados em duplas de subcenários opostos.	127
Tabela 11 – Classes e frequência da série de dados de VE.	130
Tabela 12 – Comparaçao do custo de substituição no momento ótimo (CSO) com o custo de manter o caminhão por 20 semestres em operação (CM20).....	134

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1. OBJETIVO.....	20
1.1.1. Objetivo Geral	20
1.1.2. Objetivos Específicos	20
1.2. JUSTIFICATIVA.....	21
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	23
2.1. SERVIÇO DE COLETA E TRANSPORTE DE RSU	23
2.1.1. Veículos de coleta e transporte de resíduos sólidos.....	28
2.2. CUSTOS DOS SERVIÇOS DE COLETA E TRANSPORTE DE RSU.....	37
2.2.1. Custos Fixos	38
2.2.2. Custos Variáveis.....	43
2.2.3. Oportunidade de controle dos custos	48
2.3. DIFERENÇA ENTRE VIDA ÚTIL E VIDA ECONÔMICA.....	49
2.3.1. Vida útil e vida econômica de veículos coletores e RSU	54
2.4. TAXA DE DESCONTOS	56
2.5. TECNICA DE CENÁRIOS	59
2.6. PROGRAMAÇÃO DINÂMICA PARA A SUBSTITUIÇÃO DE ATIVOS.....	63
3. MATERIAIS E MÉTODOS	71
3.1. ETAPA 1: LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE VALORES DE VIDA ÚTIL PRATICADOS	73
3.1.1. Levantamento de dados em fontes de referência	73
3.1.2. Identificação dos critérios utilizados para o estabelecimento dos valores de vida útil	74
3.1.3. Análise estatística dos dados e identificação dos valores a serem utilizados no modelo.....	74
3.2. ETAPA 2: DESENVOLVIMENTO DO MODELO	75
3.2.1. Parâmetros de interesse do modelo	75
3.2.2. Técnica de Cenários	82
3.2.3. Programação Dinâmica	92
3.3. ETAPA 3: PROCESSAMENTO DOS DADOS E GERAÇÃO DE RESULTADOS	

3.3.1. Aplicação do Modelo.....	98
3.3.2. Tratamento estatístico e resultados e tomada de decisão	99
3.3.3. Comparaçao com os valores de vida útil praticados no Brasil	100
4. RESULTADOS.....	101
4.1. LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE VALORES DE VIDA ÚTIL PRATICADOS	
101	
4.2. DESENVOLVIMENTO DO MODELO	110
4.2.1. Parâmetros de Interesse	113
4.2.2. Cenários Analisados.....	117
4.2.3. Programação Dinâmica	121
4.3. PROCESSAMENTO DOS DADOS E GERAÇÃO DOS RESULTADOS.....	125
5. CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	140
5.1. CONCLUSÕES	140
5.2. SUGESTÃO PARA FUTURAS PESQUISAS.....	142
REFERÊNCIAS	143
ANEXO 1 – Dados dos veículos coletores de RSU da empresa Terraplena.....	164
ANEXO 2 – Dados de operação e manutenção fornecidos pela Terraplena correspondentes a janeiro de 2021.....	165
ANEXO 3 – Dados utilizados pela ARSESP no cálculo do WACC.....	166
ANEXO 4 – Frota e caminhões compactadores da empresa Terraplena.....	167
APÊNDICE 1 – Tabelas com resumo dos resultados das simulações dos 27 subcenário.	168
APÊNDICE 2 – Tabela com a simulação completa da arvore de decisão do subcenário 1 de referênciacia (com todas as variáveis neutras).	182

1. INTRODUÇÃO

A garantia da gestão sustentável do saneamento e da disponibilidade dos serviços para todos, assim como a promoção de ambientes seguros e sustentáveis nas cidades, são metas contempladas nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (ODS), que tiveram origem na Conferência Rio+20 em 2012, a partir de proposta da Colômbia e Guatemala¹ (Sena, 2016; CNM², 2017).

Seguindo na mesma direção das ODS, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305 de 2010) e o Novo Marco do Saneamento (Lei nº 14.026 de 2020) apresentam como aspectos importantes a serem considerados nas obras, projetos e programas de saneamento a racionalização dos recursos e o desenvolvimento sustentável, incluindo a sustentabilidade econômico-financeira (Brasil, 2010; Brasil, 2020a).

Contudo, no setor de RSU esses objetivos não são simples de serem alcançados. Santos e Rovaris (2017), Heidari, Yazdanparast e Jabbarzadeh (2019), Taşkın e Demir (2020) e Gutierrez-Gomez *et al.* (2021) comentam que o aumento da população, a intensificação dos seus hábitos de consumo, a urbanização e a industrialização são fatores promotores da elevação da taxa de produção de resíduos em todo o mundo. World Bank (2018), Bezerra (2020) e Silva *et al.* (2020) comentam a estimativa de que, em 2016, foram gerados dois bilhões de toneladas de RSU em todo o mundo.

Os RSU também são fonte de preocupação ambiental no Brasil (Nascimento *et al.*, 2019), uma vez que a mesma tendência global também é observada nacionalmente, com a quantidade gerada diariamente tendo aumentado 18,55% entre os anos de 2010 (66.695.720 t/ano) e 2019 (79.069.585 t/ano) (Abrelpe, 2020). Essa realidade torna cada vez mais essencial e demanda melhores performances dos serviços de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos (GIRSU). Porém, a ampliação e a modernização do atendimento à população refletem no aumento dos custos da prestação dos serviços.

O GIRSU pode ter a sua concepção constituída de diferentes arranjos e etapas, mas é basicamente composto por: geração, acondicionamento, coleta, transporte, transferência, tratamento e disposição final (Das, Bhattacharyya, 2015; Nascimento,

¹ Comissão Económica para a América Latina (CEPAL). RIO+20: Objetivos de Desarrollo Sostenible. Propuesta de los Gobiernos de Colombia y de Guatemala para Someter a Consideración de los Países Participantes. 2011.

² Confederação Nacional de Municípios.

2020). Saxena *et al.* (2021) e Minghua *et al.* (2009) apontam os serviços de coleta e transporte como um dos itens principais no custo associado ao gerenciamento de RSU.

De acordo com os dados de Memon (2010), os municípios de países em desenvolvimento gastam de 20% a 50% de seus orçamentos na gestão e gerenciamento de RSU, sendo que a parcela desses valores destinada para a coleta e transporte de RSU tende a variar de acordo com a renda, costumando ser de 10% em países de alta renda, de 50% a 80% em países de renda média e de 80% a 90% em países de baixa renda. Alagöz e Kocasoy (2008) e Guerrero, Maas e Hogland (2013) relatam valor estimado de até 95%.

No caso do Brasil, com pequena diferença de valores entre as fontes pesquisadas, os Serviços de Limpeza Urbana (SLU) absorvem de 5% até pouco mais de 15% do orçamento municipal, dos quais cerca de 40% a 60% são destinados à coleta e ao transporte do RSU (Cunha; Caixeta Filho, 2002; CEMPRE³, 2018; Costa; Nascimento; Ometto, 2019; França Júnior; Arantes, 2019).

Quanto à arrecadação de recursos para a prestação dos SLU, Teske *et al.* (2018), analisando 21 municípios brasileiros, identificaram que os valores das taxas cobradas para a realização dos serviços de coleta e transporte de RSU não cobrem os custos da atividade, acarretando baixa qualidade na prestação destes serviços e imputação de responsabilidades aos gestores públicos. Essa condição de insustentabilidade econômica da prestação desses serviços se repete em muitos municípios brasileiros. O equipamento utilizado para a realização dos serviços de coleta e transporte de RSU é o veículo coletor.

De acordo com Li *et al.* (2014) e Hartman (2004), equipamentos, tais como os veículos coletores, geralmente sofrem deterioração com o tempo, resultando em menores valores de revenda (depreciação), maiores custos de Operação e de Manutenção (O&M). Assim, como desdobramento do envelhecimento do equipamento, chega o momento em que é mais econômico a substituição por um veículo novo. De acordo com Hastings (2010), tempo entre o momento em que o equipamento é adquirido até o momento da sua substituição, que minimiza os custos a ele relacionados, é chamado de vida econômica.

A substituição de um equipamento é ação estratégica e obrigatória para o prestador de serviço. No entanto, essa decisão deve ser realizada no momento adequado, já que realizá-la tarde resulta em altos custos operacionais e de manutenção, além da depreciação do bem e de seu valor de revenda; e a substituição prematura incorre no aproveitamento ineficiente do capital investido (PANEGOSSI, SILVA, 2019). Abensur

³ Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE)

(2015) destaca que a decisão do momento ótimo de substituição de máquinas e equipamentos é evento crítico e irreversível, devendo ser realizada de forma criteriosa e bem embasada tecnicamente.

Marques (2005) e Plizzari (2017) comentam que, dentre os métodos utilizados para a determinação da substituição ótima de equipamentos, são relevantes o Custo Médio Total (CMT), o Custo Anual Uniforme Equivalente (CAUE), o de equações diferenciais e o uso de Programação Dinâmica (PD). Este último método se destaca, conforme Abensur (2015), por permitir a avaliação da melhor política de substituição em qualquer estágio do horizonte temporal analisado e da idade do equipamento.

Campello (2002) comenta que, diferente de outros ramos da programação matemática, na programação dinâmica um único algoritmo não pode ser definido para solucionar diretamente todos os problemas, o que demanda teoria e arte para elaboração das equações que atendam as multiplicidades das situações modeláveis.

Como a programação dinâmica aplicada à otimização econômica do tempo de uso (vida econômica) dos veículos coletores de resíduos sólidos demanda a utilização de variáveis caracterizadas por algum grau de incerteza (custo de aquisição, custo de O&M, arrecadação, valor de revenda etc.), é possível conceber que, dependendo de como essas variáveis venham a se comportar ao longo da operação do veículo, diferentes valores de vidas econômicas são plausíveis de acontecer.

Nesse sentido, a combinação da programação dinâmica com a técnica de cenários, algo ainda não estudado no segmento de RSU, pode ser uma ferramenta muito útil na identificação da vida econômica dos veículos coletores, bem como no auxílio do planejamento e gerenciamento das frotas de coleta e transporte. A técnica de cenários possibilita que diferentes realidades futuras sejam vislumbradas por meio da identificação das variáveis-chave do objeto analisado e da simulação de sua variação potencial.

Pesquisas dessa natureza voltadas ao gerenciamento de resíduos sólidos ainda não são vastamente exploradas no Brasil e no mundo. Deus, Battistelle e Silva (2015), em seu estudo bibliométrico e cientométrico sobre o contexto nacional e global em 20 anos de avanço em pesquisas, identificaram que apesar do tema “Resíduos Sólidos Urbanos” ter sido o com maior frequência, os seus subitens “coleta” e “economia” foram o primeiro e o segundo com menores percentuais de ocorrência com 0,43% e 1,30%, respectivamente. Essas informações demonstram que pesquisas na área de coleta de RSU tratando de sustentabilidade econômica é uma área que precisa ser explorada no debate acadêmico, a fim de fornecer ferramentas para a prática cotidiana dos prestadores desses serviços.

Assim, considerando o atual cenário do setor de RSU, os prestadores dos serviços não empregam procedimentos matemáticos para a determinação da vida econômica de cada veículo utilizados no serviço de coleta e transporte de RSU, observando as características operacionais, de manutenção e o valor de mercado de seus veículos. Dessa forma, esta tese objetivou desenvolver um modelo matemático para auxiliar na tomada de decisão do momento ótimo de substituição dos veículos coletores para a minimização dos custos de gestão das frotas desses equipamentos de coleta e transporte de RSU.

1.1. OBJETIVO

1.1.1. Objetivo Geral

Desenvolver modelo de análise de custos e benefícios por programação dinâmica e técnica de cenários para a identificação da vida útil econômica de veículo coleto de RSU, para fornecimento de fundamentação técnica à programação racional e planejada da substituição desses equipamentos.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Levantar e analisar os métodos e técnicas utilizadas na determinação da vida útil de veículos coletores de RSU no Brasil, bem como os valores de vida útil praticados;
- Conceber modelo matemático para determinação de vida útil econômica e do momento ótimo de substituição de veículo coleto de RSU, baseado na programação dinâmica e na técnica de cenários;
- Aplicar o modelo utilizando dados operacionais reais de empresa prestadora de serviços de coleta e transporte de RSU, com a finalidade de estabelecer a vida útil econômica e o momento ótimo de substituição de veículo de coleta e transporte de resíduos sólidos urbanos.

1.2. JUSTIFICATIVA

Diante do cenário contemporâneo de surgimento e de intensificação de centros urbanos demograficamente adensados e da prospectiva de que esse processo continue acentuado nas próximas décadas, um dos grandes desafios da sociedade é gerenciar de forma ambiental, econômica e socialmente sustentável os subprodutos desse estilo de comportamento coletivo, dentre os quais podem ser destacados os resíduos sólidos urbanos.

No Brasil, a titularidade da gestão dos resíduos sólidos é do poder público executivo municipal, ao qual cabe realizar a coleta, o transporte, a destinação ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e a disposição final dos rejeitos. Esses serviços podem ser terceirizados, ficando a cargo da sociedade, por intermédio do poder público, financiar os serviços prestados.

Além disso, ocorre que os custos com a coleta e transporte de RSU são significativa parcela dos gastos em sistemas de gestão de RSU, e esses, por sua vez, têm participação considerável nas despesas dos municípios. CEMPRE (2018) comenta que, no Brasil, os SLU são responsáveis por 5 e 15% do orçamento municipal, dos quais cerca de 40 a 60% são destinados à coleta e transporte de RSU. Esses dados demonstram como esse setor é relevante no planejamento financeiro das prefeituras.

Além disso, de acordo com Brasil (2020), no documento “Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2019”, o custo médio com manejo de resíduos sólidos em 2019 foi de R\$ 137,73 por habitante, ou de aproximado de R\$ 24 bilhões em todo o país. Apesar disso, no documento ainda é pontuado que a sustentabilidade do setor está fragilizada em consequência de apenas 44,8% dos municípios cobrarem pela prestação dos serviços, e o valor arrecadado cobrir somente 57,2% dos custos.

Esse cenário preocupante eleva os serviços de limpeza urbana à condição de setor estratégico para o desenvolvimento de técnicas e métodos que visem à utilização eficiente dos recursos a fim de minimizar os custos, reduzir os impactos ambientais e promover melhor qualidade de vida à população. Essas ações são ainda mais necessárias em localidades onde a prestação desses serviços não é economicamente viável por gerarem custos maiores que a arrecadação desses serviços.

Nesse sentido, vale observar que os serviços de coleta e transporte de RSU já são abordados em pesquisas para a redução de custos, tal como de otimização de rotas dos veículos (Brasileiro, Lacerda; 2008; Melquiades, Assunção, Fonseca, 2014; Nascimento,

2019; França Júnior, Arantes, 2019). Outra área de pesquisa que pode contribuir com a redução dos custos é a de estimativa de vida útil ótima (vida útil econômica) para a substituição desses veículos.

Nessa área, os critérios para adoção da vida útil dos veículos coletores de RSU e estabelecimento da política de substituição da frota nem sempre são tecnicamente fundamentados, e, quando são, nem sempre são utilizados os melhores critérios disponíveis. Um desses casos ocorre quando empresas utilizam valores de referência de contratos, da literatura, de orientações técnicas e de experiências de outras empresas, o que nem sempre reflete a realidade operacional de seus veículos. Também podem ser utilizados instrumentos inadequados como a tabela de vida útil da instrução normativa da receita federal desenvolvida para fins fiscais, a qual não é adequada para a determinação da vida útil contábil e econômica do veículo.

Além disso, a extensão da vida útil desse veículo não é fixada pelo fabricante e nem é, necessariamente, a mesma identificada na experiência de outras empresas, uma vez que diversos fatores como a rotina e intensidade operacional, a qualidade e a frequência de manutenção, as condições ambientais e das vias, a perícia dos motoristas e entre outros, são fatores que têm impacto direto na conservação da funcionalidade desses equipamentos e nos seus custos operacionais.

Como os custos de O&M tendem a aumentar ao longo da operação dos veículos, enquanto o valor de revenda é depreciado a cada período, é importante que o gestor encontre o momento ótimo de substituição (vida econômica) desse equipamento, o qual não deve ser cedo demais, resultando no ineficiente aproveitamento do investimento realizada para a aquisição desse ativo, nem tarde demais, quando os custos de O&M passam a ser elevados e o valor de revenda muito pequeno, gerando prejuízos econômicos para o seu detentor. Assim, é importante que cada empresa ou órgão público possa estabelecer a vida econômica de seus veículos com base nos dados e na experiência de sua própria operação.

Assim, com base no cenário apresentado e almejando contribuir para o desenvolvimento de tecnologia para a promoção da sustentabilidade econômica do setor de coleta e transporte de RSU, foi desenvolvido, nesta pesquisa, um modelo matemático combinando Programação Dinâmica e a Técnica de Cenários para dar suporte à estimativa da vida útil econômica dos veículos coletores e o momento ótima para a substituição desses ativos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

No referencial teórico foi realizada uma breve contextualização da prestação dos serviços de coleta e transporte de RSU, apresentando os tipos de veículos e os principais custos inerentes a essa atividade. Em seguida, foram comentados os conceitos de vida útil e de vida econômica, bem como apresentadas práticas de adoção da vida útil dos veículos coletores de empresas e de agentes públicos relacionados à coleta e transporte de resíduos sólidos. Posteriormente, foram listados métodos de substituição de ativos e introduzido o método da Programação Dinâmica e a Técnica de Cenários, bem como comentada a importância da taxa de desconto em modelos matemáticos e estatísticos que analisam a vida útil de equipamentos a partir de custos de aquisição, operação e manutenção, além dos valores de revenda.

2.1. SERVIÇO DE COLETA E TRANSPORTE DE RSU

Os serviços de coleta e transporte de RSU estão inseridos em uma cadeia maior de atividades que compõem o gerenciamento integrado de RSU, o qual, por sua vez, pode ter a sua concepção constituída de diferentes arranjos e etapas, mas é basicamente composto por: geração, acondicionamento, coleta, transporte, transferência, tratamento e disposição final (Das, Bhattacharyya, 2015; Nascimento, 2020; Saxena *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2021).

A coleta consiste na atividade de remoção dos RSU adequadamente acondicionados, dispostos em calçadas ou em contêineres, à espera do veículo coletor que os transportará até seu destino (Melquiades, 2015; Nascimento; 2020). A coleta de RSU é constituída principalmente pela coleta convencional, que atende domicílios e comércios, e pela coleta seletiva (Barros, 2012).

De acordo com o Manual de Saneamento da Fundação Nacional de Saúde, a coleta de resíduos sólidos pode ser classificada como coleta: a) convencional (domiciliares e comerciais); b) de resíduos de limpeza urbana (varrição, limpeza de logradouros e vias públicas, e outros serviços de limpeza urbana); c) de resíduos de serviços de saúde; d) de resíduos da construção civil; e) de resíduos especiais (resíduos não recolhidos pela coleta convencional, e que não podem ser enquadrados como de responsabilidade do gerador); f) seletiva (resíduos segregados na fonte) e; g) em estabelecimentos industriais (Brasil, 2019).

Quando analisados os dados das últimas décadas, é notável a evolução do alcance dos serviços de coleta de RSU. De acordo com Jardim *et al.* (2000) e Cunha (2001), em 1981 a taxa de cobertura era de 49%, passando para o valor de 60% em 1990 e de 70% em 1997. Brasil (2020b), no Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos do SNIS, informou que em 2017, 2018 e 2019 o índice de cobertura da coleta domiciliar urbana se manteve em 98,8%.

No Brasil, a prática da coleta convencional, também conhecida como regular ou unificada, é a mais comum. Esse tipo de coleta, que abrange resíduos domiciliares e comerciais, tem a vantagem de gerar menor custo e maior facilidade gerencial. Todavia, tem menor ganho ambiental se comparado com a coleta seletiva, uma vez que a mistura dos materiais dificulta ou impede a segregação para a reciclagem (Brasil, 2006a; Manoel Junior *et al.*, 2011).

As práticas de coleta seletiva e da reciclagem resultam em benefícios ambientais, econômicos e sociais, reduzindo o uso de matérias-primas e a quantidade de RSU destinados aos aterros ou à incineração, além de poder criar oportunidades de trabalho e renda (Grimberg, Blauth, 1998; Conke, 2018). De modo geral, tanto a coleta convencional quanto a coleta seletiva contribuem para a limpeza urbana.

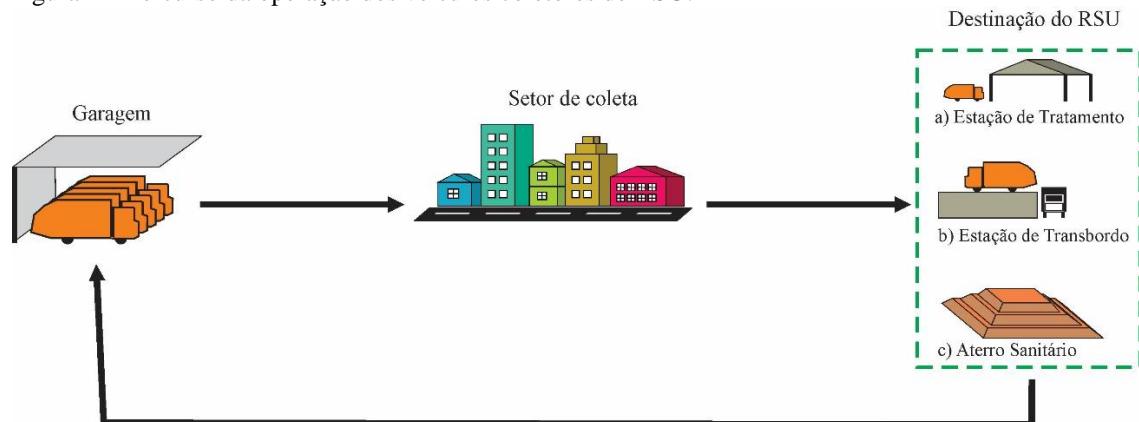
Brasil (2006a) aponta que “a eficiência da coleta reduz os perigos decorrentes de mal acondicionamento na fonte”. IBAM⁴ (2001), Battistella (2014) e Brasil (2019) destacam que para uma coleta eficiente, deve ser observada a regularidade com que esta é realizada, no caso: com periodicidade bem definida, de modo que a população seja estimulada a incluir na sua rotina o acondicionamento dos resíduos; com frequência que atenda a demanda da população local, com o menor tempo possível de intervalo entre coletas; e com definição de horários de coleta que melhor se adequem à variação do tráfego de veículos da região.

Na etapa de transporte, o RSU é conduzido do ponto de coleta até o seu destino, que pode ser uma estação de transbordo, uma unidade de tratamento ou de disposição final (Un-Habitat, 2010; Aleluia, Ferrão, 2016; Saxena *et al.*, 2021). Para isso, é utilizado um veículo coletor que tem o seu trajeto iniciado com o deslocamento da garagem da empresa até o setor de coleta, nesse setor são percorridas todas as vias do itinerário de coleta, posteriormente o veículo segue para o local de destinação dos RSU, finalizando o

⁴ Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM)

seu trajeto com o retorno para a garagem (Cunha, 2001). Na Figura 1 é ilustrado o percurso do veículo de coleta de RSU numa viagem completa.

Figura 1 – Percurso da operação dos veículos coletores de RSU.



Fonte: Autor (2024).

Embora sejam atividades distintas, o serviço de coleta e o serviço de transporte costumam estar associados. De acordo com Barros (2012) e Nascimento (2020), até em cidades de grande porte os mesmos veículos desempenham os dois serviços em sequência em razão de limitações econômicas e das políticas dos serviços. Saxena *et al.* (2021) e Minghua *et al.* (2009) apontam os serviços de coleta e transporte como um dos fatores principais no custo associado ao gerenciamento de RSU.

Na planilha de dados disponibilizada pelo SNIS sobre a prestação do serviço de manejo de RSU, são apresentadas, dentre outras informações, os seguintes dados dos municípios brasileiros participantes da pesquisa: a) despesa corrente da prefeitura⁵; b) despesa com Serviços de Limpeza Urbana (SLU)⁶; e c) despesa com coleta e transporte de Resíduos Sólidos Domésticos (RDO) e Resíduos Sólidos Públicos (RPU). Na Tabela 1 são organizados esses dados referentes à operação das 26 capitais dos estados brasileiros e do Distrito Federal no ano de 2019.

⁵ Valor anual do total de despesas da administração pública municipal para a manutenção dos serviços públicos em geral, exceto despesas de capital.

⁶ A despesa com SLU abrange as despesas com coleta e transporte de RDO, RPU, Resíduos de Serviço de Saúde (RSS), de Varrição de Logradouro Público e demais serviços.

Tabela 1 – Despesas gerais e de serviço de limpeza urbana de capitais brasileiras de distrito federal.

Capitais Brasileiras	(a) Despesa prefeitura (R\$/ano)	(b) Despesas com SLU (R\$/ano)	Relação “b/a” (%)	(c) Despesa da coleta de RDO e RPU (R\$/ano)	Relação “c/b” (%)
Aracaju	1.898.960.911,23	125.506.889,90	6,61%	35.244.553,30	28,08%
Belém	2.871.375.875,97	120.589.501,31	4,20%	49.936.931,73	41,41%
Belo Horizonte	12.933.745.226,00	405.773.519,00	3,14%	104.689.921,00	25,80%
Boa Vista	1.048.746.765,44	131.250.259,00	12,51%	16.442.921,00	12,53%
Brasília	23.554.230.700,97	487.705.721,90	2,07%	83.342.242,85	17,09%
Campo Grande	2.608.947.048,38	123.452.053,96	4,73%	43.346.030,78	35,11%
Cuiabá	2.374.419.789,00	72.006.980,17	3,03%	30.496.247,65	42,35%
Curitiba	7.220.132.805,79	266.552.093,14	3,69%	174.780.418,00	65,57%
Florianópolis	2.154.149.138,39	205.837.856,48	9,56%	74.651.192,82	36,27%
Fortaleza	7.383.753.303,48	338.020.782,54	4,58%	281.459.180,94	83,27%
Goiânia	5.289.472.000,00	371.171.704,38	7,02%	56.401.289,76	15,20%
João Pessoa	2.065.198.698,86	105.293.111,39	5,10%	38.069.901,63	36,16%
Macapá	747.593.937,71	31.940.404,78	4,27%	13.067.227,83	40,91%
Maceió	2.150.524.304,80	133.155.259,16	6,19%	81.813.602,72	61,44%
Manaus	4.676.828.101,77	329.561.060,27	7,05%	159.582.563,05	48,42%
Natal	2.383.634.289,00	209.957.485,82	8,81%	34.587.645,20	16,47%
Palmas	1.165.476.049,00	32.243.451,08	2,77%	15.442.107,04	47,89%
Porto Alegre	5.813.725.091,19	262.689.752,31	4,52%	74.638.709,48	28,41%
Porto Velho	114.545.640,32	6.951.917,00	6,07%	-	-
Recife	4.708.968.626,41	267.150.785,31	5,67%	138.928.123,60	52,00%
Rio Branco	829.051.331,00	48.383.559,90	5,84%	16.912.218,40	34,95%
Rio de Janeiro	28.029.037.244,63	2.176.369.763,69	7,76%	592.190.212,70	27,21%
Salvador	5.841.000.000,00	375.987.681,77	6,44%	118.552.040,35	31,53%
São Luís	2.772.950.485,37	146.312.723,62	5,28%	72.249.126,78	49,38%
São Paulo	51.084.130.844,14	2.265.463.612,28	4,43%	1.294.122.055,93	57,12%
Teresina	2.847.826.633,23	116.940.245,69	4,11%	45.421.553,06	38,84%
Vitória	1.357.931.702,17	89.075.394,45	6,56%	27.445.259,97	30,81%
Média	-	-	5,63%	-	38,62%

Fonte: Brasil (2020b).

As despesas correntes dos municípios variaram de R\$ 114.545.640,32 por ano (Porto Velho – RO) até R\$ 51.084.130.844,14 por ano (São Paulo – SP), já as despesas com SLU variaram de R\$ 6.951.917,00 por ano (Porto Velho – RO) a R\$ 2.265.463.612,28 por ano (São Paulo - SP). Ao realizar a relação entre essas despesas, identificou-se que as despesas com SLU das capitais correspondem, em média, a 5,63% das despesas totais das prefeituras, sendo que essa proporção teve valor mínimo de 2,07% em Brasília-DF e máximo de 12,51% em Boa Vista-RR.

Esses valores se aproximam do que apontaram CEMPRE (2018), Costa, Nascimento e Ometto (2019), França Júnior e Arantes (2019), que citaram valores de 5% e 15% de participação dos SLU no orçamento dos municípios brasileiros.

Quanto às despesas com coleta e transporte de RDO e RPU, essas variaram de R\$ 13.067.227,83 por ano (Macapá - AP) até R\$ 1.294.122.055,93 por ano (São Paulo - SP). Essas despesas com coleta e transporte corresponderam, em médio, a 38,62% das despesas com SLU, tendo variado de 12,53% (Boa Vista – RR) a 83,27% (Fortaleza – CE).

Dessa forma, percebe-se que apenas os custos com Serviços de Limpeza Urbana, sem considerar os custos com destinação ambientalmente adequada e disposição final dos RSU, já têm impacto significativo no orçamento dos municípios analisados, o que torna projetos e ações voltados à redução dos custos nesse setor atividades relevantes e oportunas. Vale destacar que a despesa com coleta e transporte de RDO e RPU é parcela expressiva das despesas com SLU.

Além dos custos diretos inerentes à prestação dos serviços, a coleta e o transporte de RSU acarretam o consumo de energia, a produção e emissões de poluentes atmosféricos, o esgotamento de recursos (como combustível fóssil). Além disso, assim como impõe custos econômicos, a saúde pública também é afetada com os congestionamentos e acidentes em vias (Miller *et al.*, 2014; Pérez, Lumbreiras, Rodríguez, 2020; Yadav, Karmakar, 2020).

De acordo com Melquiades (2015), a grande demanda por transportes de passageiros e de carga, como os RSU, vem comprometendo a mobilidade e a acessibilidade nos grandes centros urbanos.

Além disso, a falta de planejamento integrado das governanças locais dificulta a otimização, o racionamento de recursos e a harmonização de objetivos referentes à mobilidade urbana.

Nesse sentido, considerando os altos custos que a coleta e o transporte de RSU geram e o seu impacto na mobilidade das cidades e na segurança das vias, torna-se imprescindível a gestão dos veículos coletores, pelas empresas e entidades responsáveis, que preze tanto a eficiência econômica quanto a boa performance desses equipamentos. Assim, é salutar que a formulação de políticas de substituição desses ativos seja embasada tecnicamente.

2.1.1. Veículos de coleta e transporte de resíduos sólidos

O avanço tecnológico vem ampliando as alternativas de veículos utilizados na coleta e transporte de RSU que diferem no modelo e na funcionalidade, indo desde transporte com tração animal até veículos com alto grau de automação. Essas características dos veículos impactam na capacidade de transporte, na mão de obra demandada, nos custos gerados e na eficiência da prestação dos serviços.

Os veículos podem ser classificados entre motorizados e não motorizados, sendo que esses últimos têm como força motriz a tração animal e a humana.

Os veículos motorizados são divididos entre compactadores e comuns. Os veículos compactadores têm a vantagem de, por comprimir os resíduos coletados, transportarem maior massa de RSU na mesma viagem (CUNHA, 2001; CEMPRE, 2018).

Na Figura 2 são relacionados os veículos utilizados na coleta e transporte de RSU divididos em categorias em função de suas características.

Figura 2 – Classificação dos veículos coletores de RSU.

Veículos Coletores de Resíduos Sólidos			
Não motorizado		Motorizado	
Tração animal	Tração humana	Sem compactação	Com compactação
- Carroça c/ tração animal.	- Lutocar conduzido por gari; - Carroceiro.	- Moto com reboque; - Trator com reboque; - Embarcação; - Caminhão basculante convencional; - Caminhão c/ carroceria de madeira; - Caminhão Baú; - Veículo poliguindaste; - Veículo Roll-On Roll-Off.	- Com carga frontal; - Com carga lateral; - Com carga traseira.

Fonte: Autor (2021).

A carroça com tração animal consiste na adoção de um animal, como cavalo, boi e jegue, para puxá-la nas vias em que os resíduos sólidos serão recolhidos e transportados até o seu destino (Figura 3-a). Vale observar que em algumas localidades do Brasil, como nos municípios do Rio de Janeiro-RJ, de Maceió-AL e de Lages-SC, a utilização de tração animal no transporte de RSU tem sido proibida ou desestimulada em razão dos maus-tratos aos animais (Tribuna de Porciúncula, 2016; Lages, 2019; Correio dos Municípios, 2020). De acordo com Brasil (2020b), em 2019, esse tipo de veículo para transporte de resíduos sólidos era utilizado em 68 municípios brasileiros com um total de 309 veículos, os quais estão mais presentes nas regiões Nordeste e Norte com 143 (46,3%) e 97 (31,4%) carroças, respectivamente.

A utilização de carroças movidas à tração e propulsão humana acontece nos casos em que, no lugar de utilizar a tração animal ou veículos motorizados, os carroceiros as puxam com a própria força (FIGURA 3-b).

Brasil (2013) comenta que as atividades dos catadores de recicláveis também podem ser desempenhadas como a descrita para os carroceiros: puxando a carroça. Fortaleza (2019) distingue carroceiros de catadores informando que os primeiros coletam, majoritariamente, entulhos e resíduos das podas de árvores; enquanto os segundos coletam resíduos recicláveis. Neste texto, ambos foram denominados apenas por “carroceiros”.

De acordo com Mori (2017), os carroceiros geralmente trabalham de forma individual, não participando de cooperativas. Apesar disso, a autora destaca a importância da atividade desses profissionais autônomos, uma vez que “eles são responsáveis por quase metade da coleta seletiva no Brasil”, abrangendo, em São Paulo - SP, a coleta de 43,5% do volume total de recicláveis dentro dos sistemas de coleta seletiva municipal.

No entanto, em algumas localidades, parcela dos carroceiros, prestando serviço para particulares, despejam os resíduos sólidos em pontos de descarte irregular, prejudicando e poluindo o ambiente urbano. Em Belém-PA já foram contabilizados pela prefeitura mais de 600 pontos de descarga irregular, cuja limpeza representa custo mensal de R\$ 2 milhões ao município (Globo Notícias, 2018).

O lutocar é um carrinho transportado manualmente (Figura 3-c) para coleta de resíduos sólidos nos serviços de varredura de logradouros públicos, com a possibilidade de trafegar em locais de vias estreitas e facilidade de limpeza e manutenção (Brasil 2006a). IBAM (2001) comenta que este equipamento é construído em tubos de aço, com recipiente aberto na parte superior para conter saco plástico. No entanto, outros modelos de carrinho podem ser enquadrados nessa categoria, tais como os contêineres estacionários com rodinha e equipamentos semelhantes com a mesma finalidade, porém com outros aspectos construtivos.

As motos com reboque são equipadas com carretinha adaptada para a coleta de resíduos sólidos (Figura 3-d), podendo ser utilizadas para a coleta em áreas de difícil acesso. Brasil (2010b) e Franca (2013) comentam a utilização desses veículos no transporte de resíduos recicláveis e orgânicos em coleta porta a porta. No ano de 2019, de acordo com Brasil (2020b), esse tipo de veículo, com uma frota total de 247 veículos, era utilizado em 95 dos 3.712 municípios brasileiros pesquisados, estando a maior parte da frota presente no Nordeste, com um total de 116 veículos (47%).

Os tratores com reboque (Figura 3-e) têm carroça acoplada, podendo ser, de acordo com Cunha (2001) e CEMPRE (2018), utilizados em municípios de pequeno porte e em locais de difícil acesso, como em ruas não pavimentadas e estreitas, bem como em áreas de ocupação desordenada.

Na coleta de resíduos sólidos também são utilizadas embarcações para o transporte de resíduos sólidos (Figura 3-f). De acordo com Brasil (2020b), esse tipo de coleta ocorre em condições ambientais específicas e com incidência limitada nos municípios brasileiros. As regiões Sudeste e Norte são que têm maior presença desse tipo de transporte de resíduos sólidos, com 30,4% (31 embarcações) e 29,4% (30 embarcações) da frota relatada no diagnóstico de 2019 do SNIS, respectivamente. As cidades que se destacam quando se trata de transporte de resíduos sólidos em embarcações são Castelo-ES, São Félix do Xingu-PA e Itacajá-TO.

Os caminhões basculantes convencionais têm como característica a caçamba em chapa de aço e a parte superior aberta (Figura 3-g), além da realização de basculamento hidráulico da caçamba (Cunha, 2001; Pinheiro, Ferreira, 2017). Esses veículos possuem a vantagem de serem versáteis, podendo carregar diversos tipos de materiais e, por este motivo, serem utilizados em outras atividades, além da coleta e transporte de RSU.

Um inconveniente da utilização desse tipo de veículo na coleta de RSU é a altura da borda da caçamba que exige grande esforço físico dos trabalhadores que coletam os resíduos.

Além disso, esses veículos permitem a exposição dos resíduos à chuva e ao vento durante o seu transporte, podendo ocorrer queda de resíduos durante o transporte nas vias (Brasil, 2006a; Ribeiro, 2017; CEMPRE, 2018).

Os caminhões com carroceria de madeira são veículos cuja estrutura do compartimento em que os RSU são armazenados é de madeira. Pinheiro e Ferreira (2017) comentam que esses veículos podem ser utilizados para a coleta de resíduos sólidos em locais de difícil acesso, como em aglomerados subnormais, vielas e logradouros estreitos. Além disso, esses veículos podem ser adaptados para a coleta de materiais recicláveis, conforme apresentado na Figura 3-h.

O caminhão baú (Figura 3-i), também conhecido como caminhão prefeitura, é, de acordo com a NBR 12980/1993, um “veículo com carroceria fechada, metálica, construído em forma de caixa retangular, com a parte superior abaulada, onde existem

janelas providas de tampas corrediças pelas quais se efetua a carga dos resíduos” (ABNT⁷, 1993). Este tipo veículo não realiza a compactação do material coletado.

Pinheiro e Ferreira (2017) comentam que esse veículo é utilizado em comunidades pequenas, com baixa densidade demográfica, bem como em locais íngremes. Ribeiro (2017) observa que estes veículos possuem a vantagem de acomodar bem os RSU, evitando o seu espalhamento, além de ser um equipamento de baixo custo de aquisição e manutenção. Porém, a operação exige um maior esforço dos garis, o que reduz a sua produtividade se comparado com caminhões compactadores.

Os veículos poliguindastes (FIGURA 3-j), apelidado de “canguru”, são equipados com um guindaste hidráulico montado no chassi do veículo, para o içamento (coleta), transporte, basculamento e deposição dos resíduos sólidos acumulados nas caixas estacionárias *Brooks* (IBAM, 2001). Para operação eficiente desses equipamentos, é recomendado deslocamento em pequenas distâncias entre a coleta e a disposição dos RSU. De acordo com Brasil (2020b), esses veículos corresponderam, em 2019, a 3,8% (988 veículos) da frota de veículos dos municípios brasileiros pesquisados, que considerou, além do poliguindaste, os veículos compactadores; basculantes, baú ou carroceria; e tratores agrícolas.

Os veículos tipo *Roll-On Roll-Off* são utilizados para transportar contêineres estacionários (compactadores ou não compactadores), onde são acumulados resíduos sólidos, tendo aplicação para coleta domiciliar e industrial (Figura 3-k). Ribeiro (2017) aponta que estes veículos “são bastante úteis para grandes geradores de resíduos, que armazenam o lixo em caçambas compactadoras estacionárias por alguns dias, até que seja necessário efetuar a coleta”.

Os caminhões compactadores (Figura 3-l), de acordo com a NBR 12980/1993, possuem a “carroceria fechada, contendo dispositivo mecânico ou hidráulico que possibilite a distribuição e compressão dos resíduos no interior da carroceria e sua posterior descarga” (ABNT, 1993). De acordo com IBAM (2001), esses veículos são destinados à coleta de resíduos domiciliar, público e comercial, sendo que a descarga do material coletado deve ocorrer em estações de transferência, usinas de reciclagem ou nos aterros sanitários. Os sistemas de descarga desses veículos têm o mecanismo de operação que não demanda nenhum contato manual do operador com a carga.

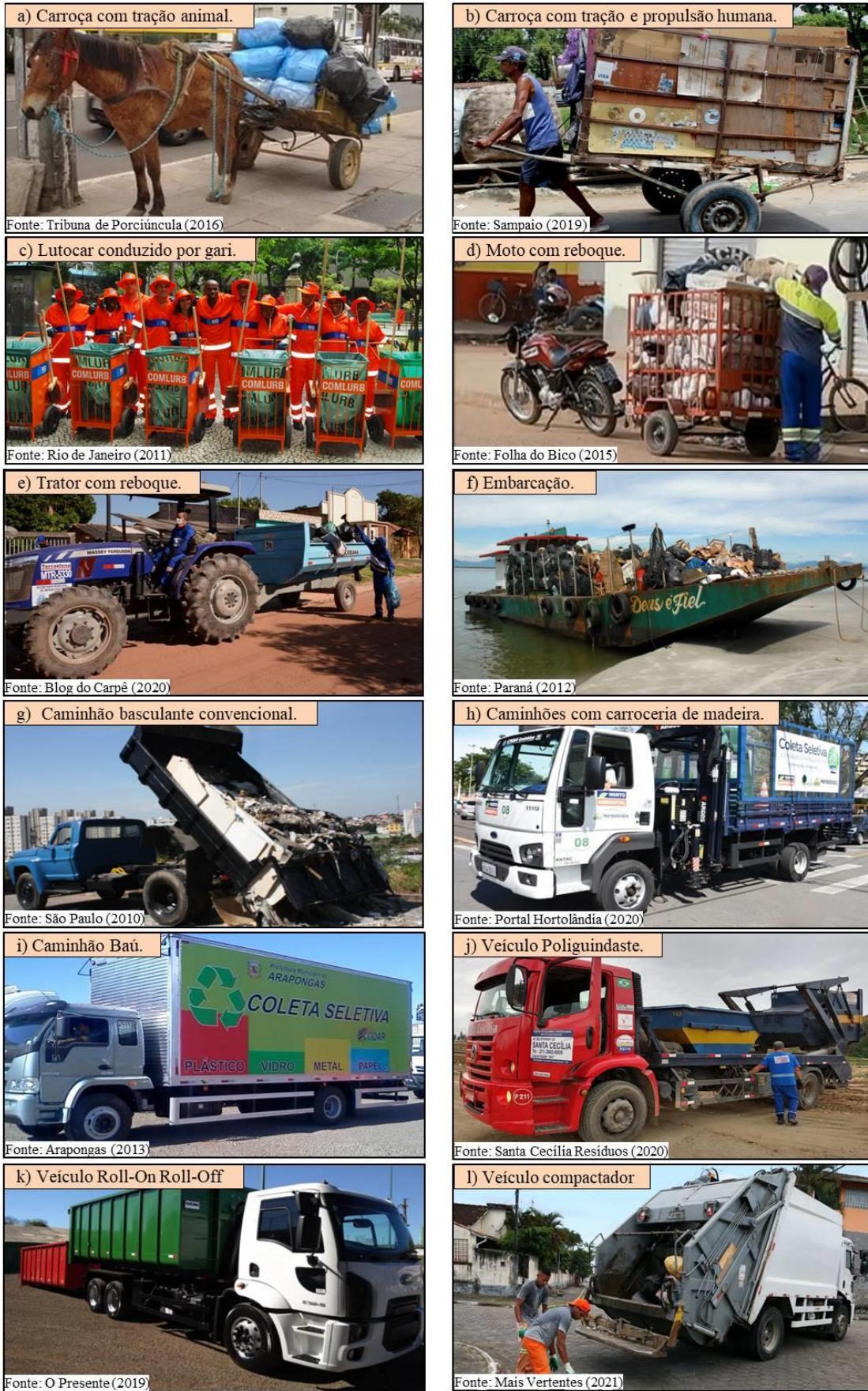
⁷ Associação Brasileira de Normas Técnicas

Os veículos compactadores podem ser de carga frontal, carga lateral carga traseira, sendo este último tipo o mais utilizado no Brasil. O compactador de carga traseira apresenta as seguintes vantagens: capacidade de coletar grandes volumes, alta velocidade operacional, baixo índice de derramamento de resíduos, rápido descarregamento, boas condições ergométricas para o serviço dos funcionários coletores. Essa última característica se faz presente por razão dos compactadores de carga traseira serem abertos na parte de trás do veículo, onde os coletores podem jogar os sacos de resíduos (RIBEIRO, 2017).

Nesses veículos podem ser incorporados sistemas de basculamento para esvaziar grandes quantidades de resíduos sem esforço dos coletores (Ribeiro, 2017). CEMPRE (2018) comenta que, em locais com grande concentração de resíduos sólidos gerados, veículos compactadores com mecanismo para basculamento de recipiente estacionário podem proporcionar maior eficiência na coleta. Outro benefício desse tipo de coleta é evitar a ocorrência de acidentes no manuseio dos resíduos.

Na Figura 3 são apresentadas fotografias de veículos coletores de resíduos sólidos citados por IBAM (2001), Cunha (2001), Brasil (2006a), Ribeiro (2017) e CEMPRE (2018).

Figura 3 – Fotografias dos tipos de veículo coletor de RSU.



Fonte: Autor (2021).

Espírito Santo (2019) comenta que na coleta de resíduos sólidos comumente são utilizados caminhões tipo compactadores ou caçambas (caminhão basculante convencional). A seleção do tipo veículo a ser utilizado para atender determinada área de coleta de RSU é de grande importância, visto que esses possuem capacidade, produtividade e custos distintos.

Os caminhões compactadores, se comparados com os caminhões basculantes convencionais, têm capacidade de coletar maior quantidade de resíduos numa mesma rota, o que diminui o número de viagens necessárias para coletar todo o material acondicionado e aumenta a produtividade da equipe de coleta. Estima-se que um caminhão compactador de 15 m³ é capaz de coletar uma carga equivalente de quatro a seis caminhões basculantes convencional de 7 m³. Além disso, por razão do equipamento compactador ser fechado, os resíduos sólidos são menos expostos a intempéries e a derramamento nas vias públicas (Porto Alegre, 2017; Espírito Santo, 2019).

Por outro lado, os caminhões compactadores apresentam maiores custos de aquisição e manutenção, maior consumo de combustível, dificuldades de limpeza, além da reposição de peças poder ser um complicador, principalmente quando os seus sistemas mecânicos, hidráulicos e eletrônicos são sofisticados. Além disso, os caminhões compactadores também não são indicados para a coleta de materiais recicláveis (PORTO ALEGRE, 2017).

Dessa forma, a seleção do tipo de caminhão a ser utilizado no serviço de coleta e transporte de RSU depende de análise da viabilidade econômica e operacional. Em cidades de pequeno porte, em que a geração de resíduos sólidos não costuma ser espacialmente densa e em elevada quantidade, a seleção de veículos compactadores, conforme apontado por Porto Alegre (2017), requer uma justificativa técnica.

De acordo com os dados do SNIS referentes ao ano de 2019, os caminhões compactadores são os mais utilizados na coleta de RSU nos municípios pesquisados, ocupando a parcela de 42,4% dos veículos. Em seguida, com representatividade de 42,3%, estão os caminhões basculantes, baú ou carroceria. Os tratores com reboque ocupam a penúltima colocação com 11,5% e os caminhões poliguindaste a última, com 3,8%, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Quantidade de veículos do setor de coleta e transporte de RSU no Brasil por tipo.

Tipos de veículos	Total	
	quant.	%
Compactadores	15,0 mil	41,2
Basculante, baú ou carroceria	15,2 mil	41,8
Poliguindaste	1,1 mil	3,0
Trator agrícola c/ reboque	4,0 mil	11,0
Carroças, embarcações e triciclos	1,1 mil	3,0

Fonte: Brasil (2023).

Após a seleção do tipo de veículo a ser utilizado na coleta de RSU, é necessário realizar o dimensionamento a fim de identificar a quantidade de veículos da frota. De acordo com CEMPRE (2018), o dimensionamento e a programação dos serviços de coleta domiciliar são constituídos pelas seguintes etapas: a) estimativa do volume de resíduos sólidos a ser coletado; b) definição das frequências de coleta; c) definição dos horários de coleta domiciliar; d) dimensionamento da frota dos serviços e; e) definição dos itinerários de coleta.

Espírito Santo (2018) comenta que, na determinação da quantidade de resíduos sólidos a ser coletada, devem ser utilizadas séries históricas para o cálculo da média mensal e média diária de geração.

Quando não existe dados de série histórica, a geração de resíduos pode ser estimada através de taxa de geração per capita. CEMPRE (2018) detalha que o levantamento da geração de RSU pode ser realizado pelo monitoramento total, em que todos os dias os veículos coletores são pesados no ponto de descarga do RSU.

Outra forma é pelo monitoramento parcial, em que são identificados roteiros representativos de regiões homogêneas quanto à geração de resíduos, a geografia e o tipo de uso e intensidade de ocupação do solo do município. Assim, a geração per capita de uma localidade homogênea pode ser considerada para a outra.

A frequência de coleta, conforme Augusto Pestana (2019), representa o número de vezes em que a operação de coleta é realizada por semana num determinado setor. Para a determinação dessa frequência, deve-se considerar a massa de RSU a ser coletada e o grau de satisfação da população usuária. De acordo com Espírito Santo (2018), as coletas costumam ser diárias, excetuando os domingos e os feriados, em localidades com maior índice de geração de RSU, podendo ser realizada até em dois turnos. Em localidades com

menores gerações de RSU, pode ser planejada uma coleta intercalada, realizada três dias por semana.

Os horários de coleta podem ser diurnos e noturnos, e a sua definição deve ser realizada de modo que melhor atenda às características da localidade, que tem grande influência do comportamento do transido nas vias ao longo do dia. CEMPRE (2018) comenta que a coleta noturna pode ter o benefício de interferir menos no trânsito, melhorar a produtividade dos veículos, podendo até refletir numa diminuição da frota. No entanto, o autor aponta como aspectos negativos a geração de ruídos à noite e a possibilidade de ocorrer acidentes em vias mal iluminadas.

O número de veículos da frota, de acordo com Espírito Santo (2018), deve ser determinado considerando a quantidade de RSU a ser coletada, a frequência de coleta e o número de percursos de trabalho.

A capacidade de compactação e de carga transportada do veículo coletor deve ocorrer dentro dos limites impostos: a) pela lei da balança (resoluções 210/2006 e 211/2006 do Conselho Nacional de Transito – CONTRAN), que estabelece, dentre outros parâmetros, os limites dos pesos das cargas dos caminhões que circulam pelas rodovias (Brasil, 2006b; Brasil, 2006c); b) pela capacidade de carga dos chassis e; c) pela topografia da área em que o veículo compactador irá operar, uma vez que em deslocamentos íngremes, é importante que a tração do motor (em trechos de subida) e a frenagem (em trechos de descida) tenham capacidade de suportar o peso transportado (Moreira Filho, 2015).

De acordo com CEMPRE (2018), a frota total corresponde ao maior valor dentre as frotas necessárias a cada turno de trabalho a ser utilizada todos os dias. Além disso, deve-se considerar um número necessário de veículos adicionais de 10% de frota como reserva para reparos e manutenção dos veículos e 5% para emergências.

O número de veículo a ser utilizado na frota tem impacto direto nos custos da prestação dos serviços de coleta e transporte de RSU. A frota tende a ser menor quanto melhor é o aproveitamento dos veículos em seus itinerários de coleta e quando a confiabilidade resultante de uma boa prática de manutenção possibilitar a diminuição da frota de reserva.

Essa manutenção tende a ficar mais onerosa com o tempo, chegando num estágio em que se torna economicamente vantajosa a substituição do veículo coletor. Assim, a definição do momento ótimo de substituição desse ativo é um fator a ser considerado pelo

gestor, o que definirá a duração da vida útil operacional desse veículo na empresa dele detentora e impactará nos seus custos operacionais.

2.2. CUSTOS DOS SERVIÇOS DE COLETA E TRANSPORTE DE RSU

Peters (2018) e Hastak (2015) destacam a importância que a classificação detalhada dos diversos custos inerentes à produção de um bem ou à prestação de um serviço tem na identificação da influência desses no custo total e em como os esses custos podem ser controlados. Os custos podem ser classificados, dentre outras categorizações, em fixos e variados. Essa classificação é tida como a mais importante por Martins (2003, p. 33), uma vez que “leva em consideração a relação entre o valor total de um custo e o volume de atividade numa unidade de tempo”.

Bruni (2008) e Silva *et al.* (2020) apontam que os custos fixos são aqueles que, em determinado período e em certa capacidade do empreendimento, não oscilam conforme o volume de produção. No caso da coleta de RSU, conforme Pinheiro e Ferreira (2017), os custos fixos não variam em função do volume de resíduos recolhidos e da distância percorrida. Martins (2003) faz a ressalva de que os custos fixos não são permanentemente do mesmo valor, havendo alguns fatores que podem modificá-los, tais como: variação de preços de insumos, expansão da empresa e mudança tecnológica.

Já os custos variáveis, como o próprio nome indica, variam de acordo com o volume das atividades ou o volume de produção (Leone, 2000; Martin, 2003; Bruni, 2008; Silva, 2008). No caso dos veículos coletores de RSU, conforme Pinheiro e Ferreira (2017) e CEMPRE (2018), esses custos variam em função da utilização do equipamento, ou seja, com a quantidade de resíduos coletados e com a distância percorrida na operação dos veículos coletores.

No setor de coleta e transporte de RSU, os diversos custos de uma empresa privada ou de uma entidade pública responsável pela prestação desses serviços podem ser enquadrados nessa classificação. Dessa forma, considerando os arranjos apresentados por Roviriego (2005), Souza (2006), CEMPRE (2018), Espírito Santo (2018), Augusto Pestana (2019) e Espírito Santo (2019), foi elaborado o Quadro 1, com os custos dos serviços de coleta e transporte de RSU.

Quadro 1 – Classificação dos custos de coleta e transporte de RSU.

Classes	Grupos de custos	Custos
Custos Fixos	Frota	Depreciação
		Remuneração de capital
		Licenciamento e seguros
	Instalações e equipamentos	Edifícios
		Garagens
		Máquinas
		Veículos auxiliares
	Mão de obra	Direta
		Indireta
	Despesas administrativas	Material de escritório
		Serviço de terceiros
		Uniforme
		Água
		Energia elétrica
		Impostos
		Etc.
		Combustível
Custos Variados	Operação	Óleo Lubrificante
		Pneus e Recauchutagem
		Graxas
	Manutenção	Filtros
		Lavagem
		Conjunto de rodagem
		Peças de reposição
		Etc.

Fonte: Autor (2021).

2.2.1. Custos Fixos

De acordo com a ABNT (2001) e Ifremer (2006), a depreciação é a “perda de valor de um bem, devido a modificações em seu estado ou qualidade”, o que pode ser ocasionada por: a) decrepitude, que é o desgaste pelo envelhecimento natural; b) deterioração, que corresponde ao desgaste pelo uso ou manutenção inadequados; c) mutilação, que ocorre devido à retirada de componentes originalmente existentes; e d) obsoletismo, equivalente à superação da tecnologia ou da funcionalidade do equipamento pelo mercado.

Ao final da vida útil do veículo, esse ainda possui um valor residual, correspondente ao seu valor de revenda. A diferença entre o valor de aquisição do veículo

e esse valor residual é igual ao valor depreciado ao longo de toda a sua vida útil. Essa depreciação acontece de forma gradual ao longo dos anos da vida útil do bem.

CEMPRE (2018) comenta que, para fins contábeis, a depreciação pode ser considerada como a parcela do valor do veículo a ser reservada mensalmente durante a sua vida útil para que, ao término desse período, tenham sido reunidos os recursos que permitam substituir o equipamento depreciado por um bem novo similar.

O cálculo dos valores depreciados é realizado utilizando métodos específicos. Guimarães (2008) e CEMPRE (2018) apontam, dentre outros, dois métodos utilizados no cálculo da depreciação dos veículos coletores de RSU: o Método Linear e o Método da Soma dos Dígitos dos Anos.

O Método Linear ou de Quotas Constantes, de acordo com Iudícibus (2010), Espírito Santo (2018) e Gelbcke *et al.* (2018), é o método conhecido por sua simplicidade e por distribuir o custo fixo mensal sem alteração ao longo do contrato, sendo utilizado na maioria das empresas.

De acordo com Augusto Pestana (2019) e Espírito Santo (2019), a depreciação pelo método de Quotas Constantes é calculada dividindo-se o valor depreciável pelo tempo de vida útil (em mês, semestre, ano etc.) do equipamento. Na Equação 1 é apresentado um exemplo de cálculo da quota depreciável considerando intervalo mensal da vida útil.

$$\text{Quota depreciável mensal} = \frac{\text{Valor de aquisição} - \text{Valor residual}}{\text{Vida útil em meses}} \quad (1)$$

Almeida (2018), no entanto, critica este método ao considerar equivocado supor que as perdas de potencialidade do equipamento não se realizam de forma igual em cada período de sua vida útil, mas, sim, com uma maior depreciação no início da vida útil do veículo, que vai diminuindo à medida que se aproxima do final desse período.

Esse comportamento é simulado pelo Método da Soma dos Dígitos dos Anos, sobre o qual Schmidt e Santos⁸ (2002, p. 266, apud Guimarães, 2008, p. 34) comentam que esse método “estima que o bem perca um valor maior quando mais novo e, à medida que o tempo passa, essa perda se reduz”. Assim, as quotas de depreciação são maiores no início da vida útil e diminuem ao longo dos anos, atingindo o menor valor ao final.

⁸ SCHMIDT, Paulo; SANTOS, Jo sé Luiz dos. Contabilidade Societária. São Paulo: Atlas, 2002.

De acordo com Gelbcke *et al.* (2018), esse método permite uma maior uniformidade nos custos, tendo em vista que no início da vida útil, quando existe menor necessidade de manutenções e reparos, as quotas de depreciação são maiores. Por outro lado, como os custos com manutenção tendem a aumentar com o tempo, eles seriam compensados pelas quotas decrescentes de depreciação, “resultando em custos globais mais uniformes”, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Relação entre quotas decrescentes de depreciação e custos de manutenção e reparos.



Fonte: Gelbcke *et al.* (2018).

De acordo com Almeida (2018), o método consiste na aplicação de taxa que é um número fracionário, sobre o valor a ser depreciado do bem. O resultado do produto entre esses valores será a quota depreciada no ano em questão. Esse número fracionário tem como numerador os períodos de vida útil restantes no fim do período anterior, e como denominador o total da soma dos dígitos correspondentes ao número de períodos de vida útil.

O mesmo autor ainda utiliza um exemplo considerando o caso hipotético de um bem com valor a ser depreciado ao longo da vida útil de \$ 5.000,00 em cinco anos de vida útil. Primeiramente, é calculado o denominador da taxa que será multiplicada pelo valor a ser depreciado, no caso 15 ($1+2+3+4+5$). Em seguida, utilizando como numerador da taxa os períodos de vida útil restante do período anterior, em que “n” corresponde ao valor de vida útil, no primeiro ano é utilizado “n”, no segundo “n-1”, no terceiro “n-2” e assim por diante. Assim, considerando esses valores, podem ser calculadas as quotas de depreciação de cada ano (Quadro 2).

Quadro 2 – Exemplo do Método Soma dos Dígitos dos Anos.

Ano	Fração	Depreciação anual (quota)
1	$\frac{5}{15} \times R\$ 5.000,00$	= R\$ 1.667,67
2	$\frac{4}{15} \times R\$ 5.000,00$	= R\$ 1.333,33
3	$\frac{3}{15} \times R\$ 5.000,00$	= R\$ 1.000,00
4	$\frac{2}{15} \times R\$ 5.000,00$	= R\$ 667,67
5	$\frac{1}{15} \times R\$ 5.000,00$	= R\$ 333,33
Total		= R\$ 5.000,00

Fonte: Almeida (2018).

Espírito Santo (2019) orienta que tanto o tempo de vida útil dos equipamentos quanto o valor residual devam ser adequadamente referenciados em fontes confiáveis. No caso da vida útil, essas podem ser embasadas por informações oficiais dos fabricantes ou em contratos anteriores, e no caso do valor residual no final da vida útil, por meio de constatação em informações oficiais de revendedores dos equipamentos e na Tabela FIPE⁹. Com os dados levantados, pode ser formando um banco de dados para justificar a estimativa da vida útil e do valor residual.

A Remuneração de Capital (RC), conforme Espírito Santo (2018, p. 62), “é o custo de oportunidade calculado com base numa taxa mínima de atratividade da empresa ou por limites estabelecidos por lei sobre o capital investido na aquisição de um veículo”. Esse custo diz respeito ao lucro que a empresa ou entidade pública deixaria de receber caso aplicado o recurso da compra do veículo em outro negócio, como na poupança, por exemplo (PESTANA, 2019; ESPÍRITO SANTO, 2018).

A Remuneração de Capital também leva em consideração o valor residual do veículo e pode ser calculado, de acordo com Pestana (2018) e Espírito Santo (2018), utilizando as Equações 2 e 3.

$$Rc = \frac{Im * i}{12} \quad (2)$$

$$Im = [(V_0 - V_r) * \frac{n+1}{2*n}] + V_r \quad (3)$$

⁹ Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas. A Tabela Fipe expressa preços médios de veículos anunciados pelos vendedores, no mercado nacional, servindo apenas como um parâmetro para negociações ou avaliações (FIPE, 2015).

Onde:

R_c = remuneração de capital;

I_m = investimento médio;

i = taxa de juros do mercado;

V_0 = valor inicial do bem;

V_r = valor residual do bem;

n = vida útil do bem.

Caso o veículo analisado não seja zero quilômetro, o valor “ V_0 ” sobre o qual incidirá a remuneração do capital será o valor do bem depreciado até a data da proposta.

Roviriego (2005) e Augusto Pestana (2019) comentam que os licenciamentos e os seguros dos veículos são os custos com as principais taxas que devem ser pagas para legalizar a sua operação. Nesses custos podem ser listados: Imposto sobre Propriedade de Veículos Automotores (IPVA); Seguro de Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Via Terrestre (DPVAT); Certificado de Licenciamento de Veículo (CRVL); e seguro contra incêndio, danos materiais contra terceiros.

CEMPRE (2018) comenta que os custos com instalações e equipamentos dizem respeito aos custos com depreciação, remuneração de capital, impostos e taxas das instalações e equipamentos da empresa que não são utilizados diretamente na prestação do serviço de coleta e transporte de RSU. Nesses custos podem ser incluídos aluguéis de instalações ou equipamentos, caso seja uma prática da empresa.

A mão de obra pode ser dividida em direta e indireta. A mão de obra direta diz respeito, conforme Pinheiro e Ferreira (2017), à guarnição¹⁰, que é o contingente de funcionários que recolhem, armazenam e transportam os RSU no veículo de coleta. Os custos com mão de obra direta, de acordo com CEMPRE (2018), são relacionados aos salários, encargos adicionais e benefícios concedidos aos funcionários da guarnição (motoristas e coletores).

Já a mão de obra indireta compreende os mecânicos, fiscais e funcionários administrativos, com os quais são despendidos custos com salários, encargos e benefícios. Vale observar, para avaliar medidas de desempenho, os custos com mecânicos e fiscais podem ser separados (CEMPRE, 2018).

¹⁰ A guarnição, de acordo com a NBR 12.980 de 1993, é o conjunto formado pelo coletor motorista e os operadores de cada veículo coletor (ABNT, 1993). No entanto, na pesquisa, optou por adotar as definições estabelecidas por Barros (2012) e CEMPRE (2018) que excluem o motorista da guarnição. Para simplificar o texto, neste trabalho é utilizada a definição da NBR 12.980 de 1993.

De acordo com Souza (2206), Pinheiro e Ferreira (2017) e CEMPRE (2018), os custos fixos ainda são constituídos por outros custos que não se enquadram nas categorias anteriormente mencionadas, definidos como despesas administrativas, tais como: material de escritório, serviço de terceiros, uniforme, água, energia elétrica, impostos e outros.

2.2.2. Custos Variáveis

Os custos variáveis, de acordo com CEMPRE (2018), são constituídos pelos custos com combustíveis, óleos lubrificantes, graxas, filtros, conjunto de rodagem, peças de reposição dos caminhões e outros. Neste estudo, os custos variáveis foram divididos nas categorias de custos e operação e custos de manutenção.

Os custos com variáveis de operação são os custos com combustível, óleos lubrificantes e pneus. O consumo de combustível está diretamente relacionado com a distância percorrida, a velocidade de transporte e a carga transportada na operação do veículo coletor (Xavier, 2010), devendo ser levantado, de acordo Espírito Santo (2018, p 66), “junto a frota de coleta existente, que já traduz a adequação à realidade atual do serviço, seja executado pelo município ou por empresa contratada”.

As trocas de óleos lubrificantes são previstas nas manutenções orientadas pelo fabricante em intervalos pré-determinados de quilometragem rodada ou em horas de serviço. O atendimento dessas determinações do fabricante tem impacto direto na vida útil dos veículos e tendem a reduzir a necessidade de manutenções corretivas (Pestana, 2019). Os custos com óleos lubrificantes incluem a utilização em motores, no sistema de transmissão, nos comandos hidráulicos, freios e nos filtros do veículo (Roviriego, 2005; CEMPRE, 2018).

A utilização severa dos caminhões em serviços de coleta de RSU resulta num desgaste expressivo dos pneus, mais intenso em comparação com condições normais de uso. Dessa forma, a prática da recauchutagem de pneus é importante por reduzir custos, por aumentar o tempo de utilização de um mesmo pneu (Espírito Santo, 2019).

Espírito Santo (2018) destaca a relevância dos custos de manutenção no gerenciamento das frotas dos veículos coletores de RSU, uma vez que o regime severo de utilização desses veículos resulta num acentuado desgaste de seus elementos, acarretando maior custo que o ocorrido em condições normais de utilização, especialmente no caso

de caminhões compactadores, que geram altos custos de manutenção se comparados com os caminhões caçamba.

A importância da manutenção é tal que Usimeca (2020) chama a atenção ao fato de que a manutenção deficiente pode, até mesmo, anular a garantia do equipamento. De acordo com Marques *et al.* (2017), Costa (2018) e Furch (2014), existem basicamente três tipos de manutenção: a manutenção corretiva (planejada e não planejada), a manutenção preventiva e a manutenção preditiva.

Manutenção corretiva, de acordo com a NBR 5462 de 1994, é efetuada após a ocorrência de uma pane, sendo destinada a recolocar um equipamento em condições de executar uma função requerida (ABNT, 1994). Para Kardec e Nascif (2009) e Costa (2018), a manutenção corretiva é o ato de corrigir a falha ou adequar o desempenho quando está aquém do esperado de um equipamento.

Assim, Kardec e Nascif (2009) afirma que a manutenção corretiva não, necessariamente, é uma manutenção de emergência, uma vez que pode ocorrer quando: a) o equipamento apresenta desempenho deficiente identificado pelo acompanhamento das variáveis operacionais; b) há a ocorrência de falha, quando a manutenção passa a ser de emergência. A manutenção corretiva pode ser planejada e não planejada

A manutenção corretiva planejada, conforme Santana *et al.* (2017) e Cabral (2017), consiste na decisão gerencial de corrigir uma falha ou estado anormal de operação em função de um acompanhamento preditivo, decisão por falha de menor impacto que não afete a operacionalidade do equipamento, ou pela decisão de operar até a quebra.

Costa (2018, p. 20) ressalta que a eficácia da manutenção corretiva não programada depende da qualidade de informação coletada sobre o equipamento, da percepção do mau funcionamento deste e da decisão dos responsáveis por operar até sua a falha. Kardec e Nascif (2009) destacam que até nos casos em que a opção gerencial é feita no sentido de que o equipamento opere até a falha, o conhecimento dessa decisão possibilita que algum planejamento seja realizado para que uma ação seja tomada, tal como a substituição do equipamento por um reserva ou a intervenção rápida para o reparo.

Pelegrini (2013) comenta que esse tipo de manutenção pode ser uma boa opção quando os custos da indisponibilidade do equipamento forem menores que os custos necessários para evitar a falha. Maran (2011) indica a aplicação desse método de manutenção quando:

- a) não existem consequências econômicas, de segurança e operacionais;
- b) a parada de funcionamento do item é evidente;

- c) o custo de prevenção da falha é mais alto que a substituição;
- d) os custos do item e de sua substituição são baixos;
- e) a taxa de falha é baixa;
- f) os transtornos causados, em termos de alocação de mão de obra para substituição, são mínimos (Maran, 2011).

No entanto, Costa (2018, p. 19) aponta que a adoção de política apenas com manutenção corretiva é vantajosa somente em casos que o equipamento “não seja crítico para o funcionamento da produtividade da empresa e que tenha o custo de reparo corretivo menor do que os custos de acompanhamento por inspeção ou manutenção preventivo”. No caso da coleta e transporte de RSU, os veículos coletores são fundamentais à prestação dos serviços, sendo que na ocorrência de falhas, os veículos precisam ser substituídos por outros da frota reserva, frota essa que tende a ser maior quanto maiores forem os números de falhas, resultando em aumento de custo.

Assim, a adoção de política de manutenção corretiva planejada deve ser avaliada em relação a outras políticas mais conservadoras a fim de identificar a que oferece o melhor custo-benefício. Ainda assim, Marques *et al.* (2017) e Costa (2018) afirmam que a manutenção planejada tende a ser mais rápida, gerar menores custos e ser mais seguro em relação ao serviço não planejado, além de apresentar uma qualidade superior.

A Manutenção Corretiva Não Planejada, de acordo com Kardec e Nascif (2009), é a correção da falha de maneira aleatória, com a manutenção do equipamento após a ocorrência do fato, que pode ser uma quebra ou uma queda de desempenho abaixo do esperado.

Nesse tipo de manutenção não há de tempo para a preparação do serviço. Haider *et al.* (2015) e Onohara e Onohara (2019) comentam que essa é uma manutenção não programada – por não haver um agendamento para a sua execução como as manutenções preventivas – destinada a repor o equipamento em adequado funcionamento.

Kardec e Nascif (2009) afirmam que a manutenção corretiva não planejada implica em altos custos, uma vez que a quebra inesperada pode resultar em perdas de produção, perda na qualidade do serviço prestado e elevados custos indiretos de manutenção. Onohara e Onohara (2019) citam que os custos da manutenção corretiva não planejada são, pelo menos, o dobro do custo da manutenção planejada.

A Manutenção Preventiva é definida na NBR 5462 de 1994 como a “manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada

a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item” (ABNT, 1994, p. 7). Dessa forma, a manutenção preventiva tem como objetivo principal evitar, ou adiar, ao máximo a ocorrência de falhas, minimizando a necessidade de manutenção corretiva (Kardec, Nascif, 2009).

Pelegrini (2013) avalia como uma boa aplicação da manutenção preventiva em caso que os equipamentos ou os seus componentes apresentem desgastes em ritmo constante, sendo o seu custo inferior aos de manutenção corretiva em casos de falha, podendo-se prever estoques adequados e seguros. Costa (2018) comenta que a utilização da manutenção preventiva tem como objetivo a redução dos custos decorrentes de manutenção corretiva, a realização de manutenção de boa qualidade do produto ou serviço, o ganho de produtividade, a melhor conservação e aumento da vida útil dos equipamentos, a redução de acidentes na operação e a diminuição da poluição ambiental.

Além disso, a manutenção preventiva ocasiona benefícios como: maior segurança, maior confiabilidade, melhor qualidade, menores custos operacionais, vida útil mais longa e melhores condições de revenda (Slack, Brandon-Jones, Johnston, 2018, p. 708; Onohara, Onohara, 2019, p. 150).

Para Kardec e Nascif (2009), a decisão pela política de manutenção preventiva se torna mais desejada quanto maior for a simplicidade de reposição, quando mais dispendiosos forem os custos das falhas e quanto maior o impacto negativo das falhas na produtividade da empresa e na segurança operacional e do pessoal. Espírito Santo (2018) comenta que, no caso dos caminhões coletores de RSU, as manutenções preventivas orientadas pelos fabricantes, tais como a lubrificações, troca de óleo e filtros diversos, são de suma importância para a redução da manutenção corretiva e tem impacto direto na vida útil do veículo.

No entanto, a retirada programada do veículo de operação para a manutenção pode ser alvo de questionamentos se não for bem justificada, pairando a questão se é melhor manter o equipamento em operação por um período maior até a parada (Kardec, Nascif, 2009). Nesse sentido, Pelegrini (2013) comenta que na manutenção preventiva pode haver trocas de peças do equipamento antes do fim da sua vida útil, o que é economicamente negativo.

A Manutenção Preditiva, de acordo com a NBR 5462 de 1994, utilizando meios de supervisão centralizados ou de amostragem, permite garantir uma qualidade desejada de serviço com base na aplicação sistemática de técnicas de análise para minimizar a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva (ABNT, 1994, p. 7).

Para Kardec e Nascif (2009) a manutenção preditiva é definida como a atuação realizada com base na modificação de parâmetros de estado e de desempenho, sendo para isso necessário um acompanhamento sistemático e organizado. O autor ainda acrescenta que o objetivo dessa manutenção é prevenir as falhas e permitir a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível.

Furch (2014) comenta que, na manutenção preditiva, uma ação somente é tomada quando for técnica e organizacionalmente justificada ao ser demonstrado que a peça ou o equipamento operou até a exaustão e de que está sendo evitado um acidente. O autor ainda cita que os dados para a avaliação do estado e da degradação do equipamento devem ser coletados com instrumentos específicos. Assim, a aplicação desses mecanismos de manutenção em veículo viabiliza a produção de informações sobre a mudança de condição técnica das peças monitoradas.

Costa (2018) cita que os aspectos negativos da manutenção preditiva são associados à necessidade de contratação de profissionais capacitados para a adequada instalação e manipulação dos equipamentos de medição das variáveis, bem como o alto investimento na aquisição e manutenção periódica desses equipamentos. Por outro lado, o autor frisa que dentre as vantagens desse tipo de manutenção estão a detecção e a antecipação de falhas eventuais, com reflexo direto no aumento da segurança dos equipamentos; o aumento da vida útil dos componentes do equipamento; e o menor custo de manutenção relacionados à intervenção em falhas, como no caso de manutenções corretivas (Costa, 2018).

Assim, a decisão pelo método de manutenção a ser utilizado na frota de veículos coletores de RSU deve levar em consideração as vantagens e desvantagens de cada um dos métodos disponível, avaliando qual apresenta melhor benefício econômica, operacional e de segurança para a prestação dos serviços.

Nesse sentido, Kraus e Feuerriegel (2019) destacam que a manutenção de equipamentos e máquinas é imprescindível para garantir o adequado desempenho operacional, reduzir os riscos de falha e prolongar a vida útil dos sistemas, além de minimizar o tempo de inatividade. Assim, de modo geral, a manutenção eficiente tem impacto direto na redução dos custos de um produto ou da prestação de um serviço.

2.2.3. Oportunidade de controle dos custos

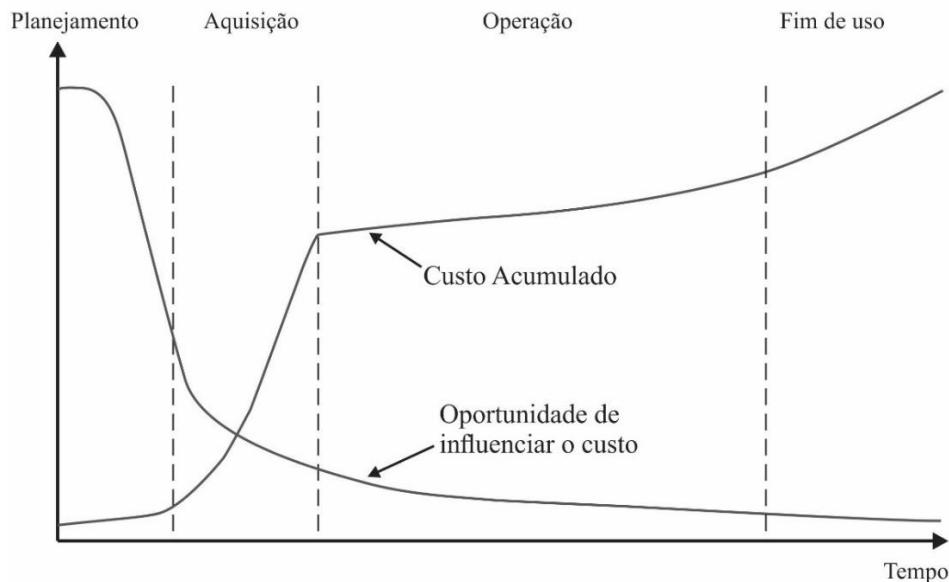
O controle das despesas e o cálculo dos custos são tarefas essenciais do setor de coleta e transporte de RSU do ponto de vista contábil, mas, também, como forma de avaliar o desempenho e fundamentar tomadas de decisão, tendo impacto nas seguintes atividades:

- a) gerenciamento eficiente dos recursos humanos e materiais;
- b) planejamento dos processos inerentes aos serviços;
- c) atualização da taxa cobrada para a manutenção ou promoção da sustentabilidade econômica dos serviços de limpeza pública;
- d) elaboração do orçamento anual municipal;
- e) negociação em condições de igualdade com a prestadora de serviços contratada, no caso de terceirização dos serviços (CEMPRE, 2018).

Os custos de um bem, como os veículos coletores, apesar de terem início após a sua aquisição, considerando que a depreciação tem início neste momento, já são influenciados por decisões anteriores à sua compra, as quais geram impacto nos custos ao longo de toda a sua vida útil. Um exemplo é o fato de que os critérios de seleção do tipo de caminhão e do planejamento operacional a ele traçado vão ter reflexos diretos no seu desempenho operacional. Nesse sentido, as decisões costumam ter maiores impactos nos custos de um bem antes de sua compra e tendem a decrescer ao longo do tempo.

De acordo com Hastings (2010), a oportunidade de influenciar os custos se concentra nas etapas de planejamento e aquisição (Figura 5). Ou seja, é importante que na seleção de equipamentos se considere o suporte logístico, selecionando o tipo de equipamento compatível com as demandas das atividades que se deseja realizar. Caso contrário, os custos para manter o equipamento em operação podem produzir resultados aquém do desejado, com custos elevados de manutenção e operação e baixa produtividade.

Figura 5 – Relação entre o custo acumulado e a oportunidade de influenciar os custos por uma decisão



Fonte: Hastings (2010), adaptada.

Apesar de nem sempre ser adequadamente praticada, uma decisão passível de ser tomada na fase de planejamento é a determinação da vida útil do equipamento. Essa decisão reflete tanto na produtividade como nos custos operacionais, uma vez que determina quando os veículos com maior desgaste e maior risco de sofrerem falhas serão substituídos. Por isso, a tomada de decisão relacionada à substituição dos veículos deve ser bem embasada, de preferência tendo como fator importante a redução dos custos.

2.3. DIFERENÇA ENTRE VIDA ÚTIL E VIDA ECONÔMICA

Nos processos produtivos é esperado que os equipamentos sejam utilizados por um período até que, por conta da queda de rendimento, elevação dos custos e ocorrência de falhas; devam ser retirados de operação e novos equipamentos sejam introduzidos aos processos. Esse período é nomeado de “vida” do equipamento, a qual, dependendo do contexto, pode ser denominada, dentre outras nomenclaturas, de “vida útil” ou “vida economia”. Nesse sentido, Hastings (2010) comenta que a duração da vida do equipamento pode ser baseada no julgamento técnico (vida útil) ou em análise de custo (vida econômica).

De acordo com Costa e Saraiva Junior (2012), a vida útil do equipamento é definida como o tempo em que esse bem continua desempenhando satisfatoriamente as suas funções. Já Dattein (1980) apresenta as duas seguintes perspectivas para a vida útil:

- a) período pelo qual o equipamento irá produzir bens ou serviços úteis;
- b) período durante o qual o equipamento desempenha adequadamente determinada função.

Esses conceitos de vida útil dizem respeito à eficiência técnica e à obsolescência tecnológica do equipamento. Dattein (1980) ainda considera o conceito de vida útil sinônimo da vida de serviço¹¹. Rainieri (2010) discorre que a vida útil técnica de um bem é determinada pelo momento em que expira ou se esgota a sua capacidade de fornecimento do serviço em conformidade com o objetivo estabelecido em sua concepção. Na NBR 14653-1/2001, em consonância com as referências citadas, a vida útil é conceituada como o “prazo de utilização funcional de um bem” (ABNT, 2001).

Fogliatto e Ribeiro (2011) comentam que no estudo de confiabilidade¹² de equipamentos relacionados à análise de risco¹³, a vida útil (t_2) pode ser entendida como o período em que as falhas¹⁴ podem ocorrer uniformemente em qualquer momento no tempo, devendo-se tipicamente a condições extremas no ambiente de operação do produto.

No início da vida útil, deficiências no processo de manufatura de um equipamento podem levar a falhas precoces, que se concentram na chamada fase de mortalidade infantil (t_1). No final da vida útil, concentram-se falhas decorrentes da deterioração do produto, na fase denominada envelhecimento (t_3). Essas três fases de um produto são representadas pela curva de banheira (Figura 6).

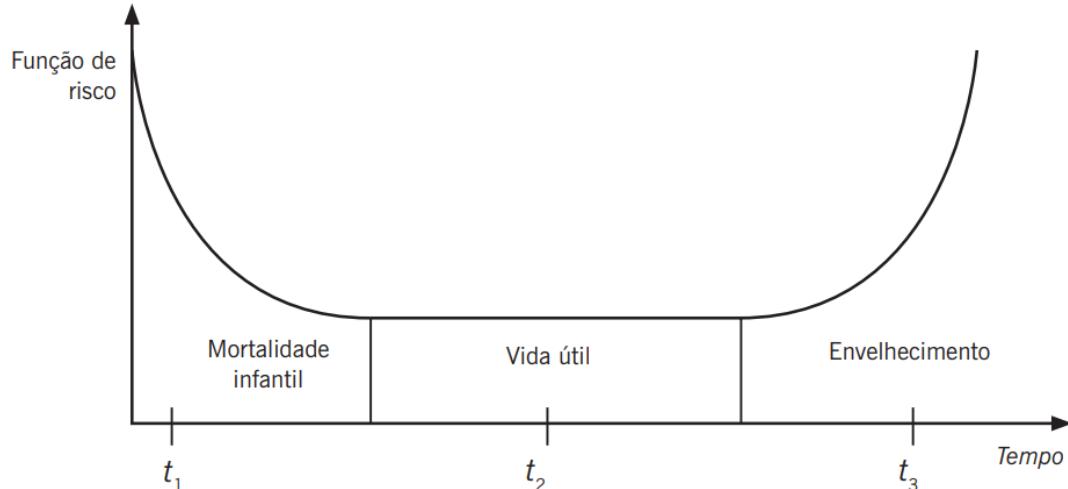
¹¹ Vida de serviço é um dos sete tipos de vida de um equipamento apresentado por Taylor (1964) e um dos oito tipos apresentados por Dattein (1980).

¹² A confiabilidade é definida por Leemis (1995) como a probabilidade de um item de desempenhar adequadamente o seu propósito especificado, por um determinado período e em condições ambientais anteriormente estabelecidas.

¹³ Risco pode ser entendido como a incerteza quanto à ocorrência de um determinado evento indesejado ou como a probabilidade de perda sofrida em consequência de um ou vários eventos indesejados (DE CICCO, FANTAZZINI, 2003; LEINFELDER, 2016).

¹⁴ Na NBR 5462/1994 a falha é definida como o término da capacidade de um item de desempenhar uma função requerida, quando a máquina passa para o estado de indisponibilidade que pode ser causada por circunstâncias relativas ao projeto, fabricação ou uso (ABNT, 1994). De acordo com Posso (2007), na falha pode ocorrer a diminuição total ou parcial dessa capacidade durante um período e máquina deverá ser reparada ou substituída.

Figura 6 – Exemplo de curva de banheira.



Fonte: Fogliatto e Ribeiro (2011).

De acordo com Diógenes e Slomski (2008), Nascimento Neto (2016) e Albuquerque (2019), como a vida útil do equipamento é limitada, o seu valor é alterado negativamente ao longo dos anos de operação. A essa queda do valor é dado o nome de depreciação, a qual precisa ser quantificada por questões contábeis e de revenda. A depreciação corresponde à diferença entre custo do ativo e o valor residual.

De acordo com Costa e Saraiva Junior (2012), a depreciação real está relacionada com a vida útil (vida física) do ativo, enquanto a depreciação econômica está ligada com a vida econômica ótima do ativo, tendo como fatores decisórios os custos de operação e manutenção, que refletem na decisão de manter ou substituir o ativo.

Na NBR 14653-1/2001, a vida econômica é descrita como o “prazo econômico operacional de um bem”. Para Neves (1982), a vida econômica é definida como o período de utilização do equipamento após o qual esse deva ser substituído por outro similar nas mesmas condições de operação e de custos iniciais, considerando os efeitos da inflação e do câmbio. Silva, Nogueira e Reis (2012) e Tusi *et al.* (2019) acrescentam que a vida econômica corresponde seu tempo de utilização de um equipamento, no qual ele é capaz de produzir o máximo possível e ao menor custo para a empresa.

Blank e Tarquim (2008), utilizando o termo Vida Útil Econômica (VUE), descreve este como “o número de anos em que o valor uniforme equivalente¹⁵ (VA) dos

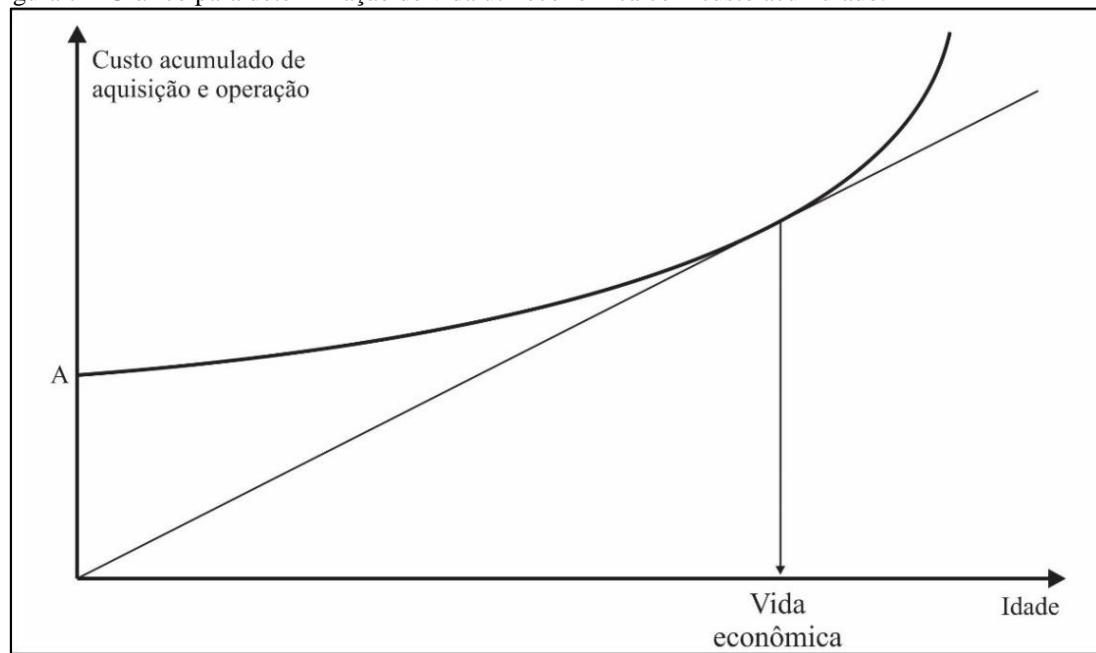
¹⁵ O Valor Uniforme Equivalente (VA) é uma ferramenta da Engenharia Econômica utilizada para a comparação de alternativas no estudo de substituição. Essa ferramenta será mais bem detalhada no Item 3.4.

custos é mínimo, considerando-se as estimativas de custo mais atuais, durante todos os anos em que o ativo possa oferecer o serviço”.

Hastings (2010) conceitua a vida econômica como o período de utilização que minimiza o custo de um equipamento até a sua substituição. No entanto, o autor pontua que outras causas podem influenciar na decisão dessa substituição. Reis (2019) destaca como fatores adicionais, que podem ser levados em consideração na substituição do ativo, a perda de produtividade, quando os veículos estão paralisados; e o avanço tecnológico, como a produção de veículo mais avançados que atendam de forma mais eficiente alguma demanda operacional, tornando o veículo anterior obsoleto.

Na Figura 7 é ilustrada a vida econômica de um equipamento em que o valor “A” é o seu custo de aquisição e a linha curva, que tende a ter maior deflexão com envelhecimento do equipamento, corresponde ao custo acumulado com manutenção ao longo do período em análise. Já a linha reta, que parte da origem do gráfico, corresponde um gradiente de custo médio por unidade de tempo. Quando esse gradiente é tangente à linha curva, o custo médio por unidade de tempo é mínimo. Dessa forma, pode ser identificada no ponto de intersecção das duas linhas a vida útil econômica com custo mínimo (Hastings, 2010).

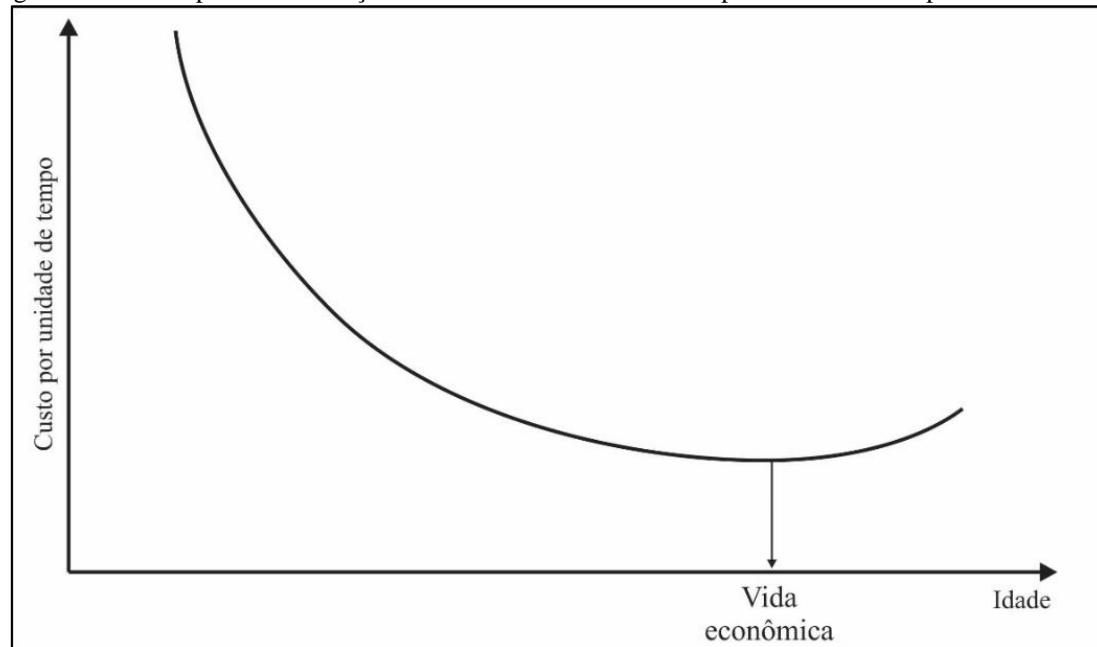
Figura 7 – Gráfico para determinação de vida útil econômica com custo acumulado.



Fonte: Hastings (2010), adaptada.

Hastings (2010) ainda apresenta outro método gráfico de determinação da vida econômica com custo mínimo utilizando os mesmos dados da Figura 7 em termos de custo por unidade de tempo, que é calculado pela razão entre o custo acumulado até o momento e o tempo decorrido até então. O custo por unidade de tempo cai inicialmente à medida que o custo de aquisição se espalha ao longo do tempo, e então começa a aumentar quando a vida econômica é atingida. Assim, a vida econômica é encontrada quando o gráfico atinge o seu valor mínimo (Figura 8).

Figura 8 – Gráfico para determinação de vida econômica com custo por unidade de tempo.



Fonte: Hastings (2010), adaptada.

A vida econômica estará no mesmo ponto da linha do tempo na Figura 7 e na Figura 8 em qualquer uma das representações com os mesmos dados.

Beirnes (2012) e Dodzo (2020) comentam que o *lifecycle costing* (custo de ciclo de vida), um direcionador de tomada de decisão, consiste em analisar os custos incidentes na operação do equipamento para determinar o ponto em que os custos totais atingem um mínimo, ou seja, a vida econômica.

Assim, na determinação do momento de substituição de ativo com o objetivo de minimizar os custos, é conveniente a utilização do conceito de vida econômica.

2.3.1. Vida útil e vida econômica de veículos coletores e RSU

A extensão da vida útil de um veículo não é um parâmetro fixo, já que ela varia em função de suas características construtivas, do tipo de atividade desempenhada, da intensidade de sua utilização, das práticas de manutenção de seus componentes, das condições ambientais, da perícia de seus condutores e entre outros fatores. No caso da intensidade de utilização, por exemplo, apesar do uso do mesmo veículo coletor em dois turnos suprir a necessidade de outro veículo, essa prática, de acordo com CEMPRE (2018), eleva o desgaste desse veículo e diminui a disponibilidade para manutenção preventiva, resultando no achatamento da vida útil.

No documento *Global Waste Management Outlook*, a *United Nations Environment Programme – UNEP* (2015) comenta valores entre cinco e sete anos de vida útil a serem adotados em contratos de veículos coletores de RSU para que seja possível a recuperação do investimento. Já Porto Alegre (2017) afirma que, salvo municípios em que os veículos coletores trabalham em dois turnos ou mais, é adequada a adoção de vida útil de 10 anos e valor residual de 35% para composição do custo de referência. O autor chegou a essa conclusão ao observar que na frota de veículos analisada, cerca de 40% dos caminhões em operação tinham mais de cinco anos, e cerca de 20% tinham mais de 10 anos de uso.

Espírito Santo (2019), em consulta a editais constantes do Geo-Obras¹⁶, encontrou valores de vida útil praticada de cinco, seis e oito anos para veículos compactadores de coleta de RSU, prevalecendo 5 anos na maioria dos editais. O autor ainda afirmou que não havia referências e justificativas que embasassem esses valores encontrados de vida útil, recomendado que a adoção de tal parâmetro fosse apoiada em informações oficiais dos fabricantes ou em contratos anteriores.

Para definir a vida útil dos veículos coletores de RSU, no Manual de Orientações para Análise de Serviços de Limpeza Urbana do Tribunal de Contas dos Municípios do Estado de Goiás – TCM (2016), foram recomendados valores da Instrução Normativa (IN) SRF nº 162 de 1998 que fixava prazo de vida útil e taxa de depreciação dos bens. Atualmente essa IN é revogada pela Instrução Normativa RFB nº 1700, de 14 de março

¹⁶ O GEO-OBRAS ES é um software desenvolvido para gerenciar as informações das obras executadas em todos os órgãos das esferas estadual e municipais do Espírito Santo, que pode ser acessado no seguinte link: <<https://geoobras.tce.es.gov.br/>>.

de 2017, que continua a apresentar valores de vida útil e de depreciação, mas para fins fiscais.

Do ponto de vista contábil, a utilização dos valores fixados nas IN citadas não deve ser entendida como uma obrigação. Pelo contrário, com base no Comitê de Pronunciamentos Contábeis – CPC 27 (2009), a vida útil de um bem corresponde ao “período de tempo durante o qual a entidade espera utilizar o ativo” ou “o número de unidades de produção ou de unidades semelhantes que a entidade espera obter pela utilização do ativo”. Assim sendo, cabe à entidade detentora do veículo coletor de RSU definir o período de vida útil em que o veículo será por ela utilizado.

Porto Alegre (2018) e Boa Vista do Cadeado (2019) utilizaram valores de referência do Departamento de Trânsito do Estado – DETRAN/RS e do Tribunal de Contas do Estado – TCE/RS, respectivamente, para o estabelecimento dos valores de vida útil, o que demonstra a adoção de algum parâmetro tecnicamente fundamentado. Porém, esses parâmetros não, necessariamente, refletem a realidade de operação dos veículos em questão, o que pode resultar em uso ineficiente do equipamento na possibilidade de ser estabelecida um período de utilização que não corresponde à vida econômica que minimize os custos ou maximize as receitas da atividade desempenhada.

Augusto Pestana (2019) e Pinheiro e Ferreira (2017) tiveram os valores de vida útil estabelecidos pela determinação da administração e com base na experiência de empresa, respectivamente. A experiência de um agente que atue no setor de coleta e transporte de RSU, tanto público quanto privado, também pode ser compreendido como critério técnico. No entanto, vale observar que quanto melhor fundamentada for a justificativa para a adoção de valores de vida útil e depreciação, bem como de políticas de substituição dos veículos, melhor será o resultado econômico.

Do contrário, a fragilidade nos critérios para o estabelecimento da vida útil de um veículo coletor pode levar o gestor a decidir por uma política de substituição dos veículos que seja economicamente onerosa.

Assim, quando se deseja realizar a substituição do veículo minimizando os custos ou maximizando os ganhos, é necessário comparar uma série de valores monetários que constituem o fluxo de caixa de sua operação ao longo de seu tempo de uso, tal como o custo de aquisição (incidente no início da vida útil), o custo de operação e manutenção (distribuído ao longo dos anos de operação), a receita gerada (distribuído ao longo dos anos de operação), o valor de revenda (incidente no final da vida útil) etc.

Com a finalidade de realizar a comparação desses valores monetários que ocorrem em diferentes momentos ao longo da vida útil do veículo, é necessário utilizar a Taxa de Desconto, a qual possibilita realizar ajustes nos valores para um mesmo momento do fluxo de caixa, normalmente para o momento presente, para, então, se analisar comparativamente as variáveis de forma adequada.

2.4. TAXA DE DESCONTO

Segundo NBR 14.653-1/2019, taxa de desconto é a “taxa adotada para o cálculo do valor presente de uma despesa ou receita futura” (ABNT, 2019). De acordo com Lima (2013), esse parâmetro tem papel central na comparação de valores no tempo, sendo a sua magnitude fator de grande influência nos resultados de análises e em decisão de planejamento e projeto.

A aplicação da taxa de desconto em estudo de engenharia econômica permite o ajuste dos valores alocados ou incidentes em diferentes momentos (ou períodos) no tempo para um momento específico, normalmente o “período zero” ou início do fluxo. Ao valor ajustado é dado o nome de Valor Presente (VP). À taxa de desconto normalmente são incluídos os custos financeiros, de oportunidade e os riscos/incertezas; e quando é acrescido o retorno esperado de ganho, pode ser denominado de Taxa Mínima de Desconto – TMA (Pereira, 2019).

Damodaran (2007) e Benvenho (2014) apontam que a taxa de desconto deve refletir o grau de risco dos fluxos de caixa, o qual pode ser entendido como o desvio de um parâmetro em relação ao valor esperado ou mais provável, passível de ser medido e/ou estimado com a utilização de técnicas probabilísticas. Pereira (2019) comenta que a taxa de desconto provavelmente é o componente de mais aferição para ser adequadamente adotada em contextos concretos de análises econômicas e financeiras construídas dentro dos moldes da engenharia econômica.

Benvenho (2014) e Pereira (2019) apontam que a situação brasileira, como um país emergente e de economia com oscilações, acrescenta um grau de dificuldade à tarefa de definir um valor para a taxa de desconto, mesmo por uma das metodologias mais conhecidas e utilizadas pela comunidade acadêmica e profissional no mundo, que é a CAPM (Capital Assets Princing Model - Modelo de Precificação de Ativos de Capital) e a WACC (Weighted Average Cost of Capital – Custo Médio Ponderado de Capital),

metodologias desenvolvida em países desenvolvidos de economias fortes e relativamente estáveis.

O CAPM e WACC diferem-se apenas por o primeiro ser de caráter mais exógeno, pois depende de parâmetros externos ao empreendimento estudado; enquanto o segundo é de caráter endógeno, pois considera a questão de endividamento e participação de recursos próprios e de terceiros na gestão ou administração do empreendimento objeto de estudo (Pereira, 2019).

Vale observar que a Taxa de Desconto, para qualquer empreendimento, são bastante variáveis e elásticas. Dependem de fatores externos e internos, como a Taxa Básica de juros (Ex.: SELIC), o tipo e o porte do empreendimento, o perfil do empreendedor em termos de exposição a riscos, o horizonte projetivo (tempo do investimento), os contextos macro e microeconômicos atuais e futuros etc.

Nesse sentido, a Agência Reguladora de Serviços Públicos do Estado de São Paulo (ARSESP), no documento “Cálculo da Tarifa Média Máxima (P0) da 1ª Revisão Tarifária Ordinária de Água e Esgoto da Companhia de Serviços de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá – SAEG” define a taxa de retorno para os serviços de saneamento fazendo uma combinação entre o WACC e o CAPM. No caso, com a taxa de desconto, ou de retorno de capital, sendo calculada por meio do WACC, conforme representado na Equação 4 (ARSESP, 2023).

$$r_{WACC} = r_E * W_E + r_D * W_D * (1 - T) \quad (4)$$

Onde:

r_{WACC} : custo médio ponderado do capital;

r_E : custo de capital próprio (equity);

r_D : custo de capital de terceiros antes dos impostos;

W_D : alavancagem expressa pela fração D/(E+D); sendo E e D os montantes de capital próprio e de terceiros, respectivamente;

W_E : proporção de capital próprio expressa pela fração E/(E+D);

T : taxa de impostos.

A premissa desse modelo é que a taxa de desconto de um investimento é igual à média ponderada dos custos dos capitais próprios e/ou de terceiros, com pesos equivalentes à participação de cada tipo de capital no valor total do ativo investido,

procurando refletir o custo médio das diferentes alternativas de financiamento disponíveis para o investimento (ARSESP, 2023).

Na estimativa do custo de capital próprio (r_E) é utilizado o método CAPM conhecido como “Country Spread Model” (Equação 5), que incorpora o Risco País ao modelo. Já na estimativa do capital de terceiros (r_D) é utilizado o CAPM da dívida também incorporando o Risco País (Equação6).

$$r_E = r_f + \beta * (r_m - r_f) + r_P \quad (5)$$

Onde:

r_E : custo de oportunidade do capital próprio;

r_f : risco sistemático da indústria sob análise;

β : taxa de retorno de um ativo livre de risco;

r_m : taxa de retorno de uma carteira diversificada.

r_P : prêmio risco país.

$$r_D = r_f + r_C + r_P \quad (6)$$

Onde:

r_D : Custo do Capital de Terceiros ou CAPM da Dívida;

r_f : taxa de retorno de um ativo livre de risco;

r_C : prêmio risco de crédito ou spread adicional em função da qualificação do negócio (“rating”);

r_P : prêmio de risco país.

IBAPE (2021) considera os modelos excelentes ferramentas para avaliação econômica, contanto que sejam utilizados de forma cuidadosa, prezando por variáveis-chave aderentes ao observado no empreendimento e no mercado. Além disso, o autor também sugere que a estimativa da taxa de desconto seja feita por mais de um método, comparando e conciliando os valores a fim de tornar o resultado mais robusto e com menor margem de incerteza.

2.5. TECNICA DE CENÁRIOS

A Técnica de Cenários é oriundo do meio militar, sendo amplamente utilizado pela Força Aérea Americana (FAA) na tentativa de prever ações adversárias e construir alternativas de combate após a Segunda Guerra Mundial (Van der Heijden, 1996; Schoemaker, 1993; Schwartz, 2000). Posteriormente, dois marcos foram importantes na popularização desse tema, a saber: 1) a publicação do livro *The Year 2000*, de Herman Kahn, no qual o antigo membro da FAA descreve possíveis maneiras de utilização de tecnologias nucleares por nações consideradas hostis e; 2) a aplicação, na década de 1970, da técnica de cenários na Royal Dutch Shell, por Pierre Wack, para melhorar a capacidade da empresa em antecipar e responder a mudanças no ambiente de negócios a partir da projeção de cenários alternativos, além do cenário linearmente concebido (Lourenço Junior; Oliveira; Kilimnik, 2010; Wack, 1985; Cornelius et al., 2005; Buarque, 2003).

Heijden (2009) e Heinzen e Marinho (2018) comentam que outras organizações também começaram a utilizar a análise de cenários como instrumento de gestão estratégica, no caso, a Global Business Network, a Motorola, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), a Eletrobrás, a Petrobras, a Eletronorte, entre outras.

Marcial e Grumbach (2008, p.47) afirmam que a definição mais abrangente e acadêmica de cenários é a concebida por Godet *et al* (2000), ao afirmar que cenários são um conjunto formado pela descrição de uma situação futura e do encaminhamento dos acontecimentos que permitem passar da situação descrita pelo ponto de origem e até a descrita pelo ponto futura. O autor ainda afirma que os cenários podem ser divididos em duas principais categorias: a) exploratória: construídos a partir das tendências do passado e do presente, resultando num futuro provável e; b) normativo ou de antecipação: construídos a partir de diferentes visões do futuro, tanto desejados (otimistas) quanto temidos (pessimistas).

De acordo com Lourenço Junior; Oliveira; Kilimnik (2010), a construção de cenários leva em consideração as incertezas que cercam o futuro, identificando e avaliando possíveis resultados divergentes. Com isso, a construção de cenários é uma ferramenta muito útil para o planejamento, ao articular modelos mentais sobre o futuro e auxiliar na tomada de decisão.

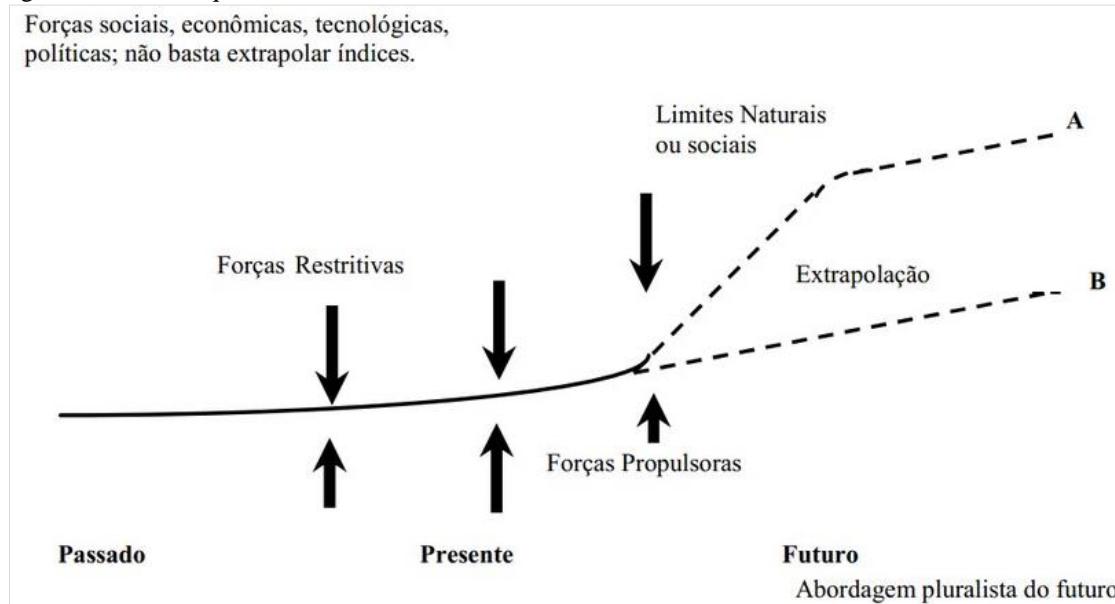
Wright e Spers (2006) apontam que a elaboração de cenários não deve ser confundida com o exercício de predição, visto que a primeira trata do esforço de fazer

descrições plausíveis e consistentes de situações futuras possíveis, fundamentadas pelos condicionamentos do caminho entre a situação atual e cada cenário projetado, destacando os fatores relevantes às decisões que serão tomadas.

Silva, Spers e Wright (2012) afirmam que na elaboração de cenários é necessário considerar um conjunto de forças que atuam sobre o sistema em estudo, estabelecendo de forma plausível as forças restritivas e propulsoras atuantes sobre as variáveis, bem como os limites naturais ou sociais impostos, conforme ilustrado na Figura 9.

Figura 9 – Visão esquemática do conceito de cenário

Forças sociais, econômicas, tecnológicas, políticas; não basta extrapolar índices.



Fonte: Silva, Spers e Wright (2012).

Vale observar que o futuro de um determinado tema pode se concretizar conforme o esperado a partir de tendências históricas, como também pode variar entre cenários otimistas (ou positivos), quando fatores diversos geram resultados mais benéficos do que o previsto originalmente; e cenários pessimistas (ou negativos), quanto o que ocorre de fato é aquém do esperado ou prejudicial ao ente planejador.

Exemplos simples desses cenários futuros são investimentos financeiros em determinado ativo, seja num negócio próprio, numa startup de terceiros, num fundo de investimento de renda variável. Em todos esses casos, o retorno do investimento pode ocorrer de três formas: a) conforme esperado, retornando um lucro “x” previsto; b) acima do esperado, quando variáveis diversas, identificáveis ou não, contribuíram favoravelmente ao investimento ou; c) abaixo do esperado, quando a conjuntura de fatores que influenciam o investimento prejudica a geração de lucro. Assim, visando antecipar

os diversos resultados possíveis, são projetados cenários, seja para montar estratégias, seja para identificar a probabilidade de diferentes resultados possíveis.

As variações dos cenários podem ocorrer em função de fatores mais exógenas, como aquelas inerentes a questões macroeconômicas (inflação, taxa de desconto, crescimento do PIB etc.); ou a questões bem endógenas, com as diretamente relacionadas ao objeto estudado (tecnologias dos veículos, roteirização de coleta, perícia dos condutores, rotina de manutenção etc.).

Heijden (2009) considera que a visualização de futuros múltiplos, mas igualmente plausíveis, servem como base de testes de políticas e planos. Silva, Spers e Wright (2012) complementam que o objetivo da técnica de cenários não é acertar a situação que prevalecerá no futuro, pois este será moldada ao longo do tempo. Entretanto, destacam que conhecer esses possíveis futuros permite que os tomadores de decisão estejam melhor preparados, no presente, para definir estratégias e para lidar com incertezas deste ambiente em mudança.

Assim, os cenários são estabelecidos considerando as incertezas, a fim de que o estudo contemple as possibilidades de variação as quais um modelo matemático de um problema real que se projeta para o futuro está sujeito.

Desde o surgimento da técnica de cenários, uma série de métodos de identificação das potenciais alternativas de futuro foram produzidas com diferentes enfoques e aplicações. Em seu trabalho, Heinzen e Marinho (2018) fizeram uma síntese de oito métodos de estabelecimento de cenários, os quais são apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 – Principais Métodos de elaboração de cenários.

Ano	Autor	Método	Etapas para elaboração dos cenários
1975	Mike Coles e Tom Leney	CEDEFOP	1. Definir o problema; criar a equipe encarregada dos cenários; 2. Detectar as principais forças de mudança no entorno; 3. Reunir dados sobre tendências relevantes; 4. Classificar as tendências em três categorias; 5. Decidir sobre os principais fatores de resultado incerto; 6. Dispor dos elementos básicos dos cenários em forma de matriz; 7. Redigir os cenários provisórios; 8. Comprovar a plausibilidade e a coerência interna dos cenários; 9. Modificar, aperfeiçoar e apresentar os cenários; 10. Manter os cenários em constante revisão.
1979	General Electric	Método General Electric (GE)	1. Preparação das bases; 2. Escolha e planejamento dos indicadores críticos de prospecção; 3. Trajetória do comportamento passado de cada indicador escolhido; 4. Verificação dos eventos futuros potenciais e sua consistência; 5. Prospecção de cada indicador escolhido (análise de impactos cruzados); 6. Estruturação e modelagem final do(s) Cenário(s) prospectados; 7. Elaboração e envio dos guias aos setores competentes para execução.
1985 1992	Michael Porter	Método de Cenário Industrial	1. Identificação das principais incertezas na estrutura industrial; 2. Determinação dos respectivos fatores causais; 3. Escolha das variáveis de cenários; 4. Definição de configuração futura para as variáveis de cenários; 5. Construção dos cenários; 6. Análise dos cenários; 7. Análise da estrutura industrial em cada Cenário; 8. Introdução do comportamento da concorrência nos Cenário; 9. Escolha das estratégias competitivas.
1990 1994 1996 2000	Michel Godet	Método Godet	1. Delimitação do sistema e do ambiente; 2. Análise estrutural do sistema e do ambiente; 3. Análise atual e retrospectiva; 4. Análise do ‘jogo de atores’; 5. Análise morfológica; 6. Elaboração dos cenários.
2004	Peter Schwartz	Global Business Network (GBN)	1. Identificação da questão principal; 2. Identificação das principais forças do ambiente local (fatores-chave); 3. Identificação das forças motrizes (macroambiente); 4. Ranking por importância das incertezas críticas; 5. Seleção das lógicas dos cenários; 6. Descrição dos cenários; 7. Análise das implicações e opções; 8. Seleção dos principais indicadores e sinalizadores.
1996 2008	Raul Grumbach	Método Raul Grumbach	1. Identificação do sistema; 2. Diagnóstico estratégico; 3. Visão estratégica; 4. Consolidação do planejamento.
2009	Kees Van der Heijden	Método Kees Van der Heijden	1. Agenda de cenários; 2. Dimensões-chave; 3. Estado final dos cenários; 4. Cenários protótipicos; 5. Comparação (business-as-usual); 6. Questões de pesquisa; 7. Análise de sistemas; 8. Compreensão sistêmica.
2009	Denis Loveridge	Método Denis Loveridge	1. Descrição preliminar da situação, seus limites e horizonte de tempo; 2. Estabelecer um amplo programa de aprendizagem; 3. Tornar explícitos os pressupostos para descrever os cenários; 4. Construir um conjunto de eventos alternativos e tendências que serão os ‘esqueletos’ para os cenários; 5. Descrever os cenários; 6. Analisar os cenários; 7. A partir da análise, emergem políticas alternativas para melhoria; 8. A partir dos instrumentos de política, emergem estratégias adaptáveis; 9. Avaliar as estratégias.

Fonte: Heinzen e Marinho (2018).

A quantidade de etapas e a ordem de realização delas varia entre os métodos, como no caso da etapa de identificação das incertezas, que é a primeira etapa no método de Cenário Industrial, vem a ser a quinta etapa no método CEDEFOP e a quarta no método GBN. Apesar dessas assimetrias, Godet et al (2000) e Heinzen e Marinho (2018) afirmam que os métodos, de forma geral, não diferem muito entre si, podendo ser resumidos em três etapas essenciais, no caso:

- a) identificar as variáveis-chave;
- b) colocar as questões-chave para o futuro;
- c) reduzir a incerteza sobre as questões-chave, definindo os cenários mais prováveis.

Assim, é importante que o estabelecimento de cenários identifique da forma mais abrangente possível as variáveis-chave que afetam o comportamento do objeto analisado

ou, quando isso não for possível, que sejam contempladas no mínimo as variáveis de maior relevância. Conhecidas essas variáveis, deve-se projetar o seu comportamento, interpretando o impacto sobre o planejamento e analisando o resultado a cada avanço no tempo para, se preciso for, realizar ajustes na estratégia, reduzindo as incertezas para atingir o melhor resultado possível.

No setor de Saneamento, a técnica de Cenários foi utilizada na elaboração do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES) e no Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB).

O PLANARES, que é um instrumento orientador das estratégias para a gestão e o gerenciamento de resíduos no Brasil, na elaboração de seus cenários teve como ponto de partida o diagnóstico nacional do setor e resíduos sólidos e considerou em suas projeções as tendências nacionais e internacionais do setor de resíduos, com ênfase nos resíduos sólidos urbanos, além das tendências macroeconômicas para o país. Nesse plano foram estudados dois cenários, no caso, o Cenário de Referência, admitido como realista, mais provável ou neutro; e o Cenário Transformador, admitido como otimista (Brasil, 2022).

Já no PLANSAB, foram estabelecidos três cenários elaborados a partir de seminários regionais realizados nas regiões Norte, Nordeste, Sudeste, Sul e Centro-Oeste do País, onde foram promovidos debates sobre as necessidades e desafios do setor de saneamento. No Cenário 1, de referência, foi considerado que a economia brasileira apresentaria crescimento razoável no período de 2011-2020.

Já os Cenários 2 e 3 foram elaborados para servirem como balizadores para o planejamento, de tal forma que, caso o monitoramento do cenário indique significativos desvios do Cenário 1 em direção aos cenários alternativos, correções sejam implementadas no Plano. Vale observar que os Cenários 2 e 3 consideraram uma conjuntura internacional mais conturbada, com taxas de crescimento econômico menores e pressões inflacionárias quando comparado como Cenário 1.

2.6. PROGRAMAÇÃO DINÂMICA PARA A SUBSTITUIÇÃO DE ATIVOS

De acordo com Hillier e Lieberman (2013), a programação dinâmica é “uma técnica para tomar uma sequência de decisões interrelacionadas”, que “fornece um procedimento sistemático para determinar a combinação de decisões ótimas”.

De acordo com Blank e Tarquin (2008), a decisão sobre substituição ou retenção de um ativo é um dos estudos mais comumente executado em Engenharia Econômica,

sendo a questão fundamental que se pretende responder com esse estudo a seguinte: o ativo deve ser substituído agora ou mais tarde?

Como um equipamento, à medida que é utilizado, tende a ter maiores custos de manutenção e menor produtividade, chegará um momento que, do ponto de vista econômico, será necessário substituí-lo. Sobre isso, Cruz, Fernandes e Reis (2015) comentam que o principal conflito reside na dificuldade em se decidir qual o melhor momento para as substituições serem realizadas. A definição desse momento corresponde à vida econômica do bem.

A análise da substituição do ativo pode acontecer nas seguintes ocasiões: a) custo exagerado da operação e da manutenção consequentes do desgaste físico; b) incompatibilidade em relação à demanda atual; c) obsolescência tecnológica a métodos e máquinas mais eficientes; d) possibilidade de locação de equipamentos similares por menores custos ou vantagens fiscais; e) vantagens externas como crédito facilitado, baixa taxa de juros de empréstimos, subsídios para compra, isenção de impostos, entre outros; f) quando a substituição do equipamento, mesmo que ainda esteja em boas condições de uso, oferece vantagem econômica (Blank, Tarquin, 2008; Abensur, 2015; Panegossi, Silva, 2019).

Abensur (2010) e Abensur (2015) comentam que os projetos de substituição de bens de capital envolvem aspectos como:

- a) idade do bem de capital em uso;
- b) vida útil remanescente;
- c) custos contábeis (ex: custos de manutenção, pessoal, materiais, depreciação);
- d) custos econômicos (ex: custo de oportunidade);
- e) horizonte de planejamento para avaliação das alternativas;
- f) impostos (ex: imposto de renda);
- g) valor de aquisição do bem a ser adquirido;
- h) valor de revenda do bem em uso (se houver); e
- i) a taxa de desconto a ser utilizada para atualização do fluxo de caixa do projeto.

Alguns dos métodos destinados à análise de substituição de máquinas e equipamentos são: Custo Médio Total (CMT); Custo Anual Uniforme Equivalente (CAUE), equações diferenciais; substituição parcial e retirada; cadeia de substituição e o uso da Programação Dinâmica (Marques, 2005; Plizzari, 2017).

Esse último método se destaca, conforme Abensur (2015), por permitir a avaliação da melhor política (substituir ou não), em qualquer estágio do horizonte temporal analisado e idade do equipamento. Campello (2002) comenta que, diferente de outros ramos da programação matemática, um único algoritmo não pode ser definido para solucionar, diretamente, todos os problemas da programação dinâmica, o que demanda teoria e arte para elaboração das equações que atendam as multiplicidades das situações modeláveis.

De acordo com Marques *et al.* (2005), a programação dinâmica é um instrumental que permite gerar soluções de forma rápida e otimizada dentro de um leque maior de opções, aplicável em situações em que diversas decisões são requeridas na determinação da solução ótima de um sistema composto de distintos estágios, no qual as decisões em estágios subsequentes não afetam os resultados de estágios anteriores.

De acordo com Taha (2008) e Abensur (2010), a Programação Dinâmica é aplicada em problemas multivariáveis passíveis de decomposição em uma sequência de estágios, sendo cada estágio um subproblema do horizonte temporal com uma única variável. Nos estágios são realizadas as decisões pelas alternativas de substituir ou manter o ativo. A sequência de decisões tomadas a cada estágio é chamada de política e a condição de cada estágio do processo é chamada de estado. Cada decisão resulta numa transição do estado corrente para o estado associado ao estágio seguinte.

Taha (2008) comenta que a vantagem da decomposição é que o processo de otimização em cada estágio envolve apenas uma tarefa mais simples em termos de cálculo, envolvendo apenas uma variável, em relação a uma análise que deva lidar com variáveis simultâneas.

Assim, a programação dinâmica é, basicamente, uma equação recursiva que liga os diferentes estágios do problema de maneira que garante que a solução ótima de cada estágio também é a solução ótima para o problema em geral. Os termos importantes para a PD são apresentados a seguir:

- a) Horizonte de planejamento:** conjunto de períodos sucessíveis no decorrer do qual há interesse em se otimizar determinada função, correspondendo ao número de estágios. Abensur (2010) adota essa variável com valor igual à vida útil remanescente do bem em uso;
- b) Estágios:** são os períodos em que é tomada a decisão de substituição ou manutenção do bem;

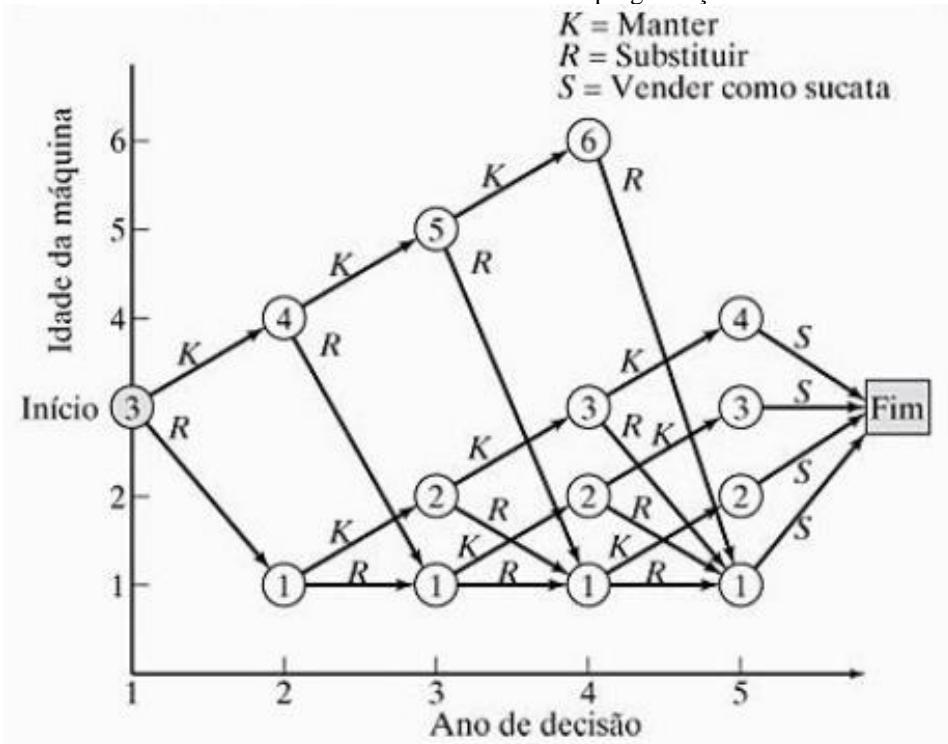
- c) **Estado:** corresponde à situação do sistema (retenção ou substituição) em determinado estágio, caracterizada por uma ou mais variáveis quantitativas ou qualitativas;
- d) **Transição:** é definida pela fórmula de recorrência que determina a mudança de valores das variáveis de um estado em um estágio para um estado no estágio seguinte. No caso, os valores de transição representariam as parcelas do fluxo de caixa que poderiam ser os custos ou a receita líquida de retenção ou substituição.
- e) **Retorno:** são os valores associados às decisões, que incidem sobre um estágio, o qual normalmente é um custo, um lucro, uma distância, um consumo de recurso e entre outros.
- f) **Decisão:** decide-se em cada estágio pela retenção ou substituição do bem em uso por mais um período. O bem é mantido quando seu custo de retenção for inferior ao seu custo de substituição e vice-versa. As decisões são tomadas no início de cada estágio
- g) **Política:** conjunto das decisões ao longo do horizonte de planejamento.

Hillier e Lieberman (2010) e Plizzari (2017) apontam que os problemas de programação dinâmica geralmente são resolvidos do final do horizonte de planejamento para o início, sendo os estágios relacionados com o tempo e apresentam alguns estados associados. A decisão numa fase transforma o estado atual para um estado associado com o início da fase seguinte, sendo que o conjunto das decisões visa encontrar a política ótima para o problema. Além disso, as decisões em estágios seguintes são independentes de decisões tomadas em estágios anteriores.

Marques *et al.* (2005) comenta que a Programação Dinâmica pode ser Determinística (PDD) ou Estocástica (PDE), sendo que na primeira todas as variáveis são conhecidas ou predefinidas. Já na PDE, as variáveis são associadas à probabilidade de ocorrência.

Plizzari (2017) comenta que os problemas de substituição solucionados pela programação dinâmica podem ser representados por redes, cujos arcos representam as possíveis transições entre os estágios, e os números associados aos arcos representem os retornos. Na Figura 10 é apresentada uma árvore de decisão com o caminho ótimo do modelo de programação dinâmica exemplificado por Taha (2008), direcionada a um equipamento de três anos de uso, que poderia ser utilizada por apenas mais três anos, uma vez que lhe foi determinado período máximo de utilização de seis anos.

Figura 10 – Árvore de decisão de caminho ótimo de modelo de programação dinâmica



Fonte: Taha (2008, p. 185).

Neste exemplo de Taha (2008), os períodos têm intervalos anuais (eixo das abscissas) que representam os estágios, sendo que o veículo analisado tem, no início do 1º período, três anos de idade (eixo das ordenadas). As suas setas que saem desse nó representam as opções de decisão de substituir este equipamento, representado pela letra “R” (*replace*), ou de mantê-lo, representado pela letra “k” (*keep*) por mais um ano. Caso a substituição ocorra, no início do próximo ano (Estágio 2), o equipamento novo terá um ano de idade, caso contrário, o equipamento antigo terá quatro anos.

O mesmo processo acontece nos anos de 2 a 4, ou seja, a substituição do equipamento no início dos anos dois, três e quatro resultará no veículo novo tendo a idade de um ano no estágio seguinte (início do próximo ano). Essa lógica não se repete obrigatoriamente apenas no final do ano quatro (Estágio 5), em que o equipamento com seis anos deverá, obrigatoriamente, ser substituído, respeitando a formulação da programação que determinou período máximo de utilização do equipamento de seis anos.

De acordo com Plizzari (2017), nesse período as máquinas assumirão valor de revenda. Além disso, o autor observa que no início do segundo ano (Estágio 2), as idades possíveis do equipamento eram um e quatro anos; no início do terceiro ano (Estágio 3), eram possíveis um, dois e cinco anos; e no início do quarto ano (Estágio 4), eram possíveis um, dois, três e seis anos.

Os modelos apresentados por Bellman (1995), Taha (2008) e Plizzari (2017), têm como solução achar a rota mais longa, isto é, a receita máxima líquida para os anos i, i+1, ..., e n, expresso por f(t), já que os seus problemas objetivavam encontrar a maior receita possível. O modelo recursivo é apresentado na Equação 7.

$$f_i(t) = \max \begin{cases} r(t) - c(t) + f_{i+1} * (t + 1), & \text{se Mantiver} \\ r(0) + s(t) - I - c(0) + f_{i+1}(t), & \text{se Substituir} \end{cases} \quad (7)$$

Onde:

r(t): receita anual;

c(t): custo operacional anual;

s(t): sucata de uma máquina de t anos de idade;

I: custo de aquisição de uma máquina nova em qualquer ano;

i: estágio de decisão, representado pelo ano i = 1, 2, ..., n;

t: idade da máquina.

Sujeito a: $f_{n+1}(\cdot) \equiv 0$, e devendo obedecer às seguintes restrições das Equações 8, 9 e 10 (ABENSUUR, 2005):

$$\sum_{i=1}^W x_{ik} - \sum_{i=1}^W x_{ki} = y_i \quad (8)$$

(Restrições de continuidade)

$$\sum_{i=1}^H \sum_{w=1}^W y_w = 1 \quad (9)$$

(Número de nós por estágio)

$$\sum_{i=1}^H \sum_{w=1, w \in \{M\}}^W y_w \leq T_i \quad (10)$$

(Número máximo de nós de troca por estágio)

$$x_{ik} \in \{0,1\} \text{ e } y_i \in \{0,1\}$$

Sendo:

x_{ik} : arco que sai de “i” e vai para “k” é escolhido para fazer parte da solução;

y_i : indica que o nó “i” é o escolhido para a solução;

W: número de nós da rede;

M: conjunto de nós de substituição;

T: número de trocas; e

H: horizonte de planejamento

Plizzari (2017) comenta que o modelo da Equação 7 tem o objetivo de encontrar o tempo de substituição entre que maximiza a receita líquida a um determinado número de trocas (T) durante um horizonte de planejamento (H). A Equação 8 é conhecida como conservação de fluxo, comumente presente nos problemas de roteamento para garantir que a sequência dos arcos selecionados descreva uma trajetória contínua do início ao fim do horizonte de planejamento. Já as Equações 9 e 10 são restrições lógicas que manipulam o número de substituições a cada estágio

Já o modelo desenvolvido por Abensur (2010) e Abensur (2015) almeja encontrar a rota mais curta, que representa o menor custo, visto que o seu problema é direcionado ao desenvolvimento de políticas de minimização de custos. De acordo com Abensur (2010), sob a ótica de custos, as parcelas negativas do fluxo de caixa descontado que implicam saídas são:

- a) custos operacionais (c);
- b) custo pela perda de valor de mercado do bem em uso de um estágio para o outro;
- c) custo de oportunidade pela não venda do bem em uso; e
- d) custo de aquisição do novo bem.

De acordo com Abensur (2010), as parcelas positivas são compostas pelos valores de revenda do equipamento analisado. Assim, considerando que o bem em uso tenha “t” anos no início do estágio “j”, e que as parcelas do fluxo de caixa são expressas em valores anuais, o modelo de recorrência é apresentado a seguir (Equações 11, 12 e 13).

$$f_j(t_j) = \text{valor presente mínimo do custo total para os anos } j, j+1, \dots, N \quad (11)$$

$$\begin{aligned} f_j(t_j) \\ = \min \left\{ \begin{array}{l} [-C(t) * (1 - IR) + D_j * (IR)] * (1 + r)^{-j} + f_{j-1}(t-1) * (1 + r)^{-(j-1)}, \\ [-C(0) + VR_j - VC_j - I_0] * (1 - IR) + D_j * (IR)] * (1 + r)^{-j} + [f_{j-1}(t-1) * (1 + r)^{-(j-1)}], \end{array} \right. \end{aligned} \quad \begin{array}{l} \text{Reter} \\ \text{Substituir} \end{array} \quad (12)$$

$$f_0(t_0) = 0 \quad (13)$$

Onde:

N: tamanho do horizonte de planejamento ou número total de estágios;

T: idade do bem no início do período;

I₀: valor de aquisição de um novo bem considerado como a melhor alternativa de mercado;

C_j: custo operacional anual de um bem no início do período;

D_j: quota de depreciação de um bem no início do período;

VC_j : valor contábil do bem no início do período;

VR_j = valor de revenda do bem;

r = custo de capital ou taxa mínima de atratividade (% aa); e

IR = alíquota do imposto de renda (%).

No caso deste modelo, é considerado o impacto do imposto de renda na minimização dos custos da política de substituição. Assim, nos modelos de programação dinâmica, podem ser inseridas as variáveis que o gestor, responsável pela definição da política de substituição, considerar relevante para análise e para alcançar o objetivo de minimização dos custos ou da maximização das receitas.

Plizzari (2017), em sua pesquisa, utilizou o Método de Monte Carlo (MMC) para a definição de uma política de substituição. Nesse sentido, o MMC foi utilizado para a geração de valores aleatórios dos dados de entrada do modelo, o que possibilitou uma análise estatística dos resultados para identificar a política de substituição a partir do resultado que tivesse a maior recorrência.

De acordo com Saraiva Júnior, Tabosa e Costa (2011), o MMC envolve o uso de números a e probabilidade para a realização de análises e resoluções de problemas. Esses números são obtidos artificialmente (tabelas, roletas, sorteios e outros) ou diretamente de softwares ao serem utilizadas funções específicas.

Um problema da utilização da PD associada ao MMC é a geração de um elevado número de cenários aleatórios de complexo tratamento e com resultados que podem extrapolar os valores razoáveis por não considerar a sensibilidade do modelo em relação às diferentes variáveis randomicamente produzidas em cada simulação.

Nesse contexto, a utilização da PD em conjunto com o método de Cenários é uma alternativa para a elaboração de modelos que solucionem problemas de substituição de veículos coletores de RSU. No caso, o método de Cenários guarda a vantagem de, diferentemente do MMC, gerar um pequeno a médio número de resultados, o que facilita o tratamento e a análise desses dados, bem como possibilita de forma mais simplificada o ajuste das incertezas das variáveis para o estabelecimento de cenários dentro da realidade. Além disso, o método de Cenário facilita a realização de ajustes parciais ao longo do planejamento a fim de reduzir incertezas e atingir o melhor resultado possível.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa da presente tese de doutoramento foi referente ao desenvolvimento de modelo da vida útil econômica de veículos coletores de RSU, conjugando aspectos teóricos e práticos. A elaboração desse modelo visou preencher a lacuna, tanto na literatura quanto nas práticas de gestão na área de saneamento, de ferramenta técnica para a definição da vida útil econômica de veículos de coleta de RSU (momento ótimo de substituição que minimize os custos ou maximize os ganhos de sua operação).

A pesquisa é caracterizada como pesquisa de natureza aplicada, que Gerhardt e Silveira (2009) e Prodanov (2013) ressaltam ter como objetivo gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. A forma da abordagem é quantitativa, por traduzir informações e indicações a partir de números, além de fazer uso de técnicas estatísticas (Silva, Menezes, 2001; Prodanov, 2013).

O modelo desenvolvido foi embasado em conceitos e em procedimentos das áreas de estatística (regressão e correlação), engenharia econômica (fluxo de caixa, taxa de desconto e valor presente), engenharia de manutenção (custos de operação, manutenção e depreciação), técnica de cenários (representação de possíveis comportamento futuros das variáveis de interesse) e programação dinâmica (cálculo da solução de um problema por meio da resolução e iteração de subproblemas).

Na elaboração do modelo, considerando Hartman (2004), foram utilizadas funções de regressão para descrever os valores de custos de operação e manutenção e de revenda ao longo do tempo, sendo incluído como variável independente, conforme adaptação de Biagiotti Filho (2005), o tempo de operação (t) dos veículos. Além disso, também foi incorporado ao modelo a Técnica de Cenários para a geração de dados, dentro de uma faixa de comportamento possível, para alimentação da Programação Dinâmica.

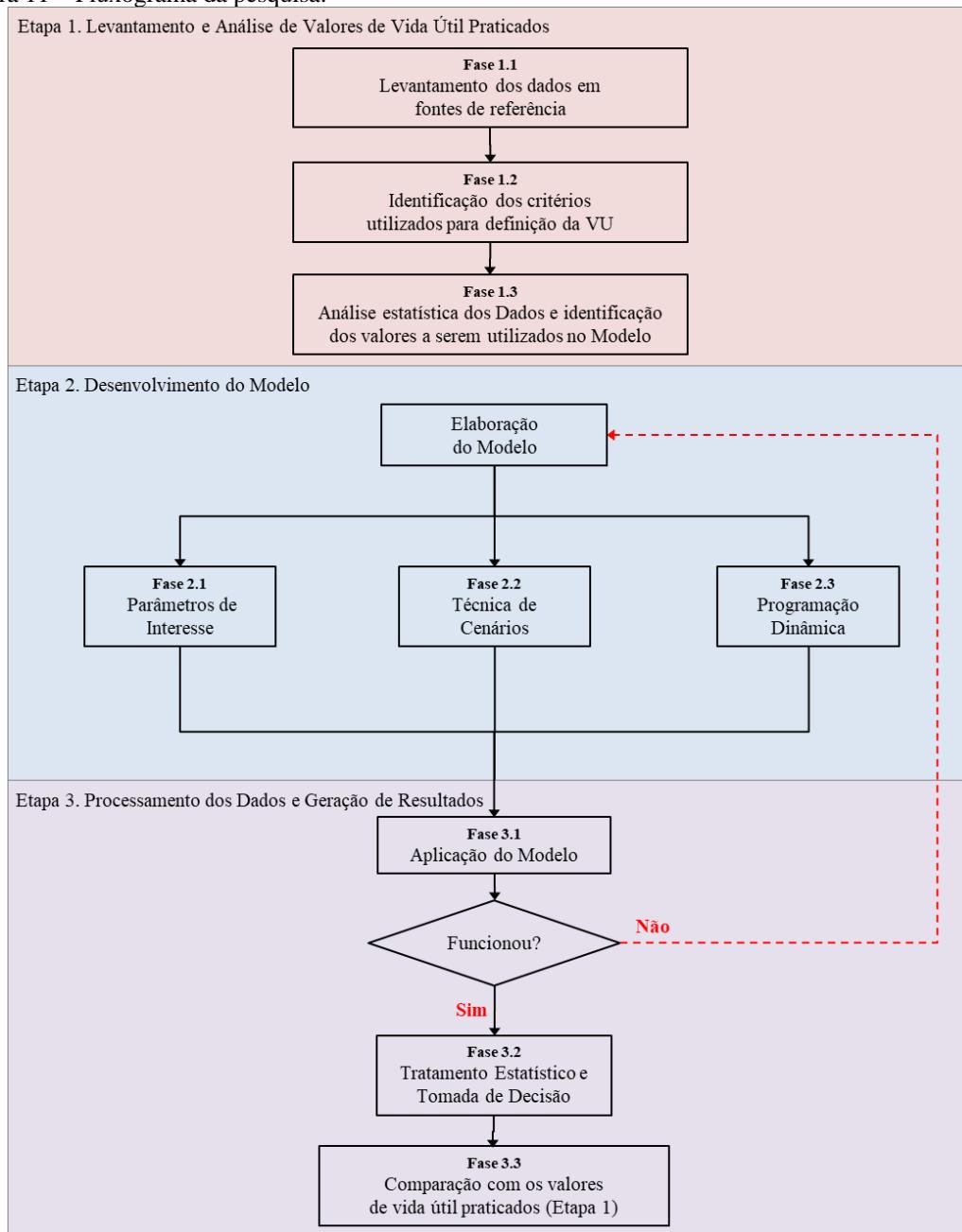
Os cenários foram incorporados a este modelo como alternativa ao método de Monte Carlo utilizado por Plizzari (2017), uma vez que este último gera elevado número de dados produzidos de forma aleatória, o que torna mais complexo o tratamento dos resultados e dificulta a realização de ajustes necessários ao modelo. Já o método de Cenários gera um pequeno a médio número de resultados, o que facilita o tratamento e a análise dos dados, bem como possibilita de forma mais simplificada o ajuste das incertezas das variáveis para o estabelecimento de cenários dentro da realidade.

Na Programação Dinâmica foi identificado se o veículo em operação (denominado defensor) deveria ser substituído por um veículo novo (denominado desafiante) a cada

período do horizonte de planejamento (solução dos subproblemas), para, então, a partir da análise dos resultados de todos os subproblemas de cada período (estágio), se identificar o momento mais indicado para a sua substituição (solução do problema geral).

Após o seu desenvolvimento, a metodologia foi implementada em ambiente computacional (Microsoft Excel) para possibilitar a entrada de dados (*input*), a sistematização e o processamento dos dados (*process*), e a geração dos resultados (*output*). Por fim, os resultados do modelo foram comparados com valores de referência de vida útil utilizados na gestão de frotas de veículos de empresa do setor de coleta e transporte de RSU no Brasil. O fluxograma da pesquisa é apresentado na Figura 11.

Figura 11 – Fluxograma da pesquisa.



Fonte: Autor (2024).

As atividades desenvolvidas são descritas nos tópicos a seguir.

3.1. ETAPA 1: LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE VALORES DE VIDA ÚTIL PRATICADOS

A primeira etapa da pesquisa foi dividida em três atividades, no caso:

- Fase 1.1: Levantamento dos dados em fontes de referência;
- Fase 1.2: Identificação dos critérios utilizados para o estabelecimento dos valores de vida útil;
- Fase 1.3: Análise Estatística dos Dados e identificação dos valores a serem utilizados no Modelo.

Em razão da atividade de coleta e transporte de RSU poder ser realizada por diversos tipos de veículos, na presente pesquisa foi considerado apenas o tipo com maior representatividade no Brasil, que, de acordo com dados do Brasil (2023), é o caminhão compactador (ou caminhões prensa), que corresponde a 41,2% dos veículos utilizados nos municípios participantes da pesquisa do SNIS. Apesar de isoladamente o compactador ser o tipo mais utilizado, na pesquisa do SNIS esse caminhão fica atrás apenas do grupo que engloba três tipos caminhões: basculante, carroceria ou baú (42,2%).

3.1.1. Levantamento de dados em fontes de referência

Na primeira etapa, foram realizadas buscas no site Google utilizando palavras-chave como: caminhão compactador, coleta e transporte de resíduos sólidos, veículo de coleta, veículo compactador e entre outros; além do recurso “entre aspas” que possibilita a busca do termo específico.

Na busca, foram levantados 32 documentos, sendo a maior parte (28 documentos) de 2016 ou mais recentes. No entanto, foram abertas quatro exceções para um documento de 2010 e três documentos sem datação para compor a amostra de dados. Além disso, buscou-se identificar a região e o estado do Brasil de onde os documentos são provenientes para visualizar a representatividade dessas localidades na pesquisa.

Além disso, os documentos foram separados por grupos em função de suas características predominantes e identificado o quantitativo de documentos pertencentes a

cada um dos grupos, os quais são os seguintes: a) composição de custo; b) processos licitatórios; c) tribunais de contas; d) projeto básico e; e) análise orçamentária.

3.1.2. Identificação dos critérios utilizados para o estabelecimento dos valores de vida útil

Na segunda fase foi identificada a existência de fonte de referência ou de procedimento técnico para a determinação da vida útil apresentada nos documentos. Essas informações foram analisadas, discutindo os meios de estabelecimento de vida útil e a sua pertinência na aplicação em diferentes contextos das entidades atuantes no ramo da coleta e transporte de RSU.

3.1.3. Análise estatística dos dados e identificação dos valores a serem utilizados no modelo

Na terceira fase foi realizada análise estatística da série de dados levantada. No caso, foi elaborado um Gráfico Boxplot com o intuito de visualizar a dispersão dos dados, tendo como referência os quartis da série, e identificar a densidade da distribuição. Para isso, foram criados intervalos de classes entre os valores máximo e mínimo da série de dados e, a partir da distribuição uniforme dos dados nessas classes, calculados os quartis e plotado o gráfico boxplot. O número de classes (k) foi determinado utilizando a fórmula de Sturges apresentada por Shiguti e Shiguti (2006), Sousa (2014) e Pereira (2017) para quantidade de dados (n) superior a 25 unidades, conforme Equação 14.

$$k = 1 + 3,3 * \log(n) \quad (14)$$

Por fim, foi elaborado um histograma para visualizar a série de dados agrupada em classes de frequência com amplitude definida pela razão entre a amplitude dos dados e ao valor de “ k ” arredondado, de modo que possibilitasse identificar os intervalos onde os valores de vida útil tiveram maior e menor recorrência dentro da amplitude dos dados. Em conjunto a este gráfico, foi plotado um gráfico de ajuste normal e outro de ajuste de suavização de densidade a fim de, na comparação entre ambos, visualizar se a série de dados tinha uma distribuição normal ou de outra natureza. As análises estatísticas foram realizadas no *Minitab Statistical Software 22*.

3.2. ETAPA 2: DESENVOLVIMENTO DO MODELO

Nesta etapa foi desenvolvida a concepção do modelo da pesquisa, apresentado as suas partes constituintes que possibilitaram a determinação da vida útil econômica e do momento ótimo de substituição do caminhão compactador. Primeiramente, foram definidos os dados de entrada necessários e a forma como eles seriam processados no modelo. Também foi estabelecida a forma como esses dados iriam variar entre os cenários estabelecidos. Em seguida foi definida a equação e as características da programação dinâmica.

- Atividade 2.1.: Parâmetros de Interesse;
- Atividade 2.2: Técnica de Cenários;
- Atividade 2.3: Programação Dinâmica.

3.2.1. Parâmetros de interesse do modelo

O modelo tem como uma de suas premissas não fixar o número variável de entrada, visto que para empresas que tenham elevado grau de detalhamento dos dados de sua operação, um número maior de variáveis pode ser utilizado para representar a variação específica de cada item e aumentar a precisão do modelo; como em casos que a empresa deseje considerar separadamente, por exemplo, os custos de troca de peças, de combustível, de recauchutagem, com óleos e graxas etc. (dados de custo); ou mesmo quando dispuser e desejar utilizar dados de receita gerada a partir da utilização dos veículos. Já quando a empresa dispuser unicamente do custo agregado de Operação e Manutenção (O&M) do veículo, o modelo também poderá ser utilizado, bastando ser adaptado para esse caso. Essa característica deste modelo concede versatilidade e adaptabilidade para diferentes contextos de empresas e gestões.

Quanto à tipologia dos veículos, essa também não foi fixada a fim de que o modelo matemático abarque análises de diferentes tipos de veículos, como, por exemplo, em relação à fonte de energia, realizando comparação entre veículos movidos a combustíveis fósseis, veículos híbridos e veículos elétricos, decidindo o momento de substituição para a transição entre veículos com diferentes tecnologias. Assim, este modelo matemático poderá ser utilizado para veículos que utilizem diferentes fontes de energia, que

necessitem de diferentes números de funcionários na guarnição em razão da do tipo de coleta (mecanizada ou manual) e entre outros.

Marques *et al.* (2005) comentam que modelos de substituição de ativo que incluem apenas os custos, não considerando a arrecadação, são mais indicados para casos em que o equipamento utilizado, no caso o veículo coletor, não gera receitas diretas, como aluguéis e frete. No caso da presente pesquisa, a receita gerada pela massa de RSU coletada tende a ser a mesma para veículos com a mesma capacidade de coleta, não ocorrendo receitas com aluguéis ou frete. Por isso, na aplicação dada ao modelo desenvolvido nesta pesquisa não foi considerada a receita gerada com a prestação do serviço de coleta e transporte de RSU, apesar do mesmo ser adaptável a essa realidade, podendo abranger a arrecadação e outras variáveis monetária que se considerar pertinentes.

Como os Custos de Operação e Manutenção (O&M) e o Valor de Revenda (variáveis dependentes) dos veículos coletores de RSU variam em função do Tempo de Operação (t), este última é a variável independente adotado para o modelo, a partir do qual as demais variáveis (dependentes) foram calculadas. Além disso, como cada modelo de veículo pode ter um comportamento diferente das variáveis ao longo de sua vida útil por causa das diferenças construtivas e de desempenho, também foi considerada como variável independente o modelo do veículo (m). Por fim, como os valores monetários das variáveis foram corrigidos no tempo pela Taxa de Desconto “ i ” e pela Inflação “ j ”, o período no tempo “ T ” (estágio) em que esses valores ocorrem também é uma variável independente. Apesar do número de variáveis dependentes não ser fixo e poderem ser inseridas quantas se achar adequado, um número mínimo delas precisa ser considerado no modelo, as quais são:

- a) Custo de Operação e Manutenção (O&M) “ $C(m,t,T)$ ”;
- b) Valor de Revenda “ $v(m,t,T)$ ”;
- c) Aquisição “ $A(m,T)$ ”;
- d) Taxa de Desconto “ i ”;
- e) Inflação “ j ”.

As equações de regressão do **Custo de Operação e Manutenção (O&M)** “ $C(m,t)$ ” foram traçadas considerando os dados históricos dos veículos de mesmo modelo em operação ou, quando não houver dados para tal, valores estimados de custos. Já no caso do veículo novo (desafiador), quando a empresa dispuser de veículos do

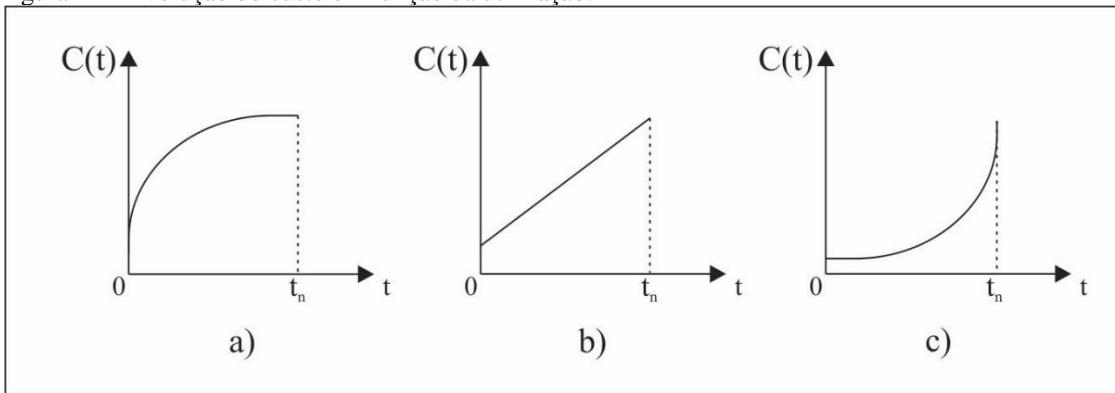
mesmo modelo em sua frota em operação, devem ser utilizados os dados históricos desses veículos, caso contrário, devem ser investigados na literatura dados necessários e/ou meios para estimar as funções dessa variável.

Vale observar que o custo do veículo deve considerar todos os gastos incidentes na operação e que sejam sensíveis ao longo do tempo (combustível, troca de peças, troca de acessórios, material e serviços de manutenção, troca de pneus, recauchutagem, lubrificantes, lavagem, graxas etc.) ou os que gerem divergência de gastos entre o modelo do veículo defensor e o veículo desafiante (comparação de veículo que necessite de funcionários para a coleta com veículo que realize a coleta de forma automatizada, por exemplo).

O custo com pessoal deve ser considerado no modelo apenas quando o veículo defensor demandar um número de funcionário e/ou mão de obra especializada diferente do veículo desafiante. Caso contrário, os custos com a guarnição (motorista e trabalhadores da coleta) tendem a ser iguais para as duas alternativas, não influenciando, dessa forma, na definição da vida útil econômica na decisão do momento ótimo de substituição do veículo.

As funções de custo foram geradas considerando Hartman (2004), que comenta que um equipamento tem os custos de operação crescentes em função de seu tempo de utilização “ t ”. No entanto, essa função pode se apresentar de várias formas: a) função côncava; b) função linear e; c) função convexa, conforme apresentado na Figura 12.

Figura 12 – Evolução do custo em função da utilização.



Fonte: Hartman (2004), adaptado.

A função (a) representa um veículo que passa a ter menores valores de incremento de a cada período de operação, apresentando rápido aumento dos custos no início da vida do veículo e desacelerando ao passar do tempo. Na função (b) o incremento do custo se

mantém constante ao longo do tempo. No caso da função (c), ocorre a evolução clássica dos custos, conforme Biagiotti Filho (2005), com uma aceleração dos custos devido à deterioração do veículo.

Os custos de operação e de manutenção costumam apresentar o comportamento da função (c) em razão da deterioração dos veículos e do aumento da necessidade de manutenção ao longo do tempo. Assim, a formulação desses custos é dada por um modelo polinomial de segunda ordem, conforme a Equação 15 em que o valor de “a” é maior ou igual a zero e o valor de “b” é positivo.

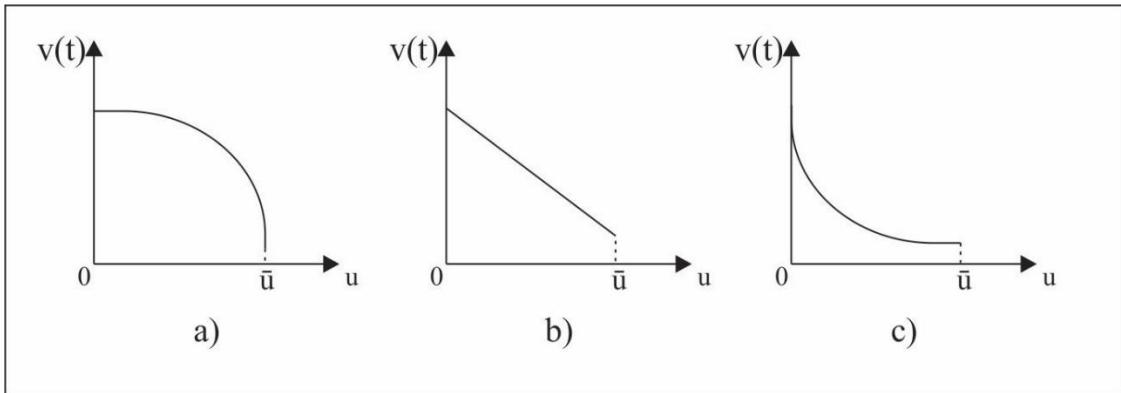
$$C(m, t) = a * t^2 + b * t + c \quad (15)$$

Onde “t” é o tempo de funcionamento do veículo, o coeficiente “a” é o elemento que indica a concavidade da parábola, o coeficiente “b” interfere na interseção do ramo crescente ou decrescente e do vértice com o eixo das ordenadas e o coeficiente “c” está relacionado ao ponto de encontro da parábola com o eixo das ordenadas.

Cada modelo de veículo utilizou um conjunto de três parâmetros para a função de custo operacional (a, b e c), por esse motivo, além de “t”, o modelo do veículo (m) também foi escolhido como uma variável independente na Programação Dinâmica. Assim, utilizando os dados de Custo de Operação e Manutenção (O&M) dos veículos defensor e desafiante levantados pela empresa, foram estimados, por meio de regressão, os parâmetros “a”, “b” e “c”.

No caso do **Valor de Revenda “v(m,t)”**, também foi estabelecido um modelo de regressão em função da variável “tempo de operação” (t) e do modelo do veículo (m). Partindo do pressuposto que o valor de revenda é decrescente, Hartman (2004) apresentou três funções possíveis: a) côncava; b) linear e; c) convexa, conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 13 – Evolução do valor de revenda em função da utilização.



Fonte: Hartman (2004), adaptado.

A forma da função do valor de revenda dos caminhões, assim como a de veículos de passeio, costuma ter comportamento similar à função (c), já que o veículo perde valor rapidamente no início de sua vida e mais tarde ocorre desaceleração na perda de valor. A função do valor de revenda é dada através da Equação 16, sendo o valor de “b” negativo; o valor de “c” igual ao custo de aquisição “A(m,t)” do veículo; e o valor de “v(m,P)”, sendo “P” o último período da vida útil estimada do veículo, igual ao produto do custo de aquisição “A(m,T)” e o percentual do valor residual definido para o final da vida útil do veículo de modelo “m”.

$$v(m, t) = d * t^2 + e * t + f \quad (16)$$

Os coeficientes “d”, “e” e “f” têm papéis equivalentes, respectivamente, aos coeficientes “a”, “b” e “c” da Equação 15. Os dados de valor de revenda a cada período, do início ao final da vida útil projetada do veículo, foram calculados a partir do Método de Soma dos Dígitos, que, nesta tese, foi simplificada conforme a Equação 17.

$$v(t) = v(t - 1) - A * (1 - vr) * \frac{P - t + 1}{P * (P + 1)/2} \quad (17)$$

Onde:

$v(t)$: valor de revendo no período (R\$);

$v(t - 1)$: valor de revenda no período anterior (R\$);

t : período avaliado, que neste modelo foi considerado período semestral (semestre);

A : Custo de aquisição do veículo (R\$);

vr : valor residual do veículo após a vida útil máxima definida para o veículo (%);

P : Período total analisado que corresponde ao tempo de vida máxima estabelecida ao veículo (semestre).

Vale observar que quando “t” for o primeiro semestre ($t=1$), o valor de $v(t - 1)$ corresponde ao custo de aquisição “A(m,T)”.

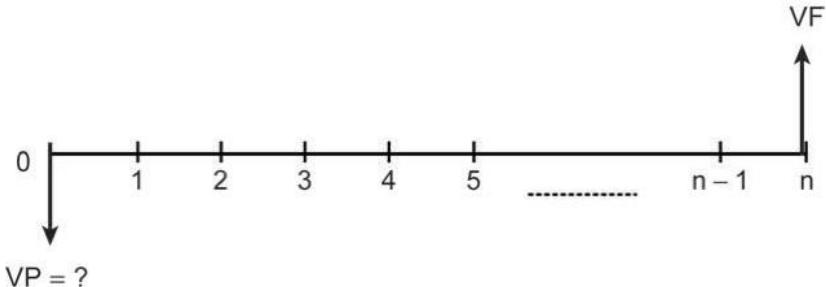
O dado de **Aquisição “A(m,T)”** do veículo novo varia dependendo do modelo analisado, podendo ser identificado em base de dados da empresa ou a partir de valores de mercado no histórico de compra de veículos da empresa. Além disso, dependendo do período da simulação em que o veículo novo (desafiante) for adquirido para substituir o antigo (defensor), o custo de aquisição deve ser corrigido pela taxa de inflação “j” para o período “T” do horizonte de projeto em questão.

A análise da vida útil econômica dos veículos é realizada em um horizonte temporal, sendo necessário a comparação de valores financeiros que incidem em diferentes momentos no tempo. Essa comparação se faz possível calculando os valores presentes de cada variável do problema, sejam valores de saída (custos) ou valores de entrada (receitas).

O valor presente representa o valor do capital na data zero do fluxo de caixa. No caso desta pesquisa, foi calculado o valor presente dos valores monetários das variáveis analisadas para comparação e decisão pelo veículo que oferece o menor custo (defensor ou desafiante).

O Valor Presente na data zero do fluxo de caixa, conforme ilustrado na Figura 14, representa o valor conhecido em uma data futura (Valor Futuro), considerando uma **Taxa Desconto “i”**. A Figura 14 ilustra a relação do Valor Presente (VP) com o Valor Futuro (VF) no fluxo de caixa.

Figura 14 – Fluxo de caixa, Valor Futuro e Valor Presente.



Fonte: Nogueira (2011).

O valor presente dos valores de Custo de O&M “C(m,t,T)”, de Valor de Revenda “v(m,t,T)” e de Custo de Aquisição “A(m,T)” foram calculados utilizando a Equação 18.

$$VP = VF * (1 + i)^{-\Delta t} \quad (18)$$

Onde:

VP = Valor presente (R\$);

VF = Valor futuro (R\$);

i = taxa de desconto semestral (%);

Δt = intervalo de tempo entre o momento futuro e o momento presente (semestre).

O valor de taxa de desconto adotado para o cálculo do valor presente foi pesquisado na literatura e em dados de mercado.

Por fim, a última variável de interesse é a **Inflação “j”**, que é a taxa utilizada para simular o aumento de preço de produtos e serviços. A aplicação da inflação neste modelo se deu de forma oposta à taxa de desconto, no caso, ao se saber o valor presente (VP) de determinada receita ou despesa, seja o custo de aquisição, o custo de O&M ou o valor de revenda; aplicando a inflação é possível estimar o valor correspondente em um momento futuro, conforme representado na Equação 19.

$$VF = VP * (1 + j)^{\Delta t} \quad (19)$$

Onde:

VP = Valor presente (R\$);

VF = Valor futuro (R\$);

j = inflação (%);

Δt = intervalo de tempo entre o momento futuro e o momento presente (semestre).

Como o valor de “ Δt ” corresponde ao espaço de tempo entre o momento em que esses valores são conhecidos e o momento para onde serão corrigidos, neste modelo “ Δt ” é igual ao período ou estágio (T) do horizonte de projeto da simulação. Dessa forma, além da idade do veículo (t) e do modelo (m), o período ou estágio (T) da simulação também deve ser considerado como variável independente do Custo de Aquisição “A(m,T)”, Custo de O&M “C(m,t,T)” e Valor de Revenda “v(m,t,T)”, visto que todos esses valores estão sujeitos a serem corrigidos pela inflação, dependendo do estágio do horizonte de projeto (T) em que eles ocorram.

3.2.2. Técnica de Cenários

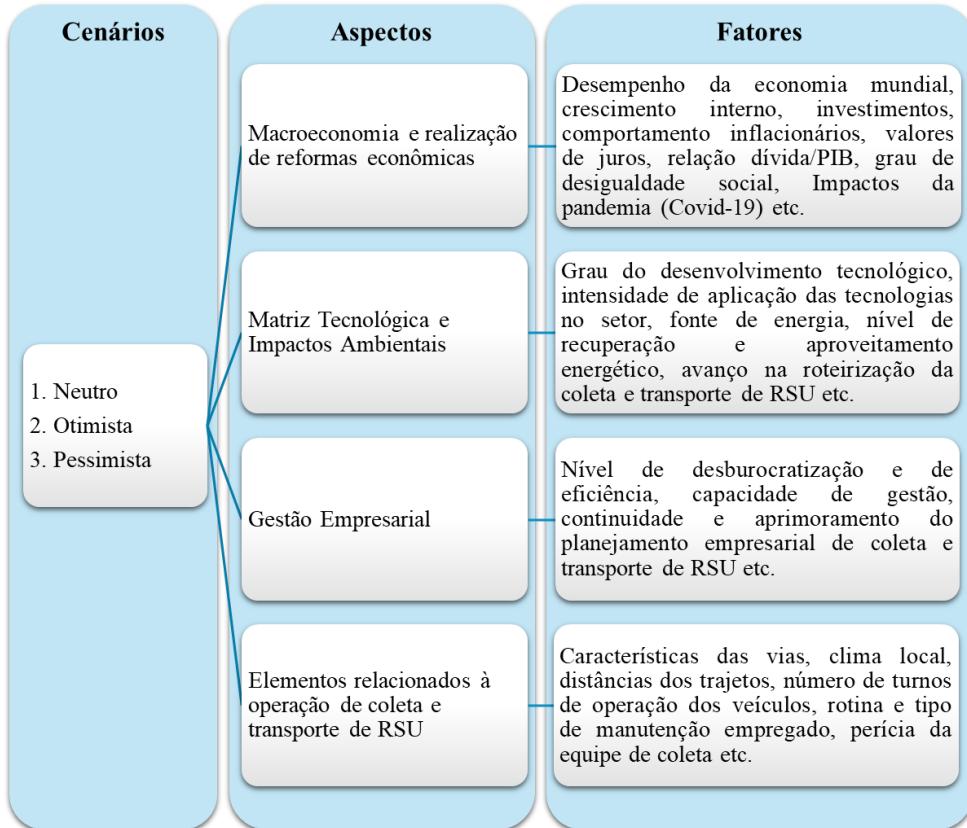
Considerando que os parâmetros relacionados à análise da vida útil econômica e do momento de substituição dos veículos são sensíveis a uma série de variáveis internas (rotina e qualidade de manutenção, perícia dos motoristas, roteiro de coleta etc.) e externas (macroeconomia nacional; preço de mercado dos veículos, peças e serviços; inflação etc.), foi incluído neste modelo a Técnica que Cenários, que possibilita simular, além da projeção convencional, concebida a partir do comportamento histórico; cenários alternativos com variações possíveis e razoáveis dos parâmetros de interesse.

Como balizadores da construção dos cenários deste modelo, foram considerados, tendo como referência Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES) de Brasil (2022), quatro aspectos que impactam o comportamento dos parâmetros de interesse, no caso:

1. Macroeconomia e realização de reformas econômicas;
2. Gestão empresarial;
3. Matriz tecnológica e contexto ambiental;
4. Elementos relacionados à operação de coleta e transporte de RSU.

Na Figura 15 são detalhados os fatores relacionados a cada aspecto empregado na realização dos cenários.

Figura 15 – Aspectos e seus respectivos fatores para a elaboração dos cenários do modelo.

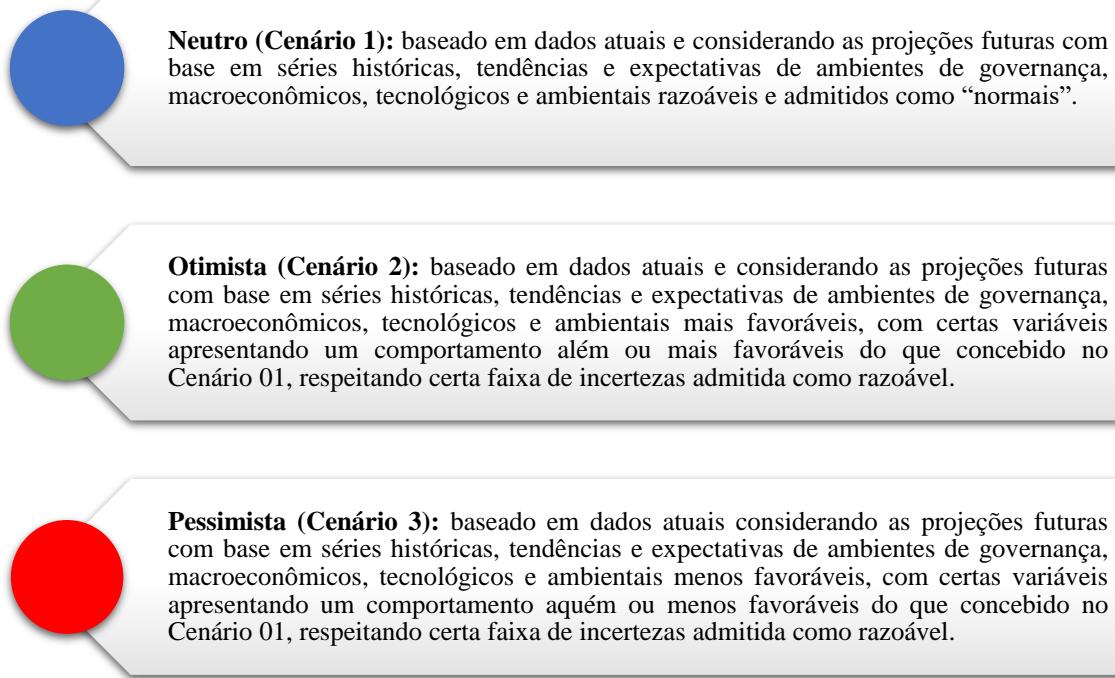


Diferentemente da abordagem do PLANARES, que considerou apenas dois cenários (realista e transformador); no modelo matemático desta pesquisa foram considerados três cenários:

- a) Neutro, que pode ser interpretado como realista ou o mais provável etc.;
- b) Otimista, que pode ser interpretado como o além do esperado, promissor ou transformador etc.;
- c) Pessimista, que pode ser entendido como o aquém do esperado, negativo ou deteriorador etc.

Apesar de ser uma possibilidade indesejada, o cenário pessimista foi incluído por ser importante que o gestor possa vislumbrar de forma mais completa as possibilidades futuras para direcionar as suas ações. Isso implica no conhecimento das probabilidades negativas. Na Figura 16 são apresentados os cenários utilizados e a descrição do contexto prováveis de suas ocorrências.

Figura 16 – Cenários do modelo.



No problema de determinação da vida útil econômica de veículos coletores de RSU existem, pelo menos, cinco variáveis que podem oscilar em função dos cenários (Custo de Aquisição, Custo de O&M, Valor de Revenda, Inflação e Taxa de Desconto). No caso do presente modelo, foram utilizadas três variáveis em função dos cenários neuro, otimista e pessimista, no caso:

- Custo de Aquisição “ $A(m,T)$ ”;
- Custo de O&M “ $C(m,t,T)$ ”;
- Valor de Revenda “ $v(m,t,T)$ ”.

O valor de Inflação “ j ” não foi variado em função dos cenários por ser possível considerar que a sua variação, indiretamente, já estar englobada nos valores de custos (Custo de Aquisição e Custo de O&M) e de Valor de Revenda, já que a inflação impacta nos preços que resultam nos valores das receitas e despesas. Já a Taxa de Desconto “ i ” não foi incluída na variação dos cenários em razão da necessidade de cautela em sua determinação, por guardar relação com o valor de inflação e por sua variação impactar de forma expressiva na modificação dos resultados do modelo, o que pode levar a resultados extremos, fora da realidade.

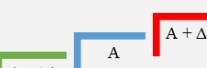
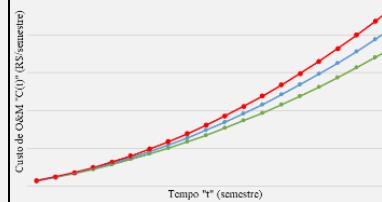
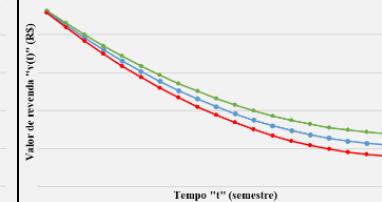
Com base nas situações a serem analisados para a definição dos cenários, foi desenvolvida a Matriz de Hipótese (Figura 17) com os quatro aspectos elaborados a partir do PLANARES. Nessa matriz são expressas graficamente as principais incertezas a que o modelo está sujeito em uma visão qualitativa, apresentando os elementos de cada um dos quatro aspectos propostos que podem produzir mudanças mais significativas nos resultados futuros, que, no caso deste modelo, é o valor de vida útil econômica e de momento ótimo de substituição dos veículos.

Figura 17 – Matriz de Hipóteses

Aspectos Condicionantes	Hipóteses			
	1	2	3	
1. Macroeconomia e realização de reformas econômicas 2 Aspectos	a) Economia decrescente b) Renda Per capita estável	a) Economia estável b) Renda Per capita crescente	a) Economia crescente b) Renda Per capita crescente	
3. Matriz Tecnológica e Impacto Ambiental 3 Aspectos	a) Pequeno avanço tecnológico no setor b) Pequeno avanço na eficiência energética c) Baixa otimização dos custos das tecnologias	a) Médio avanço tecnológico no setor b) Médio avanço na eficiência energética c) Média otimização dos custos das tecnologias	a) Alto avanço tecnológico no setor b) Alto avanço na eficiência energética c) Alta otimização dos custos das tecnologias	
3. Gestão Empresarial 3 Aspectos	a) Déficit Operacional b) Política de substituição de frota indefinida c) Baixa valorização do Capital Humano	a) Superávit Operacional estável b) Política de substituição de frota definida c) Média valorização do Capital Humano	a) Superávit Operacional Crescente b) Política de substituição de frota definida c) Alta valorização do Capital Humano	
4. Elementos relacionados à operação de coleta e transporte de RSU 2 Aspecto	a) Elementos externas à empresa desfavoráveis (clima, vias, localização da destinação final etc.) b) Elementos internos à empresa desfavoráveis (manutenção, pericia da equipe de coleta, intensidade de uso dos veículos etc.)	a) Elementos externas à empresa razoáveis (clima, vias, localização da destinação final etc.) b) Elementos internos à empresa razoáveis (manutenção, pericia da equipe de coleta, intensidade de uso dos veículos etc.)	a) Elementos externas à empresa favoráveis (clima, vias, localização da destinação final etc.) b) Elementos internos à empresa favoráveis (manutenção, pericia da equipe de coleta, intensidade de uso dos veículos etc.)	
		Pessimista - Negativo	Neutro - Referência	Otimista - Transformador

No Quadro 4 são apresentados os impactos causados pelos três diferentes cenários nas variáveis de interesse: Custo de Aquisição, Custo de O&M e Valor de Revenda.

Quadro 4 – Impactos dos cenários nas variáveis de interesse da pesquisa.

Cenário	Custo de Aquisição	Custo de O&M	Valor de Revenda
	 A: valor de aquisição (R\$) ΔA : variação do valor de aquisição (%)	 Custo de O&M "t" (R\$ semestre)	 Valor de revenda "t" (R\$)
Neutro	Valor médio de mercado	Crescimento do Custo conforme o esperado a partir dos dados históricos	Depreciação conforme o esperado a partir dos valor de revenda praticado
Otimista	Valor inferior ao do cenário neutro ($A - \Delta A$)	Crescimento do Custo abaixo do cenário neutro	Menor depreciação a cada período comparado à projetada no cenário neutro
Pessimist	Valor superior ao do cenário neutro ($A + \Delta A$)	Crescimento do Custo acima do cenário neutro	Maior depreciação a cada período comparada à projetada no cenário neutro

O cenário neutro, para as três variáveis, corresponde ao comportamento esperado com base nos dados de mercado (Custo de Aquisição e Valor de Revenda) e na tendência dos custos em função dos dados históricos (Custo de O&M).

No caso do cenário otimista, o comportamento das três variáveis são os seguintes: o Custo de Aquisição tem o valor inferior ao valor do cenário neutro, uma vez que novos caminhões com menor custo de aquisição é algo desejado pelo gestor da frota; os Custos de O&M partem do mesmo valor no período zero, mas possuem incrementos a cada período de operação inferiores aos incrementos do cenário neutro; já no caso do Valor de Revenda, o Valor Residual após a vida útil prevista ao veículo é maior do que no valor neutro, fazendo com que o veículo, a cada período, tenha perda de valor inferior ao cenário neutro (maior valor de revenda a cada período se comparado com o cenário neutro).

No cenário pessimista ocorre o oposto do cenário otimista, a saber: o Custo de Aquisição é superior ao valor neutro; os Custos de O&M sofrem incrementos superiores a cada período se comparado com o cenário neutro; e o Valor de Revenda é calculado a cada período com base num valor residual inferior ao do cenário neutro, resultando em menor valor de revenda a cada período.

Considerando que as três variáveis do estudo podem ou não sofrer alteração igualmente entre os três cenários (neutro, otimista e pessimista), são possíveis 27 combinações (neste estudo nomeadas de subcenários), com os valores de Custo de Aquisição, Custo de O&M e Valor de Revenda variando de forma independente entre os cenários Neutro, Otimista e Pessimista.

Com o objetivo de organizar os subcenários resultantes das diferentes combinações possíveis das variáveis, foram criados cinco grupos com base nos seguintes critérios:

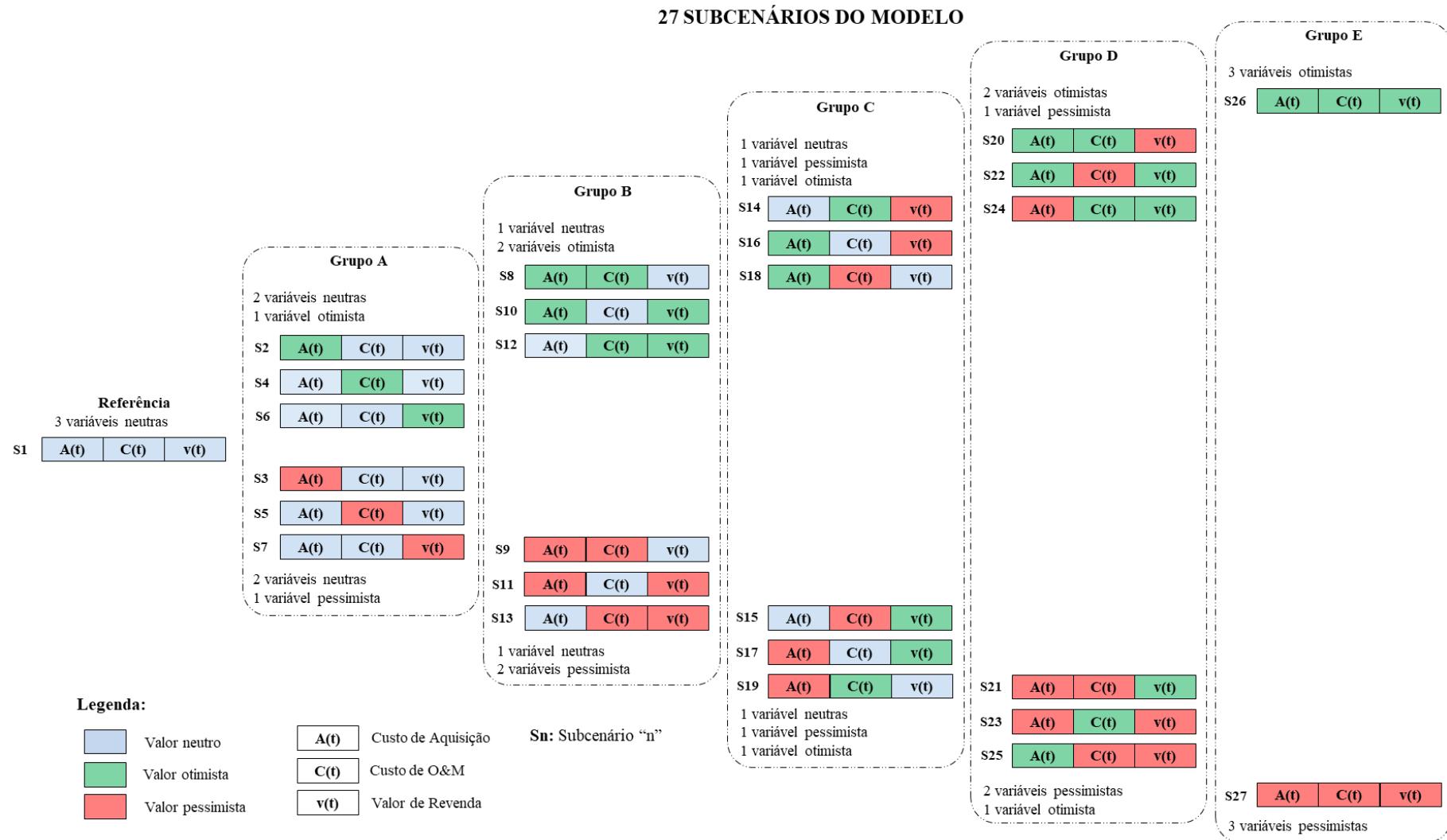
- **Grupo 1 (6 subcenários):** 2 variáveis neutras e 1 otimista ou pessimista;
- **Grupo 2 (6 subcenários):** 1 variável neutra e 2 variando de forma combinada entre otimista e pessimista;
- **Grupo 3 (6 subcenários):** 1 variável neutra, 1 otimista e 1 pessimista;
- **Grupo 4 (6 subcenários):** 2 variáveis otimista e 1 pessimista ou 2 variáveis pessimistas e 1 otimista;
- **Grupo 5 (2 subcenários):** todas as variáveis otimistas ou todas pessimistas.

O 27º subcenário, que não está em nenhum dos grupos, é o composto por todas as variáveis no cenário neutro. Essa combinação com todas as variáveis neutras é o subcenário de referência do modelo.

Na Figura 18 são apresentados todos os 27 subcenários divididos por grupos, sendo nos grupos realizada ainda mais uma divisão entre os subcenários com características mais otimistas e os subcenários com características mais pessimistas. Desse modo, foi possível visualizar a existência de subcenários com configurações opostas, nos quais as variáveis que são otimistas em um passam a ser pessimistas no outro subcenário e vice-versa.

Esses subcenários opostos foram utilizados na criação das faixas de valores de vida útil descritas mais adiante na metodologia e apresentadas nos resultados da pesquisa.

Figura 18 – Os 27 subcenários do modelo.



Fonte: Autor (2024).

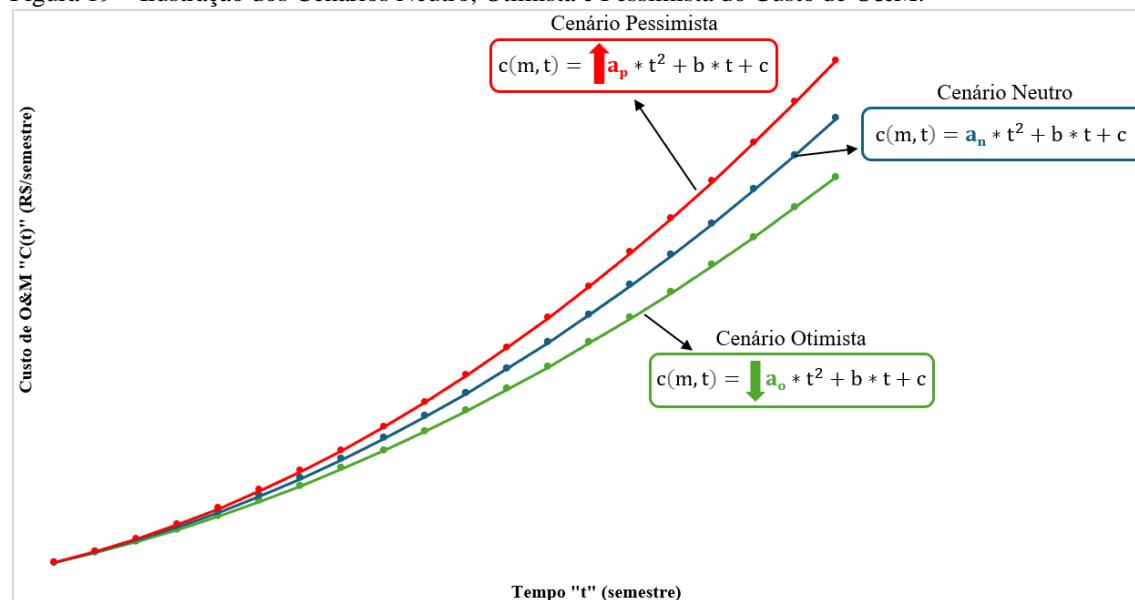
No presente modelo, a variação dos valores do Custo de Aquisição, do Custo de O&M e do Valor de Revenda para a criação dos cenários otimista e pessimista, bem como dos 27 subcenários, deve ser feita de a partir da experiência do gestor, considerando valores razoáveis e dentro da realidade do setor.

No caso do Custo de Aquisição, o gestor estipulará um valor de variação do custo de aquisição (ΔA , em R\$) que quando subtraído ou somado do Custo de Aquisição do Cenário Neutro, resultará no Custo de Aquisição do Cenário Otimista e do Cenário Pessimista, respectivamente.

Os Cenários Otimista e Pessimista da variável Custo de O&M foram definidos com incrementos, respectivamente, menores (custo aumentando de forma menos intensa em relação ao Cenário Neutro) e maiores (custo aumentando de forma mais intensa em relação ao Cenário Neutro) a cada período da operação do veículo coletor em relação ao Cenário Neutro.

Essa variação dos incrementos a cada período da simulação foi realizada modificando o valor de “a” da Equação 15. No caso do Cenário Otimista, o valor de “a” foi diminuído, fazendo a concavidade da curva de valores ficar mais “aberta”, o que resultou em menores incrementos de custo a cada período; e no caso do Cenário Pessimista ocorreu o oposto, com o valor de “a” sendo aumentado na mesma proporção, resultando em maiores incrementos de custo a cada período (Figura 19).

Figura 19 – Ilustração dos Cenários Neutro, Otimista e Pessimista do Custo de O&M.

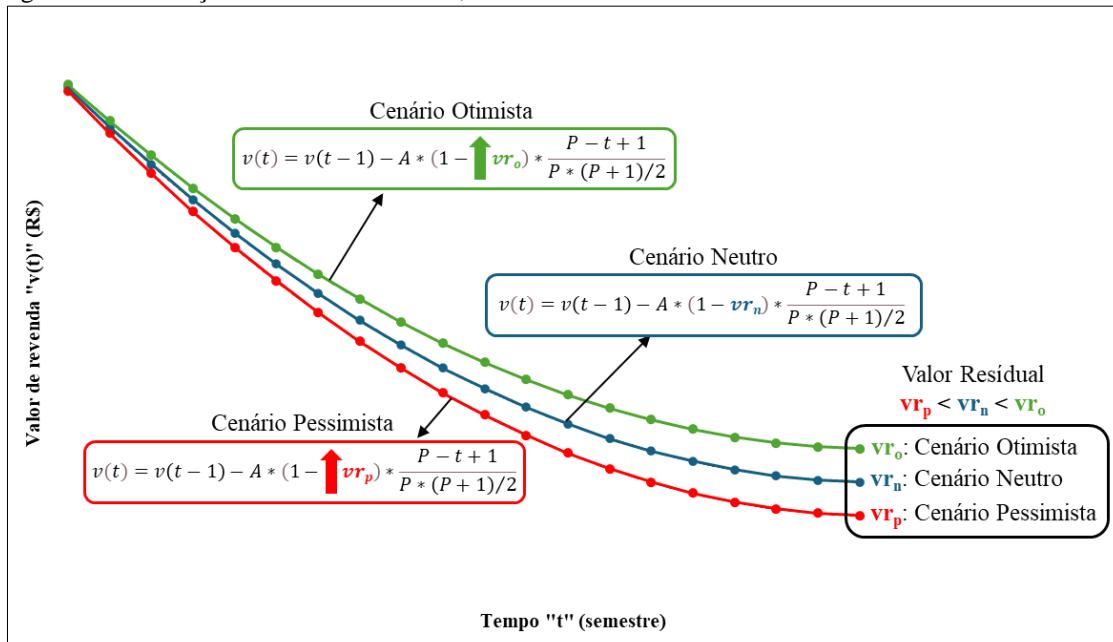


Fonte: Autor (2024).

Onde: a_p : coeficiente “a” do cenário pessimista; a_n : coeficiente “a” do cenário neutro”; a_o : coeficiente “a” do cenário otimista

Já o Valor de Revenda teve o seu valor calculado para os Cenários Otimista e Pessimista variando o Valor Residual do caminhão após a vida útil máxima para cima (Cenário Otimista) e para baixo (Cenário Pessimista). A mudança do valor residual de revenda altera a depreciação que ocorre no valor do veículo a cada período de sua operação calculados a partir a Equação 17. Assim, a cada período de operação, o Valor de Revenda do caminhão no Cenário Otimista é maior do que no Cenário Neutro, enquanto o Valor de Revenda do Cenário Pessimista a cada Período é menor (Figura 20).

Figura 20 – Ilustração dos Cenários Neutro, Otimista e Pessimista do Valor de Revenda.



Fonte: Autor (2024).

Onde: vr_p : valor residual do cenário pessimista; vr_n : valor residual do cenário neutro”; vr_o : valor residual do cenário otimista.

Os valores dos 27 subcerários foram inseridos na Programação Dinâmica para a geração dos resultados de vida econômica (momento ótimo de substituição dos veículos) para os diferentes contextos concebidos.

3.2.3. Programação Dinâmica

No Quadro 5 são descritos os elementos que constituíram a programação dinâmica do modelo matemático desta pesquisa.

Quadro 5 – Variáveis da Programação Dinâmica do Modelo.

Variável	Descrição	Fonte
Tempo de operação “t”	É determinada ao longo do horizonte de projeto a cada estágio da programação dinâmica, considerando a data em que o veículo iniciou a sua operação. É uma variável independente que impacta nos valores de Custo de O&M “C(m,t,T)” e de Valor de Revenda “v(m,t,T)”. O intervalo de tempo entre estágios (mês, semestre, ano etc.) é adotado a critério do projetista, sendo adotado na presente pesquisa um intervalo semestral (seis meses).	Dados históricos e Projeção do modelo
Modelo do veículo “m”	Cada modelo de veículo estudado deverá apresentar uma função de correlação específica para as variáveis Custo de O&M “C(m,t,T)” e Valor de Revenda “v(m,t,T)”, além de seu valor de aquisição “A(m,T)” correspondente.	Mercado
Valor de Aquisição “A(m,T)”	Valor de Aquisição “A(m,T)” do veículo novo. Deve ser considerado o valor de aquisição específico do modelo “m” e a variação desse no horizonte de projeto “T”, o qual é corrigido pela Taxa Inflação “j”.	Dados de mercado/Dados históricos
Custo de O&M “C(m,t,T)”	Todos os custos relacionados à operação e à manutenção do veículo. Esse custo pode ser apresentado em uma única variável ou pode ser dividida em mais variáveis de custo em função do detalhamento dos dados da empresa e do impacto positivo na aplicação do modelo. Essa variável é função do modelo do veículo “m”, do tempo de operação “t” e do tempo período no horizonte de projeto “T”.	Dados históricos/ Literatura
Valor de revenda “v(m,t,T)”	É o valor estimado que é recuperado com a venda do veículo em uso, caso este seja substituído; ou o valor que o proprietário ainda deterá no próximo período, caso decida não realizar a substituição, já que ainda será o proprietário desse ativo (caminhão compactador). Esse valor tende a decair ao longo da operação do veículo. Essa variável é função do modelo do veículo “m”, do tempo de operação “t” e do tempo período no horizonte de projeto “T”.	Dados de mercado/Dados históricos
Melhor resultado do estágio anterior “fN”	Utilizada na equação recursiva para inserir como variável da análise os resultados dos estágios futuros.	Modelo
Taxa de desconto “i”	Taxa utilizada para calcular o valor presente das variáveis monetárias do modelo.	Mercado/ Literatura
Taxa de inflação “j”	Taxa utilizada para projetar o custo de uma variável monetária em algum momento no futuro.	Mercado
Tempo do horizonte de projeto “T”	Tempo decorrido do ano zero do horizonte de projeto até o estágio em análise. Essa variável é utilizada para calcular os valores presentes de todas as variáveis monetárias do modelo no ano zero.	Modelo

A programação dinâmica foi utilizada no modelo para a geração de solução ótima dentro de um leque maior de opções de políticas de substituição a cada estágio no horizonte de projeto de operação dos veículos coletores de RSU. Em conformidade com Taha (2008), a programação dinâmica foi constituída pelos seguintes elementos:

- **Elemento 1:** estágio T, representado pelo semestre T, sendo $T = 1, 2, 3, \dots, n$;
- **Elemento 2:** as alternativas no Estágio (semestre) T recomendam manter ou substituir o veículo no início do semestre T;
- **Elemento 3:** o Estado (t) no Estágio T é a idade do veículo no início do ano T.

Considerando que o veículo tenha “t” anos no início do estágio T, foi definido o custo mínimo para os anos “1, 2, 3, [...], n” entre as alternativas de Manter (M) e de Substituir (S) o caminhão compactador. O cálculo recursivo da Programação Dinâmica identifica a solução ótima de um subproblema no final do horizonte de projeto, a solução foi utilizada como dado de entrada na solução do subproblema anterior no horizonte de projeto, e assim os subproblemas foram resolvidos do final (último ano) até o início (primeiro ano) do horizonte de projeto. Quando todos os subproblemas foram resolvidos, foi encontrada a solução ótima para o problema, no caso, o momento de substituição do veículo que minimiza os custos ou que maximize os ganhos (vida útil econômica).

A Equação 20 e a Equação 21 são derivadas e recursivas, sendo a primeira equação aplicada ao último estágio do horizonte de projeto e a segunda aos estágios anteriores da análise. Essas equações foram adaptadas de Taha (2005), Marques (2005), Biagiotti Filho (2005) e Plizzari (2017), incluindo o cálculo do valor presente, também viabilizando a comparação de veículos de modelos diferentes na Programação Dinâmica.

$$f_i(m, t, T) = \min \begin{cases} [c(m_1, t_1, T) * (1 + i)^{-(T+0,5)}] - [v(m_1, t_1 + 1, T - t_1) * (1 + i)^{-(T+1)}], & \text{se manter} \\ [A(m_2, T) - v(m_1, t_1, T - t_1) * (1 + i)^{-T}] + [c(m_2, 0, T) * (1 + i)^{-(T+0,5)}] - [(v(m_2, 1, T)) * (1 + i)^{-(T+1)}], & \text{se substituir} \end{cases} \quad (20)$$

$$f_i(m, t, T) = \min \begin{cases} [c(m_1, t_1, T) * (1 + i)^{-(T+0,5)}] + [f_{N+1} * (m_1, t_1 + 1, T + 1)], & \text{se manter} \\ {[A(m_2, T) - v(m_1, t_1, T - t_1)] * (1 + i)^{-T}} + [c(m_2, 0, T) * (1 + i)^{-(T+0,5)}] + [f_{N+1}(m_2, 1, T + 1)], & \text{se substituir} \end{cases} \quad (21)$$

Onde:

$f_i(m, t, T)$ = função de decisão entre manter e substituir (R\$);

$c(t, m, T)$ = Custos do veículo (R\$);

$v(m, t, T)$ = valor de revenda do veículo (R\$);

$A(m, T)$ = Valor de aquisição do veículo novo;

i = Taxa de desconto

T = Tempo decorrido no horizonte de projeto (semestre)

m = modelo do veículo

t = tempo de operação do veículo desde o início de sua utilização (semestre)

(m_1, t_1) = variáveis relativas ao veículo em uso (defensor)

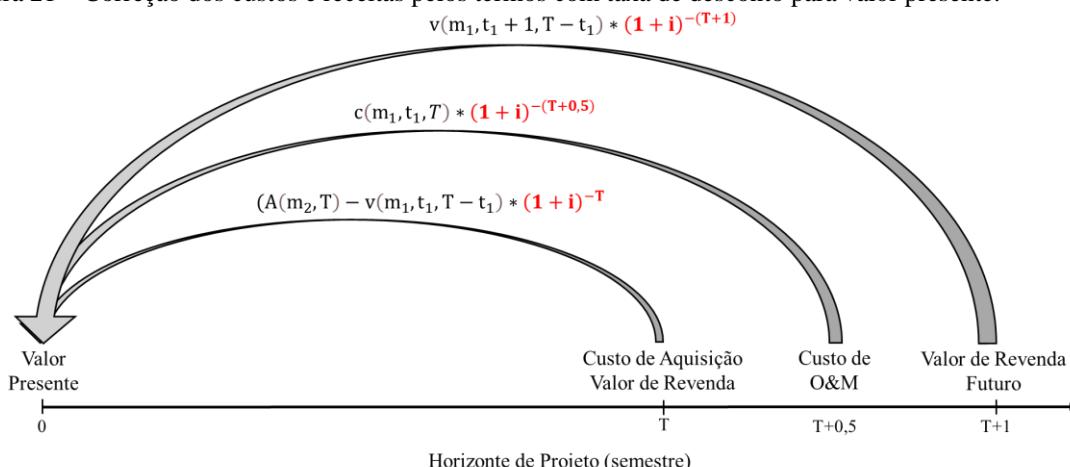
(m_2, t_2) = variáveis referentes ao veículo novo (desafiante)

A fim de comparar os valores no momento zero do fluxo de caixa, foram realizados ajustes dos valores no tempo pelos termos com a taxa de desconto “ $(1 + i)^{-T}$ ”, “ $(1 + i)^{-(T+0,5)}$ ” e “ $(1 + i)^{-(T+1)}$ ” que trazem a valor presente, respectivamente, os valores

incidentes no início (Custo de Aquisição e Valor de Revenda), de forma distribuída (Custo de O&M) e no final de um semestre (Valor de Revenda Futuro).

No início do semestre ocorre a revenda do veículo antigo e a aquisição do novo, sendo esses valores ajustados pelo termo “ $(1 + i)^{-T}$ ”. De forma distribuída no semestre ocorre o custo de operação e manutenção, o qual, para facilitar a análise, é considerado como incidente no meio do semestre (centro de gravidade), passando a ser corrigido a valor presente pelo termo “ $(1 + i)^{-(T+0,5)}$ ”, com “ $T+0,5$ ” representado o momento central do semestre. Já no final do semestre é calculado o valor de receita que o veículo em operação geraria caso fosse revendido no semestre seguinte (Valor de Revenda Futuro), o qual é ajustado pelo termo “ $(1 + i)^{-(T+1)}$ ”, com “ $T+1$ ” representando o início do semestre seguinte. O efeito desses termos da equação da programação dinâmica no ajuste dos valores de custo e receita para valor presente é ilustrado na Figura 21.

Figura 21 – Correção dos custos e receitas pelos termos com taxa de desconto para valor presente.



Fonte: Autor (2024).

Além disso, como o Custo de O&M, o Custo de Aquisição de um novo veículo e o Valor de Revenda, para um mesmo tempo “ t ” de operação do veículo, podem ocorrer em diferentes estágios “ T ” do horizonte temporal, esses três parâmetros precisam ser corrigidos pela inflação, que no contexto econômico costuma aumentando o preço de produtos e serviços (inflação positiva). Assim, para corrigir esses valores, no modelo são utilizados as Equações 22, 23 e 24.

$$A(m, T) = A(m) * (1 + j)^T \quad (22)$$

$$C(m, t, T) = c(m, t) * (1 + j)^T \quad (23)$$

$$v(m, t, T) = v(m, t) * (1 + j)^{T+1} \quad (24)$$

Sendo:

$A(m, T)$: custo de aquisição corrigido pela inflação;

$C(m, t, T)$: custo de O&M corrigido pela inflação;

$v(m, t, T)$: valor de revenda corrigido pela inflação;

j : o valor da inflação (%);

$A(m)$: o valor original de aquisição do modelo de veículo analisado (R\$);

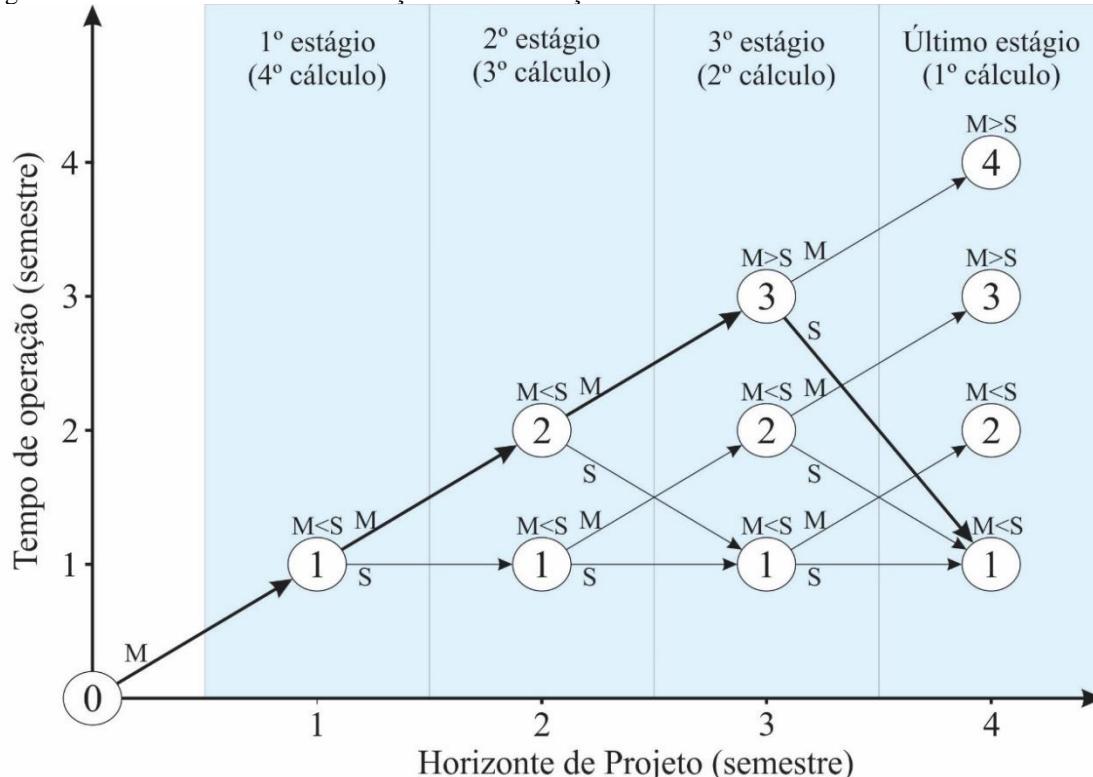
$c(m, t)$: custo de O&M original proveniente da regressão que varia dependendo do modelo de veículo (R\$);

$v(m, t)$: valor de revenda original proveniente da regressão de depreciação do veículo (R\$);

$(1 + j)^T$: termo utilizado para corrigir custos e receber pela inflação.

Na Figura 22 é apresentada ilustrada de uma rede ou árvore de decisão com a função ótima em que a decisão sempre é tomada optando pela alternativa que gera o menor custo entre Manter (M) o veículo defensor ou Substituí-lo (S) pelo veículo desafiante, o que, neste último caso, implica na aquisição de um veículo novo que terá um semestre de idade no estágio seguinte ao da sua troca.

Figura 22 – Árvore de decisão com função de minimização de custo.



Fonte: Autor (2024).

No semestre 0 (zero), como o veículo é novo, a única opção é permanecer com o veículo. Já no semestre 1 (um), as opções são: a) manter o veículo, que terá 2 (dois)

semestres no estágio seguinte, ou; b) substituí-lo por um veículo novo, de mesmo modelo ou não, que tem 0 (zero) semestre no estágio da troca e terá 1 (um) semestre no estágio seguinte. Essas opções de escolha se repetem nos estágios seguintes, sendo que o tempo de operação do veículo no próximo estágio, caso o veículo seja mantido, será sempre um semestre a mais em relação ao estágio atual, e quando substituído, a idade do novo veículo no estágio seguinte será 1 (um) semestre.

Na Figura 22 também é evidenciado que no segundo semestre (segundo estágio) as opções de tempo de operação do veículo para o estágio seguinte (terceiro estágio) são 1 (um) e 2 (dois) semestres, no terceiro semestre as opções para o seu estágio seguinte (quarto estágio) são 1 (um), 2 (dois) e 3 (três) semestres e assim sucessivamente.

Valo observar que a Programação Dinâmica do modelo que foi aplicado nesta pesquisa é recursiva, implicando dizer que primeiramente são encontradas as soluções das funções (Equação 25) de decisão dos subproblemas do último estágio (4º estágio, no caso do exemplo ilustrado na Figura 22), sendo para cada um dos quatro tempos de operação possíveis do veículo (de 1 a 4 semestre), tomada a decisão pela alternativa que apresente o menor custo entre manter ou substituir o veículo. O resultado da solução é utilizado nos subproblemas do próximo estágio (3º estágio), onde o mesmo procedimento é realizado utilizando a Equação 26 como função de decisão para os três tempos de operação possíveis do veículo nesse estágio (de 1 a 3 semestres). Os resultados das soluções com menores custos são aplicados nos próximos estágio até serem calculados todos os subproblemas.

No Quadro 6 são apresentados os cálculos dos estágios que geraram o comportamento da rede de decisão da Figura 22.

Quadro 6 – Exemplo de resolução de Programação Dinâmica do modelo desta pesquisa.

Estágio 4					
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Solução	
				f4(m,t,T)	Decisão
1	$[c(m_1, 1) * (1 + i)^{-4}] - [v(m_1, 2) * (1 + i)^{-5}]$	$[(A(m_2, 4) + c(0, m_2, 0) - v(m_2, 1) - v(m_1, 1)) * (1 + i)^{-4}]$	M < S	f4(m,1,5)	M
2	$[c(m_1, 2) * (1 + i)^{-4}] - [v(m_1, 3) * (1 + i)^{-5}]$	$[(A(m_2, 4) + c(0, m_2, 0) - v(m_2, 1) - v(m_1, 2)) * (1 + i)^{-4}]$	M < S	f4(m,2,5)	M
3	$[c(m_1, 3) * (1 + i)^{-4}] - [v(m_1, 4) * (1 + i)^{-5}]$	$[(A(m_2, 4) + c(0, m_2, 0) - v(m_2, 1) - v(m_1, 3)) * (1 + i)^{-4}]$	M > S	f4(m,3,5)	S
4	$[c(m_1, 4) * (1 + i)^{-4}] - [v(m_1, 5) * (1 + i)^{-5}]$	$[(A(m_2, 4) + c(0, m_2, 0) - v(m_2, 1) - v(m_1, 4)) * (1 + i)^{-4}]$	M > S	f4(m,4,5)	S
Estágio 3					
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Solução	
				f3(m,t,T)	Decisão
1	$[c(m_1, 1) * (1 + i)^{-3}] + [f_4(m_1, 2, 4)]$	$[(A(m_2, 3) + c(0, m_2, 0) - v(m_1, 1)) * (1 - i)^{-3}] + [f_4(m_2, 1, 4)]$	M < S	f3(m,1,4)	M
2	$[c(m_1, 2) * (1 + i)^{-3}] + [f_4(m_1, 3, 4)]$	$[(A(m_2, 3) + c(0, m_2, 0) - v(m_1, 2)) * (1 - i)^{-3}] + [f_4(m_2, 1, 4)]$	M < S	f3(m,2,4)	M
3	$[c(m_1, 3) * (1 + i)^{-3}] + [f_4(m_1, 4, 4)]$	$[(A(m_2, 3) + c(0, m_2, 0) - v(m_1, 3)) * (1 - i)^{-3}] + [f_4(m_2, 1, 4)]$	M > S	f3(m,3,4)	S
Estágio 2					
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Solução	
				f2(m,t,T)	Decisão
1	$[c(m_1, 1) * (1 + i)^{-2}] + [f_3(m_1, 2, 3)]$	$[(A(m_2, 2) + c(0, m_2, 0) - v(m_1, 1)) * (1 - i)^{-2}] + [f_3(m_2, 1, 3)]$	M < S	f2(m,1,3)	M
2	$[c(m_1, 2) * (1 + i)^{-2}] + [f_3(m_1, 3, 3)]$	$[(A(m_2, 2) + c(0, m_2, 0) - v(m_1, 2)) * (1 - i)^{-2}] + [f_3(m_2, 1, 3)]$	M < S	f2(m,2,3)	M
Estágio 1					
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Solução	
				f1(m,t,T)	Decisão
1	$[c(m_1, 1) * (1 + i)^{-1}] + [f_2(m_1, 2, 2)]$	$[(A(m_2, 1, 1) + c(m_2, 0) - v(m_1, 1)) * (1 - i)^{-1}] + [f_2(m_2, 1, 2)]$	M < S	f1(m,1,2)	M

Fonte: Autor (2021).

*tempo em semestres.

O exemplo de Programação Dinâmica do Quadro 6 foi realizado para um horizonte de projeto de quatro semestres para demonstrar de forma simplificada o funcionamento do modelo, mas o problema pode ser desenvolvido para outros valores de horizonte de projeto. No caso do modelo dessa pesquisa, o horizonte temporal utilizado foi definido com base na análise estatística feita na Etapa 1 com os valores de Vida Útil identificados em documentos nacionais.

No caso da presente pesquisa, foi definido que a Programação Dinâmica seria desenvolvida com a unidade temporal do horizonte de projeto dividido em semestres. Isso significa que a cada semestre foi avaliado se o veículo em operação (defensor) deve permanecer ou se deve ser alterado por um veículo novo (desafiante).

Assim, com base nos Parâmetros de Interesse, na Técnica de Cenários e Programação Dinâmica Anteriormente descritos, nos resultados da pesquisa é apresentado o fluxograma do modelo matemático de determinação da vida útil econômica do veículo coletor de RSU da presente pesquisa.

3.3. ETAPA 3: PROCESSAMENTO DOS DADOS E GERAÇÃO DE RESULTADOS

A última etapa da pesquisa foi dividida em três atividades, no caso:

- Fase 3.1: Aplicação do Modelo;
- Fase 3.2: Tratamento Estatístico e Tomada de Decisão;
- Fase 3.3: Comparação com os valores de vida útil praticados no Brasil (Etapa 1).

3.3.1. Aplicação do Modelo

Nessa fase da pesquisa foram utilizados dados históricos de três veículos coletores de RSU da empresa Terraplena, que atende parcela da área urbana do município de Belém com 42 caminhões compactadores (Anexo 4). A amostra de três veículos se deu em razão de a empresa ter fornecido dados de sete caminhões, dos quais apenas três eram do mesmo modelo.

Na definição dos Custos de O&M foram considerando todos os custos relacionados à operação e à manutenção, os quais são: custo com combustível, custo com

troca de peças, custo com recauchutagem, custos com troca de pneus, custo com óleos e graxas e custo com lavagem.

Esses diferentes custos podem ser inseridos no modelo segregadamente (com uma variável específica para cada tipo custo) ou em uma única variável que some todos ou parcela deles. Essa decisão é realizada a critério do gestor, sendo importante optar pelo arranjo que forneça os melhores coeficientes de determinação e o menor desvio padrão para as funções das variáveis. No caso da modelagem desta pesquisa, todos esses custos foram resumidos na variável “Custo de O&M”.

Os Valores de Revenda foram definidos considerando o Custo de Aquisição do veículo novo e o Valor Residual após a vida útil máxima definida para o veículo (vr , em %), que foi identificado a partir de pesquisa em documentos técnicos. Assim, o Custo de Aquisição e o Valor Residual foram aplicados à Equação 17 para identificar o Valor de Revenda em cada semestre de idade do veículo. Esses Valores de Revenda de cada semestre do veículo foram utilizados na determinação da função do valor de revenda (Equação 16).

O Custo de Aquisição foi identificado com base nos dados de compra do veículo coletor em análise, fornecidos pela empresa Terraplena. O valor da Inflação utilizado no modelo foi o Índice de Preços ao Consumidor (IPCA) do ano de 2023 divulgado pelo IBGE. Já o valor de Taxa de Desconto foi adotado do documento “Cálculo da Tarifa Média Máxima (P_0) da 1ª Revisão Tarifária Ordinária de Água e Esgoto da Companhia de Serviços de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá – SAEG” da Agência Reguladora de Serviços Públicos do Estado de São Paulo (ARSESP) para o ano de 2023.

Assim, com todos as variáveis de interesse identificadas, foi realizada a aplicação desses dados no modelo matemático desenvolvido para a determinação da vida útil econômica para cada um dos 27 subcenários simulados.

3.3.2. Tratamento estatístico e resultados e tomada de decisão

Considerando os subcenários opostos, foram elaborados, a partir de seus resultados de vida útil econômica e momento ótimo de substituição, 13 faixas de valores de vida útil econômica com base no menor e no maior valor de cada par de subcenário opostos, os quais foram plotados graficamente para visualização da amplitude dos resultados e dos valores de vida útil coincidentes nas 13 faixas.

Foi utilizada estatística descritiva para analisar os resultados de vida útil econômica dos 27 subcenários simulados com a criação de intervalos de classes entre os valores máximo e mínimo da série de dados. O número de classes (k) foi determinado utilizando a fórmula de Sturges para quantidade de dados (n) superior a 25 unidades, conforme Equação 14.

A partir das frequências das classes criadas, foi elaborado um Gráfico Boxplot com o intuito de visualizar a dispersão dos dados, tendo como referência os quartis da série, e identificar a densidade da distribuição. Também foi elaborado um histograma para visualizar a série de dados agrupada em classes de frequência, de modo que possibilitasse identificar os valores de vida útil tiveram maior e menor recorrência dentro da amplitude dos dados. Em conjunto a este gráfico, foi plotado um gráfico de ajuste normal e outro de ajuste de suavização de densidade a fim de, na comparação entre ambos, visualizar se a série de dados tinha uma distribuição normal ou de outra natureza.

Além disso, também foi elaborado o gráfico de Pareto para facilitar a visualização da frequência dos valores de vida útil econômica dos 27 subcenários e nortear a tomada de decisão. No caso, na elaboração desse gráfico, foram plotados os valores de vida útil econômica ao longo do eixo horizontal, em ordem decrescente de contagem; e foi representada em uma curva percentual acumulada da ocorrência de cada valor de vida útil econômica. As análises estatísticas foram realizadas no *Minitab Statistical Software 22*.

3.3.3. Comparação com os valores de vida útil praticados no Brasil

A partir dos resultados das 27 simulações, foram comparados os custos de substituição do veículo no semestre ótimo identificado com os custos de substituição após a vida útil máxima definida para o caminhão na Etapa 1. A diferença entre esses dois valores resultou na economia gerada pela substituição do caminhão no momento ótimo.

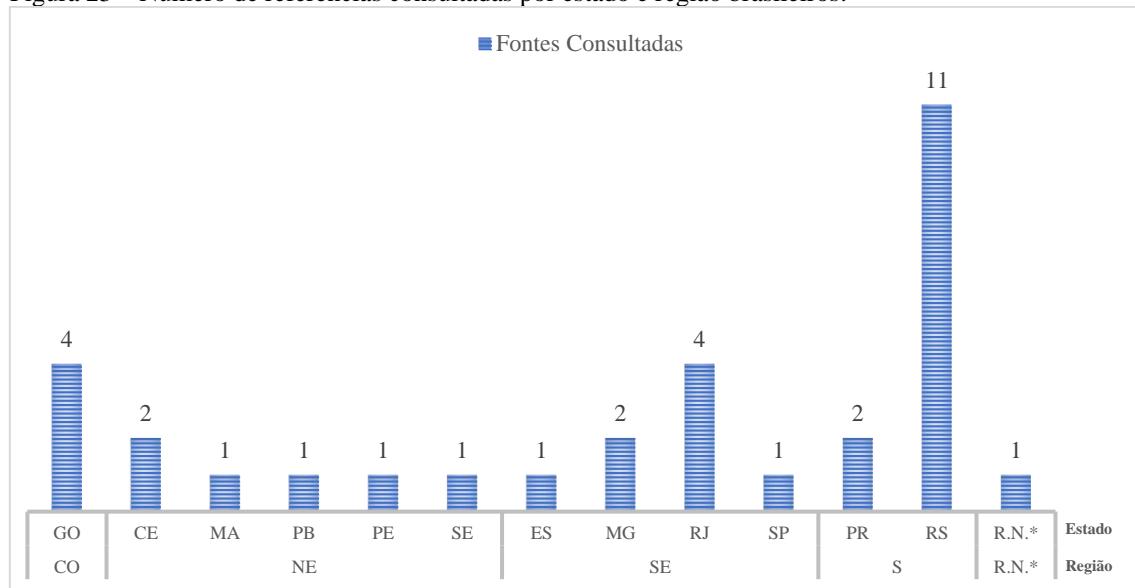
Por fim, foram elaborados gráficos boxplot com os valores de economia, em reais e percentual, para a visualização e a análise da distribuição desses valores em três diferentes grupos: a) valores economizados nos 27 subcenários; b) valores economizados nos valores em torno da moda dos resultados e; c) valores economizados apenas na moda dos resultados. Com isso, foi possível identificar o valor a ser economizado com a substituição do veículo no momento ótimo de substituição mais provável.

4. RESULTADOS

4.1. LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE VALORES DE VIDA ÚTIL PRATICADOS

Os dados da pesquisa foram levantados em 32 documentos de diferentes localidades do Brasil, dos quais foram extraídos os valores de vida útil estabelecidos ou recomendados para veículos coletores de RSU, considerando apenas veículos tipo compactadores. Na Figura 23 é apresentada a quantidade de referências identificadas por estado de onde as mesmas são provenientes.

Figura 23 – Número de referências consultadas por estado e região brasileiros.

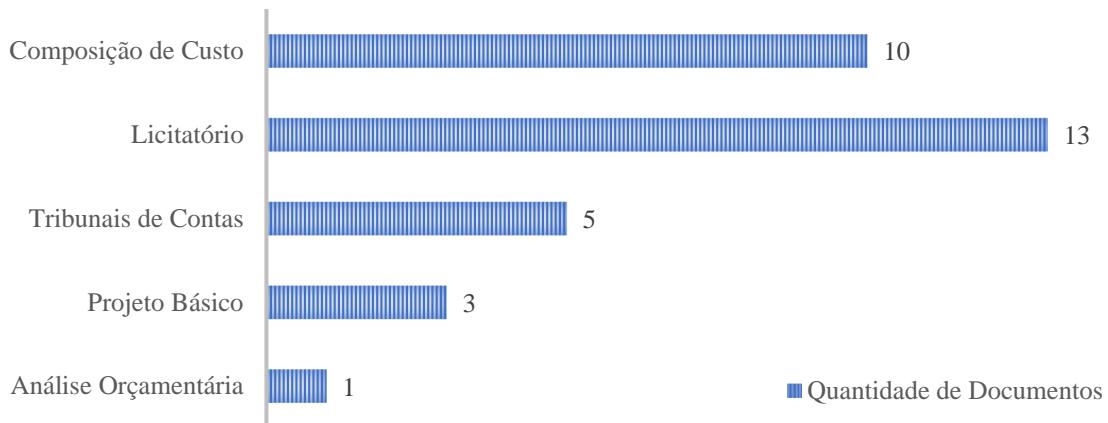


*R. N.: Referência Nacional.

A região Sul foi a com maior número de referências encontradas na pesquisa, totalizando 13 (40,63%) dos estados Paraná e Rio Grande do Sul, sendo o último o estado com maior ocorrência (11 referências, correspondendo a 34,38% do total). Em seguida estão a região Sudeste, Nordeste e Centro-Oeste com oito (25,00%), seis (18,75%) e quatro (12,50%) referências, respectivamente, além de uma referência de documento nacional. No caso da região Norte do Brasil, não foi encontrada nenhuma referência de vida útil de veículo coletor de RSU.

Os documentos consultados foram divididos, de forma geral, em 5 grupos de acordo com as suas características. Na Figura 24 é apresentada a divisão dos 32 documentos de referência da pesquisa por tipo.

Figura 24 – Tipos de documentos consultados.



A maior parte dos documentos são do tipo Licitatório (40,63%) e de Composição de Custo (31,25%), ou seja, documentos que têm impacto direto no planejamento financeiro das entidades prestadoras dos serviços. O terceiro tipo em número de documentos consultados foi o de Tribunais de Contas (15,63%), tais documentos podem ter os valores de vida útil neles apresentados adotados por empresas do ramo. Da mesma forma os documentos de Projeto Básico (9,38%) que, além de determinar o valor de vida útil dos veículos pertencentes à entidade formuladora do projeto, também podem servir como referência a terceiros. O com menor recorrência foi o de Análise Orçamentária, com apenas um documento (3,13%).

Entre os documentos levantados, não foi identificado nenhum estudo acadêmico ou qualquer pesquisa tecno-científica voltada para a determinação da Vida Útil Econômica (vida útil que minimiza os custos ou maximiza as receitas) de veículos coletores de RSU, o que parece ser uma lacuna na literatura a qual essa tese possa contribuir para iniciar o debate acadêmico.

Os valores de vida útil adotados pelas empresas de coleta e transporte de resíduos sólidos definem as políticas de substituição de seus veículos compactadores, delimitando o período em que o valor investido na aquisição desse bem gerará retorno para a empresa, ao mesmo tempo em que define o período em que demandará insumos operacionais e manutenção, os quais tendem a aumentar ao longo dos anos.

A fim de identificar alguns valores de vida útil praticados no Brasil e a forma como esses valores são definidos, foi elaborada a Tabela 3, com 35 valores de vida útil de veículos coletores de RSU do tipo compactador levantados nas 32 referências pesquisadas.

Tabela 3 – Referências de valores de vida útil.

Região	Estado	Vida Útil (anos)	Fonte	Referência
Centro-Oeste	GO	4,00*	IN SRF n 162 de 1998	Goiás (2016)
	GO	2,67**	IN SRF n 162 de 1999	Goiás (2016)
	GO	2,00**	IN SRF n 162 de 2000	Goiás (2016)
	GO	4,00	N.I.	Goiatuba (2017)
	GO	5,00	N.I.	Catalão (2017)
	GO	3,00	N.I.	Pirenópolis (2021)
Nordeste	CE	12,00	N.I.	Alto Santo (2017)
	CE	7,00	N.I.	Graça (2021)
	MA	5,00	N.I.	São José de Ribamar (2017)
	PB	5,00	N.I.	Bayeux (2021)
	PE	5,00	N.I.	Cedro (2017)
	SE	5,00	N.I.	Itaporanga D'Ajuda (2019)
Sudeste	ES	8,00	Experiência Interna	Guaçuí (2020)
	MG	5,00	N.I.	Baependi (2019)
	MG	5,00	N.I.	Ubá (2010)
	RJ	5,00	N.I.	Pinheiro e Ferreira (2017)
	RJ	4,00	N.I.	Maricá (2019)
	RJ	5,00	N.I.	Itaguaí (2017)
Sul	RJ	5,00	N.I.	Carmo, 2017 (apud Rio de Janeiro, 2019)
	SP	5,00	N.I.	São Paulo (2018)
	PR	5,00	N.I.	Araucária (2017)
	PR	5,00	N.I.	São José dos Pinhais (sem data)
	RS	10,00	DETTRAN e LictaCon	Porto Alegre (2017)
	RS	8,00	Determinação da administração	Augusto Pestana (2019)
	RS	10,00	Valores de referência (TCE/RS)	Boa Vista do Cadeado (2019)
	RS	10,00	N.I.	Encruzilhada do Sul (2018).
	RS	10,00	N.I.	Barra do Ribeiro (2020)
	RS	10,00	N.I.	Arroio do Meio (sem data)
	RS	7,00	N.I.	Canoas (2018)
	RS	10,00	Valores de referência (TCE/RS)	Taquari (2021)
	RS	10,00	N.I.	São Borja (2020)
	RS	10,00	N.I.	Torres (2018)
	RS	5,00	N.I.	Faxinal do Soturno (sem data)
	F. N.	5,00**	N.I.	IBRAOP (2017)
	F. N.	10*	N.I.	IBRAOP (2017)

Nota: *1 turno de operação; **2 turnos de operação; ***3 turnos de operação; N.I.: Não Informado.

Obs.: No caso dos documentos em que eram apresentados os valores de vida útil do Chassi e do Equipamento Compactador separadamente, porém iguais, foi considerado os dois acoplados como “caminhão compactador”.

Apenas seis (21,88%) das 32 referências pesquisadas apresentaram descrição de alguma fonte que embasou a adoção dos valores de vida útil dos veículos coletores de RSU dispostos em seus documentos.

No caso do Manual de Orientações para Análise de Serviços de Limpeza Urbana do Tribunal de Contas dos Municípios do Estado de Goiás (TCM/GO), foram recomendados valores da Instrução Normativa (IN) SRF nº 162 de 1998 que fixava prazo de vida útil dos bens (GOIÁS, 2016). Atualmente essa IN é revogada pela IN RFB nº 1700 (BRASIL, 1998), de 14 de março de 2017, que continua a apresentar valores de vida útil (BRASIL, 2017). No entanto, os valores estabelecidos em ambos os documentos são para fins fiscais, não tendo aplicação na determinação da vida útil efetiva dos ativos neles citados, dentre os quais constam veículos automotores.

Com base no Comitê de Pronunciamentos Contábeis – CPC 27 (2009, p. 3), a vida útil de um bem corresponde ao “período de tempo durante o qual a entidade espera utilizar o ativo” ou “o número de unidades de produção ou de unidades semelhantes que a entidade espera obter pela utilização do ativo”. Assim sendo, cabe à entidade detentora do veículo coletor de RSU definir o período de vida útil em que esse bem será por ela utilizado.

Assim, uma vez que é esperado que os veículos sejam utilizados por um período até que, em razão da queda de rendimento, elevação dos custos e ocorrência de falhas, devam ser retirados de operação e novos equipamentos sejam introduzidos aos processos, as entidades responsáveis pela decisão de substituição dos veículos devem prezar por um valor de vida útil que torne os resultados econômicos e funcionais da utilização desse equipamento o mais eficiente possível. Hastings (2010) comenta que a duração da vida do equipamento pode ser baseada no julgamento técnico (vida útil) ou em análise de custo (vida econômica). Silva, Nogueira e Reis (2012) e Tusi et al. (2019) acrescentam que a vida econômica corresponde ao tempo de utilização de um equipamento, no qual ele é capaz de produzir o máximo possível e ao menor custo para a empresa.

Porto Alegre (2017) afirmou que, salvo municípios em que os veículos coletores trabalham em dois turnos ou mais, é adequada a adoção de vida útil de 10 anos para composição do custo de referência. O autor, utilizando valores de referência do Departamento de Trânsito do Estado (DETRAN/RS) e do LicitacCon¹⁷, chegou a essa conclusão ao observar que na frota de veículos analisada, cerca de 40% dos caminhões em operação tinham mais de cinco anos e cerca de 20% tinham mais de 10 anos de uso.

¹⁷ Sistema informatizado desenvolvido pelo TCE-RS para controle e monitoramento das licitações e contratos administrativos firmados pelos órgãos, poderes e entidades das esferas públicas do Estado do Rio Grande do Sul.

Com isso, percebe-se que Porto Alegre (2017) utilizou dados históricos provenientes de diferentes locais, reunidos por órgãos públicos, para estabelecer valores de referência de vida útil, o que demonstra a adoção de parâmetros tecnicamente fundamentados. Porém, vale observar que, apesar dos parâmetros estabelecidos a partir dos dados históricos poderem orientar gestores em suas tomadas de decisão, os mesmos não, necessariamente, refletem a realidade de operação dos veículos das entidades dentro de seus contextos locais.

Nesse sentido, o Instituto Brasileiro de Auditoria de Obras Públicas – IBRAOP (2017) afirma que na determinação da vida útil dos veículos devem ser utilizados, preferencialmente, estudos regionais para maior precisão. Mas o autor também comenta que se pode considerar valores entre 5 e 10 anos, sendo, em caso de utilização dos veículos em dois ou mais turnos, recomendada a adoção dos valores próximos ao limite inferior; e em situações de um único turno, os valores próximos ao limite superior.

Taquari (2021) e Boa Vista do Cadeado (2019), considerando os achados de Porto Alegre (2017), também adotaram os valores de vida útil de 10 anos em seus documentos, o que demonstra que, em alguns casos, os valores estabelecidos para vida útil de veículos ocorrem pela mera repetição de valores preexistentes na literatura, os quais não consideram as peculiaridades locais e específicas de operação dos veículos.

Augusto Pestana (2019) teve o valor de vida útil estabelecido por determinação da administração. A experiência de agentes que atuem no setor de coleta e transporte de RSU, tanto público quanto privado, também pode ser compreendido como critério técnico. No entanto, vale observar que quanto melhor fundamentada for a justificativa para a adoção de valores de vida útil, como com o apoio de análise de dados históricos da operação das frotas, por exemplo, melhor tenderá a ser o resultado.

Nos dados pesquisados, os valores de vida útil para os veículos compactadores usados na coleta de RSU variaram de 2 a 12 anos, com média de, aproximadamente, 6 anos e 6 meses. O valor mais recorrente foi cinco anos de vida útil (42,86%) seguido pelo valor de 10 anos (25,71%), sendo que ambos representam cerca de dois terços dos valores pesquisados, o que indica que esses valores de vida útil têm grandes probabilidades de serem os adotados numa eventual pesquisa de um gestor da área de coleta e transporte de RSU.

Ainda assim, nove diferentes valores de vida útil com diferentes recorrências foram identificados na pesquisa dentro da amplitude anteriormente comentada (de 2 anos a 12 anos). A fim de visualizar a distribuição desses dados, foi elaborado um gráfico

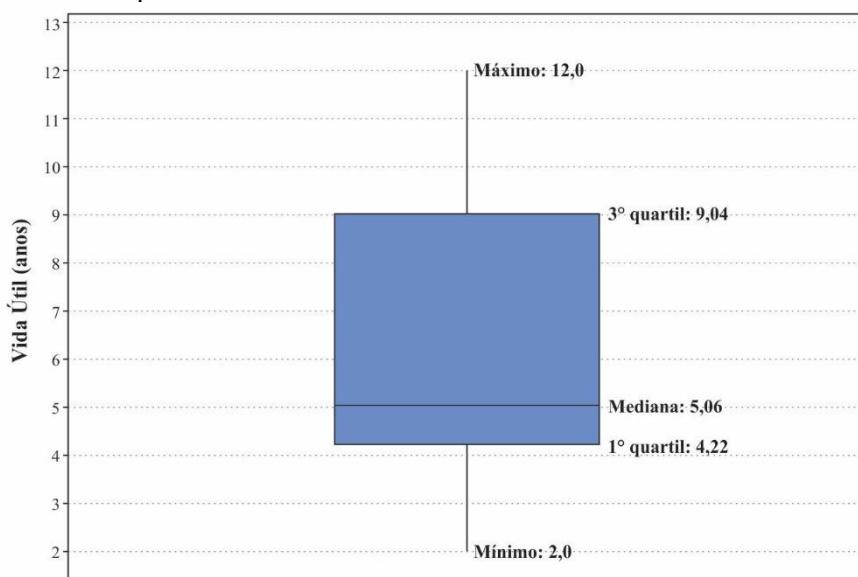
boxplot a partir de classes criadas para a série de dados de vida útil. Considerando a quantidade de dados (35 dados), foi determinado, usando a Equação 1 de Sturges, valor de 6,10 classes, que foi arredondado para seis classes, conforme apresentado na Tabela 4 com as suas respectivas frequências.

Tabela 4 – Classes e frequência da série de dados.

Classe	Intervalo	Frequência		Frequência Acumulada	
		Absoluta (quant.)	Relativa (%)	Absoluta (quant.)	Relativa (%)
1	2,00 ━━━━ 3,67	3	8,57%	3	8,57%
2	3,67 ━━━━ 5,33	18	51,43%	21	60,00%
3	5,33 ━━━━ 7,00	2	5,71%	23	65,71%
4	7,00 ━━━━ 8,67	2	5,71%	25	71,43%
5	8,67 ━━━━ 10,33	9	25,71%	34	97,14%
6	10,33 ━━━━ 12,00	1	2,86%	35	100,00%
Total	-	35	100,00%	-	-

Com os dados distribuídos uniformemente no intervalo de suas respectivas classes, foram identificados os quartis e a mediana da distribuição. Como trata-se de uma série de 35 dados, a mediana foi encontrada na posição 18, o primeiro quartil na posição 9 e o terceiro quartil na posição 27. Utilizando a distribuição das seis classes criadas, foi elaborado o diagrama de caixa apresentado Figura 25.

Figura 25 – Gráfico Boxplot dos valores de Vida Útil das classes.



Conforme pode ser observado, a mediana dos dados é igual a 5 anos de vida útil, ou seja, 50% dos dados levantados situam-se entre 2 e 5 anos de vida útil e os outros 50% entre 5 e 12 anos de vida útil. Assim, entre esses dois grupos, a maior densidade de dados

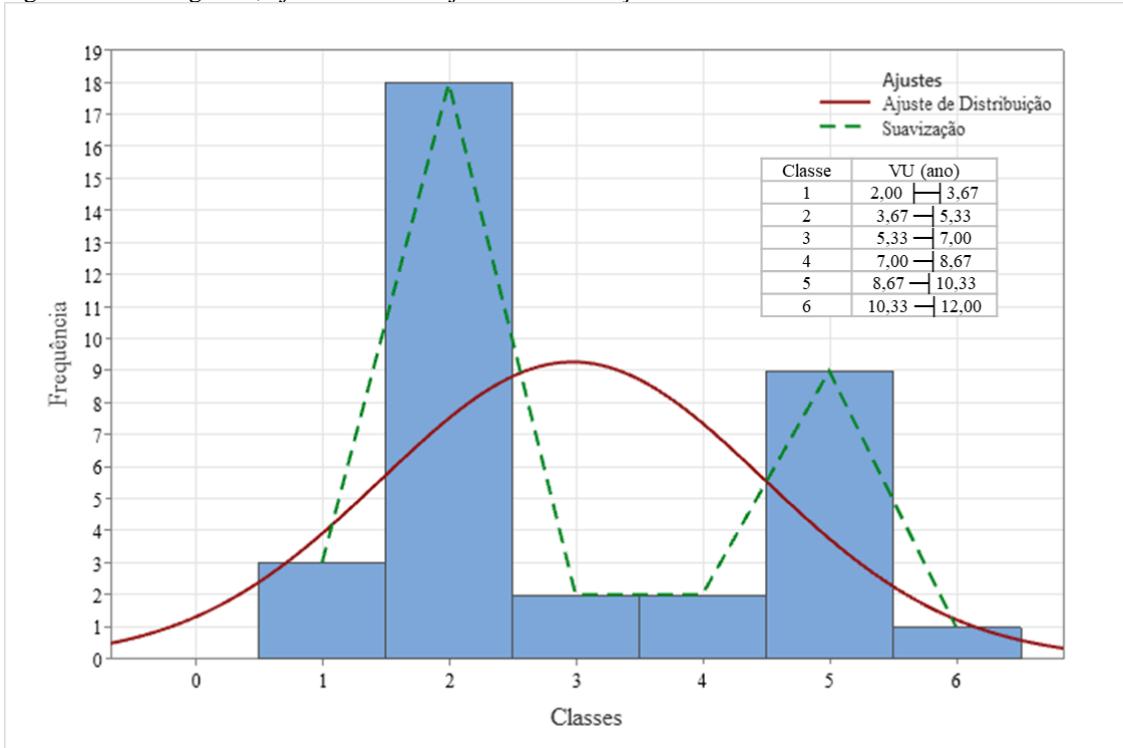
encontra-se na metade inferior à mediana, no caso, 17 dados de vida útil em um intervalo de apenas 3 anos, enquanto os outros 17 dados estão situados num intervalo de 7 anos.

Esse comportamento de menor densidade na distribuição dos dados superiores à mediana resultou na elevação da média dos dados (6 anos e 6 meses, aproximadamente) a um valor superior à mediana. Isso ocorre em conformidade com Feijoo (2010, p. 17) ao afirmar que “a média aritmética é grandemente influenciada pelos valores extremos da série”, e com Rodrigues, Lima e Barbosa (2017, p. 621) ao citar que a média “é afetada por valores discrepantes altos ou baixos”, já que o valor máximo (12 anos) da série de dados é mais distante da mediana (5 nos) em relação ao valor mínimo (2 anos).

Os 50% dos dados em torno da mediana, situados entre o primeiro e o terceiro quartil, não estão uniformemente distribuídos, sendo que os 25% inferiores, situados entre o primeiro quartil e a mediana, são todos iguais a 5 anos de vida útil, e os 25% superiores, localizados entre a mediana e o terceiro quartil, se encontram entre 5 anos e 9 anos de vida útil.

A partir dessas informações, pode ser inferido que os dados de vida útil estão distribuídos de forma desuniforme entre os limites mínimo (2 anos) e máximo (12 anos) do rol de dados, sendo a moda (dado que mais se repete na série) igual a 5 anos. Para a visualização dessa distribuição, na Figura 26 é apresentado o histograma de distribuição dos dados de vida útil por classes, um ajuste de distribuição de suavização e um ajuste normal.

Figura 26 – Histograma, ajuste normal e ajuste de suavização das classes de VU.



As classes com a primeira e segunda maior densidade foram a 2 e a 5, as quais contém os valores de 5 e 10 anos de vida útil, respectivamente. A classe 3, que abrange o valor médio de vida útil (aproximadamente 6 anos e 6 meses), tem pequena frequência na série de dados, resultando no que aponta Feijoo (2010), de que por sua natureza resumidora de todos os valores da série, a média pode vir a ser um valor não presente ou de pequena ocorrência na mesma.

A comparação entre os ajustes de distribuição permite identificar que o grupo de dados não se comporta de forma normal (com a maior concentração de dados em torno da média e da mediana), mas, sim, de forma bimodal, com duas regiões de valores com concentração de ocorrência de dados superiores em relação às demais regiões.

Tanto Porto Alegre (2017) quanto IBRAOP (2017) comentam a adoção de valores como 5 e 10 anos de vida útil em função da quantidade de turnos de operação, podendo ser essa uma causa implícita para a frequente adoção de ambos os valores na série de dados. A partir desse critério de números de turnos de operação para determinação da vida útil, pode-se inferir que esse parâmetro pode ser estabelecido considerando não apenas a sua idade, mas, também, a quilometragem rodada do veículo que tende a ser reflexo do seu regime de operação. Vale observar que outras variáveis particulares de

cada veículo e entidade também podem ter importância na determinação da vida útil econômica dos veículos coletores de RSU.

Como os dados levantados nos documentos não são resultantes de fenômenos naturais ou de processos que gerem previsibilidade de suas ocorrências próximas a uma média – pelo contrário, foram estabelecidos em grande parcela (27 dos 35 valores de vida útil analisados) sem fonte técnica, por meio da adoção de valores sugeridos em documentos de Tribunais de Conta ou de Instrução Normativa inadequada para o contexto –, é possível que o comportamento dos valores apenas reflitam o que costuma ser praticado no meio, com os valores mais recorrentes revelando as tendências de reprodução dos valores de vida útil.

Na literatura internacional, os valores de vida útil também são variados. Ferronato et al. (2020), desenvolvendo pesquisa na Bolívia, comenta que a vida útil típica de um veículo compactador comercial é de sete anos ou 250.000 km rodados. Já na cidade de Ambato no Equador, de acordo com Almeida (2013), esse valor é de oito anos, e na cidade de Havana em Cuba, considerando o exposto por Cuba (2007), é de 10 anos. No documento Global Waste Management Outlook, a United Nations Environment Programme – UNEP (2015) comenta valores entre cinco e sete anos de vida útil a serem adotados em contratos de veículos coletores de RSU para que seja possível a recuperação do investimento.

Nessa pequena amostra de dados da literatura internacional já é possível observar que os valores de vida útil dos veículos compactadores tendem a variar consideravelmente, o que evidencia a necessidade de cada empresa buscar priorizar parâmetros internos, que considerem as suas particularidades, na determinação desse parâmetro.

Espírito Santo (2019), em consulta a editais constantes do Geo-Obras, identificou, assim como na presente pesquisa, o valor de cinco anos de vida útil como o mais recorrente nos editais, apesar de não haver referências e justificativas que embasassem esse e os demais valores encontrados de vida útil.

Essa frequente ausência de critérios para o estabelecimento da vida útil de um veículo coletor pode levar o gestor a decidir por uma política de substituição dos veículos que seja economicamente onerosa. Assim, faz-se necessária a adoção, por parte dos gestores, de técnicas mais bem fundamentadas que auxiliem na política de substituição dos veículos de coleta e transporte de RSU, tendo como objetivo a identificação da vida útil econômica que minimiza os custos desses equipamentos.

Algumas técnicas presentes em diferentes áreas do conhecimento podem ser aplicadas e, até mesmo, combinadas para esse fim, tais como: Custo Médio Total (CMT), Custo Anual Uniforme Equivalente (CAUE), equações diferenciais, substituição parcial e retirada, cadeia de substituição e o uso da Programação Dinâmica (Marques et al., 2005; Hartman e Tan, 2014; Plizzari, 2017).

A utilização dessas ferramentas por empresas do setor de coleta e transporte de resíduos sólidos, ao subsidiar tecnicamente e tornar mais confiável os valores estabelecidos de vida útil econômica (vida útil que minimiza os custos ou maximiza as receitas), deverá definir os custos de operação mais assertivamente, sendo mais econômico para a sociedade e também gerará retornos operacionais e financeiros melhores para o prestador do serviço, visto que tais técnicas objetivam otimizar os custos e o aproveitamento do bem.

Considerando o que aponta CEMPRE (2018), de que os serviços de limpeza absorvem entre 5% e 15% dos recursos de um orçamento municipal, dos quais cerca de 40 a 60% são destinados à coleta e ao transporte de RSU, os ganhos advindos do estabelecimento técnico dos valores de vida útil econômica dos veículos coletores tendem a contribuir com a redução desses expressivos custos.

Assim, o que se observa como prática do setor de resíduos sólidos com base nos documentos analisados é a utilização do veículo compactador por até 12 anos, sendo os valores de 5 e 10 anos os mais frequentes. No caso da modelagem desta pesquisa, foi utilizado o valor de 10 anos (20 semestres) como valor de vida útil máxima dos veículos a fim de aumentar a abrangência das simulações, se comparado com apenas 5 anos, e de considerar um valor mais expressivamente utilizado no ramo, se comparado com 12 anos.

4.2. DESENVOLVIMENTO DO MODELO

O modelo matemático desenvolvido nesta pesquisa tem como primeira atividade a definição do modelo do veículo defensor (veículo em utilização) e do veículo desafiante (veículo novo), assim como o levantamento dos dados de interesse da modelagem. No caso, os dados de entrada do modelo relacionados aos veículos são Custo de Aquisição, Custo de O&M e Valor de Revenda. As outras duas variáveis são relacionadas ao contexto econômico: a Inflação (j) e a Taxa de Desconto (i).

No caso dos dados de variáveis Custo de O&M e de Valor de Revenda, são utilizados para definir a Equação 15 e a Equação 16, respectivamente, que viabilizam a

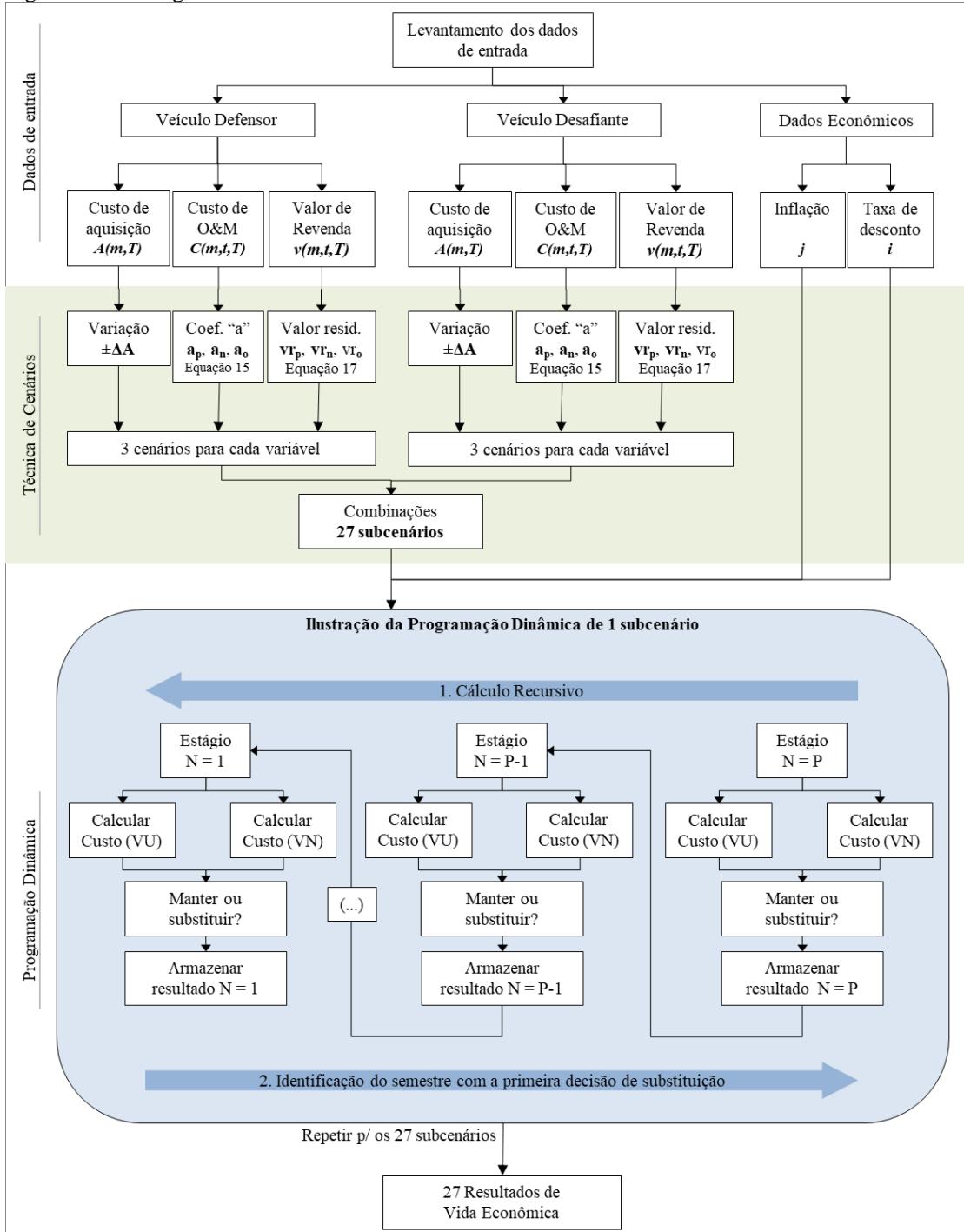
identificação dos valores dessas variáveis em função da idade do veículo. Os dados de Valor de Revenda dos veículos a cada período utilizados para a elaboração da Equação 16 são provenientes dos cálculos realizados com a Equação 17, em que se identifica, pelo método das somas dos dígitos, os valores de revenda em cada idade do veículo, tendo como referência o Valor Residual (vr, em %) no último semestre definido como limite de operação do veículo.

Conhecidas todas as variáveis de interesse, o próximo passo do modelo é gerar os 3 (três) Cenários (neutro, otimista e pessimista) e os subcenários (combinações das variáveis de interesse com os cenários). Para isso, foi definido o valor de variação do custo de aquisição (ΔA , em R\$) para a identificação do seu valor otimista e pessimista; os valores otimistas e pessimistas do coeficiente “a” da Equação 15 do Custo de O&M, criando, além da equação neutra, uma equação otimista e outra pessimista do Custo de O&M; e os valores otimistas e pessimistas do Valor de Residual, para criar as equações dos três cenários (neutro, otimista e pessimista) do Valor de Revenda.

As combinações das três variáveis com os três cenários do modelo resultam em 27 subcenários, os quais são processados individualmente pela Programação Dinâmica de forma recursiva (do último para o primeiro estágio do horizonte de projeto). Quando os subproblemas de cada estágio (semestre) estão resolvidos, é identificado em qual semestre ocorre a substituição do veículo, que corresponde à Vida Útil Econômica (VE) e ao momento ótimo de substituição do veículo para esse subcenário.

Na Figura 27 é apresentado o Fluxograma do Modelo matemático desta pesquisa.

Figura 27 – Fluxograma do modelo.



Fonte: Autor (2024).

P: período do horizonte de projeto de “x” semestres; VU: veículo em uso; VN: veículo novo. a_p : coeficiente “a” do cenário pessimista; a_n : coeficiente “a” do cenário neutro”; a_o : coeficiente “a” do cenário otimista.

4.2.1. Parâmetros de Interesse

Como base da simulação do modelo, foram utilizados dados de Caminhões Compactadores disponibilizados pela empresa que opera na coleta e transporte de resíduos sólidos no município de Belém. Os dados fornecidos pela empresa dizem respeito apenas à operação dos veículos em janeiro de 2021. Como o ideal é que a simulação do modelo seja realizada com um extenso histórico de dados e o que foi disponibilizado corresponde apenas a um mês de operação, foi necessário fazer a estimativa e projeção de custos operacionais e de manutenção do caminhão.

No caso, foram selecionados três veículos com características semelhantes (mesma marca e modelo). Os dados gerais dos veículos selecionados, incluindo o **Valor de Aquisição “A(t)”**, são apresentados no Quadro 7 e detalhados no Anexo 1.

Quadro 7 – Dados dos caminhões compactadores levantados.

Informações dos veículos de referência			
Variável	Veículo 1	Veículo 2	Veículo 3
Marca	MBB	MBB	MBB
Modelo	ATEGO-1719	ATEGO-1719	ATEGO-1719
ID	1100	1103	1135
Aquisição (R\$)	252.500,00	252.500,00	283.200,00
Data Aquisição (ano/semestre)	2013/1	2013/1	2016/1
Início de Operação	01/2013	01/2013	01/2016

No Tabela 5 são apresentados os dados de operação (custo com diesel para a operação dos veículos) e os custos de manutenção (custo com compra de peças, troca de óleo, troca e recauchutagem de pneus e serviços de manutenção) sintetizados dos grupos de dados fornecidos pela empresa (Anexo 2). A partir desses dados, foi possível calcular o Custo de O&M de um semestre.

Tabela 5 – Custo de operação (abastecimento) e de manutenção dos veículos.

Setor da empresa	Custo dos Caminhões Compactadores (R\$/mês)		
	Veículo 1	Veículo 2	Veículo 3
	1100	1103	1135
Abastecimento	5.465,70	4.016,20	6.566,40
Manutenção	3.107,78	7.810,97	6.828,96
Total	8.573,48	10.407,57	13.395,36
Total (R\$/semestre)	51.440,88	62.445,42	80.372,14

Em 2024, os Veículos 1 e 2, que entraram em operação em 2013, já extrapolaram o limite estabelecido para o modelo de 10 anos de vida útil. Assim, foram utilizados os dados do Veículo 3 para a simulação e teste do modelo de determinação da vida útil econômica.

Como a empresa disponibilizou os dados de apenas um mês (janeiro de 2021) e, a partir desses dados, foi estimado o custo de O&M de um semestre, para a continuidade desta pesquisa foi necessário projetar, de forma estimada, o comportamento do Custo de O&M desde o início da sua utilização até o seu 20º semestre (segundo semestre de 2025) tendo como referência o custo do veículo no primeiro semestre de 2021 (R\$ 80.372,14), que é o 10º semestre de operação do caminhão, e utilizando taxas adotadas para estimativa dos valores desconhecidos.

Assim, considerando que os **Custos de O&M “C(m,t)”** crescem ao longo dos semestres em razão do desgaste das estruturas e sistemas que compõem o veículo, bem como pela perda de eficiência energética, foram projetados os custos apresentados na Tabela 6.

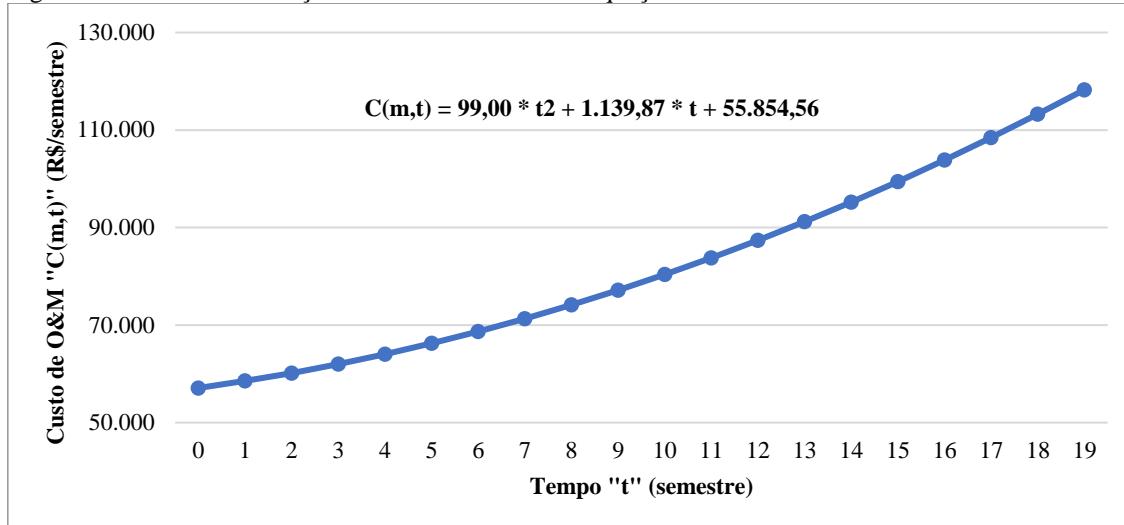
Tabela 6 – Evolução estimada dos Custos de O&M “C(m,t)”.

Projeção estimada dos custos de O&M “C(m,t)”			
Semestre	Período	Taxa	Custo (R\$/semestre)
2016/1	0	0,71	57.093,43
2016/2	1	0,73	58.530,30
2017/1	2	0,75	60.165,18
2017/2	3	0,77	61.998,05
2018/1	4	0,80	64.028,92
2018/2	5	0,82	66.257,79
2019/1	6	0,85	68.684,66
2019/2	7	0,89	71.309,53
2020/1	8	0,92	74.132,40
2020/2	9	0,96	77.153,27
2021/1	10	1,00	80.372,14*
2021/2	11	1,04	83.789,01
2022/1	12	1,09	87.403,88
2022/2	13	1,13	91.216,75
2023/1	14	1,18	95.227,63
2023/2	15	1,24	99.436,50
2024/1	16	1,29	103.843,37
2024/2	17	1,35	108.448,24
2025/1	18	1,41	113.251,11
2025/2	19	1,47	118.251,98

*Valor identificado a partir dos dados disponibilizados pela empresa.

Na Figura 28 é apresentada a curva de evolução do Custo de O&M projetada.

Figura 28 – Curva de evolução dos Custos de O&M e equação da curva.



Na identificação dos Valores de Revenda dos veículos a cada semestre, que são calculados a partir do Custo de Aquisição e do Valor Residual após a vida útil máxima do veículo, foi necessário levantar os valores praticados desta última variável. No caso, foram consideradas as referências apresentadas na Etapa 1 com valor de vida útil de 10 anos (20 semestres) e que apresentam o dado de Valor Residual, conforme relacionado na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores residuais levantados.

Referência	Vida útil (ano)	Valor residual (%)
Arroio do Meio (s. d.)	10	34,82%
Porto Alegre (2017)	10	35%
Encruzilhada do Sul (2018).	10	34,82%
Boa Vista do Cadeado (2019)	10	34,82%
Barra do Ribeiro (2020)	10	34,82%

Fonte: Porto Arroio do Meio (s. d.), Alegre (2017), Encruzilhada do Sul (2018), Boa Vista do Cadeado (2019) e Barra do Ribeiro (2020).

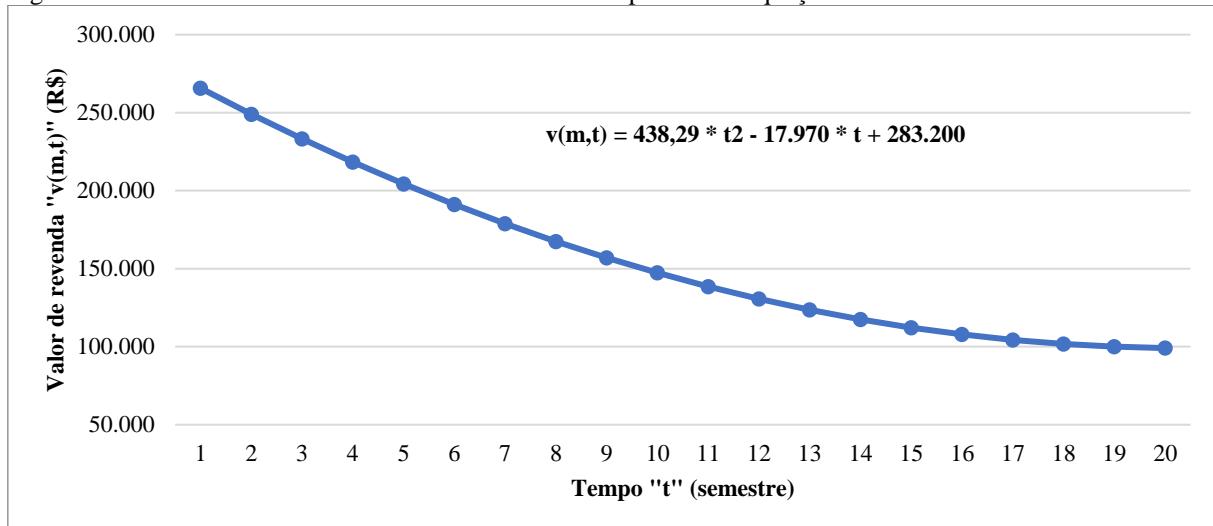
Assim, com base nos dados levantados, foi definido 35% como o Valor Residual de revenda do caminhão compactador após 20 semestre de operação. Dessa forma, aplicando o Valor de Aquisição de R\$ 283.200,00 e o Valor Residual de 35% à Equação 17, foi possível calcular os valores de depreciação e os Valores de Revenda a cada semestre do caminhão compactador, conforme relacionado na Tabela 8.

Tabela 8 – Depreciação e valor de revenda do veículo.

Semestre	Depreciação (%)	Valor de depreciação (R\$)	Valor de Revenda (R\$)
1	6,19%	17.531,43	265.668,57
2	5,88%	16.654,86	249.013,71
3	5,57%	15.778,29	233.235,43
4	5,26%	14.901,71	218.333,71
5	4,95%	14.025,14	204.308,57
6	4,64%	13.148,57	191.160,00
7	4,33%	12.272,00	178.888,00
8	4,02%	11.395,43	167.492,57
9	3,71%	10.518,86	156.973,71
10	3,40%	9.642,29	147.331,43
11	3,10%	8.765,71	138.565,71
12	2,79%	7.889,14	130.676,57
13	2,48%	7.012,57	123.664,00
14	2,17%	6.136,00	117.528,00
15	1,86%	5.259,43	112.268,57
16	1,55%	4.382,86	107.885,71
17	1,24%	3.506,29	104.379,43
18	0,93%	2.629,71	101.749,71
19	0,62%	1.753,14	99.996,57
20	0,31%	876,57	99.120,00

Na Figura 29 é apresentada a curva de valor de revenda do caminhão compactador.

Figura 29 – Curva do valor de revenda do Caminhão Compactador e equação da curva.



Quando se trata de trabalhar o comportamento do dinheiro e de fazer comparação de valores monetários incidentes em diferentes momentos no tempo, é necessário que se

utilize os valores de inflação e de taxa de desconto, respectivamente. Nesta pesquisa foi utilizado como valor da inflação o índice de Preços ao Consumidor (IPCA) do ano de 2023 divulgado pelo IBGE de 4,62% ao ano (IBGE, 2024). Já para a Taxa de Desconto foi adotado do documento “Cálculo da Tarifa Média Máxima (P0) da 1^a Revisão Tarifária Ordinária de Água e Esgoto da Companhia de Serviços de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá – SAEG” da Agência Reguladora de Serviços Públicos do Estado de São Paulo (ARSESP) para o ano de 2023 com o valor de 8,27% ao ano (Anexo 3).

Assim, os dados de entrada do cenário neutro estão sintetizados no Quadro 8.

Quadro 8 – Dados de entrada do cenário neutro da modelagem.

Variável	Valor
Custo de Aquisição “A(m)”	R\$ 283.200,00
Custo de O&M “C(m,t)”	$C(t) = 99,00 * t^2 + 1.139,87 * t + 55.854,56$
Valor de Revenda “v(m,t)”	$v(t) = 438,29 * t^2 - 17.970 * t + 283.200$
Inflação Anual	4,62% anual ou 2,28% semestral
Taxa de Desconto	8,27% anual ou 4,05% semestral

4.2.2. Cenários Analisados

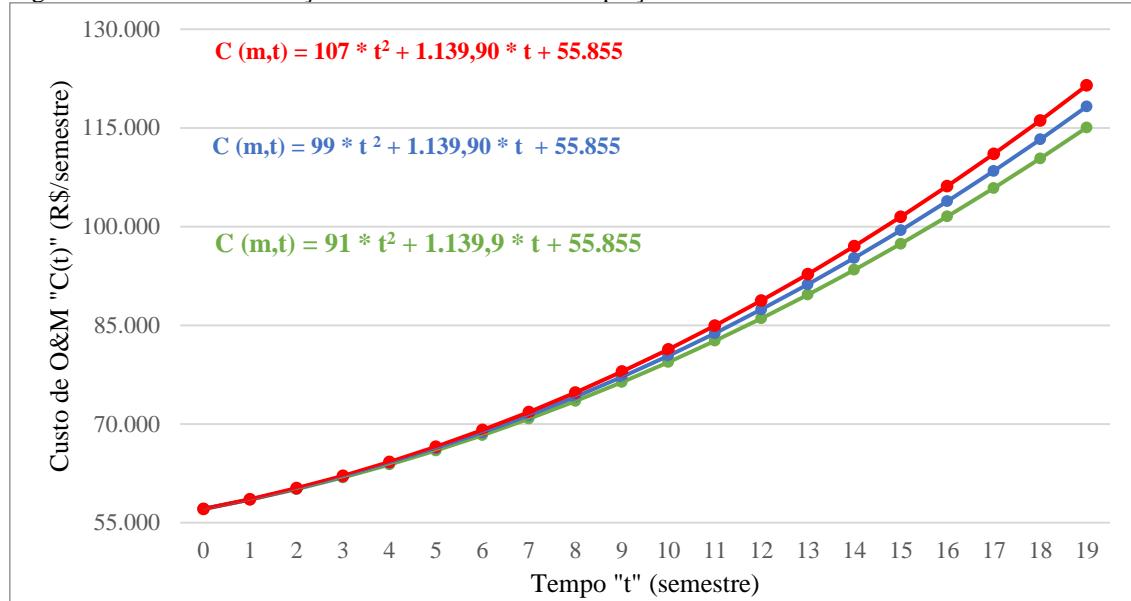
Os cenários aplicados neste modelo foram três: neutro, otimista e pessimista. Dessa forma, para cada uma das três variáveis Custo de Aquisição, Custo de O&M e Valor de Revenda foram definidos comportamentos de variabilidade destas variáveis em função das incertezas intrínsecas e, consequente, obtém-se diferentes valores em cada um dos cenários.

Vale observar que a variabilidade das variáveis de interesse pode ser definida de diversas formas, a depender do contexto e da sensibilidade do modelo a essas variações. No caso da presente pesquisa, a variação das três variáveis de interesse foi definida considerando a razoabilidade dos cenários criados e a sensibilidade do modelo a essas variações.

No caso do Custo de Aquisição, o valor do Cenário Neutro foi o identificado nos dados fornecidos pela empresa de R\$ 283.200,00. Para a criação dos cenários otimista e pessimista, foi definido o valor de variação (ΔA) de R\$ 15.000,00. Assim, os Custos de Aquisição nos cenários otimista e pessimista foram R\$ 268.200,00 e R\$ 298.200,00, respectivamente.

Na criação dos cenários do Custo de O&M foi variado o valor do coeficiente “a” da Equação 15. No caso, o cenário neutro corresponde à equação de Custo de O&M apresentada no Quadro 8, com coeficiente “ a_n ” igual a 99,00. E os cenários otimista e pessimista tiveram os valores do coeficiente “ a_o ” de 91,00 e “ a_p ” de 107,00, respectivamente (Figura 30).

Figura 30 – Curva de evolução dos custos de O&M e equação da curva dos três cenários.

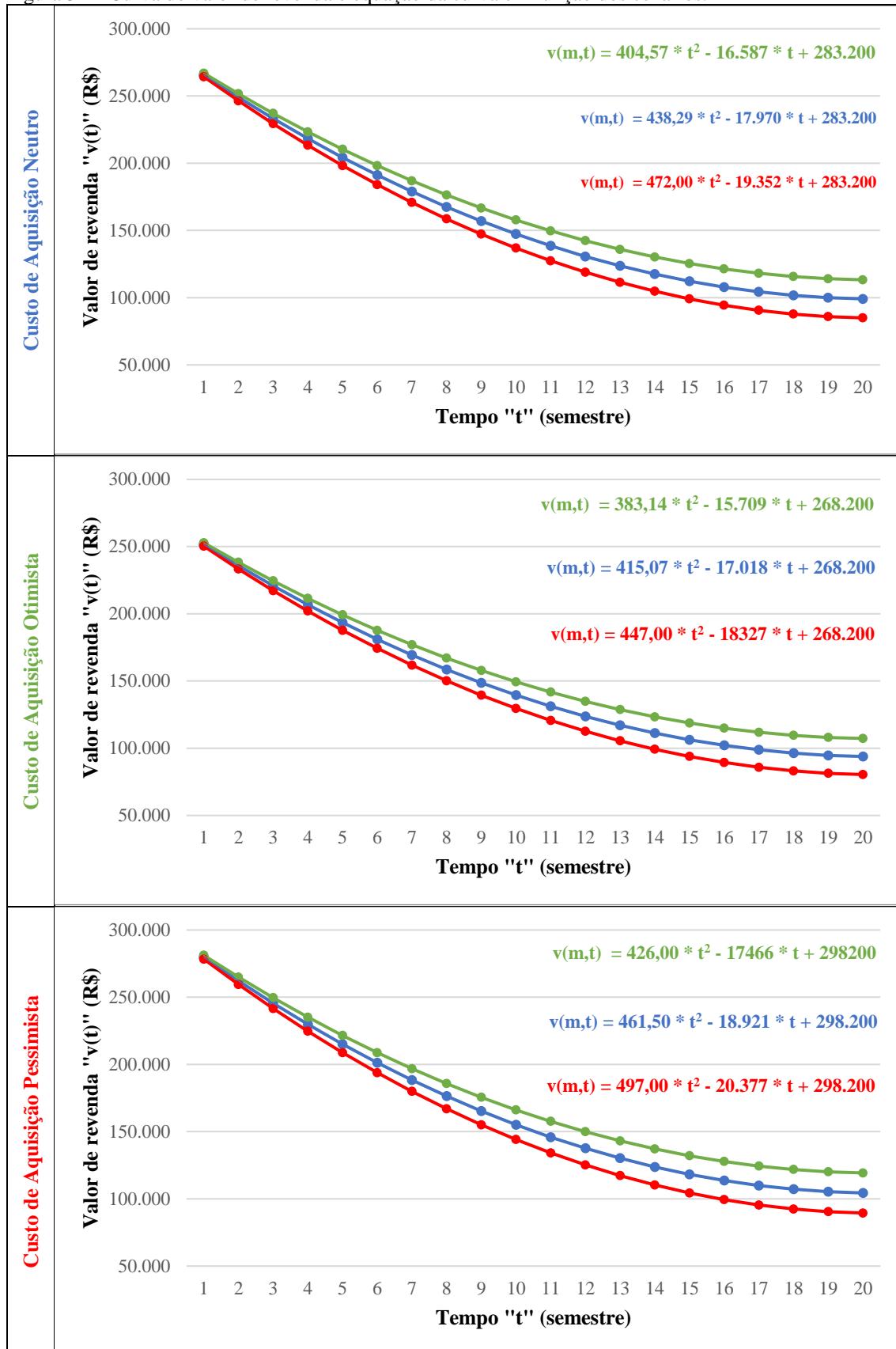


Já na criação dos cenários do Valor de Revenda, foi variado o Valor de Residual do cenário neutro (35%) para a criação dos cenários otimista e pessimista com os respectivos valores de 40% e 30%. Assim, aplicando os de Custo de Aquisição e de Valor Residual à Equação 17, foram identificados os custos de revenda do caminhão em cada semestre de idade, os quais foram utilizados para determinar a equação do Valor de Revenda conforme a Equação 16.

Como o Valor de Revenda é calculado a partir do Custo de Aquisição do veículo e este, por sua vez, varia em função dos cenários; foram gerados três conjuntos de curva de Valor de Revenda para cada cenário do Custo de Aquisição, compondo cada conjunto uma curva para cada cenário de Valor Residual. Assim, ao todo, foram geradas nove curvas de Valor de Revenda, sendo utilizada na modelagem o conjunto correspondente ao cenário do Custo de Aquisição, e dentre as três curvas do conjunto sendo selecionada a correspondente ao cenário do Valor Residual.

Na Figura 31 são apresentadas as curvas dos Custos de Revenda em função dos três cenários do Custo de Aquisição e do Valor Residual.

Figura 31 – Curva do valor de revenda e equação da curva em função dos cenários.



Assim, os dados de entrada dos três cenários estão sintetizados no Quadro 9.

Quadro 9 – Dados de entrada dos três cenários da modelagem.

Variável	Cenário	Valor
Custo de Aquisição “A(m)”	Neutro	R\$ 283.200,00
	Otimista	R\$ 268.200,00
	Pessimista	R\$ 298.200,00
Custo de O&M “C(m,t)”	Neutro	$C(m,t) = 99 * t^2 + 1.139,90 * t + 55.855$
	Otimista	$C(m,t) = 91 * t^2 + 1.139,90 * t + 55.855$
	Pessimista	$C(m,t) = 107 * t^2 + 1.139,90 * t + 55.855$
Valor de Revenda “v(m,t)”	A(m) neutro	Neutro: $v(m,t) = 438,29 * t^2 - 17.970 * t + 283.200$ Otimista: $v(m,t) = 404,57 * t^2 - 16.587 * t + 283.200$ Pessimista: $v(m,t) = 472,00 * t^2 - 19.352 * t + 283.200$
	A(m) otimista	Neutro: $v(m,t) = 415,07 * t^2 - 17.018 * t + 268.200$ Otimista: $v(m,t) = 383,14 * t^2 - 15.709 * t + 268.200$ Pessimista: $v(m,t) = 447,00 * t^2 - 18327 * t + 268.200$
	A(m) pessimista	Neutro: $v(m,t) = 461,50 * t^2 - 18.921 * t + 298.200$ Otimista: $v(m,t) = 426,00 * t^2 - 17466 * t + 298.200$ Pessimista: $v(m,t) = 497,00 * t^2 - 20.377 * t + 298.200$
Inflação Anual	-	4,62% anual ou 2,28% semestral
Taxa de Desconto	-	8,27% anual ou 4,05% semestral

Dessa forma, com todos os dados das variáveis de interesses definidos e com os cenários neutro, otimista e pessimista criados, foi possível aplicar a programação dinâmica para a determinação dos valores de vida útil econômica a partir dos 27 subcenários ilustrados na Figura 18.

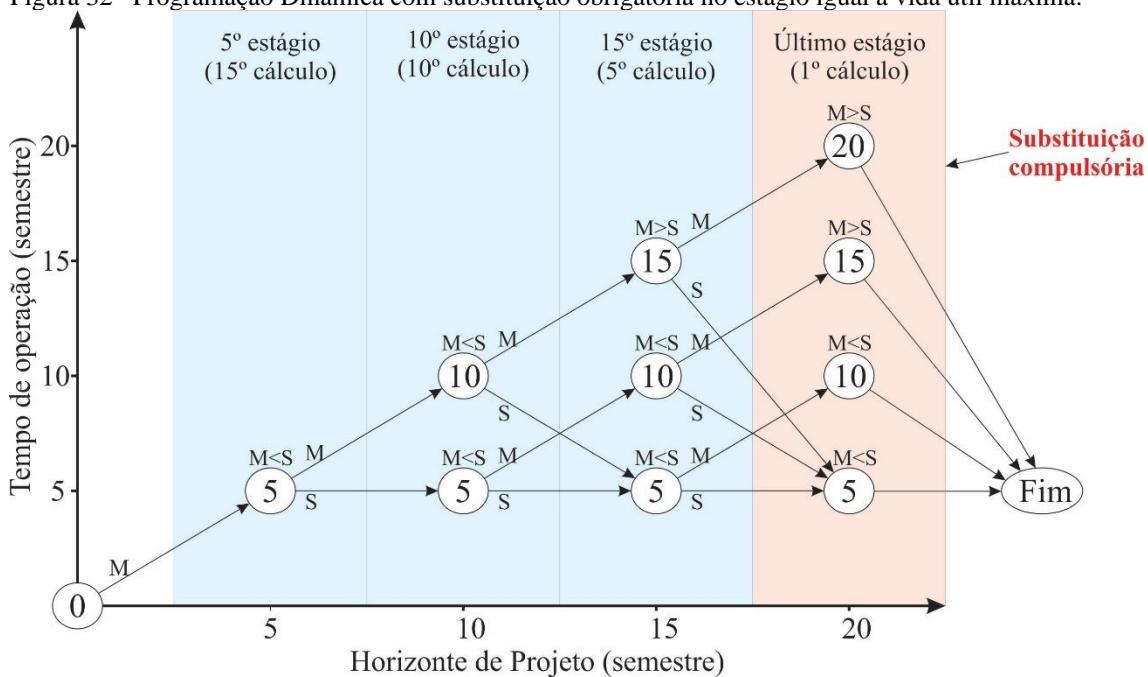
4.2.3. Programação Dinâmica

Considerando o resultado da primeira etapa da pesquisa, cujo tempo de vida útil mais recorrente foram 5 e 10 anos, foi estabelecido como prazo máximo de tempo de operação do veículo na empresa o período de 10 anos (20 semestres).

Dessa forma, a Programação Dinâmica deste modelo foi elaborada com valor limite de utilização do caminhão compactador de 20 semestres, ou seja, do 1º ao 19º semestre o modelo faz a comparação dos custos das opções de manter e substituir o veículo, optando pela alternativa de menor custos, e no 20º semestre obrigatoriamente o veículo deve ser substituído por um novo.

A concepção convencional da Programação Dinâmica define que no estágio correspondente à vida útil máxima do ativo analisado, a substituição é obrigatória para todas as idades do ativo nesse estágio, conforme ilustrado na Figura 32.

Figura 32 –Programação Dinâmica com substituição obrigatória no estágio igual a vida útil máxima.



Entretanto, no caso do problema desenvolvido nesta tese, a substituição compulsória de caminhões compactadores no vigésimo estágio da programação dinâmica, principalmente dos caminhões com pouca idade (de 1 a 10 semestre de idade, por exemplo), tende a distorcer os resultados por não ser essa a prática do setor.

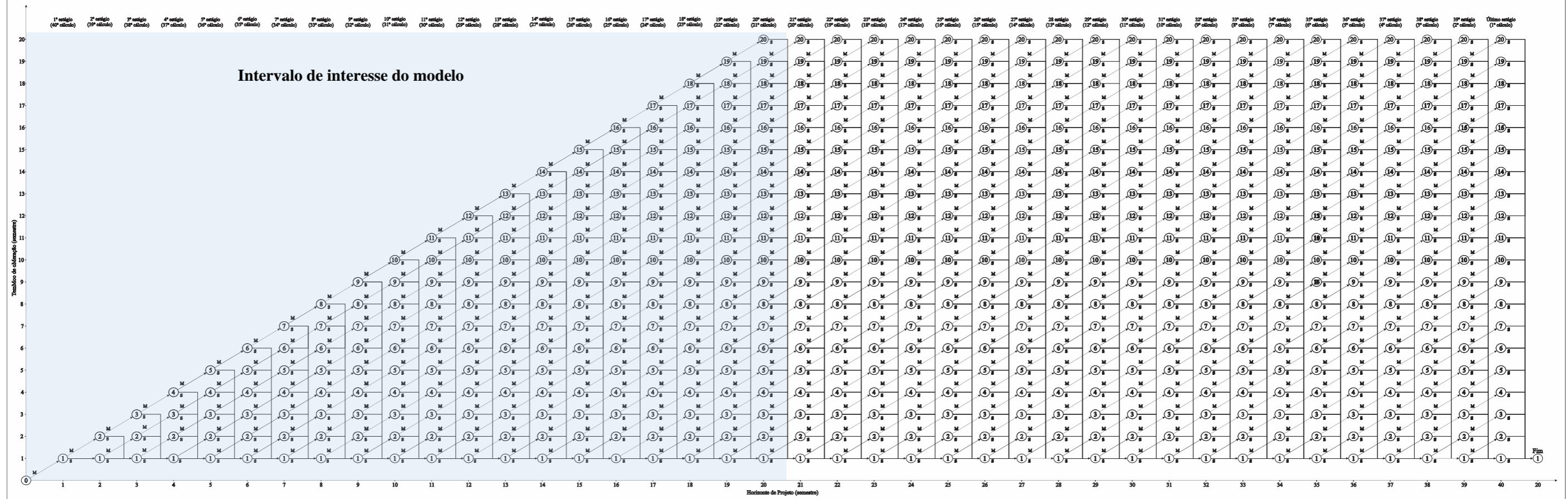
A fim de possibilitar que veículos com menor idade no vigésimo estágio tenham a opção de serem substituídos ou mantidos, no lugar de encerrar obrigatoriamente a operação nesse estágio, foi estendida a simulação do modelo por mais 20 semestres (por mais 20 estágios).

Assim, a programação dinâmica passou a ter o número de estágios (40 estágios) igual ao dobro da vida útil máxima estabelecida para os caminhões compactadores de 20 semestres (10 anos). Essa adaptação foi realizada com o intuito de minimizar o impacto da substituição compulsória do último semestre do modelo (que passou a ser no 40º estágio) nas decisões tomadas no intervalo de interesse da análise (do 1º ao 20º semestre).

Nesse contexto, a comparações entre as alternativas de manter e substituir o caminhão compactador levou em consideração o custo de operação desde o estágio em análise até o último estágio do modelo (40º estágio), sendo a decisão tomada pela alternativa que gera o menor custo.

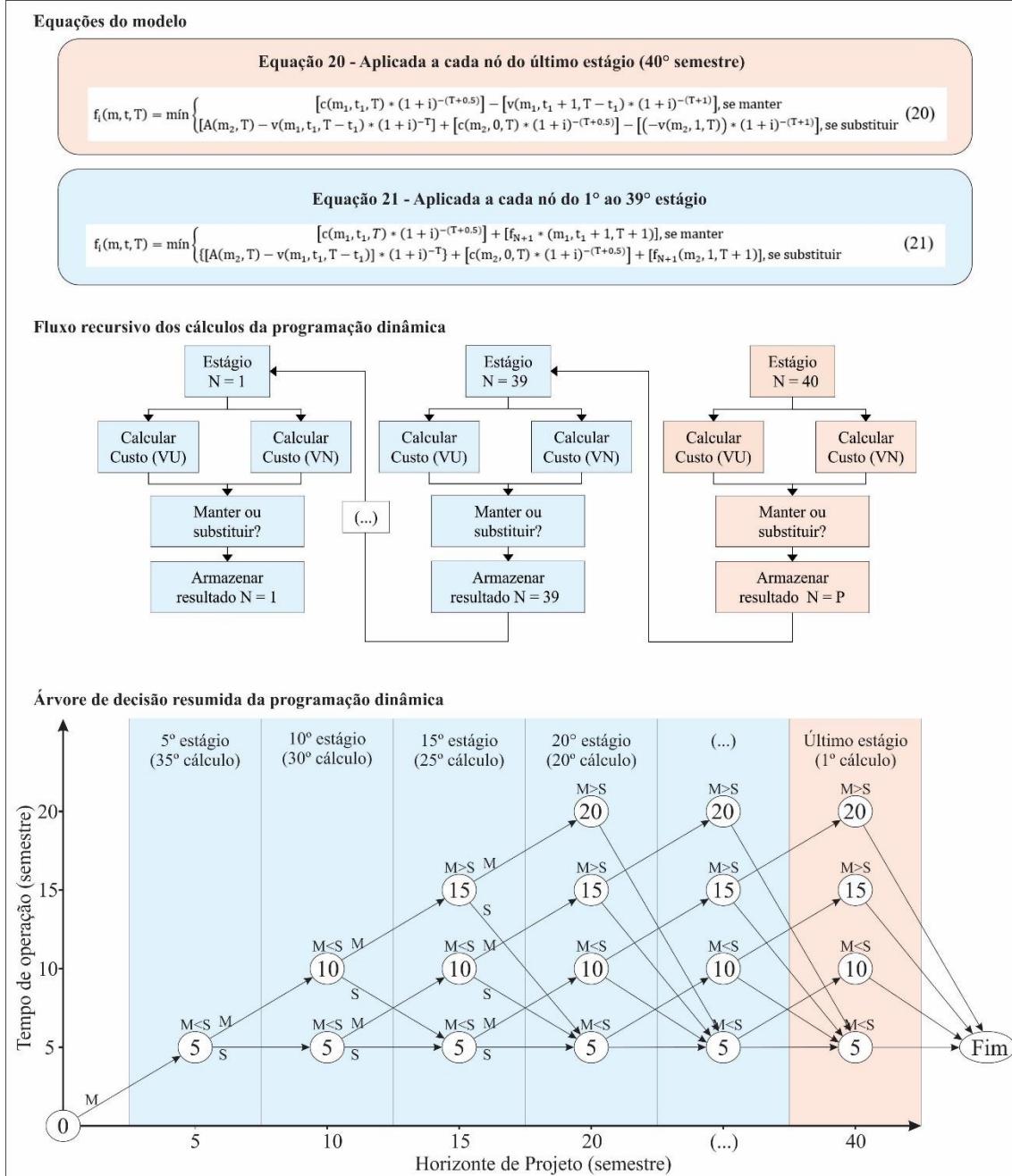
Considerando a configuração definida para o modelo desta pesquisa, foi elaborada a árvore de decisão ilustrativa da concepção da programação dinâmica apresentada na Figura 33, contendo os 40 estágios de simulação e destacando os 20 estágios de interesse, bem como ilustrando as alternativas de decisão (manter ou substituir) a cada estágio para as diferentes idades do caminhão representadas pelos “nós”.

Figura 33—Árvore de decisão da configuração da Programação Dinâmica do modelo.



A árvore de decisão deste modelo é constituída por 610 nós, sendo que em cada nó são realizados os cálculos das Equações 20 (aplicada ao último estágio) ou 21 (aplicada aos demais estágios) e tomada a decisão entre manter e substituir os veículos. O processo resumido de cada simulação da árvore de decisão da programação dinâmica do presente modelo é ilustrado na Figura 34.

Figura 34 – Ilustração da Programação Dinâmica.



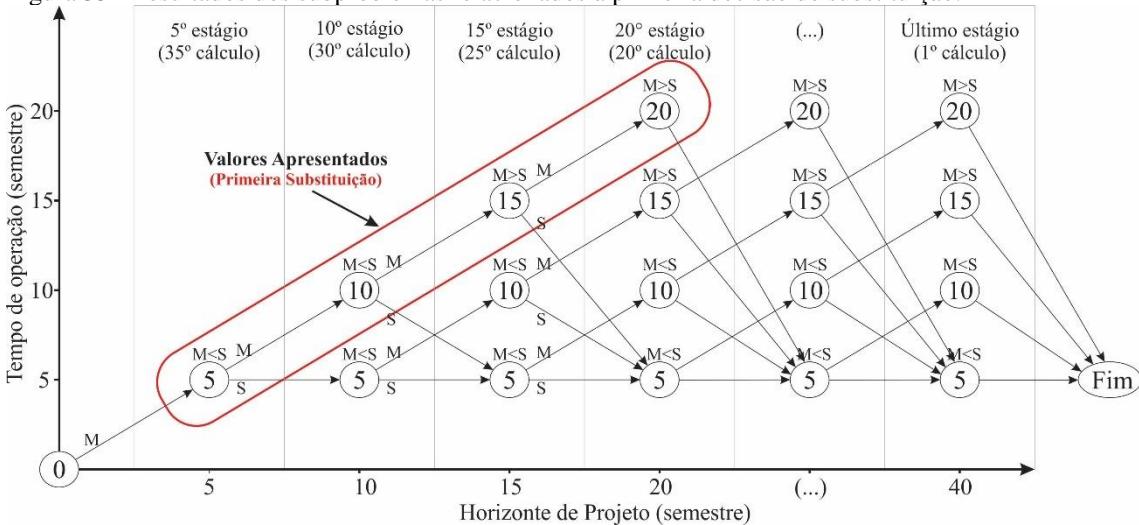
Esse processo com todos os cálculos da árvore de decisão da programação dinâmica foi repetido 27 vezes para cada um dos subcenários resultantes da Técnica de

Cenários. Assim, considerando as 27 simulações para cada subcenário e os 610 nós de cada árvore de decisão, ao todos foram resolvidos 16.470 subproblemas para encontrar as 27 soluções (valores de vida útil econômica do caminhão compactador), conforme descrito a seguir.

4.3. PROCESSAMENTO DOS DADOS E GERAÇÃO DOS RESULTADOS

Com base nos dados de entrada, nas variações dos cenários e na concepção da programação dinâmica, foram aplicados os 27 subcenários ao modelo. A fim de resumir os resultados da modelagem para apresentar apenas os dados que demonstram a decisão do momento de substituição do veículo, foram apresentados em forma de tabela apenas os resultados dos subproblemas destacados na Figura 35, que correspondem ao caminho de decisão onde ocorre pela primeira vez a substituição do caminhão compactador.

Figura 35 –Resultados dos subproblemas relacionados à primeira decisão de substituição.



Para resumir a apresentação dos resultados da modelagem, na Tabela 9 é apresentado apenas o resultado do Subcenário 1 de referência (com todas as três variáveis neutras). Tabelas com os resultados de todos os demais subcenários são apresentados no Apêndice 1.

Tabela 9 – Resultados da modelagem do subcenário 1 (subcenário de referência).

Estágio (semestre)	Idade do Caminhão	Custo da decisão (R\$)		Comparação	Decisão
		Manter (M)	Substituir (S)		
1	1	1.888.217,06	1.891.356,97	M < S	M
2	2	1.833.072,88	1.838.315,35	M < S	M
3	3	1.778.596,28	1.785.185,56	M < S	M
4	4	1.724.646,61	1.731.952,14	M < S	M
5	5	1.671.099,89	1.678.652,91	M < S	M
6	6	1.617.847,45	1.625.261,16	M < S	M
7	7	1.564.794,65	1.571.882,87	M < S	M
8	8	1.511.859,76	1.517.538,44	M < S	M
9	9	1.458.972,81	1.463.022,55	M < S	M
10	10	1.406.074,63	1.408.699,87	M < S	M
11	11	1.353.115,87	1.354.537,38	M < S	M
12	12	1.300.056,11	1.300.660,68	M < S	M
13	13	1.246.863,06	1.246.920,02	M < S	M
14	14	1.193.804,12	1.193.511,80	M > S	S
15	1	1.019.170,98	1.021.665,44	M < S	M
16	2	975.795,36	980.090,78	M < S	M
17	3	932.944,84	938.419,17	M < S	M
18	4	890.508,81	896.682,08	M < S	M
19	5	848.389,73	854.931,59	M < S	M
20	6	806.502,11	813.098,95	M < S	M

A vida útil econômica resultante da simulação do Subcenário 1 foi 14 semestres, ou seja, a decisão por manter o caminhão operando desde 1º semestre até ser substituído no 14º semestre foi, dentre todas as demais alternativas, a decisão que gera o menor custo na operação do caminhão em uso e da continuidade da operação pelos novos caminhões até o 40º semestre.

No caso, o custo por substituir o caminhão compactador (R\$ 1.193.511,80) em comparação com mantê-lo por mais um semestre (R\$ 1.193.804,12) gerou uma economia de 0,02%. Entretanto, vale observar que a alternativa de manter o caminhão por mais um semestre é a segunda opção mais econômica dentre todas, o que a torna não adequada para a identificação da economia real da decisão ótima do modelo.

Dessa forma, para se ter dimensão da real economia da decisão ótimo, o custo de substituir o veículo no 14º semestre deve ser comparado com o custo de manter o caminhão operando os 20 primeiros semestres (quando será compulsoriamente

substituído) e de manter o novo caminhão operando pelos 20 semestres restantes até o final do horizonte de projeto. Essa comparação resultou numa economia de R\$ 16.230,91 (1,34%) da decisão ótima em relação à política de manter o veículo em uso até o 20º semestre e o novo do 21º ao 40º semestre, trabalhando até a substituição compulsória com o custo total de R\$ 1.209.742,71.

Além disso, com o objetivo de demonstrar um exemplo de resolução completa da árvore de decisão da programação dinâmica do presente modelo, foram apresentados os resultados de todos os 610 subproblemas da simulação do Subcenário 1 de referência no Apêndice 2.

Após a aplicação dos 27 subcenários à programação dinâmica, foram agrupados os resultados em duplas de subcenários de características opostos (13 duplas de subcenários opostos mais o subcenário de referência), os quais estão inseridos na mesma linha da Tabela 10.

Tabela 10 – Resultados de Vida Útil Econômica (VE) organizados em duplas de subcenários opostos.

Grupo	Subcenário	Cenários			VE semestre	Subcenário	Cenários			VE semestre
		A	C	v			A	C	v	
Referência	1	●	●	●	14	Sem subcenário oposto				-
	2	●	●	●	13	3	●	●	●	14
A	4	●	●	●	14	5	●	●	●	13
	6	●	●	●	13	7	●	●	●	14
	8	●	●	●	14	9	●	●	●	13
B	10	●	●	●	11	11	●	●	●	15
	12	●	●	●	14	13	●	●	●	14
	14	●	●	●	20	15	●	●	●	11
C	16	●	●	●	14	17	●	●	●	13
	18	●	●	●	11	19	●	●	●	15
	20	●	●	●	15	21	●	●	●	11
D	22	●	●	●	10	23	●	●	●	20
	24	●	●	●	14	25	●	●	●	13
E	26	●	●	●	14	27	●	●	●	14

Onde: VE é vida útil econômica, “A” é custo de Aquisição, “C” é Custo de O&M, “v” é valor de revenda, “●” é o cenário neutro, “●” é o cenário otimista “●” cenário pessimista.

Os valores de Vida Útil Econômica e de momento ótimo de substituição do caminhão compactador resultantes da modelagem variaram de 10 a 20 semestres, tendo o maior número de ocorrências a substituição no 14º semestres (moda e mediana da série de dados), que se repetiu por 11 vezes (40,70% dos resultados).

Analizando a relação de cada variável de interesse (Custo de Aquisição, Custo de O&M e Valor de Revenda) com os resultados de vida útil econômica, especialmente a partir dos Grupos A e D, nos quais as três variáveis são simuladas isoladamente no cenário otimista ou pessimista; foi percebido que os valores de Custo de Aquisição Otimista, Custo de O&M Pessimista e Valor de Revenda Otimista resultam em menores valores de vida útil econômica em relação aos seus cenários opostos.

A partir dessa análise, foi possível inferir o impacto da variação dos cenários das três variáveis isoladamente, entre Otimista e Pessimista, nos resultados da modelagem. No caso, se essas variáveis são direta ou inversamente proporcionais aos valores de vida útil econômica, conforme esquematizado no Quadro 10.

Quadro 10 – Relação dos cenários otimistas e pessimista das variáveis com os valores de VE.

Variável	Impacto no valor de Vida Útil Econômica	
	Otimista	Pessimista
Custo de Aquisição	Menor VE ↓	Maior VE ↑
Custo de O&M	Maior VE ↑	Menor VE ↓
Valor de Revenda	Menor VE ↓	Maior VE ↑

Essa relação de proporcionalidade dos cenários das variáveis com os valores de vida útil econômica explica os resultados dos subcenários 22 (10 semestres de VE) e 23 (20 semestres de VE) terem sido o menor e o maior valor de vida útil econômica, respectivamente, visto que eles comportam a configuração de cenários das variáveis mais direta ou mais inversamente proporcional ao valor de VE.

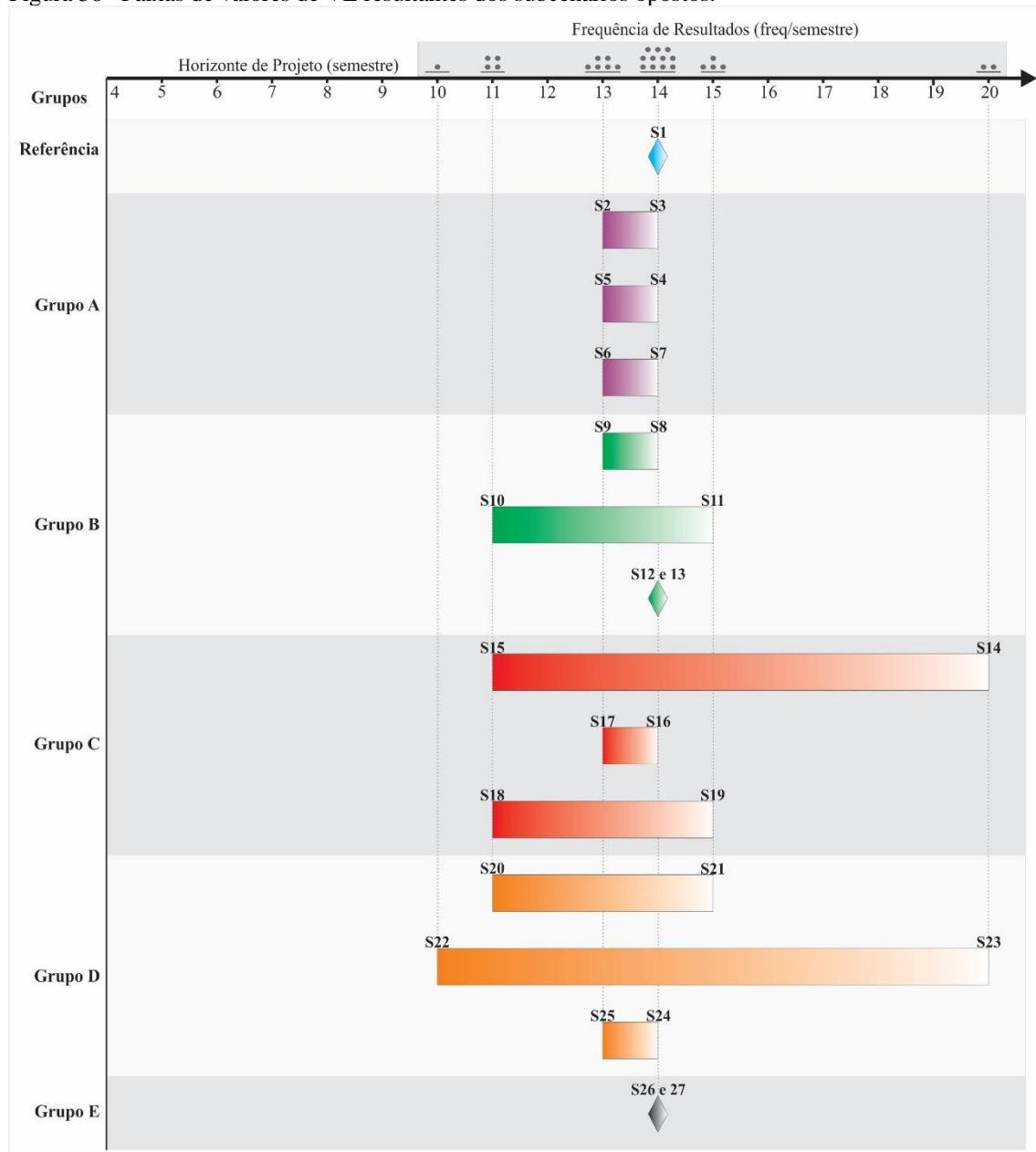
O Custo de Aquisição otimista resulta em menor valor de VE em relação ao seu valor no cenário pessimista em razão de o menor valor de compra de um caminhão novo tornar mais interessante, do ponto de vista econômico, a troca mais rápida do veículo.

No caso do Custo de O&M, o cenário otimista gera maiores valores de VE em relação ao cenário pessimista, isso porque os menores custo de operação e manutenção tornar mais atrativa a permanência do caminhão compactador operando por mais tempo.

Por fim, o cenário otimista do Valor de Revenda gera menores valores de VE em relação ao cenário pessimista, já que a maior receita gerada pela revenda do veículo em uso torna economicamente positiva a venda mais rápida do veículo.

Considerando o subcenário de referência as 13 duplas de subcenários opostos, foi elaborada a Figura 36 para a visualização das faixas de valores de via econômica resultantes da modelagem.

Figura 36 –Faixas de valores de VE resultantes dos subcenários opostos.



A faixa mais ampla dos resultados foi a dos subcenários opostos 22 e 23 com o valor de VE de 10 a 20 semestres. O valor presente em todas as faixas, inclusive no subcenário de referência, foi o de substituição do caminhão no 14º semestre. A faixa de VE entre 13 e 14 semestres de VE ocorreu em 6 dos 13 subcenários, sendo a faixa mais recorrente nos resultados.

Além disso, no caso da dupla de subcenários opostos 12 e 13 (Grupo B) e da dupla 26 e 27 (Grupo E), todos os resultados de VE foram iguais a 14 semestre, o que, no lugar de uma faixa, resultou num único ponto de VE nos dois casos iguais ao ponto do subcenário de referência.

O subcenário 14 se diferenciou do 23 (subcenário com a configuração que tende para o maior valor de VE) apenas pelo fato de a variável Custo de Aquisição ser neutra, e não pessimista. Ou seja, a mudança do cenário do Custo de Aquisição de pessimista para neutro não foi suficiente para diminuir o valor de VE.

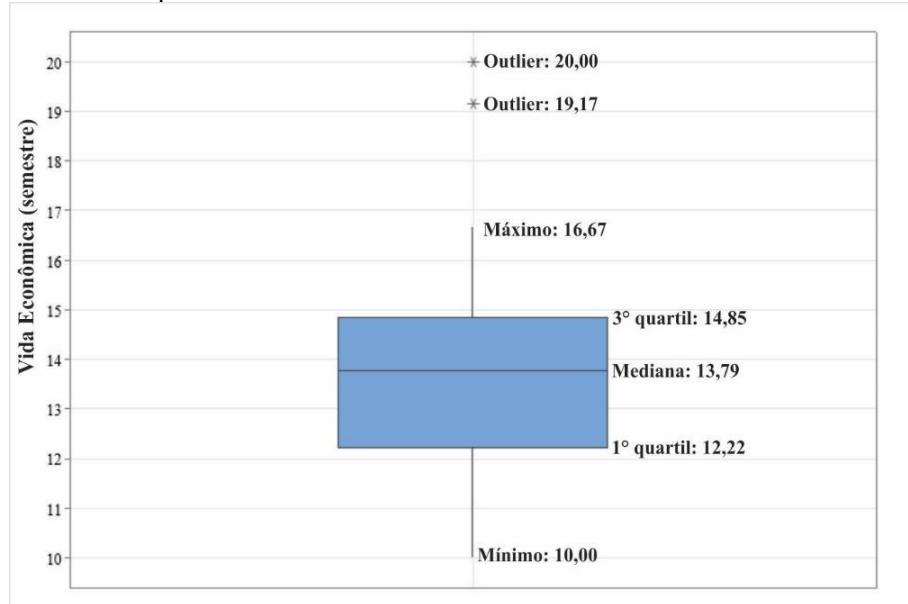
Com o intuito de melhor visualizar a distribuição desses dados, foi elaborado um gráfico boxplot a partir de classes criadas para a série de dados de vida útil econômica da Tabela 10. Considerando a quantidade de dados (27 dados), foi determinado, usando a Equação 1 de Sturges, valor de 5,72 classes, que foi arredondado para seis classes, conforme apresentado na Tabela 11 com as suas respectivas frequências.

Tabela 11 – Classes e frequência da série de dados de VE.

Classe	Intervalo (Semestre)	Frequência		Frequência Acumulada	
		Absoluta (quant.)	Relativa (%)	Absoluta (quant.)	Relativa (%)
1	10,00 ┌─ 11,67	5	18,52%	5	18,52%
2	11,67 ┌─ 13,33	6	22,22%	11	40,74%
3	13,33 ┌─ 15,00	11	40,74%	22	81,48%
4	15,00 ┌─ 16,67	3	11,11%	25	92,59%
5	16,67 ┌─ 18,33	0	0,00%	25	92,59%
6	18,33 ┌─ 20,00	2	7,41%	27	100,00%
Total	-	27	100,00%	-	-

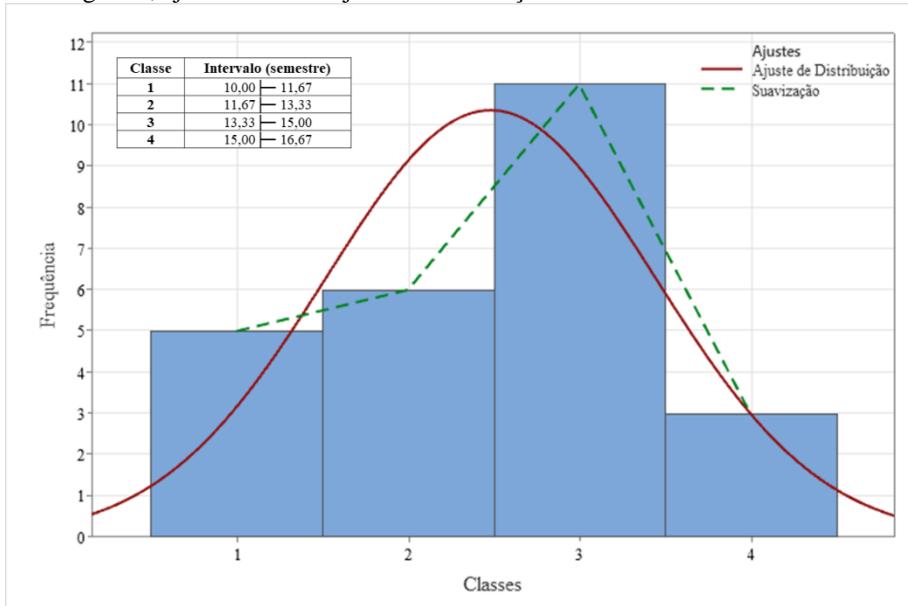
Com os dados distribuídos uniformemente no intervalo de suas respectivas classes, foram identificados os quartis e a mediana da distribuição. Como trata-se de uma série de 27 dados, a mediana foi encontrada na posição 14, o primeiro quartil na posição 7 e o terceiro quartil na posição 21. Utilizando a distribuição das seis classes criadas, foi elaborado o gráfico boxplot apresentado Figura 37.

Figura 37 – Gráfico Boxplot dos valores de Vida Útil Econômica das classes.



Conforme pode ser observado, a mediana das classes de dados foi igual a 13,79 semestres de vida útil, valor próximo à moda da série de dados de 14 semestres de vida útil econômica. Além disso, no gráfico boxplot pode ser observado que os dois maiores valores, ambos da classe 6, são outliers, uma vez que estão muito distantes da área de maior densidade de valores próximos à mediana. Assim, a classe 6 (outlier) foi desconsiderada na plotagem do histograma da distribuição dos dados de vida útil econômica por classes. Em conjunto ao histograma, foi plotado um ajuste de distribuição de suavização e um ajuste normal, conforme ilustrado na Figura 38.

Figura 38 – Histograma, ajuste normal e ajuste de suavização das classes de VE.

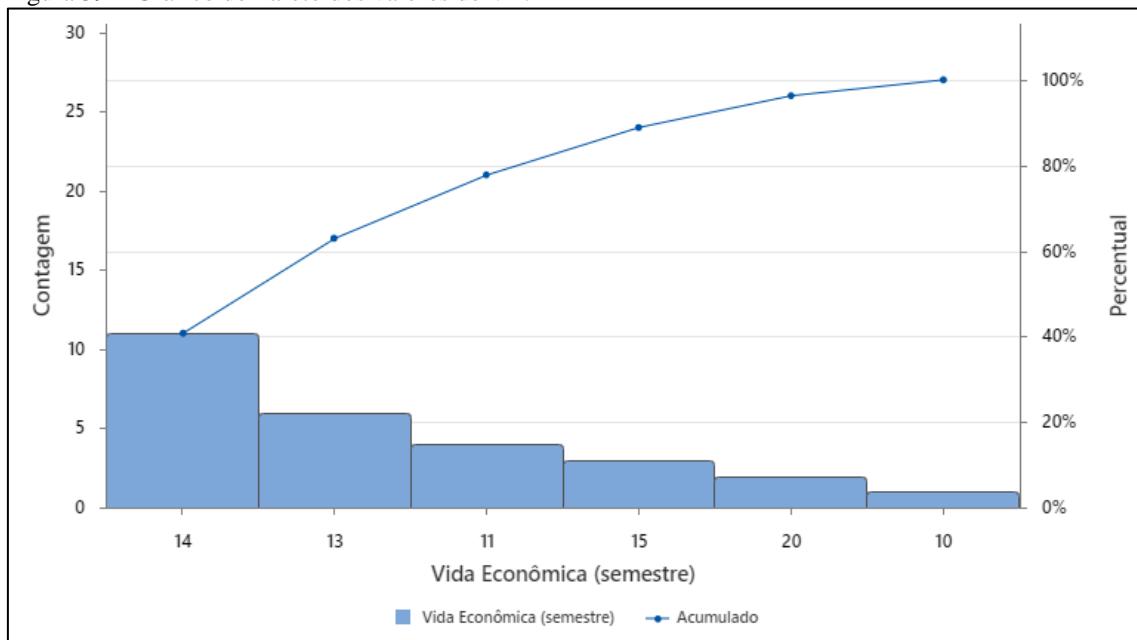


A região com maior densidade de resultados foi a Classe 3, faixa na qual estão inseridas a mediana das classes e a moda da série de dados (14 semestres). Além disso, a distribuição dos dados teve maior densidade num ponto mais ou menos central (Classe 3), com essa densidade diminuindo quanto mais se afasta desse centro (classes anteriores e posteriores à classe 3). A curva de ajuste suavizado esteve um pouco deslocada para a direita em comparação à curva normal, o que demonstra que existe uma maior densidade para essa região onde está localizada a mediana e a moda (Classe 3).

Outro ponto que indica a existência e alguma simetria dos dados é o fato do resultado do subcenário de referência (14 semestres), da média (13,74 semestres) e da moda (14 semestres) da série de dados serem próximos da mediana das classes (13,79 semestres). Esse comportamento dos dados de uma modelagem de otimização com diferentes cenários indica que o ponto central dos resultados, que também é o de maior recorrência e onde ocorre a maior densidade resultados, é o valor com maior probabilidade de gerar o resultado ótimo.

Assim, pode-se inferir que o 14º semestres e os semestres próximos tendem a ser os mais indicados para a substituição do caminhão compactador, conforme pode ser observado no gráfico de Pareto apresentado na Figura 39.

Figura 39 – Gráfico de Pareto dos valores de VE.



O número de resultados dos 27 subcenários que indicam o 14º semestre como o momento ótimo de substituição do caminhão compactador correspondeu a 40,7% dos

resultados, seguido pelo 13º semestre com 22,2%, o 11º semestre com 14,8%, o 15º semestre com 11,1%, o 20º semestre com 7,4% (outlier) e o 10º semestre com 3,7%. A faixa de resultados entre o 11º e o 15º semestre correspondeu a 88,9% dos resultados e a faixa entre o 13º e o 15º semestre (faixa de três semestres cujo ponto central é a moda da série de dados) representa 74,00% dos resultados.

Dessa forma, com o objetivo de tomar a decisão ótima de substituição do veículo, porém mantendo alguma flexibilidade no planejamento, é indicado considerar para o caminhão compactador em análise – dentro das condições de operação, manutenção e de mercado atual e dos cenários alternativos simulados –, a substituição entre o 13º e o 15º semestre, preferencialmente no 14º semestre.

Apesar do 11º semestre ser o resultado com o terceiro maior número de ocorrência na simulação dos subcenários, como ele se afasta 3 semestres (um ano e meio) da moda da série de dados, considerar uma faixa que se estenda até esse valor significaria diminuir a probabilidade de precisão da decisão tomada. Além disso, deve-se considerar que quanto mais próximo a decisão de substituição estiver da real vida útil econômica do veículo, maior tende a ser a economia, o que torna mais interessante para o gestor fazer opção por menores faixas de decisão em torno da moda dos resultados.

Na Tabela 12 é apresentada a comparação dos custos da substituição do caminhão compactador no momento ótimo de cada subcenário com os respectivos custos da política de substituição no 20º semestre (10º ano) conforme indicado em parcela significativa das referências levantadas na primeira etapa da pesquisa.

Tabela 12 – Comparação do custo de substituição no momento ótimo (CSO) com o custo de manter o caminhão por 20 semestres em operação (CM20).

Subcenário	Cenários			VE	CSO	CM20	Economia		Subcenário	Cenários			VE	CSO	CM20	Economia	
	A	C	v	semestre	R\$	R\$	R\$	%		A	C	v	semestre	R\$	R\$	R\$	%
1	●	●	●	14	1.193.511,80	1.209.742,71	16.230,91	1,36%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	●	●	●	13	1.237.717,22	1.258.075,00	20.357,78	1,64%	3	●	●	●	14	1.202.600,49	1.214.761,69	12.161,20	1,01%
4	●	●	●	14	1.186.470,64	1.193.122,95	6.652,31	0,56%	5	●	●	●	13	1.254.660,19	1.280.630,84	25.970,65	2,07%
6	●	●	●	13	1.222.769,36	1.245.260,35	22.490,99	1,84%	7	●	●	●	14	1.217.496,74	1.227.576,34	10.079,60	0,83%
8	●	●	●	14	1.177.381,95	1.188.103,97	10.722,02	0,91%	9	●	●	●	13	1.263.862,99	1.285.649,81	21.786,82	1,72%
10	●	●	●	11	1.320.646,03	1.347.438,76	26.792,73	2,03%	11	●	●	●	15	1.174.316,95	1.180.012,15	5.695,20	0,48%
12	●	●	●	14	1.162.485,71	1.175.289,32	12.803,61	1,10%	13	●	●	●	14	1.224.537,90	1.244.196,11	19.658,21	1,61%
14	●	●	●	20	712.257,06	712.257,06	0,00	0,00%	15	●	●	●	11	1.335.778,09	1.370.602,34	34.824,25	2,61%
16	●	●	●	14	1.207.137,66	1.221.612,79	14.475,13	1,20%	17	●	●	●	13	1.230.693,00	1.249.334,74	18.641,74	1,51%
18	●	●	●	11	1.351.869,06	1.383.417,00	31.547,94	2,33%	19	●	●	●	15	1.142.913,02	1.145.625,96	2.712,94	0,24%
20	●	●	●	15	1.147.561,46	1.152.477,06	4.915,60	0,43%	21	●	●	●	11	1.346.034,61	1.374.676,74	28.642,13	2,13%
22	●	●	●	10	1.379.106,89	1.420.124,54	41.017,65	2,97%	23	●	●	●	20	711.150,32	711.150,32	0,00	0,00%
24	●	●	●	14	1.170.304,01	1.179.363,72	9.059,71	0,77%	25	●	●	●	13	1.268.328,89	1.292.500,92	24.172,03	1,91%
26	●	●	●	14	1.154.667,41	1.171.214,92	16.547,51	1,43%	27	●	●	●	14	1.234.896,97	1.250.159,66	15.262,69	1,24%

Onde: VE é vida útil econômica, “A” é custo de Aquisição, “C” é Custo de O&M, “v” é valor de revenda, “●” é o cenário neutro, “●” é o cenário otimista, “●” cenário pessimista, CSO é o custo da substituição otimizada e CM20 é o custo de manter o caminhão operando por 30 semestres.

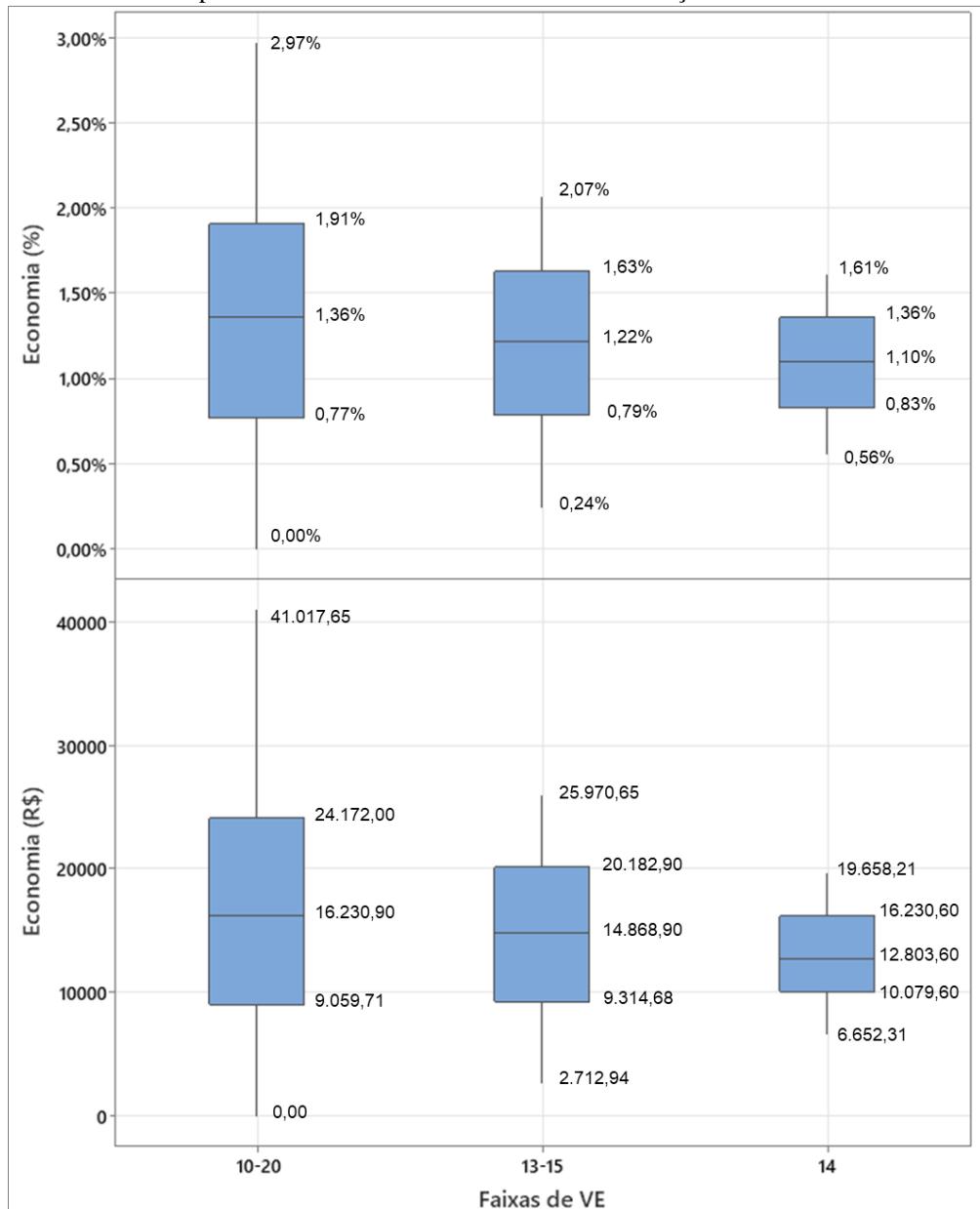
As economias resultantes das substituições ótimas dos 27 subcenários variaram de R\$ 0,00 (subcenários 14 e 23 com substituição no 20º semestre) a R\$ 41.017,65 (subcenário 22 com substituição no 10º semestre). Vale observar que, como os subcenários com substituição ótima no 20º semestre (outliers) são iguais à política de substituição em comparação, os custos de ambos são iguais, não gerando economia.

Além disso, quanto mais cedo ocorre o momento de substituição ótimo nos resultados dos subcenários, maior tende a ser o valor economizado, visto que a economia acontecerá num espaço maior de tempo até o 40º semestre. Por esse motivo, os subcenários com menores valores de vida útil econômica possuem os maiores valores de economia em relação à política de substituição do caminhão no 20º semestre.

Com base nessa característica dos resultados do modelo, os maiores valores economizados na comparação das políticas de substituição não deve ser o parâmetro decisor na escolha do momento de substituição do veículo, uma vez que a maior economia sempre acontecerá no subcenário com menor valor de vida útil econômica, o qual é tem pequena probabilidade de ocorrer, como no caso da presente modelagem em que o 10º semestre apareceu apenas em 3,7% dos resultados, apesar de ser o subcenário com o maior valor de economia.

A fim de representar a distribuição dos valores economizados nos resultados dos 27 subcenários modelados, foram elaborados os gráficos boxplot apresentados na Figura 40. No caso, são apresentadas as distribuições dos valores economizado (em real e em percentual) de três faixas de resultados, no caso: a) 10º ao 20º semestre; b) do 13º ao 15º semestre e; c) apenas no 14º semestre (moda dos resultados).

Figura 40 – Gráfico Boxplot dos valores de economia do CSO em relação ao CM20.



A economia percentual dos resultados de vida útil econômica dos 27 subcenários variaram de 0,00% (nos subcenários 14 e 23 com a VE de 20 semestres) a 2,97% (no subcenário 22 com VE igual a 10 semestres) em relação à política de manter o veículo operando por 20 semestres.

Vale observar que os dois resultados extremos de substituição ótima no 10º e no 20º semestre são iguais aos valores de vida útil mais recorrentes no levantamento da Etapa 1 da pesquisa (5 e 10 anos de vida útil). Entretanto, apesar de estarem presentes nos resultados da modelagem, esses semestres são os com menor probabilidade de ocorrer, no caso, o 10º semestre corresponde a 3,7% e o 20º semestre a 7,4% dos resultados, não

sendo, para o caminhão analisado, esses os semestres mais indicados para a substituição do ponto de vista econômico.

A faixa de semestre mais indicada para a substituição do veículo foi do 13º ao 15º semestre. Nessa faixa a economia identificada variou de R\$ 2.712,94 (0,24%) a R\$ 25.970,65 (2,07%), sendo que os 50% de resultados em torno da mediana variaram de R\$ 9.314,68 (0,79%) a R\$ 20.182,90 (1,63%).

Apesar da economia gerada nessa faixa não ser tão expressiva quando a do subcenário 22 (2,94% de economia) com a substituição ótima ocorrendo no 10º semestre, a probabilidade de a substituição ótima ocorrer entre o 13º e o 15º semestre é muito maior, uma vez que essa faixa abrange 74,00% dos resultados dos 27 subcenários da modelagem.

Por fim, os resultados de vida útil econômica e momento de substituição no 14º semestres, que representam 40,70% dos resultados, tiveram valores de economia de custo variando de R\$ 6.652,31 (0,56%) a R\$ 19.658,21 (1,61%), com a mediana da série de dados igual a R\$ 12.803,60 (1,10%) e o valor médio de economia com a substituição nesse semestre sendo igual a R\$ 13.059,35.

Considerando a frota da empresa, conforme Belém (2020), de 42 caminhões compactadores (Anexo 4) e extrapolando o valor médio de economia com a substituição no 14º semestre para os demais veículos da frota, pode-se estimar genericamente que a implantação da substituição dos veículos a partir do valor de vida útil econômica simulado pelo modelo matemático desta tese poderia gerar uma economia total de cerca de 548.492,70 no período em questão (do 14º semestre até o 40º semestre, mais precisamente), valor correspondente à compra de quase dois caminhões novos (1,94 caminhões), considerando o Custo de Aquisição do caminhão analisado neste trabalho (R\$ 283.200,00).

Vale observar que essa estrepação foi realizada apenas para se ter dimensão da economia possível de ser alcançada com a aplicação do modelo matemático desenvolvido nesta tese numa frota de veículos. Entretanto, o valor mais preciso de economia de uma frota completa constituída por caminhões de diferentes características só é possível por meio da modelagem individual de cada grupo de caminhão com características semelhantes.

Ainda assim, o modelo desenvolvido possibilitou identificar a vida útil econômica e o semestre ótimo de substituição do caminhão compactador, além de estimar a economia possível de ser gerada a partir dessa substituição, o que demonstra a aplicabilidade e a relevância do modelo na gestão de frotas de caminhões compactadores de RSU.

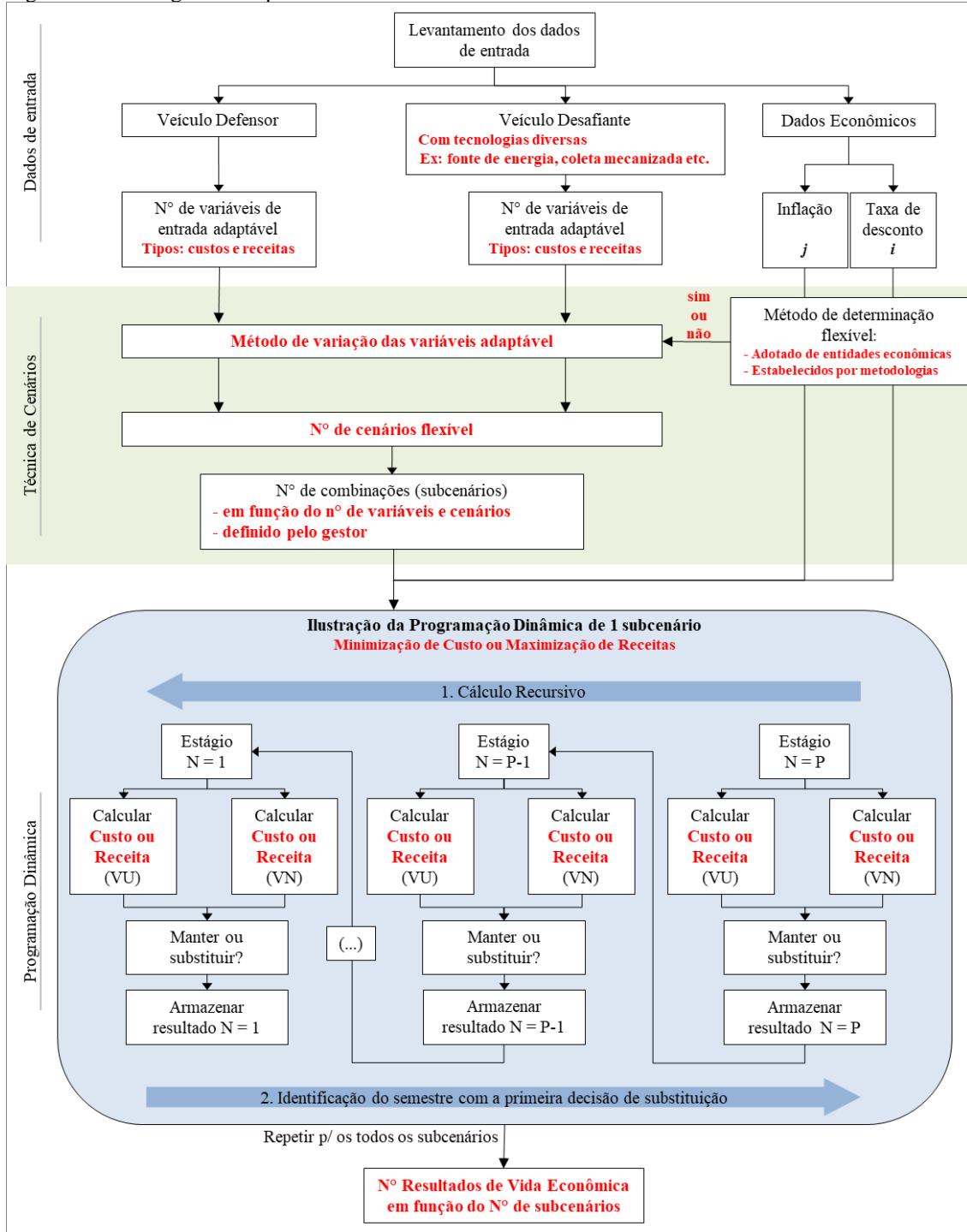
Esta tese, ao conceber e aplicar um modelo direcionado à otimização do tempo de operação de caminhões compactadores de resíduos sólidos, contribuiu para suprir a lacuna na literatura técnica e acadêmica nacional, identificada na primeira etapa da pesquisa, no âmbito das técnicas e procedimentos voltados para a determinação do momento ótimo de substituição de caminhões de coleta e transporte de RSU, o que impacta na gestão das frotas e no custo relacionado à prestação desses serviços nos municípios brasileiros.

Além disso, as adaptações realizadas no modelo desta tese contribuem na exploração das diferentes formas como as ferramentas utilizadas podem ser combinadas ou aplicadas, no caso: a) a combinação da programação dinâmica com a técnica de cenários para a identificação de resultados alternativos; b) a flexibilidade potencial do modelo em termo de número de variáveis de interesses e de comparação de veículos com diferentes características na modelagem e; c) o aumento do horizonte da modelagem para o dobro da vida útil máxima estabelecida para o veículo a fim de reduzir o impacto da condição de contorno do modelo de substituir compulsoriamente o veículo no último semestre.

Vale observar que os resultados da presente pesquisa se referem a um estudo de caso particular. Por esse motivo, em outros contextos e aplicações, os resultados gerados pela modelo podem ser distintos e, até mesmo, significativamente diferentes.

Assim, considerando a possibilidade de replicação do modelo proposto nesta tese em outros casos, realidades e perspectivas, é ilustra na Figura 41 as características de combinação de técnicas e de flexibilidade na sua utilização, o que torna o modelo adaptável e com aplicabilidade geral.

Figura 41 – Fluxograma adaptável do modelo.



5. CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

5.1. CONCLUSÕES

Nas 32 práticas de vida útil pesquisadas na primeira etapa da tese, apenas seis apresentaram alguma fonte para o estabelecimento da vida útil do caminhão compactador. No entanto, mesmo entre esses poucos casos, foi identificada a utilização de fonte inadequada ao contexto, no caso, uma Instrução Normativa da área fiscal. Desses documentos, apenas um teve como ponto de apoio a realidade interna da entidade, a saber, a experiência da administração da empresa. Nos demais documentos foram utilizados valores externos à entidade, quer usando série de dados de vida útil de órgãos públicos, quer se apropriando de valores estabelecidos em documentos preexistentes, como de Tribunal e Conta e Instrução Normativa.

Ressalte-se que nenhum destes 32 textos se constitui de um estudo acadêmico ou uma pesquisa técnica ou científica, mas sim de processos licitatórios, contratos, auditorias ou outros tipos de trabalhos, o que demonstra que há uma lacuna na academia de estudos robustos para estimar ou identificar vida útil econômica de veículos no segmento de saneamento.

Os valores de vida útil identificados foram, em grande parte, iguais a 5 anos (42,86%) e a 10 anos (25,71%), indicado a existência da prática no setor de coleta e transporte de resíduos sólidos de reprodução de valores de vida útil a partir de valores preexistentes em outros documentos.

Apesar da existência de técnicas que podem ser aplicadas à determinação de valores de vida útil de caminhões compactadores e, com isso, subsidiar mais assertivamente as tomadas de decisão, o planejamento e a gestão neste segmento ainda têm recorrido à adoção de valores comumente utilizados no meio, os quais não apresentam fundamentação em procedimentos de economicidade e, portanto, tendem a aumentar significativamente a chance de resultados economicamente inefficientes e tecnicamente falhos.

Dentro desse contexto, o modelo de determinação da vida útil econômica (momento ótimo de substituição) do caminhão de coleta e transporte de RSU é uma contribuição para o gerenciamento e tomada de decisão a respeito das frotas desses veículos pelo gestor.

A concepção do modelo combinando a programação dinâmica, que trata de calcular e identificar a solução ótima por meio da solução e interação de subproblemas menores, com a técnica de cenários, com a técnica de cenários, que é uma alternativa robusta e relativamente simples de tratar a questão das incertezas, possibilitou a visualização de resultados alternativos, dependendo de como as variáveis de interesse (Custo de Aquisição, Custo de O&M e Valor de Revenda) são afetados pelo contexto econômico e técnico aos quais estão inseridos. Além disso, a flexibilidade do número de variáveis a serem utilizadas no modelo, a sua utilização para otimização dos custos ou maximização da receita e a possibilidade de utilizar na modelagem veículos com diferentes características confere ao modelo uma abrangente aplicação e a característica de adaptação.

Além disso, o horizonte de modelagem igual ao dobro da vida útil máximo estabelecida para o caminhão compactador permitiu diminuir o impacto da condição de contorno do modelo de substituição forçada do caminhão no último período, ao conferir a alternativa de substituir ou manter os veículos com todas as idades no vigésimo estágio e em todos os estágios subsequentes até o último semestre do modelo (40º semestre).

O comportamento dos resultados dos 27 subcenários simulados ter sido semelhante ao de uma distribuição normal, com os resultados de vida útil econômica girando em torno de resultado do subcenário de referência de 14 semestres, indica que o funcionamento e os resultados gerados pelo modelo possuem coerência e apontam para um único semestre ótimo de substituição. Essa constatação aponta para a aplicabilidade do modelo para atender a lacuna de técnicas para auxiliarem na tomada de decisão dos gestores pelo momento ótimo de substituição dos veículos.

Como resultado da aplicação do modelo realizada da presente pesquisa, foi identificado que as variáveis de interesse Custo de Aquisição e Valor de Revenda, quando ocorreram no cenário otimista, resultaram em menores valores de vida útil econômica para o caminhão, enquanto a variável Custo de O&M gerou esse resultado quando simulado no cenário pessimista. Esse comportamento ocorreu por: a) Custos de Aquisição menores induzirem à compra de novos caminhões mais rapidamente; b) maiores Valores de Revenda direcionarem à venda do veículo em uso mais cedo e; c) elevados Custos de O&M tornarem mais interessante operar pelo uso de veículos novos, o que resulta na substituição mais rápida dos veículos que vão envelhecendo.

Por fim, foi identificado que o semestre mais indicado para a substituição do caminhão compactador analisado foi o 14º, em razão de, entre os 27 subcenários

analisados, esse ser o semestre com maior probabilidade (40,70%) de ser o correspondente à vida útil econômica efetiva do caminhão. Além disso, comparando o custo da substituição do caminhão nesse semestre em relação a manutenção do veículo operando por 20 semestres seguidos, a economia média gerada seria de 1,10% (podendo variar de 0,56% a 1,61%). Considerando uma economia dessa dimensão para toda a frota da empresa, o montante economizado poderia ser utilizado para a aquisição de dois novos caminhões compactadores novos de mesmo modelo do analisado.

5.2. SUGESTÃO PARA FUTURAS PESQUISAS

A partir da realização deste trabalho, foram identificados os seguintes pontos que poderão ser objeto de futuros trabalhos e de expansão do modelo desenvolvido:

- Inserir ao modelo variáveis ambientais para auxiliar na tomada de decisão embasada em critérios econômicos e ambientais, tais como: a) ciclo de vida dos componentes físicos do caminhão; b) produção de gases poluentes; c) impacto ambiental da produção de um caminhão novo etc.;
- Acrescentar cenários baseados em diferentes formas de manutenção (manutenção preventiva, preditiva e corretiva) dos caminhões e de operação (operação em um turno, dois turnos ou três turnos diários);
- Acrescentar cenários para diferentes destinações do caminhão substituído (venda como sucata, venda como equipamento em funcionamento, reutilização em outra área pelo mesmo proprietário etc.).
- Tratar a questão das incertezas por outras técnicas, como Simulação de Monte Carlo ou Inteligência Artificial (IA).

REFERÊNCIAS

- ABENSUR, Eder Oliveira. A substituição de bens de capital: um modelo de otimização sob a óptica da Engenharia de Produção. Gest. Prod., São Carlos, v. 22, n. 3, p. 525-538, Setembro, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2015000300525&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 29 de abr. de 2021.
- ABENSUR, Eder Oliveira. Um modelo alternativo de otimização para a política de reposição de equipamentos. Sinergia. XXX Encontro Nacional de Engenharia De Produção, 2010. Disponível em:<http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_tn_sto_126_810_14784.pdf>. Acesso em: 3 ago. 2021.
- AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO – ARSESP. Cálculo da Tarifa Média Máxima (P0) da 1ª Revisão Tarifária Ordinária de Água e Esgoto da Companhia de Serviços de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá – SAEG. Nota Técnica Final. 2023.
- ALAGÖZ, Aylin Zeren; KOCASOY, Günay. Improvement and modification of the routing system for the health-care waste collection and transportation in İstanbul. Waste Management. v. 28, ed. 8, p. 1461-1471. 2008. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X07002772>>. Acesso em: 20 set. 2021.
- ALBUQUERQUE, Sheila Andréa Silva de. Depreciação de bens no setor público: proposta de implantação dos procedimentos obrigatórios da depreciação no Instituto Federal de Alagoas. Dissertação (mestrado profissional em Administração Pública), Universidade Federal de Alagoas, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. UFAL, 2019. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/6361>>. Acesso em: 17 de Mai. de 2021.
- ALELUIA, João; FERRÃO, Paulo. Characterization of urban waste management practices in developing Asian countries: A new analytical framework based on waste characteristics and urban dimension. Waste Manag. v. 58, p. 415-429, 2016. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X16302409>>. Acesso em 9 mar. 2022.
- ALMEIDA, Marcelo Cavalcanti. Contabilidade societária. 3. ed. - São Paulo: Atlas, 2018.
- Almeida, W. V. P (2013) Estudio de los Factores Técnicos que Afectan el Correcto Funcionamiento del Camión Recolector de Desechos Modelo CCL120, para Disminuir los Daños Frecuentes en la Estructura del Sistema Compactador. Orientador Jorge Guamanquispe. Universidade Técnica de Ambato. Faculdade de Engenharia Civil e Mecânica. Ambato, Equador. Disponível em:<<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/6108>> (Acesso em 14/05/2022).
- ALTO SANTO. Pregão Presencial nº 2017.04.20.01. Governo Municipal. Secretaria de Obras e Urbanismo. 2017. Disponível em:

<https://www.altosanto.ce.gov.br/arquivos/licitacao/29/167/EDITAL%20E%20ANEXO%20PARTE%2001.pdf>. Acesso em 14/05/2022.

ARAPONGAS. Arapongas iniciará a Coleta Seletiva. 2013. Disponível em:<https://www.arapongas.pr.gov.br/814_noticia_arapongas-iniciara-a-coleta-seletiva>. Acesso em: 8 jul. 2021.

ARAUCÁRIA. Concorrência Pública nº 001/2017: Processo nº 0620/2017. Prefeitura de Araucária - PA. 2017. Disponível em:<http://aplicacoes.arauacaria.pr.gov.br/grp/uploads/licitacao/CONC_001_2017_PL_620_2017_COLETA_DE_RESIDUOS_SOLIDOS_TERCEIRA_REPUBLICACAO_1526575137.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2021.

ARROIO DO MEIO. Contratação de empresa de engenharia especializada para execução de serviços de coleta, armazenamento e transporte ao destino final de resíduos sólidos domiciliares urbanos e rurais no município de Arroio do Meio – RS. Município de Arroio do Meio - RS. s.d. Disponível em:<<http://www.arroiodomeio.org/upload/downloads/11426d5d5985165bcb7892fd769573076d2904e1.pdf>>. Acesso em: 01 out. 2021.

ASGHARI, Vahid; HSU, Shu-Chien. An open-source and extensible platform for general infrastructure asset management system, Automation in Construction. v. 127, 2021. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580521001436>>. Acesso em: 27 jul. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 12980: Coleta, varrição e acondicionamento de resíduos sólidos urbanos. ABNT: Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14653-1: Avaliação de bens – Parte 1: Procedimentos gerais. ABNT: Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: Confabilidade e mantinibilidade. ABNT, 1994.

BAEPENDI. Edital de Processo Licitatório. Prefeitura de Baependi - MG. Disponível em:<http://www.baependi.mg.gov.br/site/download/editais_2019_-_trimestre_03/0149-0077-Contratacao-de-empresa-para-coleta-de-RSU.pdf>. Acesso: 27 jul. 2021.

BARRA DO RIBEIRO. Edital de Licitação nº021/2020. Barra do Ribeiro - RS. 2020. Disponível em:<<https://www.barradoribeiro.rs.gov.br/uploads/licitacao/EDITAL-No-021-2020-TOMADA-DE-PRECOS-No-004-2020-Coleta-do-lixo.pdf>>. Acesso em: 27 jul. 2021.

BARROS, R. T. V. Elementos de Gestão de Resíduos Sólidos. Belo Horizonte: Tessitura, 2012, 424 p.

BATTISTELLA, Nathália. Avaliação de modelo computacional para planejamento e otimização de rotas de coleta para catadores de materiais recicláveis. Dissertação de Mestrado. Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2014. Disponível em:<<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/129376>>. Acesso em: 7 jul. 2021.

BAYEUX. Concorrência nº 00002/2021 – PMBEX. Processo Administrativo nº 00123/2021 – PMBEX. Estado da Paraíba. Prefeitura Municipal de Bayeux. Comissão Permanente de Licitação. 2021.

BEIRNES, T. J. Analysis of fleet replacement lifecycle. West Palm Beach. 2012.

BELLMAN, R. Equipment replacement policy. Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics, vol. 3, p. 133-136, 1955.

BENVENHO, Agnaldo Calvi. Abordagem: A Estimativa da Taxa de Desconto. Boletim Técnico BTec – 2014/001. Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia. 2014.

BEZERRA, Daniel Epifânio *et al.* Panorama dos Resíduos Sólidos Urbanos sob a Perspectiva de um Grupo de Moradores da Cidade De Areia – PB. Brazilian Journal of Development. v. 6, n. 1, 2020. Disponível em:<<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/6306>>. Acesso em: 29 jul. 2021.

BIAGIOTTI FILHO, Antônio Sérgio. Modelo de renovação de frota para uma empresa de transporte de carga. Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção. 2005.

BLANK, Leland.; TARQUIN, Anthony. Engenharia Econômica. Tradução: José Carlos Barbosa dos Santos. 6. ed. São Paulo: McGraw-Hill. 2008.

BLOG DO CARPÊ. Prefeitura Garante Eficiência da Coleta de Lixo com Substituição de Carroças por Pequenos Tratores. 2020. Disponível em:<<http://www.blogdocarpe.com.br/2020/07/prefeitura-garante-eficiencia-da-coleta.html>>. Acesso em: 8 jul. 2021.

BOA VISTA DO CADEADO. Pregão Presencial 34/2019 - Retificado. Prefeitura de Boa Vista do Cadeado - RS. 2019. Disponível em:<<https://boavistadocadeado.rs.gov.br/licitacao/visualizar/id/2168/?pregao-presencial-342019-retificado.html>>. Acesso em: 25 de set. de 2021.

BRASIL. Instrução Normativa RFB Nº 1700, de 14 de março de 2017. Ministério da Fazenda. Secretaria da Receita Federal. 2017. Disponível em: <http://normas.receita.fazenda.gov.br/sijut2consulta/link.action?idAto=81268>. Acesso em 14/05/2022.

BRASIL. Instrução Normativa SRF Nº 162, de 31 de dezembro de 1998. Ministério da Fazenda. Secretaria da Receita Federal. 1998. Disponível em: <http://normas.receita.fazenda.gov.br/sijut2consulta/link.action?naoPublicado=&idAto=15004&visao=anotado>. Acesso em 14/05/2022).

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. DF, 2010a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 12 de Mai de 2021.

BRASIL. Lei Nº 14.026, de 15 e Julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico. DF, 2020a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm>. Acesso em: 12 de Mai. de 2021.

BRASIL. Manual de Saneamento. Fundação Nacional de Saúde. 3. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006a. 408 p.

BRASIL. Manual de Saneamento. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde - Funasa. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. 5.ed. Brasília: Funasa, 2019.

BRASIL. Manual para Implantação de Compostagem e de Coleta Seletiva no Âmbito de Consórcios Públicos. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. Brasília-DF, 2010b.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. Plano Nacional de Resíduos Sólidos - Planares [recurso eletrônico] / coordenação de André Luiz Felisberto França... [et. al.]. – Brasília, DF: MMA, 2022.

SILVA, Antonio Thiago Benedete da; SPERS, Renata Giovinazzo; WRIGHT, James Terence Coulter. A Elaboração de Cenários na Gestão Estratégica das Organizações: Um Estudo Bibliográfico. Revista Ciência da Administraçāi. v.14, n. 32, p.21-34, abr. 2012.

BRASIL. Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB: Mais Saúde com Qualidade de Vida e Cidadania. Ministério das Cidades. Brasília: MCidades. SNSA, 2014.

BRASIL. Resolução CONTRAN nº 210 de 13/11/2006. Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN. 2006b. Disponível em:<<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=104243>>. Acesso em: 6 de jul. de 2021.

BRASIL. Resolução CONTRAN nº 211 DE 13/11/2006. Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN. 2006c. Disponível em:<<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=104237>>. Acesso em: 6 de jul. de 2021.

BRASIL. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2019. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Brasília: SNS/MDR, 2020b.

BRASIL. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2022. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA. Brasília: SNS/MDR, 2023.

BRASIL. Situação Social das Catadoras e dos Catadores de Material Reciclável e Reutilizável – Brasil. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. 2013. Disponível em:<https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/situacao_social/131219_relatorio_situacaosocial_mat_reciclavel_brasil.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2021.

BRASILEIRO, L. A.; LACERDA, M. G. Análise do uso de SIG no roteamento dos veículos de coleta de resíduos sólidos domiciliares. *Engenharia Sanitária E Ambiental*, 13(4), 356–360. 2008.

BRUNI, Adriano Leal. *A Administração de Custos, Preços e Lucros*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2008. 387 p.

BUARQUE, Sérgio C. Metodologia e técnicas de construção de cenários globais e regionais. Brasília: IPEA, 7-71. 2003.

CAMPELLO, Ruy Eduardo. Programação Dinâmica Determinística e Estocástica. XXXIV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Rio de Janeiro/RJ, 2002. Disponível em:<<http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2002/pdf/arq0225.pdf>>. Acesso em: 1 jul. 2021.

CANOAS. Coleta de Resíduos Sólidos: Planilha de Composição de Custos. Prefeitura Municipal de Canoas. 2018. Disponível em:<https://www.canoas.rs.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/ANEXO_I__ORAMENTO_ESTIMADO_E_PLANILHA_CUSTOS.pdf> (Acesso em 14/05/2022).

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITTKE, B. H. *Análise de Investimentos: Matemática Financeira, Engenharia Econômica, Tomada de Decisão e Estratégia Empresarial*. 11 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

CATALÃO. Pregão presencial Nº 057/2017. Prefeitura de Catalão - GO. 2017. Disponível em:<<http://www.catalao.go.gov.br/site/v4/upload/licitacao/6a7a9391231f0f495815dbfbff4584.pdf>>. Acesso em: 27 jul. 2021.

CEDRO. Processo Licitatório Nº 061/2017: Tomada de Preços Nº 002/2017. Comissão Permanente de Licitação. Prefeitura Municipal de Cedro - CE. 2017. Disponível em:<https://www.cedro.pe.gov.br/arquivos/licitacao/77/99/EDITAL%20E%20ANEXO_S.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2021.

COMITÊ DE PRONUNCIAMENTOS CONTÁBEIS – CPC. 2009. Pronunciamento técnico CPC 27. Disponível em:<http://static.cpc.aatb.com.br/Documentos/316_CPC_27_rev%2014.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2021.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM – CEMPRE. Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado / Coordenação geral André Vilhena. – 4. ed. – São Paulo (SP): CEMPRE, 2018. 316 p.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS – CNM. Guia para Integração dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável nos Municípios Brasileiros – Gestão 2017-2020 – Brasília, DF: CNM, 2017.

CORNELIUS, Peter; VAN DE PUTE, Alexander; ROMANI, Mattia. Three decades of scenario planning in shell. *California Management Review*, 48, 92- 109. 2005.

CORREIO DOS MUNICÍPIOS. Proibição de carroças com tração animal versus sustento de carroceiros. 2020. Disponível em:<<https://www.correiodosmunicipios.com.br>>

al.com.br/2020/11/proibicao-de-carrocas-com-tracao-animal-versus-sustento-de-carroceiros/>. Acesso em: 8 jul. 2021.

COSTA, Felipe Escovedo da. Proposta de um Plano de Manutenção Contínua para uma Empresa de Transporte Coletivo. Projeto de Graduação. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia |Mecânica. Universidade de Brasília. Brasília, 2018.

COSTA, Natan Ruan da; NASCIMENTO, Victor Fernandez; OMETTO, Jean. Roteirização de Veículo de Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos Utilizando SIG. Conference: 19º Congresso Nacional de Iniciação Científica - CONIC-SEMEP. São Paulo, SP. 2019. Disponível em:<https://www.researchgate.net/publication/338018643_Roteirizacao_de_Veiculo_de_Coleta_de_Residuos_Solidos_Urbanos_Utilizando_SIG>. Acesso em: 20 de set. de 2021.

COSTA, Reinaldo Pacheco da; SARAIVA JUNIOR, Abraão Freires. Análise comparativa entre as depreciações econômica, contábil e real. XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Desenvolvimento Sustentável e Responsabilidade Social: As Contribuições da Engenharia de Produção. Bento Gonçalves - RS, 2012.

CRUZ, Felipe. Python: escreva seus primeiros programas. Casa do Código. São Paulo – SP, 2015.

CRUZ, Vitor Nunes; FERNANDES, June Marques; REIS, Luciana Paula. Análise do Processo de Substituição de Equipamentos por meio do Método CAUE em uma Mineradora de Grande Porte. XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Fortaleza – CE, 2015.

Cuba (2007) The Study on Integrated Management Plan of Municipal Solid Waste in Havana City - Republic of Cuba. Japan International Cooperation Agency (JICA). Nippon Koei CO., LTD. Pacific Consultants International. Disponível em:<https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/11855814_03.pdf> (Acesso em 14/05/2022).

CUNHA, Valeriana. Gerenciamento da Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos: Estruturação e Aplicação de Modelo Não-Linear de Programação. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo – USP. Piracicaba, 2001. Disponível em:<<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-20190821-131859/publico/CunhaValeriana.pdf>>. Acesso em: 7 jul. 2021.

CUNHA, Valeriana; CAIXETA FILHO, José Vicente. Gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos: estruturação e aplicação de modelo não-linear de programação por metas. Gestão & Produção [online]. v. 9, n. 2, pp. 143-161. 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0104-530X2002000200004>>. Acesso em: 20 de set. de 2021.

DAMODARAN, A. Avaliação de empresas. São Paulo: Editora Prentice Hall, 2007.

DANIEL, Luciano O.; VARRICCHIO, Sergio L. Ferramentas de Prototipação Aplicadas a Sistemas de Potência: Matlab versus Python. Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos – SBSE. v. 1. n. 1. 2020. Disponível

em:<https://www.sba.org.br/open_journal_systems/index.php/sbse/article/view/2333>. Acesso em: 26 jul. 2021.

DAS, Swapan, BHATTACHARYYA, Bidyut Kr. Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes. **Waste Management**. v. 43, p. 9-18, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15004432>>. Acesso em: 6 de Mai. de 2021.

DATTEIN, Erni. Reposição de equipamentos: determinantes dos modelos de avaliação econômica. Dissertação de Mestrado apresentado ao curso de mestrado da EAESP/FGV. Área de concentração: Administração da Produção e Operação Industrial. São Paulo, EAESP/ FGV, 1980. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/10121/1198202023.pdf;jsessionid=A65DBFDE13B1BD691F5F00CA03B8D45F?sequence=1>>. Acesso em: 15 de Mai. de 2021.

DE CICCO, Francesco; FANTAZZINI, Mario Luiz. Tecnologias Consagradas de Gestão de Riscos: Riscos e Probabilidades. São Paulo: Série Risk Management, 2003).

DEUS, Rafael Mattos; BATTISTELLE, Rosane Aparecida Gomes; SILVA, Gustavo Henrique Ribeiro. Resíduos sólidos no Brasil: contexto, lacunas e tendências. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro , v. 20, n. 4, p. 685-698, Dec. 2015. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522015000400685&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 2 de Mai. de 2021.

DIÓGENES, Éder de Souza; SLOMSKI, Valmor. Depreciação em bens de infraestrutura: um estudo realizado na Rodovia Nova Imigrantes. ABCustos Associação Brasileira de Custos. v. 3, n. 3, 2008. Disponível em: <<https://revista.abcustos.org.br/abcustos/article/view/60>>. Acesso em: 17 de Mai. de 2021.

DODZO, Takudzwa. Determination of the Economic Service Life of Fleet Vehicles. 2020. Disponível em:<https://www.researchgate.net/publication/346680827_Determination_of_the_Economic_Service_Life_of_Fleet_Vehicles>. Acesso em: 14 de out. de 2021.

ENCRUZILHADA DO SUL. ENCRUZILHADA DO SUL. Edital de Licitação: Processo Licitatório nº 265/2018. Concorrência Pública nº. 01/2018. Prefeitura de Encruzilhada do Sul - RS. 2018. Disponível em:<https://www.encruzilhadadosul.rs.gov.br/prefeitura/arquivos/licitacao/processo_265-2018_-_concorrencia_publica_01-2018_011.pdf>. Acesso em: 4 de Julho de 2021.

ESPÍRITO SANTO. Instrução Normativa TC 52, de 23 de julho de 2019. DOEL-Tribunal de Contas do Estado do Espírito Santo (TCEES). Edição nº 1416, p.3. 2019. Acesso em:<<https://www.tcees.tc.br/wp-content/uploads/formidable/108/Instru%C3%A7%C3%A3o-Normativa-52-Anexo.pdf>>. Acesso em: 4 de Julho de 2021.

ESPÍRITO SANTO. Orientação Técnica para Elaboração do Projeto Brásico de Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos. Tribunal de Contas do Estado do Espírito Santo. 2018.

Disponível em:<<https://www.tcees.tc.br/tce-es-disponibiliza-manual-sobre-projeto-para-residuos-solidos-urbanos/>>. Acesso em: 28 jul. 2021.

FANGOHR, Hans. A Comparison of C, MATLAB, and Python as Teaching Languages in Engineering. Springer Berlin Heidelberg. Computational Science - ICCS 2004. p. 1210—1217. Berlin, Heidelberg. 2004. Disponível em:<https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-25944-2_157>. Acesso em: 26 jul. 2021.

FAXINAL DO SOTURNO. 4149. Arquivo em extensão xlsx. Sem data. Disponível em:<<https://www.faxinaldosoturno.rs.gov.br/arqs/4149.xlsx>> (Acesso em 14/05/2022).

FEIJOO, A. M. L. C. Medidas de tendência central. In: A pesquisa e a estatística na psicologia e na educação. p. 14-22. Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais, 2010. Disponível em: <https://books.scielo.org/id/yvnwq/pdf/feijoo-9788579820489-05.pdf>. Acesso em 14/05/2022.

Ferronato, N. et al. Application of a life cycle assessment for assessing municipal solid waste management systems in Bolivia in an international cooperative framework. Waste Management & Research. v. 38, ed.1, p. 98-116. 2020. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0734242X20906250>. Acesso em 14/05/2022.

FOGLIATTO, Flávio Sanson Confabilidade e manutenção industrial [recurso eletrônico] / Flávio Sanson Folgliatto e José Luis Ribeiro Duarte. - Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPROM, 2011.

FOLHA DO BICO. Prefeitura de Marabá-PA faz coleta de lixo com motocicletas. 2015. Disponível em:<<https://www.folhadobico.com.br/prefeitura-de-maraba-pa-faz-coleta-de-lixo-com-motocicletas/>>. Acesso em: 8 jul. 2021.

FORTALEZA. Mensagem nº 0060, de 01 de Novembro. DE 2019. Fortaleza, 2019. Disponível em:<<https://sapl.fortaleza.ce.leg.br/media/sapl/public/materialegislativa/2019/53285/pl04092019.pdf>>. Acesso em: 17 jul. 2021.

FRANÇA JÚNIOR, Carlos Roberto; ARANTES, Daniella Ferreira. Roteirização Através do SIG para Coleta de Lixo Doméstico: Um Estudo de Caso da Cidade de Silvânia. Orientadora: Profa. Dra. Luciana Araújo Azevedo. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Bacharelado em Engenharia de Transportes, Departamento de Áreas Acadêmicas III, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Goiânia - GO, 2019. 86 f.

FRANÇA, C. R. JR.; ARANTES, D.F.L.; Roteirização Através do SIG para Coleta de Lixo Doméstico: Um Estudo de Caso da Cidade de Silvânia – GO. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do Curso de Engenharia de Transportes do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Goiânia, Goiânia-GO, 2019.

FRANCA, Luíza Santana. Uma Proposta para a Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos na Região Serrana II, Considerando as Práticas de Reciclagem e Compostagem. Orientador:

Márcio de Almeida D'Agosto. Projeto de Graduação – UFRJ/ POLI/Curso de Engenharia Ambiental. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2013.

FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS – FIPE. Preço Médio de Veículos. 2015. Disponível em:<<https://veiculos.fipe.org.br/>>. Acesso em 27 jul. 2021.

FURCH, J. Proactive Maintenance of Motor Vehicles. International Scientific Journal. Machines. Technologies. Materials. v. 8, ed. 1. p. 41-46. 2014.

GELCKE, Ernesto Rubens *et al.* Manual de contabilidade societária : aplicável a todas as sociedades: de acordo com as normas internacionais e do CPC. 3. ed. – [2. Reimpr.]. – São Paulo: Atlas, 2018.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. Métodos de pesquisa. Coordenado pela Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS e pelo Curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GLOBO NOTÍCIAS. Centenas de carroças usadas para descarte irregular de lixo nas ruas são apreendidas em Belém. Globo Comunicação e Participações S.A. 2018. Disponível em:<<https://g1.globo.com/pa/para/noticia/2018/07/19/centenas-de-carrocas-usadas-para-descarte-irregular-de-lixo-nas-ruas-sao-apreendidas-em-belem.ghtml>>. Acesso em: 16 jul. 2021.

GOIÁS. Tribunal de Contas dos Municípios do Estado de Goiás – TCM/GO. Resolução Administrativa RA nº 00099/2016. 2016. Disponível em: <https://www.tcmgo.tc.br/site/wp-content/uploads/2017/08/RA099-2016.pdf>. Acesso em 14/05/2022.

GOIATUBA. Encargos Sociais AGETOP. Editais. Prefeitura de Goiatuba - GO. 2017. Disponível em:<<http://www.goiatuba.go.gov.br/documentos/editais/prefeitura/2017/Edital%20Pregao%200018-2017/ANEXO%20XII%20OR%C3%87AMENTO.pdf>>. Acesso em: 27 jul. 2021.

GRAÇA. Projeto de Coleta e Limpeza Pública. Estado do Ceará. Governo Municipal de Graça. 2021. Disponível em: <https://www.graca.ce.gov.br/arquivos/licitacao/718/3177/PROJETO%20BASICO%20DE%20COLETA%20E%20LIMPEZA%20PUBLICA%20-%20PREF.%20DE%20GRACA%20-%202021.pdf>. Acesso em 14/05/2022.

GRIMBERG, Elisabeth; BLAUTH, Patricia. Coleta seletiva de lixo: reciclando materiais, reciclando valores. Publicação PÓLIS. n. 31, PÓLIS, 1998.

GRUPY-SANCA. Curso Introdutório de Python. CC BY-NC-SA 4.0, 2021. Disponível em:<<https://buildmedia.readthedocs.org/media/pdf/curso-python/latest/curso-python.pdf>> Acesso em: 27 jul. 2021

GUAÇUÍ. Projeto Básico. Prefeitura Municipal de Guaçuí. Secretaria de Obras, Infra-Estrutura e Serviços Públicos. Guaçuí-ES, Março. 2020. Disponível em: https://guacui.es.gov.br/arquivos/files/2020/06/arquivo/pp_0342020__projeto_basico_locacao_de_caminhao_de_lixo_5ed539637e505.pdf. Acesso em 14/05/2022.

GUERRERO, Lilliana Abarca; MAAS, Ger; HOGLAND, William. Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste Management*. v. 33, ed. 1, p. 220-232, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X12004205>>. Acesso em: 11 de Mai. de 2021.

GUIMARÃES, Adriano Dutra. Estudo comparativo entre os métodos de depreciação e valor de mercado da frota de veículos de uma empresa comercial de Florianópolis. Monografia. Departamento de Ciências Contábeis. Centro Sócio Econômico. Universidade Federal de Santa Catarina. 2008. Disponível em:<<http://tcc.bu.ufsc.br/Contabeis291515.pdf>>. Acesso em: 22 de jul. de 2021.

GUTIERREZ-GOMEZ, Andrea Carolina; GALLEGOS, Antonio Garrido; PALACIOS-BERECHE, Reynaldo, LEITE, Juliana Tofano de Campos; PEREIRA NETO, Ana Maria. Energy recovery potential from Brazilian municipal solid waste via combustion process based on its thermochemical characterization. *Journal of Cleaner Production*. v. 293, 2021. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621003656>>. Acesso em: 10 de out. de 2021.

HAIDER, Rahim *et al.* Development of Optimized Maintenance System for Vehicle Fleet. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. v. 34. p. 21-27. 2015. Disponível em:<https://www.researchgate.net/publication/297136711_DEVELOPMENT_OF_OPTIMIZED_MAINTENANCE_SYSTEM_FOR_VEHICLE_FLEET>. Acesso em: 24 jul. 2021.

HARTMAN, Joseph C. Multiple asset replacement analysis under variable utilization and stochastic demand. *European Journal of Operational Research*. v. 159, ed. 1, p. 145-165. 2004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221703003977>>. Acesso em: 4 de Mai. De 2021.

HASTAK, Makarand. Skills and Knowledge of Cost Engineering. AACE Internacional. 6th ed. p. 87, PE CCP, Editor. 2015.

HASTINGS, Nicholas A.J. Physical Asset Management. Springer. Queensland University of Technology. Centre for Integrated Engineering Asset Management (CIEAM). Gardens Point Campus, Level 7, O Block.Brisbane QLD 4001. Australia, 2010.

HEIDARI, Razieh; YAZDANPARAST, Reza; JABBARZADEH, Armin. Sustainable design of a municipal solid waste management system considering waste separators: A real-world application. *Sustainable Cities and Society*. v. 47, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670718315889>>. Acesso em 12 de Mai. de 2021.

HEIJDEN, K. V. D. Planejamento por Cenários: a arte da conversação estratégica. 2^aed., Porto Alegre: Bookman, 2009.

HEINZEN, D. A. de M., MARINHO, S. V. A. Construção de Cenários para o Alinhamento entre Formulação e Implementação da Estratégia. Revista de Ciências da Administração, 20(50), 24–43. 2018.

HEINZEN, Daiane Aparecida de Melo; MARINHO, Sidnei Vieira. A Construção de Cenários para o Alinhamento entre Formulação e Implementação da Estratégia. Revista de Ciências da Administração • v. 20, n. 50, p. 24-43, Abril. 2018.

MARCIAL, E. C.; GRUMBACH, R. J. S. Cenários prospectivos: como construir um futuro melhor. 5^aed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2008.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. Introduction to operations research. ed. 9 p. cm. Includes index. Operations research. 2010.

HUANG, Jiacong *et al.* PyAEM: A Python toolkit for aquatic ecosystem modelling. Ecological Informatics. v. 60, 2020. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574954120300844>>. Acesso em: 27 jul. 2021.

IFREMER, France *et al.* Evaluation of the Capital Value, Investments and Capital Costs in the Fisheries Sector. IREPA Onlus. 2006. Disponível em:<<https://datacollection.jrc.ec.europa.eu/documents/10213/481e4f1c-3cb3-4c60-84ed-3b879211b3b6>>. Acesso em: 22 jul. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL – IBAM. Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos / José Henrique Penido Monteiro...[et al.]; coordenação técnica Victor Zular Zveibil. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS – IBRAOP () PROC-IBR-RSU 004/2017: Análise do Orçamento da Coleta Domiciliar – custos fixos de veículos e equipamentos. Instituto Rui Barbosa – IRB. Comitê Obras Públicas. 2017. Disponível em: http://www.ibraop.org.br/wp-content/uploads/proc_rsu/PROC-IBR-RSU%20004-2017.pdf. Acesso em 14/05/2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA – IBAPE. Coletânea técnica de avaliações e perícias: boletins 1.ed. técnicos baseados no estado da arte e normas técnicas aplicáveis. – 1.ed. – São Paulo : Leud, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IPCA chega a 0,56% em dezembro e fecha o ano em 4,62%. 2024. Acesso em [https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/38884-ipca-chega-a-0-56-em-dezembro-efecha-o-ano-em-4-62#:~:text=IPCA%20fecha%20ano%20com%20alta,p.p.\)%20no%20acumulado%20do%20ano](https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/38884-ipca-chega-a-0-56-em-dezembro-efecha-o-ano-em-4-62#:~:text=IPCA%20fecha%20ano%20com%20alta,p.p.)%20no%20acumulado%20do%20ano). Acesso em: 02 abril 2024.

ITAGUAÍ. Anexo PB 37 - Dados Gerais Da Composição de Custos do Serviço de Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos por Turno. Itaguaí - RJ. 2017. Disponível em:<http://www.itaguai.rj.gov.br/licitacoeseditais/outros/edital-266_424351b566a5a579a5f95139c0f39c98.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2021.

ITAPORANGA D'AJUDA. Projeto Básico: Aquisição de Caminhão Compactador para o Município de Itaporanga D'Ajuda. Prefeitura Municipal de Itaporanga D'Ajuda.

Secretaria de Obras, Transportes e Serviços Urbanos. 2019. Disponível em: <https://www.acessounico.com.br/anexo/arquivos/4630/925f3889a0a249865db4dedd7e805deb.pdf>. Acesso em 14/05/2022.

IUDICIBUS, Sergio de *et al.* Manual de contabilidade societária. Fundação Instituto de Pesquisas Contábeis, Atuariais e Financeiras, PEA/USP. São Paulo: Atlas, 2010.

JARDIM, N. S. *et al.* Gerenciamento integrado do lixo municipal. In: D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. (Coord.). Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. 2. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT/Compromisso Empresarial para Reciclagem – CEMPRE, 2000. p. 3-25.

KARDEC, Alan; NASCIF, Julio. Manutenção: Função Estratégica. QualityMark. 3 ed. Rio de Janeiro: 2009.

KRAUS, Mathias; FEUERRIEGEL, Stefan. Forecasting remaining useful life: Interpretable deep learning approach via variational Bayesian inferences. *Decision Support Systems*. v. 125. 2019. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167923619301290>>. Acesso em: 26 jul. 2021.

LAGES. Audiência da Tração Animal ouve carroceiros e aponta regulamentação como alternativa para coibir maus-tratos. 2019. Disponível em:<<https://www.camaralages.sc.gov.br/camara/conteudo/noticias/0/49/2019/1581>>. Acesso em: 8 jul. 2021.

LEEMIS, L. Reliability: probabilistic models and statistical methods. Nova York: PrenticeHall, 384p, 1995.

LEINFELDER, Robson Rodrigues. Análise de Riscos para Redução dos Riscos de Segurança em uma pedreira paulista. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo. São Paulo, 2016.

LI, Baofeng *et al.* The Equipment Renewal Problem Based on Dynamic Programming. Fourth International Conference on Innovative Computing, Information and Control. p. 107-110, 2009. Disponível em:<<https://ieeexplore.ieee.org/document/5412309>>. Acesso em: 2 ago. 2021.

LIMA, Leandro Ferreira. A Escolha da Raxa de Desconto na Análise Custo-Benefício. Departamento de Economia. Universidade de Brasília. 2013.

LOURENÇO JUNIOR, Antonio; OLIVEIRA, Luiz Cláudio Vieira de; KILIMNIK, Zélia Miranda. O Planejamento de Cenários como Aprendizado. Future Studies Research Jornal: Trends and Strategies. ISSN 2175-5825. São Paulo, v. 2, n. 1, pp. 03 - 32, Jan./jun. 2010.

MAIS VERTENTES. Lagoa Dourada: Cidade informa sobre mudança no horário do caminhão do lixo. 2021, Disponível em:<<https://www.maisvertentes.com.br/noticia/2124/lagoa-dourada-cidade-informa-sobre-mudanca-no-horario-do-caminhao-do-lixo>>. Acesso em: 8 jul. 2021.

MANNARINO, Camille Ferreira; FERREIRA, João Alberto; GANDOLLA, Mauro. Contribuições para a evolução do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil com base na experiência Européia. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, p. 379-385, Junho, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522016000200379&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 03 de Mai. de 2021.

MANOEL JUNIOR *et al.* Princípios da Produção Enxuta Aplicados à Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos no Município de São Leopoldo/RS. XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual: Desafios da Engenharia de Produção na Consolidação do Brasil no Cenário Econômico Mundial. Belo Horizonte, MG, Brasil, 2011.

MARAN, Marcos. Manutenção baseada em condição aplicada a um sistema de ar-condicionado com requisito para sustentabilidade de edifício de escritórios. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

MARICÁ. Edital: Pregão Presencial n.º15/2019. Maricá - RJ. 2019. Disponível em:<https://www.marica.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/06/PP_15-2019_SOMAR.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2021.

MARQUES, Alexander Fernandes *et al.* Gestão de manutenção de frota de veículos: uma proposta de otimização através de monitoramento individualizado e contínuo. Programa de Especialização em Gestão de Negócios. Fundação Dom Cabral. Curitiba, 2017. Disponível em:<<https://repositorio.itl.org.br/jspui/bitstream/123456789/27/1/Gest%C3%A3o%20de%20manuten%C3%A7%C3%A3o%20de%20frota%20de%20ve%C3%ADculos.pdf>> Acesso em: 25 jul. 2021.

MARQUES, Gláucio Marcelino *et al.* Aplicação da programação dinâmica na substituição de equipamentos. Rev. Árvore, Viçosa , v. 29, n. 5, p. 749-756, Outubro. 2005. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622005000500010&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 29 de abr. de 2021.

MARTINS, Eliseu. Contabilidade de Custos: O Uso da Contabilidade de Custos como Instrumento Gerencial de Planejamento e Controle. 9. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2003. 367 p.

MELQUIADES, J. A.R. Modelagem para a roteirização do processo de coleta e transporte dos resíduos sólidos urbanos, Publicação T. D - 003/2015, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 145p, 2015.

MELQUIADES, José Antonio Rodríguez; ASSUNÇÃO, Lucinei Tavares de FONSECA, Adelaida Pallavicini. Modelo para a Roteirização do Processo de Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos no Contexto da Logística Urbana. Universidade de Brasília Programa de Pós-Graduação em Transportes. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Faculdade de Tecnologia. 2014.

MEMON, M. A. Integrated Solid Waste Management Bases on the 3R Approach. Journal of Material Cycles and Waste Management, v. 12, p30-40, 2010.

MENEZES Nilo Ney Coutinho. Introdução à programação com Python: algoritmos e lógica de programação para iniciantes. Novatec. ed. 3. 2019.

MILLER, Benjamin; SPERTUS, Juliette; KAMGA, Camille. Costs and benefits of pneumatic collection in three specific New York City cases. *Waste Management*. v. 34, ed. 11, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X14002645>>. Acesso em: 12 de Mai. de 2021.

MINGHUA, Zhu. Municipal solid waste management in Pudong New Area, China. *Waste Management*. v. 29, ed. 3, p. 1227-1233, 2009. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X08002924>>. Acesso em: 5 de Mai. de 2021.

MOREIRA FILHO, Cesar. A modernidade nos coletores compactadores de lixo de carga traseira. **Revista Limpeza Pública**. Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública – ABLP. 2015. Disponível em:<http://www.ablp.org.br/revistaPDF/edicao_0090.pdf>. Acesso em: 4 de jul. de 2021.

MORI, Letícia. 'Acham que a gente é lixo': a rede invisível de catadores que processa tudo o que é reciclado em SP. British Broadcasting Corporation – BBC. 2017. Disponível em:<<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-40664406>>. Acesso em: 16 jul. 2021.

NASCIMENTO NETO, Pedro Enéas do. Depreciação de bens públicos: estudo sobre a implementação da nova sistemática em uma Instituição Federal de Ensino Superior. 2016. 51f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão de Processos Institucionais) - Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

NASCIMENTO, Deyved Leonam Guimarães. Viabilidade Técnica e Econômica da Coleta e Transporte de Resíduos Sólidos Urbanos no Município de Castanhal - PA. Orientador Prof. Dr. José Almir Rodrigues Pereira. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

NASCIMENTO, V. F. et al. Municipal solid waste disposal in Brazil: improvements and challenges. *International Journal of Environment and Waste Management*, v. 23, n. 3, 2019.p. 300-318.

NASSER, R. B. Mccloud service framwork: arcabouço para desenvolvimentos de serviços baseados na simulação de Monte Carlo na Clound. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática, 2012.

NEVES, C. Análise de investimentos: projetos industriais e engenharia econômica. Rio de Janeiro: Zahar, 1981.

NOGUEIRA, Edemilson. Introdução à Engenharia Econômica. São Carlos : EdUFSCar, 2011.

O PRESENTE. Prefeitura rondoniense repassa duas empilhadeiras e passa a contar com caminhão roll on roll off. 2019. Disponível

em:<<https://www.opresente.com.br/municipios/cmei-de-pato-bragado-promove-mostra-de-novas-aprendizagens/>>. Acesso em: 8 jul. 2021.

OLIVEIRA, Ualison Rébula de et al. Risk management applied to the reverse logistics of solid waste. *Journal of Cleaner Production*. v. 296, 2021. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965262100737X>>. Acesso em: 5 de Mai. De 2021. Disponível em:<http://aprepro.org.br/conbrepro/2019/anais/arquivos/10162019_121056_5da73d503a1f9.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2021.

ONOHARA, Edson Yassuo; ONOHARA, Meiry Mayumi. Preventive Automotive Maintenance: from the Workshop Owner. REGMPE, Brasil-BR, v.4, n. 3, p. 149-164, Sep./Dec. 2019.

PANEGOSSI, Ana Carolina Gandini; SILVA, Ethel Cristina Chiari da. Substituição de equipamentos: estudo de caso em uma indústria do setor metal mecânico do interior do Estado de São Paulo IX Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. Ponta Grossa – PR, 2019.

PARANÁ. Governo inicia coleta de lixo nas ilhas de Superagui e das Peças. 2012. Disponível em:<<https://www.aen.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=67321&tit=Governo-inicia-coleta-de-lixo-nas-ilhas-de-Superagui-e-das-Pecas>>. Acesso em: 8 jul. 2021.

PARBAT, Debanjan; CHAKRABORTY, Monisha. A python based support vector regression model for prediction of COVID19 cases in India. *Chaos, Solitons & Fractals*. v. 138, 2020. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960077920303416>>. Acesso em: 27 jul. 2021.

PELEGRINI, Graciela Aparecida. Modelo de Planejamento de Manutenção para Caminhões de Cargas Frigorificadas. Tese de Doutorado. Engenharia de Produção. Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Poro Alegre, 2013.

PEREIRA, José Almir Rodrigues. Precificação do Processamento, Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos na CPTR Marituba. Laudo Pericial: Processo 0804262-32-2019.8.14.0000 TJPA. Volume III/IV. 2019.

PÉREZ, Javier; LUMBRERAS, Julio; RODRÍGUEZ, Encarnación. Life cycle assessment as a decision-making tool for the design of urban solid waste pre-collection and collection/transport systems. *Resources, Conservation and Recycling*. v. 161, 2020. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344920303050>>. Acesso em: 12 de Mai. de 2021.

PESTANA; AUGUSTO. Descrição Técnica da Composição de Preços para a Coleta, Transporte e Destino Final de Resíduos Orgânicos e Seletivos Domiciliares de Augusto Pestana/RS. Prefeitura Municipal de Augusto Pestana – RS. ECZ, Assessoria, Consultoria e Treinamento Ltda – ME. 2019. Disponível em:<https://augustopestana.rs.gov.br/uploads/edital/21949/Projeto_Bsico_Coleta_Lixo_Augusto_Pestana_24_10.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2021.

PETERS, Heloísa Pinto. Engenharia de Custo: Introdução do Conceito e Demonstração de uma Análise de Custos por Meio da Abordagem Bottom-Up de uma Peça Plástica Aplicada na Indústria Automotiva. Trabalho de Conclusão de Curso. Orientador: Prof. Mestre Adriano Araújo de Lima. Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2018. Disponível em:<https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/10515/1/CT_DAMEC_2018_2_39.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2021.

PINHEIRO, Igor Soares; FERREIRA, João Alberto. Economicidade dos serviços de coleta e transporte de resíduos sólidos urbanos. Escola de Contas e Gestão do TCE-RJ. Rio de Janeiro, 2017.

PIRENÓPOLIS. Projeto básico para locação de caminhão compactador de lixo do município de Pirenópolis. Prefeitura Municipal de Pirenópolis. 2021. Disponível em: <https://pirenopolis.go.gov.br/wp-content/uploads/2021/09/Projeto-Basico-Locacao-Caminhao-Compactador-Lixo.pdf>. Acesso em 14/05/2022.

PLIZZARI, Ricardo. Modelo de Avaliação da Vida Útil Econômica de Máquinas e Equipamentos Utilizando a Programação Dinâmica e o Método de Monte Carlo. Dissertação (Mestrado), Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2017.

PORTAL HORTOLÂNDIA. Coleta seletiva porta a porta será retomada em Hortolândia nesta segunda-feira (03/08). 2020. Disponível em:<<https://portalhortolandia.com.br/noticias/nossa-cidade/coleta-seletiva-porta-a-porta-sera-retomada-em-hortolandia-nesta-segunda-feira-03-08-85370/>>. Acesso em: 8 jul. 2021.

PORTO ALEGRE. Orientação Técnica Serviços de Coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares: Projeto, Contratação e Fiscalização. Tribunal de Contas do Estado do Rio Grande do Sul. Direção de Controle e Fiscalização. Supervisão de Auditoria Municipal. Porto Alegre, 2017. Disponível em:<<https://www.uruguaiana.rs.gov.br/uploads/edital/17107/FKKg0yei6QfLOAS8uem3L-qLsjyNs0bM.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. de 2021.

POSSO, Richard Kleber. Análise dos fatores de influência na aplicação do “FMEA de processo” em produtos estampados e sugestão de melhoria. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação, do Campus de Curitiba, UTFPR, 2007.

PRODANOV, Cleber Cristiano. Metodologia do trabalho científico [recurso eletrônico]: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico / Cleber Cristiano Prodanov, Ernani Cesar de Freitas. – 2. ed. – Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RAINERI, Ricardo. Asset life and pricing the use of electricity transmission infrastructure in Chile. Energy Policy. v. 38, ed. 1, p. 30-41, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421509006363>>. Acesso em: 15 de Mai. de 2021.

REGO, Augusto da Gama. Desenvolvimento e aplicação de metodologia para avaliação de desempenho hidroenergético de sistemas de abastecimento de água. Orientador, José

Almir Rodrigues Pereira. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Belém, 2016.

REIS, Neuto Gonçalves dos. Renovação de frota: como determinar a vida útil econômica de um veículo. NTV & LOGÍSTICA. 2009. Disponível em:<<http://www.guiadotrc.com.br/tabelasdefrete/como%20determinar%20a%20vida%20util%20economica%20de%20um%20veiculo.pdf>>. Acesso em: 26 jul. 2021.

RIBEIRO, Rodrigo Luiz Metne. Dimensionamento de um Coletor Compactador de resíduos sólidos urbanos sobre Chassi. Projeto de Graduação – UFRJ, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Mecânica. Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2017.

RIO DE JANEIRO. População vai batizar equipamento especial para varrição da Comlurb. 2011. Disponível em:<<http://www.rio.rj.gov.br/web/guest/exibeconteudo?article-id=2388259>>. Acesso em: 16 jul. 2021.

RIO DE JANEIRO. Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro – TCE/RJ. Processo: TCE-RJ Nº 220.299-4/19. Origem: Prefeitura Municipal de Carmo. Assunto: Relatório de Auditoria Governamental. 2019. Disponível em: <https://www.tcerj.tc.br/portal-tce-webapi/api/arquivos/ed98e17a-ae05-48b7-5426-08d909818588/download>. Acesso em 14/05/2022.

RODRIGUES, C. F. DE S.; F. J. C. DE LIMA E F. T. BARBOSA. Importância do uso adequado da estatística básica nas pesquisas clínicas. Brazilian Journal of Anesthesiology. p. 619-625, v. 67, ed. 6. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034709417300673>. Acesso em 14/05/2022.

ROVIRIEGO, Lucas Fernando Vaquero. Proposta de uma metodologia para a avaliação de sistemas de coleta seletiva de resíduos sólidos domiciliares. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo – USP. 2005.

SAMPAIO, Paula. Carroceiros podem ter equipamento apreendido por descarte irregular. OitoMeia. 2019. Disponível em:<<https://www.oitomeia.com.br/noticias/2019/04/10/carroceiros-podem-ter-equipamento-apreendido-por-descarte-irregular/>>. Acesso em 16 jul. 2021.

SANTA CECÍLIA RESÍDUOS. Transporte de Resíduos Sólidos: Veículo Caminhão Poliguindaste. 2020. Disponível em:<<https://santaceciliaresiduos.com.br/poliguindaste/>>. Acesso em: 8 jul. 2021.

SANTANA Felipe. Tipos de Manutenções: Manutenção Corretiva Programada. Project Management Knowledge Base – PMKB. 2017. Disponível em:<<https://pmkb.com.br/artigos/tipos-de-manutencoes-manutencao-corretiva-programada/>>. Acesso em: 24 jul. 2021.

SANTOS, Aline Christian Pimentel Almeida Desenvolvimento de modelo de sistema de informações geográficas para avaliação da eficiência hidroenergética em sistemas de abastecimento de água. Orientador, José Almir Rodrigues Pereira. Tese (Doutorado) –

Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Belém, 2015. . 180 f.

SANTOS, Tabatha; ROVARIS, Nicole Regina Souza. Cenário brasileiro da gestão dos resíduos sólidos urbanos e coleta seletiva. Anais do VI SINGEP: São Paulo, 2017.

SÃO BORJA. Coleta e Transporte dos Resíduos Sólidos Domiciliares Orgânico e Seletivos: Planilha de Composição de Custos. 2020. Disponível em: https://www.saoborja.rs.gov.br/images/conteudo/Licitacoes/2020/Planilha_de_Coleta_RSU_Seletiva_e_Containers-CP012019.pdf. Acesso em 05/15/2022.

SÃO JOSÉ DE RIBAMAR. Errata nº 002/2017-CPL/CELICC/PMSJR. REF: Edital Concorrência nº 016/2017-CPL/CELICC/PSJR. Prefeitura Municipal de São José de Ribamar. Central de Licitações, Contratos e Convênios – CELICC. 2017. Disponível em: https://www.saojosederibamar.ma.gov.br/abrir_arquivo.aspx/Concorrencia_16_2017_E_RRATA_n_002_do_Edital_da_Concorrencia_n_016_2017CPL_CELICC_PMSJR?cdLocal=3&arquivo=%7B7DA76DDD-A5CE-41C5-CC07-B2CEDB7AA4CC%7D.pdf&cdLicitacaoArquivo=10509. Acesso em 05/15/2022.

SÃO JOSÉ DOS PINHAIS. Planilha de Custo - Metodologia de Cálculo. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. Sem data. Disponível em: http://www.sjp.pr.gov.br/wp-content/uploads/servicos/anexos_lic/12526320097_ARQUIVO%20II%204%BA%20DOMICILIAR%20A.pdf. Acesso em 05/15/2022.

SÃO PAULO. Caminhão é flagrado despejando lixo e entulho. 2010. Disponível em:<https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/campo_limpo/noticias/?p=10332>. Acesso em: 8 jul. 2021.

SÃO PAULO. Tribunal Pleno: sessão de 25/04/18. Secção municipal exames prévios de edital. Tribunal de Contas do Estado de São Paulo. São Paulo – SP, 2018. Disponível em:<http://www2.tce.sp.gov.br/arqs_juri/pdf/656617.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2021.

SARAIVA JÚNIOR, Abraão Freires, TABOSA, Cristiane de Mesquita, COSTA, Reinaldo Pacheco da. Monte Carlo simulation applied to order economic analysis. Production [online]. 2011, v. 21, n. 1, pp. 149-164. Available from: <<https://doi.org/10.1590/S0103-65132011005000016>>. Acesso em: 4 ago. 2021.

SAXENA, Sumit *et al.* Optimization of solid waste management in a metropolitan city. Materials Today: Proceedings. 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785321022483>>. Acesso em: 5 de Mai. De 2021.

SCHOEMAKER, Oaul J. H. Scenario Planning: a tool for strategic thinking. Sloan Management Review/Winter, 36 (2), p. 25-40. 1995.

SCHWARTZ, Peter. A arte da visão de longo prazo. São Paulo: Best Seller. 2000

SCOTT, Michael L. Programming Language Pragmatics. Fourth Edition. Department of Computer Science. University of Rochester. 2016.

SENA, Aderita et al. Medindo o invisível: análise dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável em populações expostas à seca. Ciênc. saúde coletiva, Rio de Janeiro, v. 21,

n. 3, p. 671-684, Mar. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232016000300671&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 12 mai. 2021.

SILVA, Andreia Freitas *et al.* A problemática dos resíduos sólidos urbanos sob a percepção de um grupo de moradores do município de Queimadas-PB. *Braz. J. of Develop.*, Curitiba, v. 6, n. 7, p. 48270-48277, jul. 2020. Disponível em:<<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/13430>>. Acesso em:29 jul. 2021.

SILVA, Breno Augusto de Oliveira; NOGUEIRA, Sergio Guimaraes; REIS, Ernando Antonio dos. Determinação do momento ótimo para substituição de equipamentos sob as óticas da gestão econômica e da engenharia econômica. *XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. 2012. Disponível em:<http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGETP2012_TN_STO_159_926_20483.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2021.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. – 3. ed. rev. atual. – Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

SILVA, Jandeson Dantas da *et al.* Gestão de custos como ferramenta de planejamento e controle: um estudo no jornal Gazeta do Oeste em Mossoró/RN. *XXI Congresso Brasileiro de Custos*. 2020. Disponível em:<<https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/3689>>. Acesso em: 20 jul. 2021.

SLACK, Nigel; BRANDON-JONES, Alistair; JOHNSTON, Robert. Administração da Produção. ed. 8. Atlas, 2018.

SOUBHIA, Ana Luisa. Python 101. Universidade Federal de Santa Maria Campus Cachoeira do Sul. 2019. Disponível em:<https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/679/2019/08/Apostila_Python_v_1.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2021.

SOUZA, Edson Marcondes de. Coleta de resíduos sólidos domiciliares em local de entrega obrigatória: aspectos de custos e opiniões dos usuários. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos, 2005.

TAHA, Hamdy A. Pesquisa Operacional: uma visão geral. Tradução: Arlete Simille Marques; Revisão técnica: Rodrigo Arnaldo Scarpel. 8 ed., São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

TAMANNA *et al.* Comparative study of the VINCI Robot's arm end effector matrix using Python and MATLAB. *Materials Today: Proceedings*. 2021. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785321015492>>. Acesso em: 26 jul. 2021.

TAQUARI. Planilha de Composição de Custos e Formação de Preço. Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) - Convencional Urbana. 2021. Disponível em:

https://www.taquari.rs.gov.br/uploads/edital/36325/AnexoII_PlanilhaComposicaoCusto sRSU_Conv_Pe028_2021.pdf. Acesso em 05/15/2022.

TAŞKIN, Akif, DEMİR, Nesrin. Life cycle environmental and energy impact assessment of sustainable urban municipal solid waste collection and transportation strategies. Sustainable Cities and Society. v. 61, 2020, Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670720305606>>. Acesso em: 12 de mai. de 2021.

TAYLOR, George A. Managerial and Engineering Economy: economic decision-making. New York, Van Nostrand Reinhold, 1964.

TESKE, Filipe Franz *et al.* Avaliação dos custos dos serviços do manejo de resíduos sólidos domiciliares de 21 municípios do estado do Rio Grande do Sul. Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento – ASSEMAE. 2018.

TIRBUNAL DE CONTAS DOS MUNICÍPIOS DO ESTADO DE GOIÁS - TCM. Resolução Administrativa RA nº 00099/2016. 2016. Disponível em:<<https://www.tcmgo.tcm.br/site/wp-content/uploads/2017/08/RA099-2016.pdf>>. Acesso em: 27 jul. 2021.

TOMLINSON, J.E.; ARNOTT, J.H.; HAROU, J.J. A water resource simulator in Python. Environmental Modelling & Software. v. 126, 2020. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815219307133>>. Acesso em: 27 jul. 2021.

TORRES. Anexo VIII: Pregão Presencial 205/2018. Coleta de Resíduos Sólidos. Planilha de Composição de Custos. 2018. Disponível em:<<https://torres.rs.gov.br/wp-content/uploads/2018/07/PLANILHA-DE-CUSTOS.pdf>> (Acesso em 05/15/2022).

TRIBUNA DE PORCIÚNCULA. Uso de animais para transporte é proibido no Estado. 2016. Disponível em:<<http://www.tribunadeporciuncula.com.br/uso-de-animal-para-transporte-e-proibido-no-estado/>>. Acesso em: 8 jul. 2021.

TUSI, Márcia Latsch *et al.* Análise do Cálculo da Vida Econômica de Veículos de um Centro de Formação de Condutores. Revista Brasileira de Gestão e Engenharia. 2019.

UBÁ. Preâmbulo: Processo Licitatório PRC. nº. 0801/2010. Prefeitura de Ubá - MG. 2010. Disponível em:<https://www.uba.mg.gov.br/abrir_arquivo.aspx?Pregao_presencial_170_2010_Pregao_Presencial_170_2010?cdLocal=3&arquivo=%7BBDCCDDB1-88E4-8AD0-8DAB-BABC3E5CCABB%7D.pdf&cdLicitacaoArquivo=210>. Acesso em: 27 jul. 2021.

UN-HABITAT. United Nations Human Settlements Programme. The State of the Asian Cities 2010/2011. Earthscan, London, 2011.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – UNEP (2015) Global Waste Management Outlook. International Solid Waste Association – ISWA. Viena, Áustria. Disponível em:<<https://www.uncclearn.org/wp-content/uploads/library/unep23092015.pdf>> (Acesso em 05/15/2022).

- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – UNEP. Global Waste Management Outlook. International Solid Waste Association – ISWA. Viena, Áustria, 2015. Disponível em:<<https://www.uncclearn.org/wp-content/uploads/library/unep23092015.pdf>>. Acesso em: 24 de set. de 2021.
- USIMECA. 2020. Manual do Proprietário. Beta. Usimeca Indústria Mecânica S.A. Disponível em:<https://www.usimeca.com.br/wp-content/uploads/2021/03/BETA_MANUAL-2020.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2021.
- Van der Heijden, Kess. Cenários, a arte da conversão estratégica. Porto Alegre: Bookman. 1996.
- WACK, Pierre. Scenarios: uncharted waters ahead. New York: Harvard Business Review, 72-89. 1985.
- WARIS, Saiyed Faiayaz; KOTEESWARAN, S. Heart disease early prediction using a novel machine learning method called improved K-means neighbor classifier in python. Materials Today: Proceedings. 2021. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785321006623>>. Acesso em: 27 jul. 2021.
- WORLD BANK, Results-Based Financing for Municipal Solid Waste. World Bank, Washington, D. C. 2014.
- XAVIER, Reinaldo de Souza. Modelagem e minimização do consumo de combustível para rotas de coleta de lixo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Escola de Engenharia. da Universidade Federal de Minas Gerais. 2010. Disponível em:<<https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-8CCJG5/1/tese.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2021.
- YADAV, Vinay; KARMAKAR, Subhankar. Sustainable collection and transportation of municipal solid waste in urban centers. Sustainable Cities and Society. v. 53, 2020. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670719329154>>. Acesso em: 12 de Mai. de 2021.

ANEXO 1 – Dados dos veículos coletores de RSU da empresa Terraplena

VEÍCULO						EQUIPAMENTO			EMPRESA				
PREFIXO	TIPO	MARCA	MODELO	ANO	PLACA	TIPO	MARCA	MODELO	CAPACIDADE	EMPRESA	VALOR/ALUGUEL	IPVA	DPVAT
1100	CAMINHÃO	MBB	ATEGO 1719	2013	OTB-3912	COMPACTADOR	PLANALTO	MAGNUM	15 m ³	TERRAPLENA	R\$ 252.500,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1103	CAMINHÃO	MBB	ATEGO 1719	2013	OTB-3742	COMPACTADOR	PLANALTO	MAGNUM	15 m ³	TERRAPLENA	R\$ 252.500,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1135	CAMINHÃO	MBB	ATEGO 1729/48	2016	QEB-2044	COMPACTADOR	PLANALTO	MAGNUM	15 m ³	TERRAPLENA	R\$ 283.200,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00

ANEXO 2 – Dados de operação e manutenção fornecidos pela Terraplena correspondentes a janeiro de 2021.

Caminhão 1100

ABASTECIMENTO	R\$ 5.465,70
PEÇAS E ÓLEOS VILETA	R\$ 1.589,26
PEÇAS E ÓLEOS - CENTRAL MANUTENÇÃO	R\$ -
PEÇAS E ÓLEOS - CENTRAL SIF	R\$ 1.310,50
SERVIÇOS TERC	R\$ 208,02
PNEUS	R\$ -
TOTAL	R\$ 8.573,48

Caminhão 1103

ABASTECIMENTO	R\$ 4.016,20
PEÇAS E ÓLEOS - VILETA	R\$ 1.612,33
PEÇAS E ÓLEOS - CENTRAL MANUTENÇÃO	R\$ 2.737,20
PEÇAS E ÓLEOS - CENTRAL SIF	R\$ 791,84
SERVIÇOS TERC	R\$ 1.250,00
PNEUS	R\$ 1.419,60
TOTAL	R\$ 10.407,57

Caminhão 1135

ABASTECIMENTO	R\$ 6.566,40
PEÇAS E ÓLEOS VILETA	R\$ 3.251,48
PEÇAS E ÓLEOS CENTRAL MANUTENÇÃO	R\$ 0,00
PEÇAS E ÓLEOS CENTRAL SIF	R\$ 253,52
SERVIÇOS TERC	R\$ 1.904,36
PNEUS	R\$ 1.419,60
TOTAL	R\$ 13.395,36

ANEXO 3 – Dados utilizados pela ARSESP no cálculo do WACC.



NT.F-0016-2023

Quadro 10: Cálculo do WACC

Estrutura de Capital	ARSESP
(A) Participação de Capital Próprio (W_E)	71,33%
(B) Participação de Capital de Terceiro (W_D)	28,67%
Custo de Capital Próprio (r_E)	
(1) Taxa de Livre Risco	4,03%
(2) Taxa de Retorno de Mercado	11,98%
(3) Prêmio Risco de Mercado = (2)-(1)	7,95%
(4) Beta Desalavancado	0,5969
(5) IR + CSLL (T)	34,00%
(6) Beta Alavancado = (4)*[1+(((B)/(A))*(1-(5)))]	0,7552
(7) Prêmio de Risco do Negócio e Financeiro = (6)*(3)	6,00%
(8) Prêmio Risco Brasil	2,46%
(9) Taxa de Inflação Americana	2,19%
(10) r_E Nominal = (1)+(7)+(8)	12,49%
(11) r_E Real = [(10)+1]/[1+(9)]-1	10,08%
Custo de Capital de Terceiros (r_D)	
(12) Taxa de Livre Risco = (1)	4,03%
(13) Prêmio Risco Brasil = (8)	2,46%
(14) Risco de Crédito	2,67%
(15) r_D Nominal antes de impostos = (12)+(13)+(14)	9,16%
(16) r_D Nominal após impostos = (15)*[1-(5)]	6,05%
(17) r_D Real após impostos = [(1)+(16)/[1+(9)]-1	3,77%
WACC	8,27%

Fonte e Elaboração: Arsesp.

ANEXO 4 – Frota e caminhões compactadores da empresa Terraplena.

Quadro 11: Veículos a disposição para serviços no Lote 1 (Terraplena).

Descrição e/ou Característica do Veículo	Capacidade (m³)	Quantidade
Caminhão M.B.B. ou similar 1719 ATEGO ou similar	--	21
Compactador c/Elevador Hidráulico Planalto ou similar Magnum 15.000 ou similar	15	4
Compactador Simples Planalto ou similar Magnum 15.000 ou similar	15	17

Fonte: retirado da proposta técnica da empresa cedida pela SESAN, 2019.

APÊNDICE 1 – Tabelas com resumo dos resultados das simulações dos 27 subcenário.

Sendo:

Cenário Neutro	Cenário Otimista	Cenário Pessimista
Semestre de Substituição (Vida Útil Econômica)		

Subcenário 1			A(t)	C(t)	v(t)
Estágio	Idade	Custo da decisão (R\$)		Comp.	Decisão
		Manter (M)	Substituir (S)		
1	1	1.888.217,06	1.891.356,97	M<S	M
2	2	1.833.072,88	1.838.315,35	M<S	M
3	3	1.778.596,28	1.785.185,56	M<S	M
4	4	1.724.646,61	1.731.952,14	M<S	M
5	5	1.671.099,89	1.678.652,91	M<S	M
6	6	1.617.847,45	1.625.261,16	M<S	M
7	7	1.564.794,65	1.571.882,87	M<S	M
8	8	1.511.859,76	1.517.538,44	M<S	M
9	9	1.458.972,81	1.463.022,55	M<S	M
10	10	1.406.074,63	1.408.699,87	M<S	M
11	11	1.353.115,87	1.354.537,38	M<S	M
12	12	1.300.056,11	1.300.660,68	M<S	M
13	13	1.246.863,06	1.246.920,02	M<S	M
14	14	1.193.804,12	1.193.511,80	M>S	S
15	1	1.019.170,98	1.021.665,44	M<S	M
16	2	975.795,36	980.090,78	M<S	M
17	3	932.944,84	938.419,17	M<S	M
18	4	890.508,81	896.682,08	M<S	M
19	5	848.389,73	854.931,59	M<S	M
20	6	806.502,11	813.098,95	M<S	M

Subcenário 2			A(t)	C(t)	v(t)
Estágio	Idade	Custo da decisão (R\$)		Comp.	Decisão
		Manter (M)	Substituir (S)		
1	1	1.879.071,22	1.881.617,31	M<S	M
2	2	1.823.927,04	1.828.046,71	M<S	M
3	3	1.769.450,44	1.774.536,70	M<S	M
4	4	1.715.500,77	1.720.944,14	M<S	M
5	5	1.661.954,05	1.667.306,41	M<S	M
6	6	1.608.701,61	1.613.733,27	M<S	M
7	7	1.555.648,81	1.560.203,95	M<S	M
8	8	1.502.713,91	1.506.750,16	M<S	M
9	9	1.449.826,97	1.453.341,95	M<S	M
10	10	1.396.928,79	1.399.569,20	M<S	M
11	11	1.343.970,03	1.345.340,49	M<S	M
12	12	1.290.910,27	1.291.409,86	M<S	M
13	13	1.237.749,21	1.237.717,22	M>S	S
14	1	1.072.032,82	1.074.044,58	M<S	M
15	2	1.027.907,04	1.031.157,82	M<S	M
16	3	984.315,44	988.359,35	M<S	M
17	4	941.145,49	945.499,32	M<S	M
18	5	898.297,98	902.717,61	M<S	M
19	6	855.685,94	859.958,35	M<S	M
20	7	813.233,66	817.248,51	M<S	M

Subcenário 3		A(t)	C(t)	v(t)	
Estágio	Idade	Custo da decisão (R\$)		Comp.	Decisão
		Manter (M)	Substituir (S)		
1	1	1.897.305,75	1.901.040,02	M<S	M
2	2	1.842.161,57	1.848.563,48	M<S	M
3	3	1.787.684,96	1.795.834,41	M<S	M
4	4	1.733.735,30	1.742.960,14	M<S	M
5	5	1.680.188,58	1.689.718,56	M<S	M
6	6	1.626.936,14	1.635.155,11	M<S	M
7	7	1.573.883,34	1.580.688,98	M<S	M
8	8	1.520.948,44	1.526.297,40	M<S	M
9	9	1.468.061,50	1.471.971,60	M<S	M
10	10	1.415.163,32	1.417.830,54	M<S	M
11	11	1.362.204,56	1.363.734,28	M<S	M
12	12	1.309.144,80	1.309.884,12	M<S	M
13	13	1.255.951,75	1.256.122,82	M<S	M
14	14	1.202.789,78	1.202.600,49	M>S	S
15	1	1.021.357,38	1.024.368,74	M<S	M
16	2	977.981,76	983.179,59	M<S	M
17	3	935.131,24	941.883,08	M<S	M
18	4	892.695,21	900.401,65	M<S	M
19	5	850.576,12	858.834,91	M<S	M
20	6	808.688,51	817.167,99	M<S	M

Subcenário 4		A(t)	C(t)	v(t)	
Estágio	Idade	Custo da decisão (R\$)		Comp.	Decisão
		Manter (M)	Substituir (S)		
1	1	1.875.769,55	1.879.760,92	M<S	M
2	2	1.820.655,51	1.827.366,08	M<S	M
3	3	1.766.244,10	1.773.659,82	M<S	M
4	4	1.712.405,82	1.719.861,35	M<S	M
5	5	1.659.026,36	1.666.112,23	M<S	M
6	6	1.606.005,39	1.612.402,80	M<S	M
7	7	1.553.255,37	1.558.718,28	M<S	M
8	8	1.500.700,55	1.505.184,99	M<S	M
9	9	1.448.275,90	1.451.660,97	M<S	M
10	10	1.395.926,22	1.398.340,51	M<S	M
11	11	1.343.605,29	1.345.101,41	M<S	M
12	12	1.291.275,04	1.292.052,67	M<S	M
13	13	1.238.904,80	1.239.179,85	M<S	M
14	14	1.186.518,43	1.186.470,64	M>S	S
15	1	1.012.135,99	1.015.391,54	M<S	M
16	2	968.784,08	974.437,99	M<S	M
17	3	925.984,85	933.368,91	M<S	M
18	4	883.636,42	892.190,79	M<S	M
19	5	841.648,90	850.892,19	M<S	M
20	6	799.943,36	808.769,89	M<S	M

Subcenário 5			A(t)	C(t)	v(t)
Estágio	Idade	Custo da decisão (R\$)		Comp.	Decisão
		Manter (M)	Substituir (S)		
1	1	1.900.503,44	1.902.779,17	M<S	M
2	2	1.845.329,12	1.848.920,48	M<S	M
3	3	1.790.787,32	1.795.087,21	M<S	M
4	4	1.736.726,27	1.741.108,52	M<S	M
5	5	1.683.012,30	1.687.016,51	M<S	M
6	6	1.629.528,38	1.633.035,35	M<S	M
7	7	1.576.172,80	1.579.028,15	M<S	M
8	8	1.522.857,83	1.525.032,55	M<S	M
9	9	1.469.508,59	1.471.116,29	M<S	M
10	10	1.416.061,92	1.417.292,24	M<S	M
11	11	1.362.465,32	1.363.566,27	M<S	M
12	12	1.308.676,05	1.309.182,56	M<S	M
13	13	1.254.750,38	1.254.660,19	M>S	S
14	1	1.082.207,92	1.083.956,76	M<S	M
15	2	1.038.058,01	1.040.802,85	M<S	M
16	3	994.414,25	997.726,04	M<S	M
17	4	951.155,17	954.532,86	M<S	M
18	5	908.173,82	911.441,89	M<S	M
19	6	865.376,56	868.310,88	M<S	M
20	7	822.681,99	825.253,85	M<S	M

Subcenário 6			A(t)	C(t)	v(t)
Estágio	Idade	Custo da decisão (R\$)		Comp.	Decisão
		Manter (M)	Substituir (S)		
1	1	1.864.123,36	1.866.401,11	M<S	M
2	2	1.808.979,18	1.812.616,76	M<S	M
3	3	1.754.502,58	1.758.934,77	M<S	M
4	4	1.700.552,91	1.705.179,77	M<S	M
5	5	1.647.006,19	1.651.383,84	M<S	M
6	6	1.593.753,75	1.597.733,75	M<S	M
7	7	1.540.700,95	1.544.136,13	M<S	M
8	8	1.487.766,05	1.490.626,83	M<S	M
9	9	1.434.879,11	1.437.217,09	M<S	M
10	10	1.381.980,93	1.383.963,57	M<S	M
11	11	1.329.022,17	1.330.395,30	M<S	M
12	12	1.275.962,41	1.276.440,27	M<S	M
13	13	1.222.830,24	1.222.769,36	M>S	S
14	1	1.060.143,29	1.061.917,21	M<S	M
15	2	1.016.017,50	1.018.841,22	M<S	M
16	3	972.425,91	975.889,59	M<S	M
17	4	929.255,96	932.880,47	M<S	M
18	5	886.408,45	890.003,08	M<S	M
19	6	843.796,41	847.153,00	M<S	M
20	7	801.344,12	804.400,76	M<S	M

Subcenário 7			A(t)	C(t)	v(t)
Estágio	Idade	Custo da decisão (R\$)		Comp.	Decisão
		Manter (M)	Substituir (S)		
20	6	820.462,80	829.767,29	M<S	M
19	5	862.350,41	871.384,73	M<S	M
18	4	904.469,49	912.869,41	M<S	M
17	3	946.905,53	954.206,23	M<S	M
16	2	989.756,05	995.362,05	M<S	M
15	1	1.033.131,67	1.036.376,83	M<S	M
14	14	1.217.639,42	1.217.496,74	M>S	S
13	13	1.270.848,00	1.271.070,68	M<S	M
12	12	1.324.041,04	1.324.827,42	M<S	M
11	11	1.377.100,81	1.378.679,46	M<S	M
10	10	1.430.059,57	1.432.745,77	M<S	M
9	9	1.482.957,74	1.486.804,68	M<S	M
8	8	1.535.844,69	1.541.044,51	M<S	M
7	7	1.588.779,58	1.595.291,42	M<S	M
6	6	1.641.832,38	1.649.610,91	M<S	M
5	5	1.695.084,83	1.703.962,12	M<S	M
4	4	1.748.631,54	1.758.255,42	M<S	M
3	3	1.802.581,21	1.811.436,34	M<S	M
2	2	1.857.057,81	1.863.931,54	M<S	M
1	1	1.912.201,99	1.916.205,10	M<S	M

Subcenário 8			A(t)	C(t)	v(t)
Estágio	Idade	Custo da decisão (R\$)		Comp.	Decisão
		Manter (M)	Substituir (S)		
1	1	1.866.680,86	1.870.092,13	M<S	M
2	2	1.811.566,83	1.817.415,38	M<S	M
3	3	1.757.155,42	1.764.612,29	M<S	M
4	4	1.703.317,13	1.711.763,22	M<S	M
5	5	1.649.937,68	1.658.466,55	M<S	M
6	6	1.596.916,70	1.604.287,88	M<S	M
7	7	1.544.166,69	1.550.279,15	M<S	M
8	8	1.491.611,86	1.496.426,03	M<S	M
9	9	1.439.187,21	1.442.711,92	M<S	M
10	10	1.386.837,53	1.389.249,38	M<S	M
11	11	1.334.516,60	1.335.904,52	M<S	M
12	12	1.282.186,35	1.282.859,95	M<S	M
13	13	1.229.816,12	1.229.977,05	M<S	M
14	14	1.177.547,03	1.177.381,95	M>S	S
15	1	1.009.949,60	1.012.702,50	M<S	M
16	2	966.597,69	971.349,18	M<S	M
17	3	923.798,45	929.973,34	M<S	M
18	4	881.450,03	888.503,38	M<S	M
19	5	839.462,51	847.024,42	M<S	M
20	6	797.756,96	805.523,72	M<S	M

Subcenário 9			A(t)	C(t)	v(t)
Estágio	Idade	Custo da decisão (R\$)		Comp.	Decisão
		Manter (M)	Substituir (S)		
1	1	1.909.706,24	1.912.575,24	M<S	M
2	2	1.854.531,91	1.859.189,12	M<S	M
3	3	1.799.990,12	1.805.758,83	M<S	M
4	4	1.745.929,07	1.752.139,06	M<S	M
5	5	1.692.215,09	1.698.374,29	M<S	M
6	6	1.638.731,18	1.644.563,24	M<S	M
7	7	1.585.375,59	1.590.707,06	M<S	M
8	8	1.532.060,63	1.536.828,98	M<S	M
9	9	1.478.711,39	1.482.921,31	M<S	M
10	10	1.425.264,72	1.428.150,35	M<S	M
11	11	1.371.668,12	1.373.170,25	M<S	M
12	12	1.317.878,85	1.318.433,38	M<S	M
13	13	1.263.889,31	1.263.862,99	M>S	S
14	1	1.084.649,12	1.086.923,80	M<S	M
15	2	1.040.499,21	1.044.188,23	M<S	M
16	3	996.855,44	1.001.460,16	M<S	M
17	4	953.596,37	958.586,49	M<S	M
18	5	910.615,02	915.707,06	M<S	M
19	6	867.817,76	872.776,85	M<S	M
20	7	825.123,19	829.813,55	M<S	M

Subcenário 10			A(t)	C(t)	v(t)
Estágio	Idade	Custo da decisão (R\$)		Comp.	Decisão
		Manter (M)	Substituir (S)		
1	1	1.855.747,22	1.857.929,84	M<S	M
2	2	1.800.603,04	1.803.709,27	M<S	M
3	3	1.746.126,44	1.749.598,68	M<S	M
4	4	1.692.176,77	1.695.512,90	M<S	M
5	5	1.638.630,06	1.641.471,00	M<S	M
6	6	1.585.377,61	1.587.663,87	M<S	M
7	7	1.532.324,81	1.533.926,85	M<S	M
8	8	1.479.389,92	1.480.287,19	M<S	M
9	9	1.426.502,97	1.426.891,40	M<S	M
10	10	1.373.604,80	1.373.667,84	M<S	M
11	11	1.320.877,78	1.320.646,03	M>S	S
12	1	1.169.593,09	1.171.756,17	M<S	M
13	2	1.123.927,84	1.127.161,90	M<S	M
14	3	1.078.815,41	1.082.051,39	M<S	M
15	4	1.034.139,34	1.037.025,09	M<S	M
16	5	989.796,96	992.208,96	M<S	M
17	6	945.698,26	947.458,29	M<S	M
18	7	901.764,90	902.958,31	M<S	M
19	8	857.929,17	858.538,96	M<S	M
20	9	814.133,14	814.358,61	M<S	M

Subcenário 11		A(t)	C(t)	v(t)	
Estágio	Idade	Custo da decisão (R\$)		Comp.	Decisão
		Manter (M)	Substituir (S)		
1	1	1.922.549,96	1.927.105,02	M<S	M
2	2	1.867.405,78	1.873.710,58	M<S	M
3	3	1.812.929,17	1.820.236,06	M<S	M
4	4	1.758.979,51	1.766.555,11	M<S	M
5	5	1.705.432,79	1.712.767,18	M<S	M
6	6	1.652.180,34	1.658.921,32	M<S	M
7	7	1.599.127,55	1.604.950,97	M<S	M
8	8	1.546.192,65	1.551.042,85	M<S	M
9	9	1.493.305,71	1.497.013,38	M<S	M
10	10	1.440.407,53	1.443.082,42	M<S	M
11	11	1.387.448,77	1.389.155,07	M<S	M
12	12	1.334.389,01	1.335.298,53	M<S	M
13	13	1.281.195,96	1.281.552,64	M<S	M
14	14	1.227.844,70	1.227.855,81	M<S	M
15	15	1.174.612,99	1.174.316,95	M>S	S
16	1	981.167,88	984.905,06	M<S	M
17	2	938.529,66	945.066,30	M<S	M
18	3	896.407,62	904.966,12	M<S	M
19	4	854.693,02	864.462,50	M<S	M
20	5	813.289,99	822.472,14	M<S	M

Subcenário 12		A(t)	C(t)	v(t)	
Estágio	Idade	Custo da decisão (R\$)		Comp.	Decisão
		Manter (M)	Substituir (S)		
1	1	1.851.784,61	1.854.927,05	M<S	M
2	2	1.796.670,58	1.802.011,62	M<S	M
3	3	1.742.259,17	1.749.010,36	M<S	M
4	4	1.688.420,89	1.696.000,85	M<S	M
5	5	1.635.041,43	1.642.960,44	M<S	M
6	6	1.582.020,45	1.589.832,08	M<S	M
7	7	1.529.270,44	1.535.676,71	M<S	M
8	8	1.476.715,62	1.481.678,92	M<S	M
9	9	1.424.290,96	1.427.878,84	M<S	M
10	10	1.371.941,29	1.374.334,15	M<S	M
11	11	1.319.620,36	1.320.959,33	M<S	M
12	12	1.267.290,11	1.267.916,65	M<S	M
13	13	1.214.919,87	1.215.029,19	M<S	M
14	14	1.162.697,38	1.162.485,71	M>S	S
15	1	998.175,31	1.000.694,41	M<S	M
16	2	954.823,40	959.166,72	M<S	M
17	3	912.024,16	917.623,22	M<S	M
18	4	869.675,74	876.035,63	M<S	M
19	5	827.688,22	834.474,59	M<S	M
20	6	785.982,68	792.915,81	M<S	M

Subcenário 13			A(t)	C(t)	v(t)
Estágio	Idade	Custo da decisão (R\$)		Comp.	Decisão
		Manter (M)	Substituir (S)		
1	1	1.924.649,51	1.927.786,90	M<S	M
2	2	1.869.475,18	1.874.619,07	M<S	M
3	3	1.814.933,38	1.821.360,75	M<S	M
4	4	1.760.872,33	1.767.903,42	M<S	M
5	5	1.707.158,36	1.714.296,86	M<S	M
6	6	1.653.674,44	1.660.562,76	M<S	M
7	7	1.600.318,86	1.606.774,89	M<S	M
8	8	1.547.003,89	1.552.913,10	M<S	M
9	9	1.493.654,66	1.498.166,26	M<S	M
10	10	1.440.207,98	1.443.065,58	M<S	M
11	11	1.386.611,39	1.388.115,44	M<S	M
12	12	1.332.822,12	1.333.402,96	M<S	M
13	13	1.278.806,26	1.278.810,85	M<S	M
14	14	1.224.910,85	1.224.537,90	M>S	S
15	1	1.040.166,66	1.042.636,48	M<S	M
16	2	996.767,32	1.001.014,84	M<S	M
17	3	953.865,53	959.215,12	M<S	M
18	4	911.341,88	917.328,53	M<S	M
19	5	869.091,23	875.359,26	M<S	M
20	6	827.021,55	833.282,10	M<S	M

Subcenário 14			A(t)	C(t)	v(t)
Estágio	Idade	Custo da decisão (R\$)		Comp.	Decisão
		Manter (M)	Substituir (S)		
1	1	1.898.178,57	1.899.369,43	M<S	M
2	2	1.843.064,54	1.846.748,89	M<S	M
3	3	1.788.653,13	1.793.951,77	M<S	M
4	4	1.734.814,84	1.741.069,06	M<S	M
5	5	1.681.435,38	1.688.001,46	M<S	M
6	6	1.628.414,41	1.634.940,70	M<S	M
7	7	1.575.664,39	1.581.759,85	M<S	M
8	8	1.523.109,57	1.528.600,59	M<S	M
9	9	1.470.684,92	1.475.443,11	M<S	M
10	10	1.418.335,24	1.422.289,77	M<S	M
11	11	1.366.014,31	1.369.234,50	M<S	M
12	12	1.313.684,06	1.316.188,70	M<S	M
13	13	1.261.313,82	1.263.260,42	M<S	M
14	14	1.208.879,66	1.210.454,11	M<S	M
15	15	1.156.363,70	1.157.728,69	M<S	M
16	16	1.103.753,54	1.105.140,70	M<S	M
17	17	1.051.041,71	1.052.668,66	M<S	M
18	18	998.225,13	999.405,72	M<S	M
19	19	945.304,67	945.556,60	M<S	M
20	20	712.257,06	Substituição Compulsória		S

Subcenário 15			A(t)	C(t)	v(t)
Estágio	Idade	Custo da decisão (R\$)		Comp.	Decisão
		Manter (M)	Substituir (S)		
1	1	1.873.816,21	1.876.217,71	M<S	M
2	2	1.818.641,88	1.822.565,51	M<S	M
3	3	1.764.100,09	1.768.696,06	M<S	M
4	4	1.710.039,04	1.714.197,11	M<S	M
5	5	1.656.325,06	1.659.736,17	M<S	M
6	6	1.602.841,15	1.605.470,72	M<S	M
7	7	1.549.485,57	1.551.244,54	M<S	M
8	8	1.496.170,60	1.497.080,71	M<S	M
9	9	1.442.821,36	1.443.186,40	M<S	M
10	10	1.389.374,69	1.389.409,48	M<S	M
11	11	1.336.175,46	1.335.778,09	M>S	S
12	1	1.178.862,76	1.180.951,76	M<S	M
13	2	1.133.172,54	1.136.617,95	M<S	M
14	3	1.088.006,12	1.092.244,91	M<S	M
15	4	1.043.237,82	1.046.998,27	M<S	M
16	5	998.756,93	1.001.765,00	M<S	M
17	6	954.466,55	956.601,40	M<S	M
18	7	910.282,45	911.679,36	M<S	M
19	8	866.131,98	866.812,10	M<S	M
20	9	821.953,13	822.202,33	M<S	M

Subcenário 16			A(t)	C(t)	v(t)
Estágio	Idade	Custo da decisão (R\$)		Comp.	Decisão
		Manter (M)	Substituir (S)		
1	1	1.901.842,92	1.905.205,94	M<S	M
2	2	1.846.698,74	1.852.384,14	M<S	M
3	3	1.792.222,14	1.799.397,08	M<S	M
4	4	1.738.272,47	1.746.298,48	M<S	M
5	5	1.684.725,75	1.693.085,42	M<S	M
6	6	1.631.473,31	1.639.802,66	M<S	M
7	7	1.578.420,51	1.585.631,87	M<S	M
8	8	1.525.485,61	1.531.040,52	M<S	M
9	9	1.472.598,67	1.476.595,99	M<S	M
10	10	1.419.700,49	1.422.341,48	M<S	M
11	11	1.366.741,73	1.368.203,86	M<S	M
12	12	1.313.681,97	1.314.347,40	M<S	M
13	13	1.260.488,92	1.260.588,71	M<S	M
14	14	1.207.391,30	1.207.137,66	M>S	S
15	1	1.030.205,83	1.032.894,33	M<S	M
16	2	986.830,21	991.464,38	M<S	M
17	3	943.979,69	949.933,57	M<S	M
18	4	901.543,65	908.292,45	M<S	M
19	5	859.424,57	866.612,38	M<S	M
20	6	817.536,96	824.851,54	M<S	M

Subcenário 17			A(t)	C(t)	v(t)
Estágio	Idade	Custo da decisão (R\$)		Comp.	Decisão
		Manter (M)	Substituir (S)		
1	1	1.872.046,99	1.874.872,38	M<S	M
2	2	1.816.902,81	1.821.524,24	M<S	M
3	3	1.762.426,21	1.768.193,23	M<S	M
4	4	1.708.476,54	1.714.769,75	M<S	M
5	5	1.654.929,83	1.661.296,68	M<S	M
6	6	1.601.677,38	1.607.803,62	M<S	M
7	7	1.548.624,58	1.554.345,40	M<S	M
8	8	1.495.689,69	1.500.908,57	M<S	M
9	9	1.442.802,74	1.446.929,81	M<S	M
10	10	1.389.904,57	1.392.511,01	M<S	M
11	11	1.336.945,80	1.338.313,48	M<S	M
12	12	1.283.886,04	1.284.408,24	M<S	M
13	13	1.230.694,92	1.230.693,00	M>S	S
14	1	1.061.825,44	1.064.084,75	M<S	M
15	2	1.017.699,66	1.021.394,93	M<S	M
16	3	974.108,06	978.755,88	M<S	M
17	4	930.938,11	936.051,02	M<S	M
18	5	888.090,60	893.368,90	M<S	M
19	6	845.478,56	850.704,17	M<S	M
20	7	803.026,28	808.038,46	M<S	M

Subcenário 18			A(t)	C(t)	v(t)
Estágio	Idade	Custo da decisão (R\$)		Comp.	Decisão
		Manter (M)	Substituir (S)		
1	1	1.889.907,19	1.892.547,64	M<S	M
2	2	1.834.732,86	1.838.651,84	M<S	M
3	3	1.780.191,06	1.784.341,70	M<S	M
4	4	1.726.130,01	1.730.004,78	M<S	M
5	5	1.672.416,04	1.675.658,74	M<S	M
6	6	1.618.932,12	1.621.506,79	M<S	M
7	7	1.565.576,54	1.567.348,58	M<S	M
8	8	1.512.261,57	1.513.212,41	M<S	M
9	9	1.458.912,34	1.459.311,26	M<S	M
10	10	1.405.465,66	1.405.519,67	M<S	M
11	11	1.352.186,01	1.351.869,06	M>S	S
12	1	1.192.084,34	1.194.329,75	M<S	M
13	2	1.146.394,12	1.150.138,00	M<S	M
14	3	1.101.227,71	1.105.149,93	M<S	M
15	4	1.056.459,40	1.059.883,18	M<S	M
16	5	1.011.978,51	1.014.780,92	M<S	M
17	6	967.688,13	969.706,64	M<S	M
18	7	923.504,03	924.857,57	M<S	M
19	8	879.353,56	880.026,81	M<S	M
20	9	835.174,71	835.422,66	M<S	M

Subcenário 19			A(t)	C(t)	v(t)
Estágio	Idade	Custo da decisão (R\$)		Comp.	Decisão
		Manter (M)	Substituir (S)		
1	1	1.884.727,89	1.886.270,35	M<S	M
2	2	1.829.613,85	1.833.285,94	M<S	M
3	3	1.775.202,44	1.780.205,67	M<S	M
4	4	1.721.364,16	1.727.037,75	M<S	M
5	5	1.667.984,70	1.673.757,90	M<S	M
6	6	1.614.963,73	1.620.517,72	M<S	M
7	7	1.562.213,71	1.567.157,40	M<S	M
8	8	1.509.658,89	1.513.887,66	M<S	M
9	9	1.457.234,24	1.460.610,02	M<S	M
10	10	1.404.884,56	1.407.404,64	M<S	M
11	11	1.352.563,63	1.354.298,30	M<S	M
12	12	1.300.233,38	1.301.245,39	M<S	M
13	13	1.247.863,14	1.248.349,85	M<S	M
14	14	1.195.428,98	1.195.559,33	M<S	M
15	15	1.143.043,82	1.142.913,02	M>S	S
16	1	960.475,15	964.155,91	M<S	M
17	2	917.860,24	924.320,99	M<S	M
18	3	875.788,62	884.211,60	M<S	M
19	4	834.160,14	842.336,87	M<S	M
20	5	792.886,43	800.647,50	M<S	M

Subcenário 20			A(t)	C(t)	v(t)
Estágio	Idade	Custo da decisão (R\$)		Comp.	Decisão
		Manter (M)	Substituir (S)		
1	1	1.889.376,32	1.893.289,33	M<S	M
2	2	1.834.262,29	1.839.802,41	M<S	M
3	3	1.779.850,88	1.786.331,13	M<S	M
4	4	1.726.012,60	1.732.769,36	M<S	M
5	5	1.672.633,14	1.679.196,40	M<S	M
6	6	1.619.612,17	1.625.663,12	M<S	M
7	7	1.566.862,15	1.572.100,30	M<S	M
8	8	1.514.307,33	1.518.677,99	M<S	M
9	9	1.461.882,67	1.465.234,41	M<S	M
10	10	1.409.533,00	1.411.957,15	M<S	M
11	11	1.357.212,07	1.358.767,89	M<S	M
12	12	1.304.881,82	1.305.717,58	M<S	M
13	13	1.252.511,58	1.252.848,54	M<S	M
14	14	1.200.077,42	1.200.096,50	M<S	M
15	15	1.147.821,41	1.147.561,46	M>S	S
16	1	969.496,11	972.901,06	M<S	M
17	2	926.881,20	932.834,57	M<S	M
18	3	884.809,58	892.603,90	M<S	M
19	4	843.181,10	851.960,03	M<S	M
20	5	801.907,39	810.180,94	M<S	M

Subcenário 21			A(t)	C(t)	v(t)
Estágio	Idade	Custo da decisão (R\$)		Comp.	Decisão
		Manter (M)	Substituir (S)		
1	1	1.884.072,73	1.886.238,17	M<S	M
2	2	1.828.898,40	1.832.129,38	M<S	M
3	3	1.774.356,61	1.778.043,74	M<S	M
4	4	1.720.295,56	1.723.875,46	M<S	M
5	5	1.666.581,58	1.669.649,01	M<S	M
6	6	1.613.097,67	1.615.577,81	M<S	M
7	7	1.559.742,08	1.561.490,68	M<S	M
8	8	1.506.427,12	1.507.420,34	M<S	M
9	9	1.453.077,88	1.453.512,08	M<S	M
10	10	1.399.631,20	1.399.705,21	M<S	M
11	11	1.346.238,30	1.346.034,61	M>S	S
12	1	1.183.263,38	1.185.671,57	M<S	M
13	2	1.137.573,16	1.140.941,30	M<S	M
14	3	1.092.406,74	1.095.826,22	M<S	M
15	4	1.047.638,44	1.050.711,80	M<S	M
16	5	1.003.157,55	1.005.745,90	M<S	M
17	6	958.867,17	960.764,58	M<S	M
18	7	914.683,07	915.974,68	M<S	M
19	8	870.532,60	871.198,68	M<S	M
20	9	826.353,75	826.600,40	M<S	M

Subcenário 22			A(t)	C(t)	v(t)
Estágio	Idade	Custo da decisão (R\$)		Comp.	Decisão
		Manter (M)	Substituir (S)		
1	1	1.863.548,42	1.865.473,53	M<S	M
2	2	1.808.374,09	1.811.520,88	M<S	M
3	3	1.753.832,29	1.757.548,17	M<S	M
4	4	1.699.771,24	1.703.589,49	M<S	M
5	5	1.646.057,27	1.649.678,52	M<S	M
6	6	1.592.573,35	1.595.326,24	M<S	M
7	7	1.539.217,77	1.540.961,36	M<S	M
8	8	1.485.902,80	1.486.741,07	M<S	M
9	9	1.432.553,57	1.432.853,79	M<S	M
10	10	1.379.118,17	1.379.106,89	M>S	S
11	1	1.231.890,36	1.233.509,48	M<S	M
12	2	1.185.409,95	1.188.083,74	M<S	M
13	3	1.139.462,40	1.142.645,34	M<S	M
14	4	1.093.919,85	1.097.223,73	M<S	M
15	5	1.048.669,68	1.051.873,09	M<S	M
16	6	1.003.613,32	1.006.520,54	M<S	M
17	7	958.665,08	960.453,60	M<S	M
18	8	913.751,05	914.683,58	M<S	M
19	9	868.808,14	869.064,25	M<S	M
20	10	823.790,02	823.783,16	M>S	S

Subcenário 23			A(t)	C(t)	v(t)
Estágio	Idade	Custo da decisão (R\$)		Comp.	Decisão
		Manter (M)	Substituir (S)		
1	1	1.904.099,97	1.905.449,53	M<S	M
2	2	1.848.985,94	1.853.695,38	M<S	M
3	3	1.794.574,53	1.801.572,40	M<S	M
4	4	1.740.736,25	1.749.303,24	M<S	M
5	5	1.687.356,79	1.696.806,52	M<S	M
6	6	1.634.335,82	1.644.159,35	M<S	M
7	7	1.581.585,80	1.591.419,39	M<S	M
8	8	1.529.030,98	1.538.523,18	M<S	M
9	9	1.476.606,32	1.485.606,09	M<S	M
10	10	1.424.256,65	1.432.622,39	M<S	M
11	11	1.371.935,72	1.379.612,80	M<S	M
12	12	1.319.605,47	1.326.625,56	M<S	M
13	13	1.267.235,23	1.273.653,60	M<S	M
14	14	1.214.801,07	1.220.698,20	M<S	M
15	15	1.162.285,11	1.167.769,84	M<S	M
16	16	1.109.674,95	1.114.536,21	M<S	M
17	17	1.056.963,12	1.060.624,45	M<S	M
18	18	1.004.146,54	1.006.464,73	M<S	M
19	19	951.226,08	952.019,96	M<S	M
20	20	711.150,32	Substituição Compulsória		S

Subcenário 24			A(t)	C(t)	v(t)
Estágio	Idade	Custo da decisão (R\$)		Comp.	Decisão
		Manter (M)	Substituir (S)		
1	1	1.859.602,91	1.863.293,98	M<S	M
2	2	1.804.488,88	1.810.828,50	M<S	M
3	3	1.750.077,47	1.758.265,97	M<S	M
4	4	1.696.239,19	1.704.706,75	M<S	M
5	5	1.642.859,73	1.650.709,28	M<S	M
6	6	1.589.838,75	1.596.751,51	M<S	M
7	7	1.537.088,74	1.542.895,41	M<S	M
8	8	1.484.533,92	1.489.192,86	M<S	M
9	9	1.432.109,26	1.435.568,24	M<S	M
10	10	1.379.759,59	1.382.186,88	M<S	M
11	11	1.327.438,66	1.328.877,51	M<S	M
12	12	1.275.108,41	1.275.830,98	M<S	M
13	13	1.222.738,17	1.222.952,82	M<S	M
14	14	1.170.420,58	1.170.304,01	M>S	S
15	1	999.622,26	1.002.618,51	M<S	M
16	2	956.270,35	961.446,67	M<S	M
17	3	913.471,12	920.215,25	M<S	M
18	4	871.122,69	878.897,82	M<S	M
19	5	829.135,17	837.504,27	M<S	M
20	6	787.429,63	796.055,08	M<S	M

Subcenário 25		A(t)	C(t)	v(t)	
Estágio	Idade	Custo da decisão (R\$)		Comp.	Decisão
		Manter (M)	Substituir (S)		
1	1	1.914.172,14	1.916.670,57	M<S	M
2	2	1.858.997,81	1.862.989,28	M<S	M
3	3	1.804.456,01	1.809.321,49	M<S	M
4	4	1.750.394,96	1.755.477,40	M<S	M
5	5	1.696.680,99	1.701.494,15	M<S	M
6	6	1.643.197,07	1.647.576,85	M<S	M
7	7	1.589.841,49	1.593.626,34	M<S	M
8	8	1.536.526,52	1.539.683,75	M<S	M
9	9	1.483.177,29	1.485.761,82	M<S	M
10	10	1.429.730,61	1.431.925,59	M<S	M
11	11	1.376.134,02	1.377.639,83	M<S	M
12	12	1.322.344,75	1.322.869,28	M<S	M
13	13	1.268.395,10	1.268.328,89	M>S	S
14	1	1.093.338,41	1.095.284,65	M<S	M
15	2	1.049.188,50	1.052.287,77	M<S	M
16	3	1.005.544,74	1.009.348,19	M<S	M
17	4	962.285,66	966.268,64	M<S	M
18	5	919.304,31	923.257,07	M<S	M
19	6	876.507,05	880.201,44	M<S	M
20	7	833.812,48	837.179,60	M<S	M

Subcenário 26		A(t)	C(t)	v(t)	
Estágio	Idade	Custo da decisão (R\$)		Comp.	Decisão
		Manter (M)	Substituir (S)		
1	1	1.843.966,31	1.846.560,11	M<S	M
2	2	1.788.852,28	1.793.104,14	M<S	M
3	3	1.734.440,87	1.739.751,91	M<S	M
4	4	1.680.602,59	1.686.410,88	M<S	M
5	5	1.627.223,13	1.633.118,67	M<S	M
6	6	1.574.202,16	1.579.889,68	M<S	M
7	7	1.521.452,14	1.526.781,57	M<S	M
8	8	1.468.897,32	1.473.774,56	M<S	M
9	9	1.416.472,66	1.420.189,44	M<S	M
10	10	1.364.122,99	1.366.477,10	M<S	M
11	11	1.311.802,06	1.313.041,15	M<S	M
12	12	1.259.471,81	1.259.950,43	M<S	M
13	13	1.207.101,57	1.207.105,56	M<S	M
14	14	1.154.974,19	1.154.667,41	M>S	S
15	1	996.728,35	998.770,32	M<S	M
16	2	953.376,44	956.886,77	M<S	M
17	3	910.577,21	914.997,02	M<S	M
18	4	868.228,78	873.173,43	M<S	M
19	5	826.241,26	831.416,86	M<S	M
20	6	784.535,72	789.703,93	M<S	M

Subcenário 27		A(t)	C(t)	v(t)	
Estágio	Idade	Custo da decisão (R\$)		Comp.	Decisão
		Manter (M)	Substituir (S)		
1	1	1.935.008,58	1.938.786,05	M<S	M
2	2	1.879.834,25	1.886.248,86	M<S	M
3	3	1.825.292,46	1.833.400,01	M<S	M
4	4	1.771.231,41	1.780.329,45	M<S	M
5	5	1.717.517,43	1.727.018,61	M<S	M
6	6	1.664.033,52	1.673.548,68	M<S	M
7	7	1.610.677,94	1.618.482,54	M<S	M
8	8	1.557.362,97	1.563.401,95	M<S	M
9	9	1.504.013,73	1.508.374,95	M<S	M
10	10	1.450.567,06	1.453.469,87	M<S	M
11	11	1.396.970,46	1.398.591,04	M<S	M
12	12	1.343.181,19	1.343.936,65	M<S	M
13	13	1.289.165,33	1.289.292,81	M<S	M
14	14	1.235.158,97	1.234.896,97	M>S	S
15	1	1.043.092,50	1.046.118,98	M<S	M
16	2	999.693,16	1.004.912,51	M<S	M
17	3	956.791,37	963.516,75	M<S	M
18	4	914.267,72	921.905,49	M<S	M
19	5	872.017,07	880.165,55	M<S	M
20	6	829.947,39	838.267,02	M<S	M

APÊNDICE 2 – Tabela com a simulação completa da arvore de decisão do subcenário 1 de referência (com todas as variáveis neutras).

A seguir é apresentado o exemplo da resolução de um dos 27 subcenários do modelo (subcenário de referência).

Estágio				1
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	1.888.217,06	1.891.356,97	M<S	M

Estágio				2
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	1.819.104,62	1.822.221,96	M<S	M
2	1.833.072,88	1.838.315,35	M<S	M

Estágio				3
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	1.751.197,93	1.754.378,59	M<S	M
2	1.764.897,92	1.770.198,38	M<S	M
3	1.778.596,28	1.785.185,56	M<S	M

Estágio				4
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	1.684.562,01	1.687.754,99	M<S	M
2	1.697.912,78	1.703.305,84	M<S	M
3	1.711.347,45	1.718.038,22	M<S	M
4	1.724.646,61	1.731.952,14	M<S	M

Estágio				5
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	1.619.125,33	1.622.334,32	M<S	M
2	1.632.182,73	1.637.620,79	M<S	M
3	1.645.272,69	1.652.102,71	M<S	M
4	1.658.314,95	1.665.780,09	M<S	M
5	1.671.099,89	1.678.652,91	M<S	M

Estágio				6
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	1.554.871,40	1.558.036,91	M<S	M
2	1.567.636,52	1.573.063,51	M<S	M
3	1.580.437,55	1.587.299,23	M<S	M
4	1.593.141,78	1.600.744,08	M<S	M
5	1.605.678,56	1.613.398,06	M<S	M
6	1.617.847,45	1.625.261,16	M<S	M

Estágio				7
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	1.491.720,89	1.494.917,47	M<S	M
2	1.504.257,92	1.509.688,60	M<S	M
3	1.516.771,04	1.523.682,31	M<S	M
4	1.529.192,89	1.536.898,59	M<S	M
5	1.541.400,23	1.549.337,45	M<S	M
6	1.553.331,43	1.560.998,87	M<S	M
7	1.564.794,65	1.571.882,87	M<S	M

Estágio				8
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	1.429.728,86	1.431.946,74	M<S	M
2	1.441.967,88	1.446.466,76	M<S	M
3	1.454.257,18	1.460.222,57	M<S	M
4	1.466.397,57	1.473.214,17	M<S	M
5	1.478.330,98	1.485.441,55	M<S	M
6	1.489.943,03	1.496.904,72	M<S	M
7	1.501.180,56	1.507.603,69	M<S	M
8	1.511.859,76	1.517.538,44	M<S	M

Estágio				9
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	1.367.866,37	1.369.871,32	M<S	M
2	1.380.821,67	1.384.144,49	M<S	M
3	1.392.817,17	1.397.666,44	M<S	M
4	1.404.740,08	1.410.437,17	M<S	M
5	1.416.400,33	1.422.456,69	M<S	M
6	1.427.748,58	1.433.724,98	M<S	M
7	1.438.678,75	1.444.242,06	M<S	M
8	1.449.145,58	1.454.007,91	M<S	M

9	1.458.972,81	1.463.022,55	M<S	M
Estágio			10	
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	1.306.880,35	1.309.009,32	M<S	M
2	1.319.790,63	1.323.039,84	M<S	M
3	1.332.506,55	1.336.331,92	M<S	M
4	1.344.141,89	1.348.885,54	M<S	M
5	1.355.592,82	1.360.700,72	M<S	M
6	1.366.677,86	1.371.777,44	M<S	M
7	1.377.355,81	1.382.115,72	M<S	M
8	1.387.528,39	1.391.715,55	M<S	M
9	1.397.157,74	1.400.576,93	M<S	M
10	1.406.074,63	1.408.699,87	M<S	M

Estágio			11	
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	1.247.089,23	1.249.282,68	M<S	M
2	1.259.621,92	1.263.074,68	M<S	M
3	1.272.296,89	1.276.140,78	M<S	M
4	1.284.658,77	1.288.480,98	M<S	M
5	1.295.830,16	1.300.095,30	M<S	M
6	1.306.715,66	1.310.983,71	M<S	M
7	1.317.141,80	1.321.146,24	M<S	M
8	1.327.075,04	1.330.582,86	M<S	M
9	1.336.424,37	1.339.293,60	M<S	M
10	1.345.158,87	1.347.278,44	M<S	M
11	1.353.115,87	1.354.537,38	M<S	M

Estágio			12	
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	1.188.415,27	1.190.773,38	M<S	M
2	1.200.634,22	1.204.330,90	M<S	M
3	1.212.935,60	1.217.174,87	M<S	M
4	1.225.262,55	1.229.305,29	M<S	M
5	1.237.168,37	1.240.722,15	M<S	M
6	1.247.783,93	1.251.425,46	M<S	M
7	1.258.021,74	1.261.415,21	M<S	M
8	1.267.715,83	1.270.691,41	M<S	M
9	1.276.839,82	1.279.254,06	M<S	M
10	1.285.309,50	1.287.103,15	M<S	M
11	1.293.100,43	1.294.238,69	M<S	M

12	1.300.056,11	1.300.660,68	M<S	M
Estágio			13	
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	1.130.940,74	1.133.289,48	M<S	M
2	1.142.750,01	1.146.616,52	M<S	M
3	1.154.741,59	1.159.242,13	M<S	M
4	1.166.700,86	1.171.166,32	M<S	M
5	1.178.579,51	1.182.389,09	M<S	M
6	1.189.938,95	1.192.910,44	M<S	M
7	1.199.917,83	1.202.730,36	M<S	M
8	1.209.436,03	1.211.848,87	M<S	M
9	1.218.334,63	1.220.265,94	M<S	M
10	1.226.593,93	1.227.981,60	M<S	M
11	1.234.136,09	1.234.995,83	M<S	M
12	1.240.942,71	1.241.308,64	M<S	M
13	1.246.863,06	1.246.920,02	M<S	M

Estágio		14		
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	1.074.474,02	1.076.986,55	M<S	M
2	1.086.051,82	1.090.087,02	M<S	M
3	1.097.637,58	1.102.497,99	M<S	M
4	1.109.292,87	1.114.219,47	M<S	M
5	1.120.811,46	1.125.251,44	M<S	M
6	1.132.153,01	1.135.593,92	M<S	M
7	1.142.886,60	1.145.246,90	M<S	M
8	1.152.158,11	1.154.210,38	M<S	M
9	1.160.894,34	1.162.484,37	M<S	M
10	1.168.942,94	1.170.068,85	M<S	M
11	1.176.290,48	1.176.963,84	M<S	M
12	1.182.865,08	1.183.169,32	M<S	M
13	1.188.653,97	1.188.685,31	M<S	M
14	1.193.804,12	1.193.511,80	M>S	S

Estágio				15
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	1.019.170,98	1.021.665,44	M<S	M
2	1.030.348,24	1.034.543,20	M<S	M
3	1.041.706,32	1.046.743,18	M<S	M
4	1.052.961,52	1.058.265,39	M<S	M
5	1.064.183,61	1.069.109,82	M<S	M
6	1.075.174,24	1.079.276,47	M<S	M
7	1.085.900,58	1.088.765,34	M<S	M
8	1.095.938,82	1.097.576,44	M<S	M
9	1.104.441,65	1.105.709,76	M<S	M
10	1.112.342,33	1.113.165,30	M<S	M
11	1.119.494,68	1.119.943,07	M<S	M
12	1.125.891,11	1.126.043,06	M<S	M
13	1.131.581,59	1.131.465,27	M>S	S
14	1.136.644,18	1.136.209,71	M>S	S
15	1.141.074,21	1.140.276,37	M>S	S

Estágio				16
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	964.832,78	967.431,95	M<S	M
2	975.795,36	980.090,78	M<S	M
3	986.756,64	992.083,36	M<S	M
4	997.789,77	1.003.409,68	M<S	M
5	1.008.619,13	1.014.069,75	M<S	M
6	1.019.322,25	1.024.063,56	M<S	M
7	1.029.708,12	1.033.391,12	M<S	M
8	1.039.750,93	1.042.052,42	M<S	M
9	1.049.033,56	1.050.047,47	M<S	M
10	1.056.715,06	1.057.376,27	M<S	M
11	1.063.734,72	1.064.038,81	M<S	M
12	1.069.952,12	1.070.035,10	M<S	M
13	1.075.545,86	1.075.365,13	M>S	S
14	1.080.522,39	1.080.028,91	M>S	S
15	1.084.877,10	1.084.026,43	M>S	S
16	1.088.605,66	1.087.357,70	M>S	S

Estágio				17
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	911.565,47	914.186,85	M<S	M
2	922.194,56	926.630,48	M<S	M
3	932.944,84	938.419,17	M<S	M
4	943.586,69	949.552,94	M<S	M
5	954.201,23	960.031,78	M<S	M
6	964.520,44	969.855,69	M<S	M
7	974.629,07	979.024,68	M<S	M
8	984.343,04	987.538,74	M<S	M
9	993.643,09	995.397,87	M<S	M
10	1.002.118,34	1.002.602,07	M<S	M
11	1.008.933,80	1.009.151,34	M<S	M
12	1.015.034,41	1.015.045,69	M<S	M
13	1.020.533,06	1.020.285,11	M>S	S
14	1.025.424,98	1.024.869,60	M>S	S
15	1.029.705,66	1.028.799,17	M>S	S
16	1.033.370,83	1.032.073,81	M>S	S
17	1.036.416,45	1.034.693,52	M>S	S

Estágio				18
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	859.270,13	861.917,24	M<S	M
2	869.652,13	874.149,31	M<S	M
3	880.072,53	885.737,59	M<S	M
4	890.508,81	896.682,08	M<S	M
5	900.739,18	906.982,77	M<S	M
6	910.852,24	916.639,67	M<S	M
7	920.587,07	925.652,78	M<S	M
8	930.035,22	934.022,10	M<S	M
9	939.019,05	941.747,62	M<S	M
10	947.525,46	948.829,34	M<S	M
11	955.149,39	955.267,28	M<S	M
12	961.146,29	961.061,42	M>S	S
13	966.551,46	966.211,77	M>S	S
14	971.360,21	970.718,32	M>S	S
15	975.568,12	974.581,08	M>S	S
16	979.170,99	977.800,05	M>S	S
17	982.164,82	980.375,22	M>S	S
18	984.545,87	982.306,60	M>S	S

Estágio				21
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	708.058,09	710.723,82	M<S	M
2	717.754,99	722.342,58	M<S	M
3	727.423,70	733.349,83	M<S	M
4	737.059,00	743.745,57	M<S	M
5	746.541,59	753.529,80	M<S	M
6	755.779,39	762.702,51	M<S	M
7	764.771,54	771.263,70	M<S	M
8	773.316,92	779.213,38	M<S	M
9	781.523,79	786.551,55	M<S	M
10	789.150,00	793.278,20	M<S	M
11	796.304,90	799.393,34	M<S	M
12	802.827,83	804.896,97	M<S	M
13	808.721,79	809.789,08	M<S	M
14	813.964,06	814.069,68	M<S	M
15	818.417,82	817.738,76	M>S	S
16	822.166,93	820.796,33	M>S	S
17	825.010,65	823.242,39	M>S	S
18	827.272,31	825.076,93	M>S	S
19	828.948,52	826.299,96	M>S	S

Estágio				20
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	757.566,82	760.221,32	M<S	M
2	767.433,76	772.041,03	M<S	M
3	777.367,32	783.238,64	M<S	M
4	787.240,76	793.814,17	M<S	M
5	796.954,89	803.767,61	M<S	M
6	806.502,11	813.098,95	M<S	M
7	815.674,86	821.808,21	M<S	M
8	824.575,26	829.895,38	M<S	M
9	832.955,32	837.360,46	M<S	M
10	840.918,86	844.203,45	M<S	M
11	848.299,91	850.424,34	M<S	M
12	855.096,50	856.023,15	M<S	M
13	861.281,12	860.999,87	M>S	S
14	866.033,38	865.354,50	M>S	S
15	870.099,43	869.087,04	M>S	S
16	873.580,83	872.197,49	M>S	S
17	876.473,74	874.685,85	M>S	S
18	878.774,52	876.552,12	M>S	S
19	880.479,71	877.796,30	M>S	S

Estágio				21
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	708.058,09	710.723,82	M<S	M
2	717.754,99	722.342,58	M<S	M
3	727.423,70	733.349,83	M<S	M
4	737.059,00	743.745,57	M<S	M
5	746.541,59	753.529,80	M<S	M
6	755.779,39	762.702,51	M<S	M
7	764.771,54	771.263,70	M<S	M
8	773.316,92	779.213,38	M<S	M
9	781.523,79	786.551,55	M<S	M
10	789.150,00	793.278,20	M<S	M
11	796.304,90	799.393,34	M<S	M
12	802.827,83	804.896,97	M<S	M
13	808.721,79	809.789,08	M<S	M
14	813.964,06	814.069,68	M<S	M
15	818.417,82	817.738,76	M>S	S
16	822.166,93	820.796,33	M>S	S
17	825.010,65	823.242,39	M>S	S
18	827.272,31	825.076,93	M>S	S
19	828.948,52	826.299,96	M>S	S

Estágio				22
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	659.447,39	662.078,56	M<S	M
2	668.923,08	673.499,80	M<S	M
3	678.425,11	684.319,93	M<S	M
4	687.800,65	694.538,93	M<S	M
5	697.051,74	704.156,82	M<S	M
6	706.066,10	713.173,59	M<S	M
7	714.758,25	721.589,24	M<S	M
8	723.133,71	729.403,77	M<S	M
9	730.997,35	736.617,19	M<S	M
10	738.463,19	743.229,48	M<S	M
11	745.294,50	749.240,66	M<S	M
12	751.605,86	754.650,72	M<S	M
13	757.241,51	759.459,67	M<S	M
14	762.209,15	763.667,49	M<S	M
15	766.490,48	767.274,20	M<S	M
16	769.952,90	770.279,79	M<S	M
17	772.748,28	772.684,26	M>S	S
18	774.971,49	774.487,62	M>S	S
19	776.619,20	775.689,85	M>S	S

Estágio				23
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	611.673,86	612.586,12	M<S	M
2	620.977,69	623.813,19	M<S	M
3	630.261,83	634.449,37	M<S	M
4	639.475,67	644.494,64	M<S	M
5	648.473,53	653.949,02	M<S	M
6	657.264,35	662.812,50	M<S	M
7	665.742,34	671.085,08	M<S	M
8	673.828,29	678.766,76	M<S	M
9	681.533,59	685.857,55	M<S	M
10	688.668,79	692.357,43	M<S	M
11	695.353,26	698.266,42	M<S	M
12	701.355,37	703.584,50	M<S	M
13	706.794,54	708.311,69	M<S	M
14	711.519,61	712.447,98	M<S	M
15	715.542,64	715.993,37	M<S	M
16	718.849,49	718.947,87	M<S	M
17	721.597,35	721.311,46	M>S	S
18	723.782,76	723.084,16	M>S	S
19	725.402,46	724.265,96	M>S	S

Estágio				24
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	563.038,32	564.158,03	M<S	M
2	573.858,17	575.194,23	M<S	M
3	582.973,71	585.649,59	M<S	M
4	591.974,55	595.524,09	M<S	M
5	600.817,14	604.817,74	M<S	M
6	609.362,55	613.530,53	M<S	M
7	617.626,12	621.662,48	M<S	M
8	625.508,21	629.213,57	M<S	M
9	632.935,40	636.183,80	M<S	M
10	639.924,64	642.573,19	M<S	M
11	646.291,75	648.381,72	M<S	M
12	652.161,11	653.609,39	M<S	M
13	657.305,86	658.256,22	M<S	M
14	661.849,93	662.322,19	M<S	M
15	665.646,46	665.807,31	M<S	M
16	668.897,09	668.711,57	M>S	S
17	671.598,23	671.034,98	M>S	S
18	673.746,49	672.777,54	M>S	S
19	675.338,66	673.939,25	M>S	S

Estágio				25
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	515.452,57	516.835,46	M<S	M
2	525.865,52	527.684,05	M<S	M
3	536.500,28	537.961,65	M<S	M
4	545.337,33	547.668,28	M<S	M
5	553.973,24	556.803,94	M<S	M
6	562.371,06	565.368,61	M<S	M
7	570.398,19	573.362,30	M<S	M
8	578.075,99	580.785,02	M<S	M
9	585.310,52	587.636,76	M<S	M
10	592.033,82	593.917,52	M<S	M
11	598.268,04	599.627,30	M<S	M
12	603.833,90	604.766,11	M<S	M
13	608.860,47	609.333,93	M<S	M
14	613.125,34	613.330,78	M<S	M
15	616.857,32	616.756,65	M>S	S
16	620.052,69	619.611,54	M>S	S
17	622.707,91	621.895,45	M>S	S
18	624.819,65	623.608,39	M>S	S
19	626.384,75	624.750,34	M>S	S

Estágio				26
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	468.958,02	470.576,19	M<S	M
2	478.911,72	481.240,34	M<S	M
3	489.142,73	491.343,22	M<S	M
4	499.503,73	500.884,84	M<S	M
5	507.982,06	509.865,18	M<S	M
6	516.180,76	518.284,25	M<S	M
7	524.069,12	526.142,05	M<S	M
8	531.520,43	533.438,57	M<S	M
9	538.561,68	540.173,83	M<S	M
10	545.104,29	546.347,81	M<S	M
11	551.085,40	551.960,53	M<S	M
12	556.531,99	557.011,97	M<S	M
13	561.269,39	561.502,14	M<S	M
14	565.461,75	565.431,04	M>S	S
15	569.130,29	568.798,66	M>S	S
16	572.271,33	571.605,02	M>S	S
17	574.881,42	573.850,11	M>S	S
18	576.957,26	575.533,92	M>S	S
19	578.495,74	576.656,46	M>S	S

Estágio				27
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	423.512,69	425.336,01	M<S	M
2	433.038,38	435.818,87	M<S	M
3	442.813,24	445.750,00	M<S	M
4	452.775,14	455.129,40	M<S	M
5	462.783,52	463.957,07	M<S	M
6	470.832,07	472.233,01	M<S	M
7	478.529,97	479.957,22	M<S	M
8	485.852,30	487.129,70	M<S	M
9	492.677,88	493.750,46	M<S	M
10	499.038,98	499.819,48	M<S	M
11	504.852,01	505.336,77	M<S	M
12	510.058,88	510.302,34	M<S	M
13	514.691,10	514.716,17	M<S	M
14	518.812,19	518.578,28	M>S	S
15	522.418,36	521.888,66	M>S	S
16	525.506,00	524.647,30	M>S	S
17	528.071,71	526.854,22	M>S	S
18	530.112,26	528.509,41	M>S	S
19	531.624,59	529.612,87	M>S	S

Estágio				28
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	379.072,62	381.068,65	M<S	M
2	388.203,70	391.373,30	M<S	M
3	397.553,59	401.135,59	M<S	M
4	407.063,92	410.355,54	M<S	M
5	416.679,19	419.033,13	M<S	M
6	426.265,10	427.168,38	M<S	M
7	433.821,37	434.761,28	M<S	M
8	440.962,85	441.811,82	M<S	M
9	447.670,09	448.320,02	M<S	M
10	453.827,09	454.285,87	M<S	M
11	459.471,01	459.709,36	M<S	M
12	464.522,97	464.590,51	M<S	M
13	469.076,43	468.929,31	M>S	S
14	473.127,46	472.725,76	M>S	S
15	476.672,32	475.979,85	M>S	S
16	479.707,48	478.691,60	M>S	S
17	482.229,57	480.861,00	M>S	S
18	484.235,43	482.488,05	M>S	S
19	485.722,05	483.572,75	M>S	S

Estágio				29
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	335.591,76	337.725,64	M<S	M
2	344.363,90	347.855,10	M<S	M
3	353.322,17	357.451,43	M<S	M
4	362.412,04	366.514,63	M<S	M
5	371.581,62	375.044,70	M<S	M
6	380.781,61	383.041,65	M<S	M
7	389.883,60	390.505,46	M<S	M
8	396.892,91	397.436,14	M<S	M
9	403.429,77	403.833,70	M<S	M
10	409.479,78	409.698,12	M<S	M
11	414.931,80	415.029,42	M<S	M
12	419.897,87	419.827,58	M>S	S
13	424.373,92	424.092,62	M>S	S
14	428.356,08	427.824,52	M>S	S
15	431.840,68	431.023,30	M>S	S
16	434.824,23	433.688,95	M>S	S
17	437.303,45	435.821,47	M>S	S
18	439.275,21	437.420,85	M>S	S
19	440.736,56	438.487,11	M>S	S

Estágio				30
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	293.021,88	295.256,16	M<S	M
2	301.473,12	305.213,41	M<S	M
3	310.075,38	314.646,60	M<S	M
4	318.778,04	323.555,72	M<S	M
5	327.532,95	331.940,78	M<S	M
6	336.294,31	339.801,77	M<S	M
7	345.018,61	347.138,70	M<S	M
8	353.582,95	353.951,55	M<S	M
9	359.997,91	360.240,35	M<S	M
10	365.888,71	366.005,07	M<S	M
11	371.248,04	371.245,73	M>S	S
12	376.129,68	375.962,33	M>S	S
13	380.529,64	380.154,85	M>S	S
14	384.444,10	383.823,32	M>S	S
15	387.869,46	386.967,71	M>S	S
16	390.802,29	389.588,04	M>S	S
17	393.239,36	391.684,31	M>S	S
18	395.177,60	393.256,50	M>S	S
19	396.614,10	394.304,64	M>S	S

Estágio				31
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	251.312,38	253.606,95	M<S	M
2	259.483,27	263.394,93	M<S	M
3	267.767,51	272.667,75	M<S	M
4	276.118,51	281.425,41	M<S	M
5	284.491,92	289.667,91	M<S	M
6	292.845,55	297.395,26	M<S	M
7	301.139,30	304.607,46	M<S	M
8	309.335,09	311.304,49	M<S	M
9	317.315,18	317.486,37	M<S	M
10	323.095,07	323.153,09	M<S	M
11	328.363,28	328.304,66	M>S	S
12	333.161,94	332.941,07	M>S	S
13	337.487,09	337.062,32	M>S	S
14	341.335,01	340.668,42	M>S	S
15	344.702,13	343.759,36	M>S	S
16	347.585,11	346.335,14	M>S	S
17	349.980,74	348.395,77	M>S	S
18	351.886,03	349.941,24	M>S	S
19	353.298,11	350.971,55	M>S	S

Estágio				32
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	210.410,24	212.722,15	M<S	M
2	218.343,95	222.343,73	M<S	M
3	226.350,67	231.458,91	M<S	M
4	234.387,93	240.067,68	M<S	M
5	242.415,27	248.170,06	M<S	M
6	250.394,22	255.766,04	M<S	M
7	258.288,19	262.855,63	M<S	M
8	266.062,42	269.438,81	M<S	M
9	273.683,89	275.515,59	M<S	M
10	281.039,71	281.085,98	M<S	M
11	286.218,36	286.149,97	M>S	S
12	290.935,43	290.707,55	M>S	S
13	295.187,06	294.758,74	M>S	S
14	298.969,56	298.303,53	M>S	S
15	302.279,44	301.341,93	M>S	S
16	305.113,40	303.873,92	M>S	S
17	307.468,31	305.899,51	M>S	S
18	309.341,20	307.418,71	M>S	S
19	310.729,28	308.431,51	M>S	S

Estágio				33
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	170.259,81	172.543,19	M<S	M
2	178.002,28	182.001,19	M<S	M
3	185.774,63	190.961,40	M<S	M
4	193.538,56	199.423,83	M<S	M
5	201.257,66	207.388,46	M<S	M
6	208.897,25	214.855,31	M<S	M
7	216.424,35	221.824,36	M<S	M
8	223.807,63	228.295,63	M<S	M
9	231.017,31	234.269,10	M<S	M
10	238.025,12	239.744,79	M<S	M
11	244.751,22	244.722,69	M>S	S
12	249.388,10	249.202,79	M>S	S
13	253.567,45	253.185,11	M>S	S
14	257.285,64	256.669,64	M>S	S
15	260.539,25	259.656,38	M>S	S
16	263.325,03	262.145,32	M>S	S
17	265.639,91	264.136,48	M>S	S
18	267.480,96	265.629,85	M>S	S
19	268.845,44	266.625,43	M>S	S

Estágio				34
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	130.802,73	133.008,58	M<S	M
2	138.402,81	142.305,80	M<S	M
3	145.986,66	151.113,68	M<S	M
4	153.520,34	159.432,24	M<S	M
5	160.971,53	167.261,47	M<S	M
6	168.309,47	174.601,38	M<S	M
7	175.504,89	181.451,95	M<S	M
8	182.529,98	187.813,21	M<S	M
9	189.358,31	193.685,13	M<S	M
10	195.964,76	199.067,73	M<S	M
11	202.325,51	203.961,00	M<S	M
12	208.417,95	208.364,94	M>S	S
13	212.563,16	212.279,55	M>S	S
14	216.218,14	215.704,84	M>S	S
15	219.416,44	218.640,80	M>S	S
16	222.154,86	221.087,44	M>S	S
17	224.430,38	223.044,75	M>S	S
18	226.240,14	224.512,73	M>S	S
19	227.581,42	225.491,38	M>S	S

Estágio				35
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	91.977,73	94.053,86	M<S	M
2	99.487,31	103.193,01	M<S	M
3	106.931,46	111.851,16	M<S	M
4	114.280,71	120.028,30	M<S	M
5	121.506,96	127.724,43	M<S	M
6	128.583,47	134.939,55	M<S	M
7	135.484,79	141.673,67	M<S	M
8	142.186,74	147.926,77	M<S	M
9	148.666,31	153.698,87	M<S	M
10	154.901,67	158.989,96	M<S	M
11	160.872,06	163.800,04	M<S	M
12	166.557,81	168.129,11	M<S	M
13	171.940,27	171.977,18	M<S	M
14	175.698,76	175.344,24	M>S	S
15	178.842,69	178.230,29	M>S	S
16	181.534,56	180.635,33	M>S	S
17	183.771,39	182.559,36	M>S	S
18	185.550,38	184.002,38	M>S	S
19	186.868,86	184.964,40	M>S	S

Estágio				36
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	53.720,55	55.611,34	M<S	M
2	61.194,69	64.595,12	M<S	M
3	68.550,99	73.106,08	M<S	M
4	75.764,53	81.144,20	M<S	M
5	82.811,58	88.709,49	M<S	M
6	89.669,51	95.801,95	M<S	M
7	96.316,83	102.421,58	M<S	M
8	102.733,07	108.568,38	M<S	M
9	108.898,77	114.242,35	M<S	M
10	114.795,45	119.443,49	M<S	M
11	120.405,56	124.171,80	M<S	M
12	125.712,43	128.427,28	M<S	M
13	130.700,27	132.209,92	M<S	M
14	135.354,09	135.519,74	M<S	M
15	138.746,37	138.356,72	M>S	S
16	141.392,47	140.720,88	M>S	S
17	143.591,28	142.612,20	M>S	S
18	145.340,02	144.030,69	M>S	S
19	146.636,09	144.976,35	M>S	S

Estágio				37
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	15.963,72	17.610,01	M<S	M
2	23.460,84	26.441,07	M<S	M
3	30.784,31	34.807,33	M<S	M
4	37.913,92	42.708,80	M<S	M
5	44.830,39	50.145,48	M<S	M
6	51.515,38	57.117,37	M<S	M
7	57.951,42	63.624,46	M<S	M
8	64.121,90	69.666,76	M<S	M
9	70.011,01	75.244,27	M<S	M
10	75.603,73	80.356,99	M<S	M
11	80.885,80	85.004,91	M<S	M
12	85.843,67	89.188,04	M<S	M
13	90.464,49	92.906,38	M<S	M
14	94.736,07	96.159,93	M<S	M
15	98.646,89	98.948,68	M<S	M
16	101.653,45	101.272,64	M>S	S
17	103.814,88	103.131,81	M>S	S
18	105.533,90	104.526,19	M>S	S
19	106.807,93	105.455,78	M>S	S

Estágio				38
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	-21.363,58	-20.024,64	M<S	M
2	-13.781,56	-11.343,72	M<S	M
3	-6.432,55	-3.119,68	M<S	M
4	668,08	4.647,46	M<S	M
5	7.505,67	11.957,71	M<S	M
6	14.066,25	18.811,07	M<S	M
7	20.336,52	25.207,54	M<S	M
8	26.303,83	31.147,12	M<S	M
9	31.956,14	36.629,81	M<S	M
10	37.282,01	41.655,60	M<S	M
11	42.270,56	46.224,51	M<S	M
12	46.911,48	50.336,53	M<S	M
13	51.194,95	53.991,65	M<S	M
14	55.111,70	57.189,89	M<S	M
15	58.652,91	59.931,23	M<S	M
16	61.810,24	62.215,68	M<S	M
17	64.363,36	64.043,25	M>S	S
18	66.053,16	65.413,92	M>S	S
19	67.305,53	66.327,70	M>S	S

Estágio				39
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	-58.335,66	-57.370,82	M<S	M
2	-50.603,17	-48.837,48	M<S	M
3	-43.166,75	-40.753,26	M<S	M
4	-36.036,79	-33.118,16	M<S	M
5	-29.223,21	-25.932,19	M<S	M
6	-22.735,47	-19.195,34	M<S	M
7	-16.582,56	-12.907,61	M<S	M
8	-10.773,05	-7.069,01	M<S	M
9	-5.315,10	-1.679,53	M<S	M
10	-216,46	3.260,83	M<S	M
11	4.515,52	7.752,06	M<S	M
12	8.873,82	11.794,17	M<S	M
13	12.851,81	15.387,16	M<S	M
14	16.443,18	18.531,02	M<S	M
15	19.641,97	21.225,76	M<S	M
16	22.442,50	23.471,38	M<S	M
17	24.839,42	25.267,87	M<S	M
18	26.827,66	26.615,24	M>S	S
19	30.983,16	27.513,49	M>S	S

Estágio				40
t*	Manter (M)	Substituir (S)	Comp.	Decisão
1	-95.030,53	-12.053,93	M<S	M
2	-87.078,17	-3.257,98	M<S	M
3	-79.488,80	4.677,44	M<S	M
4	-72.267,70	11.773,60	M<S	M
5	-65.419,91	18.051,04	M<S	M
6	-58.950,23	23.529,59	M<S	M
7	-52.863,23	28.228,40	M<S	M
8	-47.163,25	32.165,96	M<S	M
9	-41.854,45	35.360,11	M<S	M
10	-36.940,75	37.828,08	M<S	M
11	-32.425,90	39.586,47	M<S	M
12	-28.313,46	40.651,30	M<S	M
13	-24.606,82	41.038,02	M<S	M
14	-21.309,16	40.761,53	M<S	M
15	-18.423,54	39.836,17	M<S	M
16	-15.952,84	38.275,78	M<S	M
17	-13.899,79	34.672,76	M<S	M
18	-12.266,96	31.810,57	M<S	M
19	-11.056,81	28.349,16	M<S	M