



**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS E SOCIAIS
MESTRADO PROFISSIONAL EM ADMINISTRAÇÃO**



CRISTIANE NEVES LEAL CUNHA

**ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE DESTINAÇÃO DO ÓLEO RESIDUAL DE
FRITURA: DESCARTE EM ESGOTO SANITÁRIO OU PRODUÇÃO DE
BIODIESEL?**

Volta Redonda/RJ

2017

CRISTIANE NEVES LEAL CUNHA

**ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE DESTINAÇÃO DO ÓLEO RESIDUAL DE
FRITURA: DESCARTE EM ESGOTO SANITÁRIO OU PRODUÇÃO DE
BIODIESEL?**

Versão final da dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração do Instituto de Ciências Humanas e Sociais da Universidade Federal Fluminense, como requisito para a obtenção do grau de Mestre no Curso de Mestrado Profissional em Administração.

Orientador: Prof. Ricardo César da Silva Guabiroba,
D.Sc.

Volta Redonda/RJ

2017

Ficha catalográfica automática - SDC/BAVR

L433 Leal Cunha, Cristiane Neves
Análise de Alternativas de Destinação do Óleo Residual de Fritura: descarte em esgoto sanitário ou produção de biodiesel? / Cristiane Neves Leal Cunha; Ricardo César da Silva Guabiroba, orientador. Volta Redonda, 2017.
136 f.

Dissertação (mestrado profissional)-Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2017.

1. Óleo residual de fritura. 2. Biodiesel. 3. Indicadores de sustentabilidade. 4. Economia Circular. 5. Produção intelectual. I. Título II. Guabiroba, Ricardo César da Silva, orientador. III. Universidade Federal Fluminense. Instituto de Ciências Humanas e Sociais.

CDD -

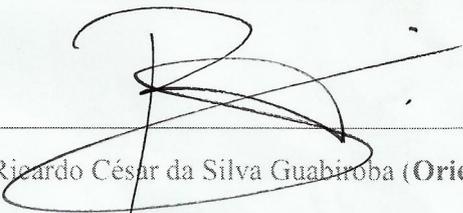
Bibliotecária responsável: Ana Claudia Felipe da Silva -CRB7/4794

CRISTIANE NEVES LEAL CUNHA

**ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE DESTINAÇÃO DO ÓLEO RESIDUAL DE
FRITURA: DESCARTE EM ESGOTO SANITÁRIO OU PRODUÇÃO DE
BIODIESEL?**

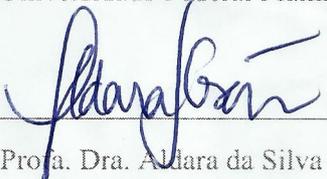
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração do Instituto de Ciências Humanas e Sociais da Universidade Federal Fluminense, como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Administração

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Ricardo César da Silva Guabiróba (**Orientador**)

Universidade Federal Fluminense



Profa. Dra. Aldara da Silva César

Universidade Federal Fluminense



Prof. Dr. Marcelino Aurélio Vieira da Silva

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Volta Redonda/RJ

2017

*“Ó Senhor, eu quero louvá-lo e honrar o seu nome, porque o Senhor é o meu Deus.
Quantas coisas maravilhosas o Senhor fez, conforme os seus planos eternos e
verdadeiros!”*

Isaías 25:1

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, ao meu Deus! É graças a Ele que escrevo estas palavras. Eu agradeço por tudo o que tenho: fôlego da vida, sabedoria, saúde, força, coragem, vigor para superar cada desafio desta vida. Agradeço por ser Ele a minha referência. A Ele seja dada a honra, a Glória e todo o louvor! E por ser tão bom, Ele também me permitiu ingressar neste Mestrado e me cercou de pessoas especiais, que fizeram parte deste momento da minha vida acadêmica. E são a elas que dirijo os agradecimentos a seguir.

Ao meu esposo Franklin de Souza Cunha. Que privilégio tê-lo por perto. Ele é mais uma prova de que Deus é muito bom para mim. Obrigada pela paciência, ensinamentos, incentivo, palavras de carinho, pela companhia nas noites em claro, por abrir mão das suas vontades em prol das minhas, por compreender todos os meus momentos, por estar ao meu lado sempre que precisei. Amo você!

A toda a minha família, meus irmãos e, em especial, aos meus pais José Maria Leal e Eliane Neves Leal. Obrigada pela educação, amor, atenção, preocupações, por estarem presentes em todas as situações da minha vida e pela vibração nos momentos de conquista. Obrigada pela compreensão quando precisei me ausentar deixando de usufruir da companhia tão preciosa de vocês. Vocês são a minha base. Eu vos amo!

Ao professor Dr. Ricardo César da Silva Guabiroba, a quem tenho grande admiração e carinho, por aceitar ser o meu orientador, por acreditar e confiar nesta orientanda, pelos desafios e lições em cada orientação que serviram de grande aprendizado para minha vida profissional, acadêmica e pessoal. Muito obrigada pela dedicação do seu tempo, por todas as sugestões, críticas e atenções dispensadas para a elaboração e conclusão desta pesquisa.

Aos professores da banca examinadora pelo tempo de análise, avaliação, críticas e sugestões que certamente contribuirão para o aprimoramento deste trabalho. Aos professores do PPGA da UFF pelos ensinamentos em cada disciplina, em especial, aos professores Dr. Ualisson de Oliveira e Dr. Marco Conejero, por todas as considerações na banca de qualificação e aos professores Dr. Ilton Curty e Dr. Ricardo Guabiroba por auxiliarem na elaboração do artigo científico sobre 'Alternativas Modais para o Transporte de Soja no Sul do Brasil'.

Agradeço aos meus amigos pela amizade, momentos de lazer, distração e apoio. Em especial, agradeço as minhas amigas: Lana Oliveira, Natália Bazoti e Luana Ferreira. Certamente, o companheirismo de vocês fez com que esta caminhada se tornasse mais leve.

Agradeço também à empresa 3CORP Technology, na pessoa do presidente, por compreender esta minha fase acadêmica e permitir a flexibilização do meu horário de expediente todas as vezes que precisei me dirigir ao mestrado.

Finalmente, meus agradecimentos são às empresas: Ecoóleo, na pessoa do Sr. Sebastião Silva; Cesbra, aos Srs. Edson Faria e Eliezer de Freitas; SAAE-VR, aos Srs. Edmar e Reginaldo Barbosa juntamente com os colaboradores das Estações de Tratamento de Água e Esgoto deste município por me recepcionarem e me permitirem aquisição de conhecimento por meio da realização de visitas técnicas.

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGA/UFF como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Administração (M.Sc.)

Embora o tema Resíduos Sólidos venha sendo discutido exaustivamente, ainda há lacunas na literatura que precisam ser estudadas, uma delas se refere às alternativas de destinação do Óleo Residual de Fritura. No ‘senso comum’, é ecologicamente correto guardar o óleo em uma garrafa e entregá-lo para transformação em biodiesel do que descartá-lo em esgotos sanitários. Mas, será que este é o destino mais sustentável? Será que o processo para transformação em novos produtos não teria algum impacto negativo ao ambiente que o desabone? Com base nestas questões, o objetivo desta pesquisa é estudar e entender qual a destinação do óleo residual de fritura é mais sustentável, considerando três fluxos: (1) descartá-lo em esgoto com destino ao aterro sanitário, (2) descartá-lo em esgoto com destino direto aos afluentes e (3) transformá-lo em um novo produto. O objetivo proposto foi alcançado com base em um procedimento de nove Etapas aplicado no município de Volta Redonda, estado do Rio de Janeiro. Como resultado, têm-se que o Cenário atual, com a maior quantidade de destinação de resíduo em afluente, apresentou o melhor desempenho em seis medidas de sustentabilidade. No entanto, a análise de sensibilidade apresenta que, de acordo com a atribuição de pesos, o Cenário Ideal, com a maior quantidade de destinação para fábrica de biodiesel, pode apresentar o melhor desempenho.

PALAVRAS-CHAVE: Óleo Residual de Fritura; Produção de Biodiesel; Indicadores de Sustentabilidade; Aterro Sanitário; Economia Circular.

Abstract of Dissertation presented to PPGA/UFF as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Administration (M.Sc.)

Although the theme Solid Waste has been discussed extensively, there are still gaps in the literature that need to be studied and completed, one of them refers to the alternatives of destination of waste cooking oil. In 'common sense', it is ecologically correct to store the oil in a bottle and deliver it for processing into biodiesel rather than discard it in sanitary sewers. But is this the most sustainable destination? Would not the process for transformation into new products have any negative impact on the environment that disrupts it? Based on these questions, the objective of this research is to study and understand the destination of the waste cooking oil is more sustainable considering three flows: (1) discard it in sewage to the landfill, (2) discard it in sewage with direct destination to the rivers or (3) turn it into a new product. The proposed objective was reached based on a nine-step procedure applied in the municipality of Volta Redonda, state of Rio de Janeiro. As a result, the current Scenario, with the largest amount of waste disposal in affluent, has shown the best performance in six sustainability measures. However, the sensitivity analysis shows that, according to the attribution of weights, the Ideal Scenario, with the largest amount of destination for the biodiesel plant, can present the best performance.

KEYWORDS: Waste Frying Oil; Biodiesel Production; Sustainability Indicators; Landfill; Circular Economy.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Problemática	2
1.2 Objetivos geral e específicos	3
1.3 Justificativa.....	3
1.4 Estrutura da pesquisa.....	4
2. GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	6
2.1 Conceitos associados a Resíduos Sólidos.....	6
2.1.1 Tipos de Resíduos Sólidos.....	6
2.1.2 Principais Resíduos Sólidos.....	7
2.2 Sistemas de gestão de resíduos sólidos.....	9
2.2.1 Geração de Resíduos.....	10
2.2.2 Manuseio, separação e armazenamento de resíduos.....	10
2.2.3 Coletas de Resíduos.....	10
2.2.4 Transferência e transporte de Resíduos.....	11
2.2.5 Tratamento, transformação e disposição final dos resíduos.....	12
2.3 Panorama da gestão de resíduos sólidos no Mundo.....	14
2.4 Panorama da gestão de resíduos sólidos no Brasil.....	18
2.5 Experiências das regiões brasileiras: similaridades e diferenças.....	21
2.6 Considerações Finais.....	22
3. ECONOMIA CIRCULAR.....	24
3.1 Aspectos conceituais da Economia Circular e ciclo de vida do produto.....	24
3.2 Aspectos conceituais de cadeia de suprimento e logística reversa.....	29
3.3 Aspectos políticos atuantes na logística reversa.....	35
3.3.1 Políticas Internacionais.....	35
3.3.2 Políticas Nacionais.....	37
3.4 Considerações Finais.....	39
4. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO COM BASE EM ASPECTOS DE SUSTENTABILIDADE.....	40
4.1 Conceitos associados à sustentabilidade.....	40
4.2 Avaliação de desempenho em cadeias de suprimento.....	41
4.3. Conceitos de aspecto, atributo, indicador e medida.....	45
4.4. Indicadores e medidas para avaliação de desempenho.....	47

4.5 Considerações Finais.....	52
5. PROCEDIMENTO PARA COMPARAÇÃO DE CADEIAS ASSOCIADAS À LOGÍSTICA REVERSA.....	53
5.1 Etapa (1) – Definição e caracterização do estudo de caso.....	53
5.2 Etapa (2) - Identificação dos elementos das cadeias de suprimento.....	54
5.3 Etapa (3) - Mapeamento dos fluxos das cadeias de suprimento.....	56
5.4 Etapa (4) – Levantamento de indicadores e de medidas de desempenho.....	59
5.5 Etapa (5) - Definição dos indicadores e medidas de desempenho a serem utilizadas no estudo.....	60
5.6 Etapa (6) – Definição dos cenários e volumes escoados em cada fluxo de destinação.....	60
5.7 Etapa (7) – Coleta de dados e cálculo dos indicadores e medidas de desempenho.....	61
5.8 Etapa (8) – Normalização das medidas, conclusão e análise de sensibilidade	61
5.9 Etapa (9) – Definição do cenário mais sustentável.....	62
5.10 Considerações Finais.....	62
6. APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO PROPOSTO.....	64
6.1 Etapa (1) – Definição e caracterização do estudo de caso.....	64
6.2 Etapa (2) - Identificação dos elementos das cadeias de suprimento.....	67
6.2.1 Primeira cadeia: descarte dos resíduos na rede de esgoto.....	67
6.2.2 Segunda cadeia: coleta para uma unidade de produção de biodiesel.....	70
6.2.3 Terceira cadeia: descarte dos resíduos em afluentes.....	73
6.3 Etapa (3) - Mapeamento dos fluxos das cadeias de suprimento.....	74
6.4 Etapa (4) – Levantamento de indicadores e de medidas de desempenho.....	76
6.5 Etapa (5) - Definição dos indicadores e medidas de desempenho a serem utilizadas no estudo.....	76
6.6 Etapa (6) – Definição dos cenários e volumes escoados em cada fluxo de destinação.....	77
6.7 Etapa (7) – Coleta de dados e cálculo dos indicadores e medidas de desempenho.....	80
6.8 Etapa (8) – Normalização das medidas, conclusão e análise de sensibilidade	92

6.9 Etapa (9) – Definição do cenário mais sustentável	94
6.10 Considerações Finais do Capítulo	96
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100
ANEXO I - LEVANTAMENTO DE PUBLICAÇÕES REFERENTES AO TEMA ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA NOS ÚLTIMOS ANOS.....	120
ANEXO II - IMAGENS DOS ÓLEOS COLETADOS PELA ECOÓLEO.....	123
ANEXO III -IMAGENS DO PRÉ-TRATAMENTO DO ESGOTO EM VOLTA REDONDA – UNIDADE GIL PORTUGAL (VILA SANTA CECÍLIA).....	124
ANEXO IV - ENTREVISTA RESULTANTE DA VISITA TÉCNICA NA COOPERATIVA DOS COLETORES DE RESÍDUOS LÍQUIDOS E SÓLIDOS – ECOÓLEO.....	130
ANEXO V - ENTREVISTA RESULTANTE DA VISITA TÉCNICA NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO.....	133
ANEXO VI – RELATÓRIO RESULTANTE DA VISITA TÉCNICA NO ATERRO SANITÁRIO.....	135
ANEXO VII - ENTREVISTA RESULTANTE DA VISITA TÉCNICA NA CESBRA.....	136

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Quantidade de artigos publicados no mundo sobre o tema “resíduos e sustentabilidade”.....	9
Figura 2.2: Geração de resíduos sólidos urbanos per capita nos Estados e no Distrito Federal.....	20
Figura 3.1: Fluxo da Economia Circular.....	27
Figura 3.2: Fluxo da cadeia de Logística Reversa.....	30
Figura 5.1: Procedimento para análise de desempenho de duas cadeias de suprimento.....	55
Figura 6.1: Região metropolitana do Rio de Janeiro e cidades acima de 250 mil habitantes.....	65
Figura 6.2: Elementos das cadeias de destinação do óleo residual de fritura.....	67
Figura 6.3: Fluxo da operação na estação de tratamento de esgoto.....	68
Figura 6.4: Fluxograma da Cooperativa dos Coletores de Resíduos Líquidos e Sólidos.....	72
Figura 6.5: Cadeias de destinação do óleo residual de fritura com seus modos de transporte.....	75
Figura 6.6: Medidas de desempenho por aspecto de sustentabilidade e por cenário.....	93
Figura 6.7: Desempenho dos cenários de acordo com a atribuição de peso das medidas.....	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Tipos de resíduos sólidos segundo fontes geradoras e locais de origem.....	6
Tabela 2.2: Evolução dos Tratamentos para Gestão de Resíduos Sólidos.....	13
Tabela 2.3: Comparação das práticas de gestão de resíduos sólidos por nível de renda.....	15
Tabela 2.4: Relação de países por renda e seus respectivos dados de população e geração de resíduos.....	16
Tabela 2.5: Projeção da geração de resíduos sólidos por região.....	17
Tabela 2.6: Quantidade de municípios brasileiros por tipo de disposição final adotada.....	18
Tabela 2.7: Levantamento de dados referentes a resíduos sólidos por região e Estado.....	19
Tabela 3.1: Histórico da evolução dos estudos em logística reversa no mundo.....	32
Tabela 4.1: Métodos de avaliação de desempenho em cadeias de suprimentos separados por classe.....	43
Tabela 4.2: Atributos, indicadores e medidas de desempenho segundo aspectos socioambientais e econômico-financeiros.....	50
Tabela 5.1: Itens de custo por modo de transporte.....	58
Tabela 6.1: Estrutura de custos fixos e variáveis dos modos rodoviário e dutoviário....	75
Tabela 6.2: Medidas de Desempenho segundo aspectos socioambientais e econômico-financeiros.....	77
Tabela 6.3: Dados para definição do volume escoado em cada fluxo de destinação do Cenário.....	80
Tabela 6.4: Fatores de emissões e consumo de energia em veículos de carga.....	82
Tabela 6.5: Custos fixos e variáveis por combustível e categoria de veículo no ano 2005.....	84

Tabela 6.6: Custo operacional na Cooperativa dos Coletores de Resíduos – Ecoóleo.....	87
Tabela 6.7: Cálculos dos indicadores de desempenho em cada estágio da cadeia de suprimento.....	90
Tabela 6.8: Cálculos dos indicadores de desempenho dos cenários conforme destino do óleo residual de fritura.....	91
Tabela 6.9: Cálculos das medidas de desempenho dos cenários conforme destino do óleo residual de fritura.....	92
Tabela 6.10: Medidas normalizadas.....	92
Tabela 6.11: Médias ponderadas das medidas normalizadas em cada cenário.....	94

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação (5.1).....	61
--------------------	----

LISTA DE SIGLAS

ABIOVE	Associação Brasileira Indústrias Óleos Vegetais
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
AHP	Analytic Hierarchy Process
ANA	Agência Nacional de Águas
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
APROBIO	Associação dos Produtores de Biodiesel
BSC	Balanced Scorecard
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CEPERJ	Fundação Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTR	Centro de Tratamento de Resíduos
ECOOLEO	Associação de Coletores de Resíduos Líquidos e Sólidos
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
KPI	Key Performance Indicator
METI	Ministério de Economia, Comércio e Indústria do Japão
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NTC	Associação Nacional de Transporte Rodoviário de Carga
ORF	Óleo Residual de Fritura
PGA	Programa de Gestão Ambiental
PNRS	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SCM	Supply Chain Management
SCOR	Supply Chain Operations Reference
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SNSA	Sistema Nacional de Saneamento Ambiental

1. INTRODUÇÃO

O consumo exacerbado proveniente de um modelo capitalista de produção e de uma sociedade com fácil acesso ao mercado tem gerado desperdício que pode levar à exaustão de recursos naturais (RAMOS,1989; ALVES *et al.*, 2014). Embora a ideia de sustentabilidade venha sendo alvo de frequentes campanhas de conscientização e de pesquisas científicas (ALVES *et al.*, 2014; LANKOSKI, 2016; LIM *et al.*, 2016), a sociedade de um modo geral, inclusive as organizações, adquirem produtos, usam e rejeitam (STOKES, 2014; GEORGE *et al.*, 2015; STAHEL, 2016; CLARK *et al.*, 2016). Isto significa que os bens de consumo ao alcançarem o término do seu ciclo de vida são descartados gerando acúmulo de resíduos sólidos.

Estima-se que 1,3 bilhão de toneladas de resíduos sólidos urbanos equivalente a 1,2 kg/pessoa/dia são gerados no mundo a cada ano. Em 2025, este montante pode alcançar a marca de 2,2 bilhões (WORLD BANK, 2012).

Tendo em vista a tendência de crescimento global, o governo brasileiro criou em 2010 a Lei 12.305 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) responsabilizando tanto pessoas físicas quanto jurídicas pela procedência de seus resíduos e ciclo de vida de seus produtos, ou seja, uma gestão compartilhada.

No Brasil, em 2013, foram gerados 76.387.200 toneladas de resíduos sólidos urbanos, seguidos de 78.583.405 em 2014. Estes números correspondem a 379,96 kg/hab/ano e 387,63 kg/hab/ano, respectivamente (ABRELPE, 2014). A maior parte está concentrada na região Sudeste com a geração de um volume de 102.088 toneladas/dia em 2013 e 105.431 toneladas/dia de resíduos sólidos urbanos em 2014.

Do total do peso de resíduos sólidos coletados no Brasil, 50% correspondem a resíduos orgânicos. Nos Estados Unidos, representa 12%, Índia 68% e França 23% (CEMPRE, 2016). Desta forma, óleos tais como os residuais de fritura inserem-se nesta definição de resíduos sólidos do tipo orgânico. Uma quantidade de 9.569 mil toneladas de óleos vegetais é produzida no Brasil. Deste total, 6.566 mil toneladas são direcionados para os setores alimentícios e químicos; enquanto, 3.001 são voltados para a produção de biodiesel (ABIOVE; OIL WORLD, 2014).

Os recursos renováveis devem ser os mais utilizados para a produção de bens e de serviços. Muitas vezes, a utilização dos recursos não-renováveis funciona nos moldes em que o consumo acelerado é estimulado para que novas aquisições sejam realizadas e, desta forma, a economia flua com mais rapidez (RAMOS, 1989). Ramos (1989) afirma que, se

a utilização de recursos não-renováveis continuar nas proporções atuais, em breve a humanidade estará privada de seu uso, pois se deparará diante de uma taxa sem precedentes de absoluta escassez ecológica.

O conceito de Economia Circular vem propor uma mudança para este cenário. Ao invés de descartar os produtos, estes são totalmente reutilizados como matéria-prima para a produção de outros (YAP, 2005; LIEDER *et al.*, 2015; GEORGE *et al.*, 2015; STAHEL, 2016). Este modelo de negócio não se preocupa apenas com a redução do uso do meio ambiente como coletor de resíduos, mas sim com a criação de sistemas de produção auto-sustentáveis (GENOVESE, 2015). Neste conceito, tudo pode ser transformado aumentando o valor de cada ponto da vida de um produto. Mesmo componentes de lixo líquido, como lubrificação e óleos de cozinha ou fósforo de esgoto, podem ser refinados e revendidos (STAHEL, 2016). Desta forma, além de minimizar a quantidade de resíduos, gera mais empregabilidade. Para reaproveitar estes resíduos, são necessárias novas formas de produzir, consumir e dar um destino adequado aos produtos após o final de seu ciclo de vida (ZUCATTO *et al.*, 2013).

1.1 Problemática

De acordo com Guabiroba (2011), o óleo residual de fritura (ORF) possui duas possíveis destinações: esgoto sanitário e processadores que transformam o resíduo em um novo produto. Estes novos produtos podem ser: rações animais, indústrias de cosméticos, indústrias de materiais de limpeza, indústrias de tintas, indústrias de biodiesel (ZUCATTO *et al.*, 2013).

Se o destino for o esgoto sanitário, o óleo provoca poluição ambiental. Um litro de óleo descartado contamina 1 milhão de litros de água, o suficiente para uma pessoa usar durante 14 anos (PGA, 2016). Além disso, esta opção de descarte encarece o tratamento da água.

Mesmo diante dos estudos e de iniciativas que visam reduzir a quantidade de resíduos no meio ambiente, ainda há uma quantidade considerável de descarte de óleos residuais de fritura em esgotos sanitários. Porém, há uma controvérsia: o tratamento de esgoto visa descontaminar a água. Por outro lado, ao realizar este processo, há a decomposição e geração de gases, por meio de uma ação anaeróbica de bactérias (OLIVEIRA *et al.*, 2009). Na literatura pesquisada a respeito do óleo residual de fritura, parte-se sempre do senso comum de que este produto usado deve ser destinado para a geração de novos produtos.

Não foi encontrada nenhuma análise que compare os cenários de destinações do óleo tanto em aspectos ambientais, quanto sociais e econômicos. O Anexo I apresenta o levantamento das publicações referentes ao tema nos últimos 10 anos.

Caso o óleo residual de fritura seja aproveitado para a geração de um novo produto, existe também uma cadeia logística composta por atores poluentes, ou seja, tanto o processo de tratamento do esgoto quanto o processo de transformação para um subproduto, como o biodiesel, por exemplo, incluem em sua cadeia atividades que podem trazer impactos poluentes ao ambiente.

Diante do exposto e considerando o óleo residual de fritura como objeto desta pesquisa, o presente estudo visa responder as seguintes perguntas:

Qual destinação do óleo residual de fritura é mais sustentável: descartá-lo em esgoto sanitário ou transformá-lo em um novo produto?

Será que o processo para transformação em novos produtos não teria algum impacto negativo ao ambiente que o desabone?

1.2 Objetivos geral e específicos

Com base nestas questões, o principal objetivo do estudo é: estudar e entender qual a destinação do óleo residual de fritura é mais sustentável, considerando três fluxos: descartá-lo em esgoto com destino ao aterro sanitário, descartá-lo em esgoto com destino direto aos afluentes ou transformá-lo em um novo produto. Apresentam-se como objetivos específicos:

1. Entender a política relacionada ao tema: Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS);
2. Analisar conceitualmente o tema Economia Circular por meio da literatura e referencial teórico que abordem o estado da arte acerca deste tema;
3. Levantar os itens de custo dos processos de destinação do óleo;
4. Levantar os indicadores com base nos aspectos da sustentabilidade

1.3 Justificativa

O tema acerca dos resíduos sólidos vem sofrendo uma introdução crescente em trabalhos de produção científica internacional. Uma pesquisa bibliométrica realizada em 2015 apresenta que, entre os anos de 1993 e 2013, a quantidade de publicações abordando o

assunto evoluiu consideravelmente: um salto de cerca de 200 para 1400 artigos, respectivamente (DEUS, R.M. *et al.*, 2015). Isto demonstra a relevância bem como a preocupação dos estudiosos em discutir Resíduos Sólidos.

A presente pesquisa vem reforçar e contribuir com estes estudos, uma vez que visa analisar a destinação mais sustentável do óleo residual de fritura sob a ótica ambiental, social e econômica e sua associação à logística reversa. Para tanto, foi elaborado um procedimento composto por nove etapas para auxiliar na comparação destas cadeias. Como o procedimento é exclusivo para cadeias reversas, ele poderá ser utilizado por outros analistas.

Desta forma, o estudo contribuirá tanto para pesquisas científicas quanto para expandir o conhecimento da sociedade sobre as consequências de suas atitudes e o trato com o meio ambiente.

1.4 Estrutura da Pesquisa

A presente dissertação está estruturada em seis Capítulos: O primeiro Capítulo faz uma introdução do estudo proposto e contém a problemática da pesquisa, os objetivos geral e específicos, os argumentos e apresentação da relevância do estudo por meio das justificativas. O Capítulo 2 aborda o tema resíduos sólidos apresentando as suas formas de gestão, seus conceitos, tipos, formas de tratamento, além do panorama e experiências no Brasil e mundo.

Após o Capítulo introdutório e a contextualização de resíduos sólidos, o Capítulo 3 disserta acerca do tema Economia Circular associado ao ciclo de vida do produto. Neste Capítulo, apresenta-se também o tema logística reversa. Neste sentido, são apresentados os seus aspectos conceituais, o histórico da evolução dos estudos referentes ao tema no mundo e os aspectos políticos internacionais e nacionais, tais como a PNRS.

O Capítulo posterior trata da avaliação de desempenho com base em aspectos da sustentabilidade. Além da conceituação de sustentabilidade e o estudo da avaliação de desempenho em cadeias de suprimento, apresenta-se, neste Capítulo, uma tabela com uma seleção de atributos, indicadores e medidas de desempenho associada aos aspectos socioambientais e econômico-financeiro.

O Capítulo 5 propõe um procedimento detalhado em 9 etapas que visam a comparação de cadeias associadas à logística reversa. A Etapa (1) sugere a definição e caracterização do estudo de caso; a Etapa (2) propõe identificar os elementos das cadeias de suprimento;

a Etapa (3) é a etapa do mapeamento dos fluxos das cadeias de suprimento; a Etapa (4) é destinada a levantar os atributos, indicadores e medidas de desempenho; a Etapa (5) propõe a definição dos indicadores e medidas de desempenho a serem utilizadas no estudo; a Etapa (6) é destinada a definição dos cenários e volumes escoados em cada fluxo de destinação; a Etapa (7) é a Etapa da coleta de dados e cálculo dos indicadores e medidas de desempenho; a Etapa (8) aplica a normalização das medidas, conclusão e análise de sensibilidade e, por fim, a Etapa (9) trata da definição de cenário mais sustentável.

O Capítulo 6 apresenta a aplicação do procedimento proposto em um caso envolvendo três cadeias de destinação do óleo residual de fritura: (1) a primeira cadeia tem início com o descarte do óleo na rede de esgoto, (2) a segunda cadeia trata da destinação do resíduo em afluentes e a (3) a terceira cadeia trata da destinação do óleo para uma unidade de fabricação de biodiesel. O caso é aplicado no município de Volta Redonda no Estado do Rio de Janeiro.

Por fim, o Capítulo 7 apresenta as considerações finais do trabalho remetendo à problemática da pesquisa e o alcance dos objetivos propostos, além de apresentar as limitações e as proposições para novos estudos.

2. GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

O presente Capítulo objetiva explorar o tema resíduos sólidos. Para tanto, apresenta-se desde as suas conceituações e classificações até as suas diferentes formas de gestão no âmbito Mundo e Brasil. Neste contexto, o Capítulo aponta dados acerca da quantidade de resíduos gerados e os possíveis tratamentos existentes somados a iniciativas e tendências que visam reduzir os impactos ambientais.

2.1 Conceitos associados a Resíduos Sólidos

Resíduos são produtos inevitáveis oriundos de atividades humanas (RATHI, 2005). Para Rathi (2005), o desenvolvimento econômico, a urbanização e a melhoria do padrão de vida nas cidades levaram a um aumento na quantidade e complexidade dos resíduos gerados. Hoornweg *et al.* (2012) define resíduos sólidos como um dos poluentes locais mais perniciosos que existe e, quando não administrados, é geralmente o principal contribuinte para as inundações locais, poluição do ar e da água. Seu conceito engloba, inclusive, resíduos líquidos. Enquadra-se nesta condição: todo material, substância, objeto ou bem descartado, nos Estados sólido ou semissólido, assim como gases e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água (BRASIL, 2010).

2.1.1 Tipos de resíduos sólidos

Neste sentido, existem diversos tipos de resíduos sólidos, porém as classificações variam muito na literatura (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 2002). A Tabela 2.1 apresenta os principais tipos conforme as suas fontes e locais onde são gerados.

Tabela 2.1: Tipos de resíduos sólidos segundo fontes geradoras e locais de origem.

Fontes	Instalações típicas, atividades ou locais de origem onde os resíduos são gerados	Tipos de resíduos sólidos
Residencial	Moradias unifamiliares e multifamiliares; Apartamentos de baixa, média e alta densidade; etc.	Desperdícios de alimentos, papel, papelão, plásticos, têxteis, couro, resíduos de quintal, madeira, vidro, latas, alumínio, outros metais, Cinzas, folhas de rua, resíduos especiais (Incluindo itens volumosos, aparelhos eletroeletrônicos, baterias, óleo residual de fritura e pneus) e resíduos domésticos perigosos.
Comercial	Lojas, restaurantes, mercados, edifícios de escritórios, hotéis, motéis, lojas de impressão, estações de serviço, oficinas de reparação de automóveis, etc.	Papel, papelão, plásticos, madeira, resíduos alimentares, vidro, resíduos metálicos, cinzas, resíduos especiais (ver precedente), resíduos perigosos, óleo residual de fritura, etc.

Institucional	Escolas, hospitais, prisões, centros governamentais, etc.	Papel, papelão, plásticos, madeira, resíduos alimentares, vidro, resíduos metálicos, cinzas, resíduos especiais (ver precedente), resíduos perigosos, óleo residual de fritura, etc.
Industrial (Resíduos não processados)	Construção, fabricação, fabricação leve e pesada, refinarias, plantas químicas, usinas, demolição, etc.	Papel, papelão, plásticos, madeira, resíduos alimentares, vidro, resíduos metálicos, cinzas, resíduos especiais (ver precedente), resíduos perigosos, etc.
Resíduos sólidos municipais*	Todos os precedentes.	Todos os precedentes.
Construção e demolição	Novos locais de construção, reparos rodoviários, locais de renovação, destruição de edifícios, pavimentos quebrados, etc.	Madeira, aço, concreto, sujeira, etc.
Serviços municipais (excluindo as instalações de tratamento)	Limpeza de ruas, paisagismo, lavagem de bacias, parques e praias, outras áreas recreativas, etc.	Resíduos especiais, lixo, varreduras de rua, aparas de paisagens e árvores, detritos da bacia de captura; Resíduos gerais de parques, praias e áreas recreativas.
Instalações de tratamento	Água, águas residuais, processos de tratamento industrial, etc.	Resíduos da planta de tratamento, compostos principalmente por lamas residuais e outros materiais residuais como óleo residual de fritura.
Industrial	Construção, fabricação, fabricação leve e pesada, refinarias, plantas químicas, usinas, demolição, etc.	Processamento industrial de resíduos, sucata, etc.; Resíduos não industriais, incluindo resíduos alimentares, lixo, cinzas, demolições e resíduos de construção, resíduos especiais e resíduos perigosos.
Agrícola	Cultivos de campo e de linha, pomares, vinhedos, lácteos, confinamentos, fazendas, etc.	Resíduos alimentares estragados, resíduos agrícolas, lixo e resíduos perigosos.

* Normalmente, o termo resíduos sólidos urbanos (MSW) inclui todos os resíduos gerados em uma comunidade, com exceção dos resíduos gerados pelos serviços municipais, plantas de tratamento e processos industriais e agrícolas.

Fonte: Adaptado de Tchobanoglous *et al.* (2002).

2.1.2 Principais resíduos sólidos

Conforme a Tabela 2.1, alguns resíduos aparecem com mais frequência: papel, vidro, metal, plástico e óleo residual de fritura. No entanto, estes são os principais tipos de resíduos e os mais citados em pesquisas e trabalhos acadêmicos (SNIS, 2015; BARROS, 2014; GUABIROBA, 2013; HOORNWEG *et al.*, 2012; MARCHI, 2011; JACOBI & BESEN, 2011; PNSB, 2008; GONÇALVES & MARINS, 2006).

Das dez fontes geradoras apresentadas, o papel e papelão aparecem em cinco: residencial, comercial, institucional, industrial e resíduos sólidos municipais. Ambos os resíduos são encontrados em uma grande variedade de produtos que se subdividem em duas categorias: bens não duráveis e recipientes e embalagens. A categoria não durável compreende os jornais, documentos de escritório, correio de terceira classe e outras impressões

comerciais, tais como: inserções publicitárias em jornais, relatórios, folhetos e similares. A categoria de recipientes e embalagens envolve caixas onduladas, caixas de cereais, sacos de papel e outros tipos de embalagem.

Os bens duráveis são geralmente definidos como produtos com uma duração de três anos ou mais. Além dos itens já supracitados, esta categoria inclui pequenos eletrodomésticos, móveis e mobiliário, carpetes e tapetes, pneus de borracha e baterias automáticas de chumbo. Já os bens não duráveis ou perecíveis, são geralmente definidos como aqueles com vidas de menos de 3 anos. A maioria desses produtos é, no entanto, descartada no mesmo ano em que são fabricados (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 2002).

O vidro é outro tipo de resíduo que merece atenção por ser encontrado em diversas fontes. De acordo com Gonçalves & Marins (2006), a decomposição do vidro demora cerca de 150 anos, por isso a sua disposição final é considerada um sério problema de ordem ambiental. Segundo Barros (2014), a reciclagem de vidros é viável tecnologicamente, a despeito de alguns materiais como vidros temperados, por exemplo, serem proibitivos para o processo de reciclagem.

Já o metal é um material amplamente utilizado na indústria em razão de sua elevada durabilidade, resistência mecânica e facilidade de conformação. Os metais são divididos em ferrosos (basicamente ferro e aço) e não ferrosos (sem o ferro na sua constituição). A reciclagem deste tipo de material é a mais bem-sucedida, uma vez que não perde a estrutura de sua rede cristalina ao longo dos ciclos de reciclagem. O metal é considerado um material reciclável seco (SNIS, 2015).

O plástico é um material derivado de petróleo e, por esta razão, Barros (2014) ressalta a importância de sua reciclagem, uma vez que há economia de matéria-prima e energia para fabricação de novos materiais. Logo, a destinação final de plásticos em aterros sanitários seria um desperdício de tais recursos naturais. O plástico (que inclui garrafas, embalagens, recipientes, sacos, tampas, copos), assim como o papel e outros materiais inorgânicos constituem a maior proporção de gestão de resíduos sólidos em países de alta renda (Hoornweg *et al.*, 2012)

E por último, mas não menos importante, o óleo residual de fritura. O óleo é originário basicamente dos vegetais, especificamente das sementes, a exemplo do óleo de algodão, de amendoim, de milho e de soja. Os óleos dessas plantas são extraídos principalmente para o consumo humano. No fim de sua vida útil, as sobras de óleos usados em frituras

de alimentos são descartadas inadequadamente nas pias, ralos e lixo. A prática de lançar óleo residual diretamente na rede de esgoto proporciona o entupimento da tubulação e refluxo de esgoto, entre outros problemas (PINHO & SANTOS, 2017).

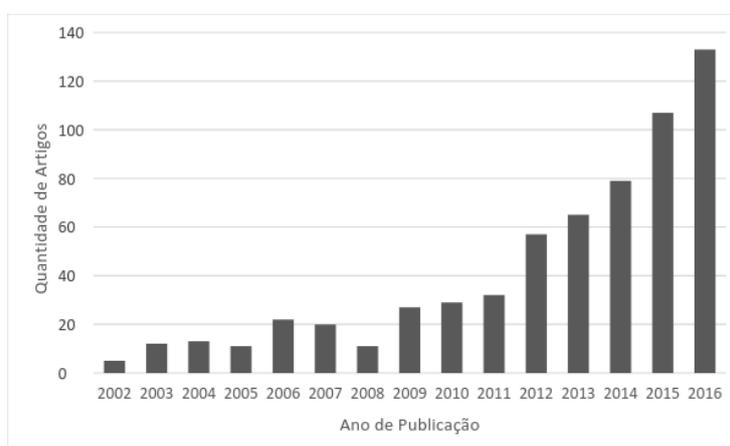
2.2 Sistemas de gestão de resíduos sólidos

De acordo com Shibão *et al.* (2010), no atual cenário econômico, muitas empresas procuram se tornar competitivas, nas questões de redução de custos, minimizando o impacto ambiental e agindo com responsabilidade. E descobriram que controlar a geração e a destinação de seus resíduos é uma forma a mais de economizar e que possibilita a conquista do reconhecimento pela sociedade e o meio ambiente, pois não se trata apenas da produção de produtos, mas a preocupação com a sua destinação final após o uso.

O gerenciamento deve ser tanto uma preocupação das empresas como da população nos ambientes domiciliares. Se ambos estiverem focados no problema da alta geração de resíduos, a gestão será mais eficaz. Para Silva *et al.* (2012), a gestão de resíduos sólidos urbanos é uma das muitas questões ambientais prementes do mundo contemporâneo. Uma das faces deste problema são os resíduos sólidos domiciliares.

Por ser um dos maiores desafios da atualidade, a gestão de resíduos é um tema que está cada vez mais presente em pesquisas científicas. Em comparação com os últimos 15 anos, 2016 foi o que mais apresentou publicações sobre resíduos sólidos associados à sustentabilidade (Figura 2.1). A análise também aponta que o país com o maior número de produção nestas áreas são os Estados Unidos, seguidos pelo Brasil, Reino Unido, Itália e China.

Figura 2.1: Quantidade de artigos publicados no mundo sobre o tema “resíduos e sustentabilidade” entre os anos 2002 e 2016.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da Web of Science, por meio do *software* Vantage Point®.

De acordo com Tchobanoglous *et al.* (2002), o gerenciamento de resíduos sólidos é um processo complexo porque envolve muitas tecnologias e disciplinas. As tecnologias e os elementos funcionais de um sistema de gestão de resíduos sólidos estão associados à geração de resíduos e seu controle, manuseio, separação, armazenamento, coleta, transferência, transporte, tratamento, transformação e disposição final. De acordo com Barros (2014), o gerenciamento de resíduos sólidos deve ser realizado de modo integrado, ou seja, todas as fases relacionadas a sua gestão devem ser coordenadas entre si visando sempre a salvaguardar os recursos naturais, inclusive energéticos, e a saúde humana e de modo a contemplar a origem e periculosidade dos resíduos sólidos a serem gerenciados.

2.2.1 Geração de Resíduos

A geração de resíduos, além de ser de responsabilidade da população, consiste no início do processo, tendo um grande impacto no sistema como um todo (MILANEZ, 2002). A geração se dá a partir do momento em que os materiais são identificados como não mais sendo de valor e são descartados ou reunidos para eliminação (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 2002). Para que o sistema de gestão seja efetivado, após a geração, este resíduo precisa ser manuseado e, por isto, são necessárias certas precauções para que o manuseio e a separação não gerem riscos para os trabalhadores envolvidos nestas atividades.

2.2.2 Manuseio, separação e armazenamento de resíduos

O manuseio e a separação de resíduos envolvem as atividades associadas ao gerenciamento destes resíduos até serem colocados em recipientes de armazenamento para coleta. O armazenamento torna-se primordial devido a preocupações de saúde pública e considerações estéticas (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 2002). Scheinberg *et al.* (2010) afirmam que os riscos para a saúde estão sempre presentes ao manusear resíduos, mas a intensidade de exposição e a frequência de incidência variam significativamente nos países industrializados e nos países em desenvolvimento.

2.2.3 Coleta de resíduos

A coleta é essencial no universo de gestão de resíduos sólidos. Ela pode ser direta ou indireta (SNIS, 2015).

A coleta direta, também conhecida por porta-a-porta, é a forma mais comum no Brasil e pode ser realizada tanto pelo prestador do serviço público de limpeza e manejo dos resíduos sólidos (público ou privado) quanto por associações ou cooperativas de

catadores de materiais recicláveis. É a forma de coleta em que um caminhão ou outro veículo passa em frente às residências e comércios recolhendo os resíduos que foram separados pela população (MMA, 2017).

Já a coleta indireta funciona através de sistema estacionário, como caçambas, por exemplo. É mais comum em locais de urbanização precária, sobretudo nas entradas de favelas de grandes centros urbanos (SNIS, 2015).

A coleta também pode ser regular ou seletiva (BARROS, 2014). Para Barros (2014), a coleta regular é a coleta convencional em que os resíduos são acondicionados e misturados em sacos plásticos ou contêineres específicos independente de suas características. Já a coleta seletiva é a coleta diferenciada de resíduos que foram previamente separados segundo a sua constituição ou composição. Ou seja, resíduos com características similares são selecionados pelo gerador (que pode ser o cidadão, uma empresa ou outra instituição) e disponibilizados para a coleta separadamente (MMA, 2017). A coleta seletiva geralmente é realizada em distintos horários e frequência, da coleta regular. Há também a possibilidade de se manter em regiões pré-definidas estrategicamente, os Locais de Entrega Voluntária (LEV) de resíduos potencialmente recicláveis (BARROS, 2014). A coleta seletiva tem por objetivo recuperar uma parcela da fração seca dos resíduos sólidos urbanos para posterior aproveitamento (ABRELPE, 2015).

No país, resíduos orgânicos e inorgânicos são misturados na fonte geradora e nos serviços de coleta. Esta prática dificulta o reuso de muitos materiais que poderiam ter destino final diferente do usual (MARCHI, 2011). Segundo Milanez (2002), dados empíricos têm mostrado que processos de reciclagem e de compostagem, quando não precedidos por um sistema de coleta seletiva apresentam uma baixa eficiência.

No Brasil, a coleta é realizada quase sempre no sistema porta-a-porta e inclui tanto a coleta de resíduos sólidos e materiais recicláveis como o transporte destes materiais para o local onde o veículo de coleta será descarregado, seja este local uma instalação de processamento de materiais, uma estação de transferência ou um aterro sanitário.

2.2.4 Transferência e transporte de resíduos

O elemento funcional de transferência e de transporte envolve duas etapas: (1) a transferência de resíduos do veículo de coleta menor para o equipamento de transporte

maior e (2) o transporte subsequente dos resíduos, geralmente em longas distâncias, para um processamento ou local de disposição (MILANEZ, 2002; TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 2002).

2.2.5 Tratamento, transformação e disposição final dos resíduos

Uma vez coletados, estes resíduos passam pela etapa de tratamento e transformação. De acordo com Milanez (2002), o tratamento envolve dois grandes grupos: (1) aterro sanitário: para aqueles que consideram que os resíduos devem ser tratados conjuntamente e (2) compostagem, reciclagem e, em menor grau, incineração: para aqueles que procuram tratar os materiais com suas particularidades.

As atividades envolvidas no tratamento, com relação aos resíduos não-perigosos, têm como objetivos: a recuperação de material, a redução de volume e o aumento da estabilidade, de forma a facilitar a disposição final. Tchobanoglous *et al.* (2002) complementa que, além de reduzir o volume e o peso dos resíduos que requerem eliminação, este processo também ajuda a recuperar a conversão de produtos e energia.

Geralmente, os resíduos são encaminhados para aterros sanitários. O aterro sanitário é um método de descarte de resíduos sólidos em terra ou dentro da mancha terrestre sem criar riscos para a saúde pública ou moléstias (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 2002).

Já a compostagem consiste no material decorrente da estabilização por degradação biológica de matéria orgânica. A adição do composto ao solo representa um aumento da quantidade e diversidade de microrganismos presentes, servindo, inclusive, para combater pragas e doenças das plantas (Milanez, 2002).

Na Lei Federal n.12.305/10 da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010), a reciclagem é uma das ações prioritárias do princípio da hierarquia na gestão de resíduos, sendo descrita como um processo de transformação dos resíduos envolvendo a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação destes em insumos ou novos produtos.

A incineração é um processo controlado pelo qual resíduos combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos são queimados e transformados em gases. Na Europa, este processo tornou-se uma maneira cada vez mais popular de eliminar o aterro sanitário, gerando energia no processo. Na literatura, o termo também pode ser encontrado como queima ou combustão (CLARK *et al.*, 2016; SCHEINBERG *et al.*, 2010).

A quantidade de resíduos está crescendo ainda mais rápido do que a taxa de urbanização (HOORNWEG *et al.*, 2012). Rathi (2005) afirma que o rápido crescimento da população e da industrialização degrada o ambiente urbano e coloca um forte estresse sobre os recursos naturais, o que prejudica o desenvolvimento sustentável e equitativo. A gestão ineficaz e a eliminação de resíduos sólidos são uma causa óbvia de degradação do meio ambiente na maioria dos países em desenvolvimento.

As formas de tratamento de resíduos sólidos estão em evolução e o mercado aponta a existência de novas tecnologias disponíveis, conforme tabela 2.2.

Tabela 2.2: Evolução dos Tratamentos para Gestão de Resíduos Sólidos

Sistemas Básicos	Processos	Evolução	Produtos	Inovação
Triagem	Físico	Coleta Seletiva	Matéria Prima para Reciclagem e Energia	Waste to Resources (WTR)
		Tratamento Mecânico Biológico (TMB)		Waste to Energy (WTE)
Tratamento Biológico	Biológico	Biodigestores Anaeróbios	Composto Orgânico e Energia	Agricultura e Waste to Energy (WTE)
		Compostagem		
Incineração	Físico-Químico	Tratamento Térmico	Vapor e Energia Elétrica	Waste to Energy (WTE)
Aterros Sanitários	Físico, Químico e Biológico	Reator Anaeróbio Tratamento da Matéria Orgânica	Biogás (Energia) e Lixiviado	Waste to Energy (WTE) Fertilizantes

Fonte: Jucá (2012).

Lorena (2017) salienta que, desde 2003, as orientações estratégicas apontam para a existência de instalações de Tratamento Mecânico-Biológico (TMB) para promover a valorização dos Resíduos Urbanos. Para utilização de resíduos urbanos de coleta indiferenciada para valorização orgânica é necessária uma triagem prévia - geralmente feita por tratamento mecânico (TM) - que separe frações não biodegradáveis (metais, plásticos) da fração biodegradável (resíduos alimentares, verdes, papel, papelão).

A valorização energética, produção de energia a partir de resíduos, é outro ponto em discussão. A valorização energética é complementar da reciclagem e é determinante para o desvio de resíduos de aterros sanitários (MIL-HOMENS, 2017). Para Mil-Homens (2017), os aterros sanitários são infraestruturas imprescindíveis a qualquer sistema de gestão de resíduos, mas devem ser utilizados com cautela para evitar a construção de

novos aterros e pelo fato de que, sendo processos de eliminação, os aterros são o último degrau da hierarquia de resíduos.

2.3 Panorama da gestão de resíduos sólidos no Mundo

Independente da localização das áreas urbanas, se nacional ou internacional, e de seu porte, os resíduos sólidos estão entre os cinco maiores problemas da gestão pública. Dentre os principais motivos que levam a este posicionamento estão: (1) a sua crescente geração, (2) os altos custos associados a sua gestão e (3) a falta de entendimento sobre uma diversidade de fatores que afetam os diferentes estágios de seu gerenciamento (SCHEINBERG *et al.*, 2010; GUERRERO *et al.*, 2012).

Filho *et al.* (2016) entendem estes motivos supracitados como barreiras que impedem o desenvolvimento da gestão destes resíduos e acrescenta outros temas: conhecimentos limitados sobre soluções tecnológicas, recursos limitados, infraestrutura pobre, falta de uma legislação apropriada, baixo envolvimento do setor privado formal e informal e falta de cooperação e de experiência dos trabalhadores de gestão de resíduos. De acordo com Filho *et al.* (2016), estas barreiras se aplicam, inclusive, em países em desenvolvimento.

Estima-se que, em 2012, quase 1,3 bilhão de toneladas de resíduos sólidos são gerados globalmente a cada ano, ou 1,2 kg / habitante/dia (HOORNWEG *et al.*, 2012). Semelhante às taxas de urbanização e aumentos no PIB, as taxas de crescimento de gestão de resíduos sólidos são mais rápidas na China, outras partes do Leste Asiático e partes da Europa Oriental e Oriente Médio. Este cenário é justificável uma vez que a Ásia é o continente que apresenta o mais rápido crescimento em termos de quantidade de resíduos. O relatório também apresentou que a taxa de geração de resíduos no Sul e Leste da Ásia e no Pacífico juntas é de aproximadamente um milhão de toneladas/dia. Estes resíduos incluem os: residenciais, industriais, comerciais, institucionais, municipais e de construção e de demolição.

Em 2004, a China já havia ultrapassado os EUA como o maior gerador de resíduos do mundo. Em 2009, um volume de 157.340 toneladas de resíduos municipais foi coletado no país (UNSD, 2011). Estima-se que, em 2030, o país da Ásia Oriental produza duas vezes mais resíduos se comparado ao país americano (HOORNWEG *et al.*, 2012).

Os fluxos de resíduos, os métodos de coleta, tratamento e eliminação de resíduos são combinados em sistemas de gestão de resíduos práticos que são diferentes em regiões e

países (FILHO *et al.*, 2015) e podem variar de acordo com a renda dos países. Hoornweg *et al.*(2012) apresenta estas comparações (Tabela 2.3).

Tabela 2.3: Comparação das práticas de gestão de resíduos sólidos por nível de renda.

Atividade	Baixa Renda	Renda Média	Alta Renda
Coleta	Coleta é esporádica e ineficiente. O serviço é limitado a áreas de alta visibilidade, as pessoas ricas e as empresas dispostas a pagar. A coleta global apresenta um índice abaixo de 50%;	O serviço é mais aprimorado e inclui a coleta em áreas residenciais, possui maior frota de veículos e mais mecanização. A taxa de coleta varia entre 50 e 80%. As estações de transferência são incorporadas lentamente no sistema gestão de resíduos sólidos;	A taxa de coleta é superior a 90%; há caminhões compactadores, veículos altamente mecanizados e estações de transferência são comuns.
Reciclagem	Embora a maioria da reciclagem seja através do setor informal e da seleção de resíduos, as taxas de reciclagem tendem a ser altas tanto para os mercados locais quanto para os mercados internacionais e as importações de materiais para reciclagem, incluindo produtos perigosos, como o desperdício eletrônico e a quebra de navios. Os mercados de reciclagem não estão regulamentados e incluem uma série de "intermediários". Grande flutuação de preços.	Setor informal ainda envolvido; Algumas instalações de processamento. As taxas de reciclagem ainda são relativamente altas. Os materiais são frequentemente importados para reciclagem. Os mercados de reciclagem são um pouco mais regulados. Os preços dos materiais flutuam consideravelmente.	Os serviços de coleta de materiais recicláveis e as instalações de processamento são comuns e regulados. Aumentando a atenção para os mercados de longo prazo. Taxas de reciclagem globais maiores do que a renda baixa e média. Ainda existe reciclagem informal (por exemplo, coleta de lata de alumínio). Responsabilidade ampliada do produto comum.
Compostagem	Raramente realizado formalmente, mesmo que o fluxo de resíduos tenha uma alta porcentagem de material orgânico. Mercados e consciência de falta de compostagem.	As grandes plantas de compostagem geralmente são mal sucedidas devido à contaminação e aos custos operacionais; Alguns projetos de compostagem em pequena escala no nível da comunidade / bairro são mais sustentáveis. Aumento do uso da digestão anaeróbica.	É mais popular em instalações de grande porte. O fluxo de resíduos tem uma parcela menor de compostáveis que os países de baixa e média renda. Mais segregação de fontes facilita a compostagem. Digestão anaeróbica em popularidade. Controle de odor crítico.
Incineração	Não é comum e, geralmente, não é bem sucedido devido aos altos custos de capital, técnicos e de operação, alto teor de umidade nos resíduos e alta porcentagem de inércios.	Alguns incineradores são usados, mas enfrentam dificuldades financeiras e operacionais. O equipamento de controle da poluição do ar não é avançado e, muitas vezes, é ignorado. Pouco ou nenhum monitoramento de emissões de pilha. Os governos incluem a incineração como uma possível opção de eliminação de resíduos, mas os custos são proibitivos.	Prevalente em áreas com altos custos de terra e baixa disponibilidade de terra (por exemplo, ilhas). A maioria dos incineradores possui alguma forma de controle ambiental e algum tipo de sistema de recuperação de energia. Os governos regulam e monitoram as emissões. Cerca de três (ou mais) vezes o custo do aterro por tonelada.

Aterro Sanitário	Os locais de baixa tecnologia normalmente abrem o despejo de resíduos. Alto poluente para aquíferos, corpos d'água, assentamentos próximos. Resíduos queimados regularmente. Impactos significativos para a saúde nos residentes e trabalhadores locais.	Alguns aterros sanitários com controles ambientais. O despejo aberto ainda é comum. Os projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo para o gás de aterro são mais comuns.	Aterros sanitários com uma combinação de revestimentos, detecção de vazamentos, sistemas de coleta de lixiviação e sistemas de coleta e tratamento de gás. Muitas vezes é problemático abrir novos aterros devido às preocupações dos residentes vizinhos. O uso pós-fechamento de sites é cada vez mais importante.
------------------	--	---	--

Fonte: Adaptado de Hoornweg *et al.*, 2012.

Tabela 2.4: Relação de países por renda e seus respectivos dados de população e geração de resíduos.

	Baixa Renda	Renda Média Baixa	Renda Média Alta	Renda Alta
Países	Etiópia, Haiti, Quênia, Moçambique, Níger, Nepal, Uganda, etc	Bulgária, China, Equador, Honduras, Índia, Indonésia, Nigéria, etc	Brasil, Colômbia, Costa Rica, Cuba, México, Panamá, Peru, Uruguai, África do Sul, etc	Eslovênia, Canadá, Croácia, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Irlanda, Itália, Japão, Portugal, Espanha, Estados Unidos, entre outros.
População (milhões)	343	1.293	572	774
Geração de resíduos em 2012 (toneladas/dia)	204.802	1.012.320	665.586	1.649.547
Geração de resíduos em 2012 (kg/pessoa/dia)	0,6	0,78	1,16	2,13
Estimativa para 2025 (toneladas/dia)	584.272	2.618.804	987.039	1.879.590

Fonte: Adaptado de Hoornweg *et al.*, 2012.

Conforme Tabela 2.3, os países de alta renda usufruem de um serviço de coleta de resíduos mais eficiente se comparado aos países de baixa e média rendas. Em Lisboa, Portugal, por exemplo, as latas de alumínio usadas já são depositadas em um recipiente separado para reciclagem (HOORNWEG *et al.*, 2012).

A Eslovênia tem vindo a investir na moderna infraestrutura de gestão de resíduos desde 2004, quando este país tornou-se membro da União Europeia. Liubliana, a capital e maior cidade da Eslovênia, consegue evitar a incineração e atingir as maiores taxas de coleta separadas, altas taxas de reciclagem e de compostagem e reduzir a quantidade de resíduos enviados para eliminação. Assim, os custos mensais médios de gestão de resíduos para as famílias estão entre os mais baixos da Europa. Em dez anos, a Eslovênia consegue aumentar a coleta separada e diminuir os resíduos (ILIC *et al.*, 2016).

Já os Estados Unidos enviam 40% de seus alimentos para aterros sanitários e descartam 70% a 80% dos 145 milhões de toneladas de detritos de construção e demolição que gera a cada ano, mesmo que grande parte da madeira, metal e minerais seja reciclável (KISER, 2016).

Na região da América Latina e Caribe, onde o Brasil está inserido, a quantidade total de resíduos gerados é de 399 milhões de toneladas/ano, uma média de 1,1 kg / habitante/ dia. As maiores taxas per capita de geração de resíduos sólidos são encontradas nas ilhas do Caribe. A Tabela 2.5 mostra que a tendência é que esta quantidade cresça ainda mais em 2025.

Tabela 2.5: Projeção da geração de resíduos sólidos por região.

Região	Dados disponíveis em 2012			Projeção para 2025			
	População urbana total (milhões)	Geração de resíduos urbano		Projeção da população		Resíduos sólidos projetados	
		Por pessoa (kg/pessoa/dia)	Total (ton/dia)	População total (milhões)	População urbana (milhões)	Por pessoa (kg/pessoa/dia)	Total (ton/dia)
África	260	0,65	169.119	1.152	518	0,85	441.840
Ásia Oriental e Pacífico	777	0,95	738.958	2.124	1.229	1,50	1.865.379
Ásia Oriental e Central	227	1,1	254.389	339	239	1,50	354.810
América Latina e Caribe	399	1,1	437.545	681	466	1,60	728.392
Oriente Médio e África do Norte	162	1,1	173.545	379	257	1,43	369.320
Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico	729	2,2	1.566.286	1.031	842	2,10	1.742.417
Ásia do Sul	426	0,45	192.410	1.938	734	0,77	567.545
Total	2980	1,2	3.532.252	7.644	4.285	1,40	6.069.703

Fonte: World Bank (2012).

Cada região possui as suas particularidades. Os países de baixa renda são os que gastam a maior parte de seu orçamento de gestão de resíduos com a etapa da coleta. Apenas uma fração deste orçamento é destinada à eliminação. Diferente dos países de renda mais alta, onde a principal despesa é com a eliminação.

Embora a coleta faça parte do sistema de gestão de resíduos, os veículos utilizados para esta atividade são grandes fontes de emissões e, tanto a incineração quanto o aterro sanitário contribuem com as emissões de gases de efeito estufa (HOORNWEG *et al.*, 2012). No entanto, para reduzir este problema, já existe em Cleveland, Estados Unidos, pessoas que coletam lixo orgânico utilizando a bicicleta como meio de transporte

(WASTE360, 2017). No município de Plymouth, no Estado de Massachusetts, EUA, uma empresa sem fins lucrativos também teve a mesma iniciativa e acredita que, desta forma, reduzirão o congestionamento, bem como as pragas e os cheiros de comida na cidade (ROAD.CC, 2016).

Revisar a gestão de resíduos sólidos de forma integrada com uma abordagem mais holística, com foco na forma urbana e na escolha do estilo de vida, pode gerar benefícios mais amplos para cada país (HOORNWEG *et al.*, 2012).

2.4 Panorama da gestão de resíduos sólidos no Brasil

Em 2015, o Brasil registrou 79,9 milhões de toneladas referente a geração de resíduos sólidos urbanos. Deste total, foram coletados 72,5 milhões de toneladas, equivalente a 90,8% de cobertura. Os 9,2% restantes, correspondente a 7,3 milhões de toneladas, não foram coletados e, desta forma, descartados de forma inadequada (ABRELPE, 2015). A região Sudeste é a que possui a maior cobertura de coleta, somando 97,4% de resíduos coletados, quantidade acima, inclusive, da média do país. No entanto, ainda assim, parte dos resíduos é eliminada inadequadamente, conforme apresenta a Tabela 2.6. O ano de 2015 apresentou uma melhoria na destinação final em relação ao ano anterior: 58,7% contra 58,4%, respectivamente. No entanto, como o Brasil apresentou um crescimento populacional de 0,8% em 2015, a geração de resíduos acompanhou este ritmo e a disposição final inadequada também sofreu uma elevação.

Tabela 2.6: Quantidade de municípios brasileiros por tipo de disposição final adotada.

Disposição Final	2015 – Regiões e Brasil						Brasil 2014
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	Brasil	
Aterro Sanitário	97	456	165	820	706	2.244	2.236
Aterro Controlado	110	504	148	646	366	1.774	1.775
Vazadouro a céu aberto	243	834	154	202	119	1.552	1.559
BRASIL	450	1.794	467	1.668	1.191	5.570	5.570

Fonte: ABRELPE, 2015.

Dados apontam que, em 1989, 58 municípios brasileiros praticavam a coleta seletiva. O número aumentou para 451 em 2000; 994 em 2008 e saltou para 3.459 municípios brasileiros em 2013; 3.608 em 2014 e 3.859 em 2015 (JACOBI, 2011; ABRELPE, 2014; ABRELPE, 2015). Uma pesquisa realizada pela Abrelpe (2015) aponta que passados 7 anos, 3.859 municípios brasileiros já apresentam alguma iniciativa de coleta seletiva,

sendo a maioria concentrada nas regiões Sul e Sudeste. Ressalta-se, no entanto, que em muitos destes municípios as atividades ainda não abrangem a totalidade de sua área urbana. As pesquisas também apontam que a maior parte dos serviços de coleta seletiva existentes no país é operada pelo município, em conjunto com catadores organizados em cooperativas e associações (MILANEZ, 2002; JACOBI, 2011; BESEN, 2014). A Tabela 2.7 apresenta um levantamento referente a gestão de resíduos sólidos por estado e região brasileira.

Tabela 2.7: Levantamento de dados referentes a resíduos sólidos por região e Estado.

Dados/Estados	População estimada em 2017	Ano da Política / Plano Estadual de Resíduos Sólidos	Geração de Resíduos Sólidos em 2015 (t/dia)	Resíduos Coletados em 2015 (t/dia)	Proporção entre resíduos gerados e coletados (%)
Região Sudeste					
São Paulo	45.094.866	2006	62.585	62.156	99,31%
Rio de Janeiro	16.718.956	2003	22.213	21.895	98,57%
Minas Gerais	21.119.536	2009	19.214	17.479	90,97%
Espírito Santo	4.016.356	2009	3.363	3.101	92,21%
Total da região	86.949.714		107.375	104.631	97,44%
Região Sul					
Paraná	11.320.892	1999	8.858	8.345	94,21%
Rio Grande do Sul	11.322.895	2014	8.738	8.224	94,12%
Santa Catarina	7.001.161	2005	4.990	4.747	95,13%
Total da região	29.644.948		22.586	21.316	94,38%
Região Norte					
Acre	829.619	2012	613	511	83,36%
Amapá	797.722	Não identificado	681	617	90,60%
Amazonas	4.063.614	2017	4264	3716	87,15%
Pará	8.366.628	2014	7067	5375	76,06%
Rondônia	1.805.788	Em elaboração	1461	1120	76,66%
Roraima	522.636	Não identificado	408	341	83,58%
Tocantins	1.550.194	2017	1251	1012	80,90%
Total da região	17.936.201		15745	12692	80,61%
Região Nordeste					
Alagoas	3.375.823	2015	3.149	2538	80,60%
Bahia	15.344.447	2014	14921	12083	80,98%
Ceará	9.020.460	2016	9809	7678	78,28%
Maranhão	7.000.229	2012	7296	4340	59,48%
Paraíba	4.025.558	Versão preliminar	3551	3042	85,67%
Pernambuco	9.473.266	2010	8986	7745	86,19%
Piauí	3.219.257	Não identificado	3262	2132	65,36%
Rio Grande do Norte	3.507.003	2012	3049	2695	88,39%
Sergipe	2.288.116	2014	1839	1641	89,23%
Total da região	57.254.159		55.862	43894	78,58%
Região Centro-Oeste					
Distrito Federal	3.039.444	2014	4653	4561	98,02%
Goiás	6.778.772	2002	6790	6447	94,95%
Mato Grosso	3.344.544	2009	3221	2797	86,84%
Mato Grosso do Sul	2.713.147	Em elaboração	2642	2412	91,29%
Total da região	15.875.907		17306	16217	93,71%

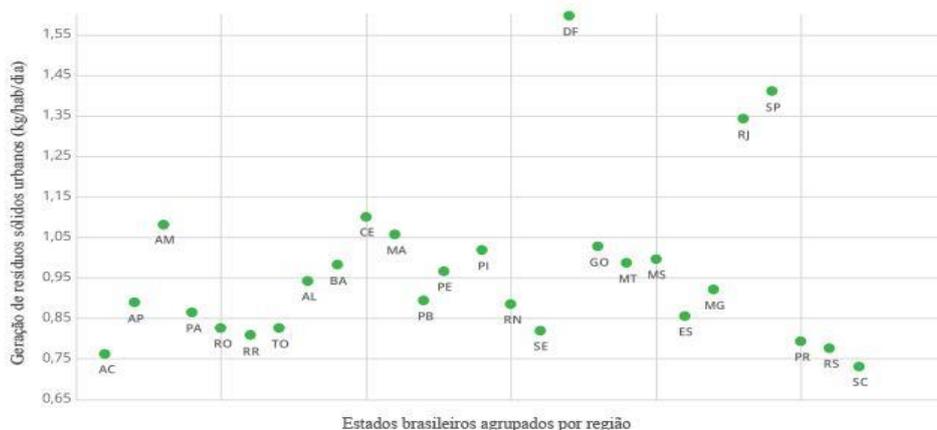
Fonte: MMA (1999), SECC (2002), SEMA-MT (2002), ALERJ (2003), ICMBIO (2005), SSRH (2006), SIAM (2009), ALES (2009), SEMAD (2009), CPRH (2010), MMA (2012), PEGIRS-RN (2012), SINJ-DF (2014), SERHMACT (2014), MMA (2014), ALRS (2014), Legislação (2014), Abrelpe (2015), MMA (2015), SEMARH-AL (2015), MPCE (2016), IBGE(2017), IMASUL (2017), Legisweb (2017), MMA (2017), SEMARH-TO (2017)

A região do Brasil que mais coletou os resíduos gerados em 2015 foi a Sudeste com um percentual de 97,44% e a que menos coletou foi a região Nordeste com 78,58%. Todos os Estados das regiões Sul e Sudeste possuem Política ou Plano Estadual de Resíduos Sólidos, o que pode justificar a maior quantidade de coleta. Na região Centro-Oeste, apenas Mato Grosso do Sul está com o Plano em processo de elaboração, os demais Estados já possuem alguma diretriz. Norte e Nordeste são as regiões brasileiras que ainda possuem Estados com ausência de Política ou Plano de Gestão de Resíduos Sólidos.

Na região Sudeste, a cidade de Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais, foi destaque no relatório “*Solid Waste Management in the World Cities*” publicado pelo Programa de Assentamentos Humanos das Nações Unidas, no Reino Unido (UN HABITAT) (SCHEINBERG *et al.*, 2010). O município entrou na lista das cidades referência em gestão de resíduos no mundo devido uma série de programas: Em 2008, 95% da população urbana e 70% da população de favelas de Belo Horizonte receberam o serviço de coleta; Em 32 anos, todos os resíduos sólidos municipais da cidade foram encaminhados para um Centro de Tratamento de Resíduos Sólidos e, em 1993, a cidade adotou um sistema de recuperação de resíduos (SCHEINBERG *et al.*, 2010).

Minas Gerais aparece entre os Estados que menos gerou resíduos. Em contrapartida, o Distrito Federal e os Estados de São Paulo e do Rio de Janeiro apresentam resultados opostos, conforme apresenta a Figura 2.2.

Figura 2.2: Geração de resíduos sólidos urbanos per capita nos Estados e no Distrito Federal.



Legenda: AC: Acre; AP: Amapá; AM: Amazonas; PA: Pará; RO: Rondônia; RR: Roraima; TO: Tocantins; AL: Alagoas; BA: Bahia; CE: Ceará; MA: Maranhão; PB: Paraíba; PE: Pernambuco; PI: Piauí; RN: Rio Grande do Norte; SE: Sergipe; DF: Distrito Federal; GO: Goiás; MT: Mato Grosso; MS: Mato Grosso do Sul; ES: Espírito Santo; MG: Minas Gerais; RJ: Rio de Janeiro; SP: São Paulo; PR: Paraná; RS: Rio Grande do Sul; SC: Santa Catarina.

Fonte: ABRELPE, 2015.

Embora uma região se destaque mais do que a outra em termos de gestão de resíduos, todas possuem ao menos um Estado com experiências ou iniciativas com o intuito de melhorar o panorama do País dentro deste cenário.

2.5 Experiências das regiões brasileiras: similaridades e diferenças

Embora o serviço de coleta faça parte do sistema de gestão de resíduos, o transporte utilizado para este fim é um agente causador de poluição atmosférica. Por isto, assim como nos Estados Unidos, quatro regiões brasileiras têm buscado iniciativas que visam não somente gerenciar os resíduos como também reduzir os impactos do processo de gestão por meio do uso da bicicleta.

As regiões Sul, Sudeste e Nordeste possuem empresas de iniciativa privada que se dispõem a coletar resíduos em domicílio utilizando a bicicleta em substituição ao veículo. A empresa Re-ciclo em Porto Alegre, Estado do Rio Grande do Sul, opera desde 2016 neste formato. Os resíduos são coletados nas residências dos clientes, de bicicleta, e transformados em adubo, que pode ser usado posteriormente em hortas e jardins. Desde a fundação, a empresa já coletou 16 toneladas de resíduos oriundos de 23 bairros do município.

Exemplo semelhante é a empresa Ciclo Orgânico, do Rio de Janeiro. O serviço é cobrado, realizado semanalmente e os resíduos são destinados para a composteira mais próxima, em vez do aterro (CICLO ORGANICO, 2017). De acordo com a Ciclo Orgânico (2017), desde a criação da empresa, em 2015, a iniciativa já apresentou três impactos positivos: (1) 72 toneladas de resíduos coletados, (2) 43 toneladas de composto produzido e (3) 55 toneladas de emissões de gases de efeito estufa evitadas.

Em Pernambuco, o projeto Relix foi desenvolvido pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade em parceria com o SESI. O projeto, que atende 25 associações e cooperativas de catadores de material reciclável de 19 municípios do Estado, possui 100 ciclolix ou bicicletas coletoras com capacidade para 500 quilos de resíduos. O serviço pode ser solicitado, inclusive, através de um aplicativo para celular.

Embora não seja voltada para a coleta de resíduos, outras iniciativas sustentáveis têm sido geradas nas regiões brasileiras com o intuito de reduzir a emissão de gás carbônico na atmosfera. A empresa Ecobike Courier, fundada em 2011, oferece serviços de correio por bicicletas. De acordo com a empresa (2017), desde o seu surgimento já foram 17 mil Kg

de dióxido de carbono (CO₂) evitados. A empresa foi fundada no Estado do Paraná, região Sul, mas já possui franquias na região Sudeste e Centro-Oeste do Brasil.

Outra similaridade entre as regiões brasileiras é a lei estadual do ICMS Ecológico, que exige que o Estado repasse um percentual maior de ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços – aos municípios que comprovarem iniciativas ambientais, inclusive no que diz respeito a correta destinação de resíduos sólidos. Como cada Estado tem competência legal para administrar o ICMS, há Estados brasileiros que ainda não possuem tal legislação.

As similaridades em algumas iniciativas existem, mas as diferenças também são bastante significativas, principalmente ao se referir a disposição final de resíduos. Com base na pesquisa realizada pela Abrelpe (2015), a maioria dos municípios das regiões Norte e Nordeste dispõe seus resíduos em vazadouros a céu aberto. Enquanto a maioria dos municípios das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste dispõe em Aterros Sanitários.

Se há diferenças na disposição, há também ao se referir em coleta seletiva. Neste cenário, a maioria das regiões Norte, Sul e Sudeste possuem iniciativas neste sentido; enquanto a maioria dos municípios das regiões Nordeste e Centro-Oeste ainda estão estagnados.

Diante das exposições, entende-se que algumas estratégias de gestão de resíduos partem de iniciativas privadas, no âmbito de um município ou estado isolado. Neste sentido, constata-se que não há uma gestão unificada em todo o país ocasionando, desta forma, desigualdades em termos de gestão de resíduos no Brasil.

2.6 Considerações Finais

Este Capítulo buscou apresentar os conceitos associados a Resíduos Sólidos bem como os seus principais tipos, classificações, tratamentos e fontes geradoras. Além disto, abordou-se os elementos funcionais de um sistema de gestão de resíduos sólidos que envolvem: geração, controle, manuseio, separação, armazenamento, coleta, transferência, transporte, processamento, transformação e eliminação.

O Capítulo também apresentou o andamento da gestão de resíduos no Brasil e no cenário mundial por meio dos números de geração e coletas. E, por fim, foram apresentadas as iniciativas de gestão com base em parcerias estabelecidas com organizações de catadores, além da coleta por bicicletas com o intuito de reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

O próximo Capítulo detalhará outras formas de gestão de resíduos sólidos, tais como a Economia Circular e Logística Reversa. Serão apresentados os seus conceitos e benefícios bem como os tipos, importância, estudos e investimentos. Somada à abordagem destes temas, o Capítulo também apresentará e discorrerá acerca do Ciclo de vida do produto e políticas públicas como a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída em 2010, no Brasil.

3 – ECONOMIA CIRCULAR

O Capítulo 2 abordou o tema Resíduos Sólidos apresentando as suas conceituações, tipos e o seu panorama a nível Brasil e mundo. Introduziu também acerca das práticas de gestão associadas a estes resíduos, separadas por nível de renda, tais como: coleta, reciclagem, compostagem, incineração e aterro sanitário. Além disto, foram apresentadas iniciativas de coleta por bicicletas com a finalidade de reduzir ainda mais as emissões de gases de efeito estufa, contribuindo, desta forma, para a sustentabilidade.

Este Capítulo tem o objetivo de apresentar os aspectos conceituais associados à Economia Circular, um tema que tem se apresentado como estratégia quando se fala em ciclo de vida do produto e geração de resíduos sólidos. Portanto, seu conceito e sua importância em uma cadeia de suprimentos serão apresentados, com base na literatura pesquisada.

Logística reversa e logística direta também serão os itens explorados neste espaço. Abordar-se-á os aspectos políticos atuantes na logística reversa tanto a nível internacional quanto nacional. Neste último, enquadra-se a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída no Brasil em 2010. Por fim, serão apresentadas as considerações finais do presente Capítulo.

3.1 Aspectos conceituais da Economia Circular e ciclo de vida do produto

Todo produto tem um prazo de validade que, neste estudo, denominar-se-á ciclo de vida do produto. Os bens industriais apresentam ciclos de vida útil que variam de algumas semanas a algumas décadas, classificando-se em bens descartáveis, semiduráveis ou duráveis, que são disponibilizados pela sociedade ao término de sua utilidade original (LEITE, 2000).

Com viés de marketing, Kotler & Keller (2006) afirmam que o ciclo de vida do produto (CVP) é representado em forma de curva dividida em quatro estágios: (1) Introdução do produto no mercado; (2) Crescimento, que é o período de aceitação deste produto no mercado; (3) Maturidade, quando o produto alcança a maioria de seus consumidores potenciais e (4) Declínio, período em que as vendas deste produto mostram uma queda e os lucros desaparecem. Sob o ponto de vista logístico, este CVP vai além. A cadeia logística analisa o produto desde o seu processo de fabricação até a sua transformação em resíduos.

Independente de terminologias, se é com viés de marketing ou logístico, a questão é que o produto chega no fim de sua vida útil. O enfoque que este Capítulo visa abordar é o destino após o descarte que tem sido feito cada vez com mais frequência.

O sistema capitalista tem provocado um CVP mais curto, uma vez que a inovação de produtos tem sido constante. Logo, facilmente descartam um produto velho e o substituem por um novo. Contrapondo esta prática, há estudiosos (ILIC, 2016; SAUVÉ, 2015; GENOVESE, 2015; GHISELLINI *et al.*, 2015; LIEDER, 2015; GEORGE, 2015; STAHEL, 2012; YAP, 2005) defendendo um novo conceito que afirma que este cenário pode ser diferente, uma vez que o velho pode servir de recurso para o novo. Este conceito é denominado Economia Circular.

Santos (2017) afirma que a economia circular está relacionada com todo o ciclo de vida de um produto. Esta relação envolve desde o seu *design*, o seu processo de produção, a sua utilização e a gestão do potencial resíduo/reciclagem do material no fim da linha de vida e, por fim a gestão dos resíduos. O design torna-se importante, pois, na Economia Circular, a ideia é de que cada peça de um produto, no fim de sua vida útil, seja reutilizado, não gerando, desta forma, resíduo algum. Por isso, os produtos já precisam ser projetados pensando em que poderão ser transformados.

Uma economia circular reduz a dependência de matérias-primas primárias, maximiza a utilização dos recursos naturais, aumenta a eficiência dos processos produtivos e minimiza a produção de resíduos (LEITE, 2017)

De acordo com Stahel (2016), as preocupações com a segurança dos recursos e a ética, bem como as reduções de gases de efeito estufa, estão mudando a abordagem para ver os materiais como ativos a serem preservados, em vez de serem consumidos continuamente.

Para Ghisellini *et al.*(2015), o conceito de sistema econômico circular foi introduzido pelos economistas ambientais Pearce e Turner (1989) com base em estudos anteriores do economista ecológico Boulding (1966). Para Boulding (1966), a economia como um sistema circular é vista como um pré-requisito para a manutenção da sustentabilidade da vida humana na Terra - um sistema fechado com praticamente nenhuma troca de matéria com o ambiente externo. Portanto, este conceito não é novo. Para Sauvé *et al.* (2015), o que há de novo é o interesse que os estudiosos e profissionais tem despertado a ele.

Lieder (2015) afirma que a Economia Circular surge como um novo modelo de negócio voltado para a administração de produtos e/ou materiais descartados com a promessa de reduzir o seu volume, contribuindo desta forma com a economia e com o meio ambiente. O conceito é cada vez mais tratado como uma solução para uma série de desafios como geração de resíduos, escassez de recursos e sustentação de benefícios econômicos (LIEDER, 2015). Em relação ao esgotamento dos recursos naturais, George *et al.*(2015) reitera que esta ideia tem sido ignorada. A atenção é focada no valor dos produtos econômicos, enquanto o esgotamento dos recursos naturais e a acumulação resultante de desperdício econômico são tipicamente ignorados (GEORGE *et al.*, 2015).

A Economia Circular minimizaria o desperdício e mudaria a lógica econômica porque substitui a produção pela suficiência: reutiliza o que puder, recicla o que não pode ser reutilizado, conserta o quebrado, refaz o que não pode ser reparado (STAHEL, 2012).

Glavic *et al.* (2007) acredita que esta prática maximiza o valor do material sem danificar os ecossistemas. A Economia Circular visa aumentar a eficiência do uso de recursos, com foco especial nos resíduos urbanos e industriais, para alcançar um melhor equilíbrio e harmonia entre economia, meio ambiente e sociedade (GHISELLINI *et al.*, 2015).

Em uma economia circular, o objetivo é maximizar o valor em cada ponto na vida de um produto. Novos empregos serão criados e sistemas são necessários em cada etapa. São necessários mercados comerciais e pontos de coleta para que os usuários e fabricantes retomem, tragam de volta ou comprem peças descartadas, garrafas, móveis, equipamentos de informática e componentes de construção. Mesmo os componentes de resíduos líquidos, como lubrificação e óleos de cozinha ou fósforos a partir de esgotos podem ser refinados e revendidos (STAHEL, 2016).

Para Ghisellini *et al.* (2015), a implementação da Economia Circular em todo o mundo ainda parece nos estágios iniciais, principalmente focada na reciclagem e na não reutilização. Um dos princípios inovadores e fundamentais da Economia Circular é que o resíduo no final de sua vida deve ser liberado para a rede alimentar industrial, tanto como fluxo de materiais quanto de energia. A inclusão no projeto de produtos e processos permite fechar o ciclo de material e energia (circuito fechado), maximizar o uso de resíduos, minimizar o uso de materiais virgens e a liberação de materiais nocivos para o meio ambiente (KISER, 2016; GHISELLINI *et al.*, 2015). A Economia Circular defende a reutilização dos produtos ao invés da reciclagem. STAHEL (2012) exemplifica

afirmando que limpar uma garrafa de vidro e usá-la novamente é mais rápido e mais barato do que reciclar o vidro ou fazer uma nova garrafa de minerais. Na verdade, todo o processo logístico está inserido dentro de uma economia circular. Conforme conceituações supracitadas, a Economia Circular é o planejamento estratégico de todo o ciclo de vida útil de um produto. Neste sentido, a reciclagem, a logística direta e logística reversa – estas últimas detalhadas na seção 3.2 - são apenas parte deste planejamento. A Figura 3.1 ilustra este conceito.

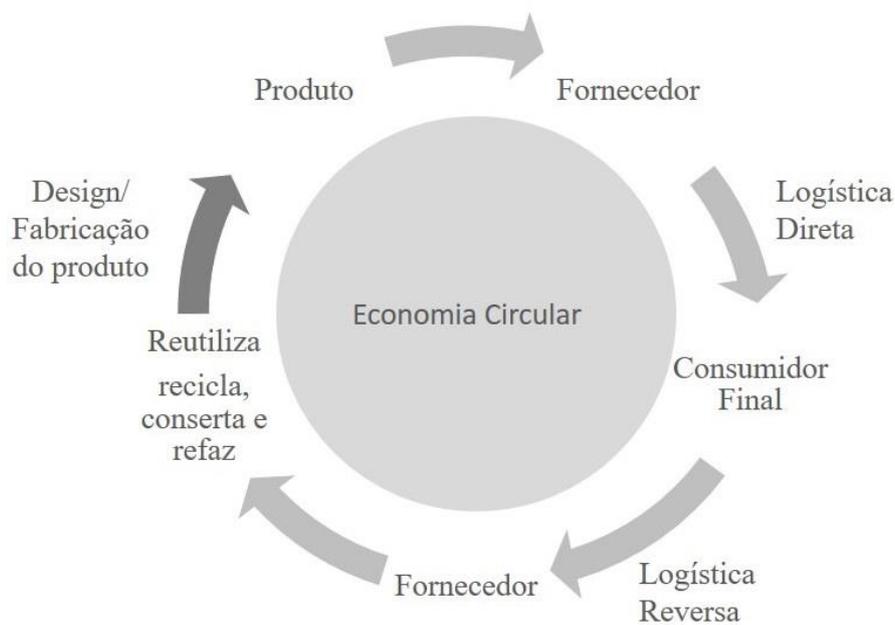


Figura 3.1: Fluxo da Economia Circular.

Fonte: Elaboração própria a partir das conceituações de Santos (2017) e Stahel (2012)

De acordo com Sauv e *et al.* (2015), as diferenas entre economia linear e circular são:

- (1) A Economia linear   baseada em um processo linear: extrair, produzir, consumir e descartar; ignora os impactos ambientais que acompanham o consumo de recursos e a eliminao de resíduos, e resulta em excessiva extrao de recursos virgens, poluio e desperdício. Geralmente   ilustrada como uma linha, com um comeo e um fim, desde a extrao até a eliminao, onde os potenciais que retornam   Terra são transformados em poluio que acaba em um aterro sanitário ou disperso de forma a contaminar o meio ambiente.

(2) A Economia circular leva em consideração o impacto do consumo de recursos e dos resíduos no meio ambiente. Isso cria ciclos fechados alternativos onde os recursos estão em movimentos circulares dentro de um sistema de produção e de consumo. O objetivo da economia circular é otimizar o uso de recursos virgens e reduzir a poluição e o desperdício em cada etapa, na medida do possível e desejável.

Já está havendo a preocupação, por parte de alguns países, na adoção da economia circular. A China aprovou, em Agosto de 2008, a Lei de Economia Circular (HOORNWEG, 2012). De acordo com Ghisellini *et al.* (2015), o país está bastante atraído por este modelo de negócio devido aos enormes problemas ambientais, de saúde humana e sociais colocados pelo seu padrão de desenvolvimento econômico muito rápido e contínuo. De acordo com Stahel (2016), além da China, na última década, a Coreia do Sul e os Estados Unidos também iniciaram programas de pesquisa para promover economias circulares, impulsionando a remanufatura e a reutilização. Já a Europa está a passos mais lentos.

O Brasil é outro país interessado na aplicação deste conceito. Em 2015, foi concebido o programa Economia Circular 100 Brasil (CE100 Brasil). O programa, cujo nome corresponde a aliança com 100 corporações globais, é da Fundação ELLEN MACARTHUR, fundação constituída em 2010, com o objetivo de acelerar a transição para a economia circular. O programa reúne empresas, governos e cidades, instituições acadêmicas, inovadores emergentes e afiliados para aprender, desenvolver competências, formar redes em torno desta ideia (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017).

De acordo com o estudo realizado pela Ellen Macarthur Foundation (2017), algumas barreiras têm impedido a expansão da atividade no Brasil, especialmente nos três setores foco do programa: (1) Agricultura e ativos da biodiversidade. Barreiras: dificuldade de transferência de novos conhecimentos e habilidades através do setor, acesso a crédito para a adoção de novos modelos regenerativos e necessidade de plataformas para facilitar investimentos em grupo, compartilhamento de ativos, distribuição de subprodutos para pequenos produtores; (2) Setor de edifícios e construção. Barreiras: fatores sistêmicos que limitam a inovação em ciclos de negócios de longo prazo, como a instabilidade econômica e a inércia destes setores em adotar novas tecnologias; e (3) Setor de equipamentos eletroeletrônicos. Barreiras: políticas fiscais que incentivam modelos da economia linear, a falta de mecanismos para aumentar a formalização e a colaboração

entre setores e organizações com atuação informal nos ciclos reversos e questões relacionadas a propriedade intelectual para novos modelos de negócio circulares.

As empresas brasileiras citadas no estudo da Ellen Macarthur Foundation (2017) que já estão implementando a Economia Circular são: Nossa Casa Planejada, uma *start-up* do Estado do Tocantins; Precon Engenharia, fornecedora de pré-fabricados de concreto no Estado de Minas Gerais; Tarkett, líder mundial em pisos vinílicos e superfícies para a prática de esportes com unidade no Estado de São Paulo; Recicladora Urbana, uma empresa com unidade industrial no município de Jacareí (SP) e Sinctronics, unidade de negócio da Flex, fabricante de produtos eletrônicos com atuação global, localizada em Sorocaba, São Paulo.

O setor de gestão de resíduos tem de ser circular para evitar que o valor dos materiais se perca, para reduzir os impactos ambientais negativos, para incrementar os níveis de reciclagem de qualidade, para que os resíduos recicláveis não sejam incinerados e para diminuir a disposição em aterros. Não se pode reduzir a economia circular à reciclagem (LEITE, 2017).

3.2 Aspectos conceituais de cadeia de suprimento e logística reversa

Na seção anterior, foi elucidado que a logística está inserida no sistema de Economia Circular. No campo teórico de logística e cadeia de suprimentos, está inserida a logística reversa (SOARES *et al.*, 2016). Neste sentido, a logística está associada a duas cadeias de um único processo: (1) cadeia logística direta que se refere ao fluxo de materiais do ponto de aquisição até o ponto de consumo e (2) cadeia logística reversa que denota o fluxo de materiais do ponto de consumo até o ponto de origem (PINTO, 2016; ROSSÉS *et al.*, 2015; GOVINDAN *et al.*, 2014). Para Póvoa *et al.* (2007), a logística reversa visa gerenciar o processo reverso à logística direta, tratando do fluxo dos produtos de seu ponto de consumo até o seu ponto de origem seja por meio de reaproveitamento ou descarte final.

Leite (2002) define logística reversa como uma nova área da logística empresarial que tem como ideia principal agregar valor de alguma natureza às empresas, através do retorno dos bens ao ciclo de negócios ou produtivo.

A logística reversa pode ser entendida como o processo de planejamento, implementação e controle eficiente e eficaz dos custos, dos fluxos de matérias-primas, produtos em

estoque, produtos acabados e informação relacionada, desde o ponto de consumo até um ponto de reprocessamento, com o objetivo de recuperar valor ou realizar a disposição final adequada do produto (SHIBÃO *et al.*, 2010). Outras definições complementam este conceito.

A logística reversa é definida como um instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010). Marchi (2011) segue este mesmo conceito, porém complementando que a logística reversa visa a não geração de rejeitos. Leite (2000) sintetiza todas as definições, conforme Figura 3.2.

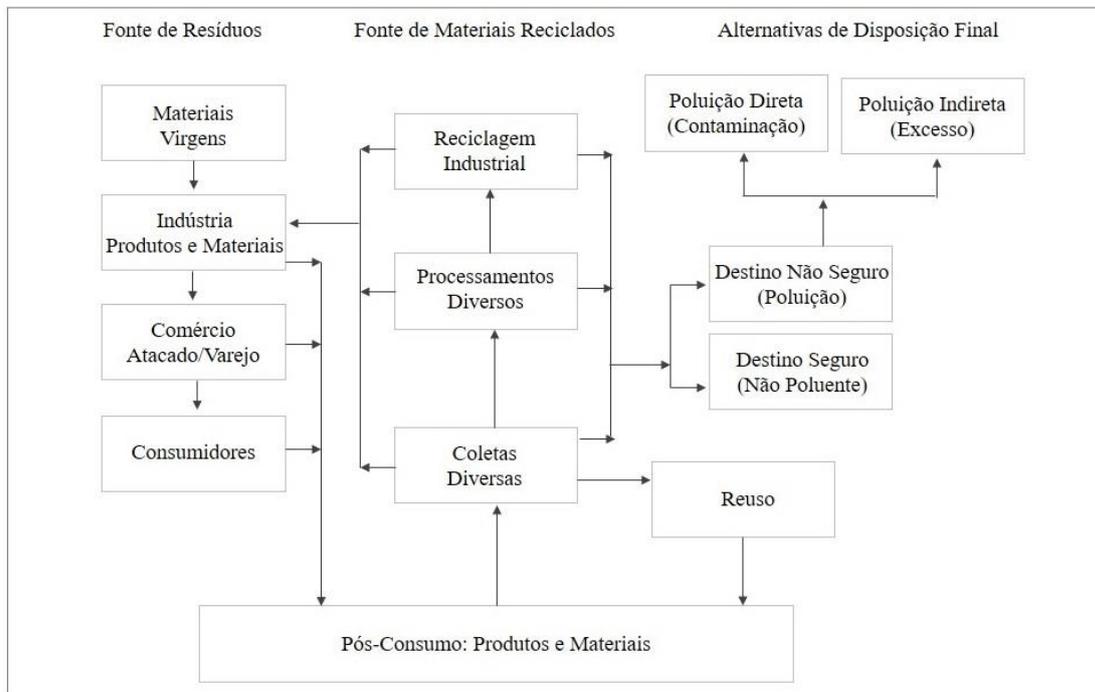


Figura 3.2: Fluxo da cadeia de Logística Reversa.

Fonte: Leite (2000)

A partir das citações supracitadas, constata-se que são inúmeras as definições. Marchi (2011) complementa que a logística reversa é um instrumento que está ligado à reciclagem. Esta, por sua vez, é um conjunto de técnicas que tem por finalidade aproveitar os resíduos e reutilizá-los no ciclo de produção de que saíram. No entanto, a partir das definições é possível identificar que logística reversa e reciclagem são atividades complementares, porém diferentes. A primeira é o processo oposto da logística direta,

quando um determinado bem parte do destino final e retorna para a origem; já a segunda, é o processo de transformação dos produtos propriamente dito. Neste sentido, entende-se que a reciclagem é consequência da logística reversa. Sem a primeira atividade, a segunda não existe.

Marchi (2011) afirma que o conceito de logística reversa vem sendo difundido e incorporado, de forma crescente, pela indústria europeia. Este princípio obriga ao poluidor em arcar com os custos da atividade poluidora, que, em decorrência de sua atividade produtiva, possa estar causando danos ao meio ambiente e a terceiros.

No Brasil, cinco cadeias de logística reversa estão sendo implementadas: embalagens plásticas de óleos lubrificantes, lâmpadas de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista, produtos eletroeletrônicos e seus resíduos, embalagens em geral e descarte de medicamentos. Sendo que algumas destas cadeias ainda estão aguardando negociação e consulta pública (MMA, 2014).

No entanto, as abordagens associadas à logística reversa tratam não só de questões ambientais ou ecológicas, como também de questões de ordem legal, econômica, entre outras (PEREIRA *et al.*, 2012). De acordo com Leite (2002), a logística reversa pode ser aplicada em duas formas de retorno de bens que estão diretamente associadas aos objetivos estratégicos econômicos da atividade: pós-venda e pós-consumo. A aplicação na logística reversa de pós-venda se dá quando um determinado produto disponível no mercado não foi vendido em um ponto de venda específico e é redirecionado para um outro ponto de melhor giro a fim de tentar ser comercializado. Além disto, tem por objetivo estratégico agregar valor a produtos que são retirados do mercado por erros de produção (*recall*) e processamento. Já a aplicação da logística reversa pós-consumo, se dá quando um produto foi parcialmente utilizado ou já chegou no final de sua vida útil e é reutilizado para a fabricação de novos produtos. Esta logística tem por objetivo estratégico o retorno de produtos descartados pela sociedade e também os resíduos industriais, sejam duráveis ou descartáveis, aos canais de produção.

Um relatório da Abrelpe (2015) apresenta a evolução da logística reversa pós-consumo de embalagens de óleos lubrificantes entre os anos de 2010 e 2015. No primeiro ano, 23 milhões de unidades foram destinadas adequadamente; já em 2015, este número subiu para 99 milhões de unidades, que representa 5.015 toneladas coletadas, sendo 4.705 toneladas enviadas para reciclagem.

Não existem dados precisos sobre o valor que os custos com Logística Reversa representam na economia do Brasil. Levando-se em conta as estimativas para o mercado americano e extrapolando-as para o Brasil, os custos com Logística Reversa representam aproximadamente 4% dos custos totais de logística (DAHER *et al.*, 2006).

O gerenciamento da cadeia de suprimentos é outro ponto fundamental para a Logística Reversa. O conhecimento profundo de toda a cadeia onde se insere a empresa e a participação ativa e consciente de todos os integrantes se tornam pontos críticos para o total desenvolvimento da Logística Reversa e pode levar a importantes ganhos para todos os participantes, principalmente no que diz respeito à diminuição de custos logísticos (DAHER *et al.*, 2006).

Pinto (2016) afirma que se for considerado o processo macro da cadeia de suprimentos como entregas e devoluções de produtos, é fácil observar que a logística reversa sempre existiu e que fecha o ciclo do processo logístico. De acordo com o autor, a logística reversa e direta são partes do mesmo processo global, duas metades do processo completo. Embora tenha sempre existido, os estudos acerca do tema iniciaram-se apenas na década de 70. Pereira *et al.* (2012) relatam a evolução dos estudos em logística reversa no mundo, conforme Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Histórico da evolução dos estudos em logística reversa no mundo.

Ano	Autores	Enfoques
1971	Zikmund e Stanton	Distribuição reversa
1978	Ginter e Starling	Canais de distribuição reversos: recuperação de materiais
1982	Barnes	Importância da reciclagem no processo de negócios
1983	Ballou	Canais de distribuição diretos, reversos, pós-consumo
1988	Constituição Federal Brasileira – Art. 23	Proteção ao meio ambiente
	Rogers	Custos logísticos de retorno de bens
1989	Brasil – Lei 7.802/89	Embalagens de agrotóxicos
	Murphy e Poist	Conceitos e definições de logística reversa
1990	Institute of Scrap Recycling Industries (ISR)	Desenvolvimento de cadeias reversas
1991	Stilwell	Evolução do tratamento de resíduos plásticos
1992	Ottman	Marketing verde
1993	Council of Logistic Management (CLM)	Canais reversos, logística reversa, reúso, reciclagem
	Ministério da Indústria, Ciência e Tecnologia (MCIT)	Estudo setorial sobre reciclagem de metais não ferrosos
	Rosa	Reciclagem de plástico
1995	Fueller e Allen	Fluxo reverso, resíduos, disposição final de bens

	Fenman e Stock	Revalorização econômica de bens de pós-consumo
	Miles e Munilla	Imagem corporativa e logística reversa
1996	Valiante	Seminário brasileiro de reciclagem de alumínio (Associação Brasileira do Alumínio – ABAL)
1997	Wilt e Kincaid	Descarte e reciclagem na indústria automotiva
1998	Calderoni Revista Tecnológica	Coleta, reciclagem e lixo. Logística reversa e canais de distribuição reversos (CDRs)
	Stock	Reúso, reciclagem e logística reversa
	Nijkerk e Dalmijin	Técnicas de reciclagem
	Carter e Dllram	Revisão de literatura de logística reversa
1999	Leite	Logística reversa e meio ambiente
	Rogers e Timber-Lembke	Canais de distribuição reversa de pós-venda (CDR-PV), fluxos reversos pós-venda e pós-consumo
2000	Anpad (diversos autores)	Artigos diversos sobre logística reversa
2001	Business Association of Latin America Studies (Balas)	Artigos diversos sobre logística reversa
	Bowersox e Closs	Fluxo direto e fluxo reverso
	Fleischmann	Modelos quantitativos de logística reversa
2002	Brasil – Decreto 4.074/2002	Embalagens de agrotóxicos e disposição final
	Lacerda	Logística reversa, conceitos e práticas operacionais
	Daugherty, Myers e Richey	Logística reversa
2003	Daugherty <i>et al.</i>	Logística reversa na indústria automobilística de pós-venda
2004	González-Torre <i>at al.</i>	Políticas de logística ambiental e reversa em empresas europeias de engarrafamento e embalagem
	Beullens	Logística reversa na recuperação efetiva de produtos a partir de materiais residuais
2005	Horvath <i>et al.</i>	Implicações de liquidez da logística reversa para os varejistas: uma abordagem da cadeia Markov
	Chaves <i>et al.</i>	Diagnostico da logística reversa na cadeia de suprimentos de alimentos processados no oeste paranaense
2006	Gonçalves e Marins	Logística Reversa numa Empresa de Laminação de Vidros
	Daher <i>et al.</i>	Logística Reversa: Oportunidade para Redução de Custos através do Gerenciamento da Cadeia Integrada de Valor
2007	Sheu	Um sistema coordenado de logística reversa para gerenciamento regional de resíduos perigosos de múltiplas fontes
2008	Sheu	Gestão da cadeia de suprimento verde, logística reversa e geração de energia nuclear
2009	Pokharel e Mutha	Perspectivas em logística reversa: uma revisão
	Nunes <i>et al.</i>	Logística reversa na indústria de construção brasileira
2010	Brasil – Decreto 12.305 de 2/8/2010	Política nacional de resíduos sólidos
	Shibão <i>et al.</i>	A logística reversa e a sustentabilidade empresarial
2011	Baenas <i>et al</i>	Um estudo da gestão de fluxo logístico reverso em indústrias de bateria de veículos no Centro-Oeste do estado de São Paulo
	Marchi	Cenário mundial dos resíduos sólidos e o comportamento corporativo brasileiro frente à logística reversa
2012	Lee e Lee Lam	Gerenciando logística reversa para aumentar a sustentabilidade do marketing industrial

2013	Zucatto <i>et al.</i>	Cadeia reversa do óleo de cozinha: coordenação, estrutura e aspectos relacionais
2014	Gonçalves e Chaves	Perspectiva do Óleo Residual de Cozinha (ORC) no Brasil e suas dimensões na Logística Reversa Perspective
	ABRELPE	Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil
2015	Filho <i>et al.</i>	A Logística Reversa e a Política Nacional de Resíduos Sólidos: desafios para a realidade brasileira
	Govindan <i>et al.</i>	Logística reversa e cadeia de suprimento fechada: uma revisão abrangente para explorar o futuro
	ABRELPE	Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil
2016	Cannella <i>et al.</i>	Cadeias de suprimento fechada: quais fatores de logística reversa influenciam o desempenho?
	Sudarto <i>et al.</i>	O impacto da capacidade de planejamento no ciclo de vida do produto para desempenho em dimensões de sustentabilidade na responsabilidade social logística reversa
2017	Guo <i>et al.</i>	Uma revisão sobre contratos de cadeia de suprimentos em logística reversa: estruturas de cadeia de suprimentos e lideranças de canais
	Govindan e Soleimani	Uma revisão da logística reversa e cadeias de suprimento fechada

Fonte: Adaptado de Pereira *et al.*, 2012.

Nota-se que desde a década de 70, há uma consciência da importância não só de realizar o fluxo reverso dos produtos, como também disseminar esta ideia por meio de estudos e de pesquisas. No entanto, somente em 2010 que a ideia se transformou em decreto no Brasil, por meio da Política Nacional de Resíduos Sólidos, política esta que será mais detalhada no Item 3.3.

Govindan *et al.* (2015) realizou uma revisão de literatura sobre as publicações de logística reversa e cadeia de suprimentos em bases científicas internacionais, entre Janeiro de 2007 e Março de 2013 e foram encontrados 382 artigos. Soares *et al.* (2016) também fez um levantamento, porém considerando estudos escritos por pesquisadores brasileiros e publicados na base de dados SPELL entre o ano de 2003 e Setembro de 2015. Foram encontrados 47 artigos, sendo 72% abordando o assunto voltado para gestão de resíduos.

A logística reversa pode ser vista como um diferencial para uma organização, de modo que desempenha funções relevantes nas questões ambientais com a responsabilidade sobre o destino do produto que coloca no mercado; um diferencial com relação à concorrência, pois os clientes de certa forma valorizam essas políticas; e um diferencial na relação com a redução do custo e vantagens de ponto de vista de reaproveitamento (ROSSÉS, 2015). Desta forma, tanto o investimento por parte das organizações quanto o

investimento em pesquisas acadêmicas tornam-se relevantes. A teoria e a prática caminhando na mesma direção fortalecerão a prática da cadeia logística reversa em todo o Brasil e mundo.

Entender soluções disponíveis para um bom gerenciamento de cadeias logísticas é fundamental, mas Tchobanoglous *et al.*(2002) afirmam que a melhor solução técnica pode falhar se políticos e funcionários do governo não considerarem uma série de outros pontos importantes. Com base nisto, a Seção 3.3 abordará mais sobre os aspectos políticos atuantes na logística reversa.

3.3 Aspectos políticos atuantes na logística reversa

O termo Políticas Públicas se refere a um conjunto de diretrizes e princípios que são dirigidos através da ação do poder público, que estabelecem regras e procedimentos para mediar às relações entre o poder público e a sociedade. A preocupação do poder público com o gerenciamento de resíduos sólidos até os anos 1990, restringia-se a operação do sistema de limpeza urbana, com execução de coleta, varrição, transporte e disposição final para os resíduos (BENASSULY, 2014). Em 2017, a preservação ambiental é uma preocupação mundial. Busca-se implementar políticas internacionais, nacionais, regionais e locais visando à redução de práticas que venham degradar os recursos naturais (LEAL JUNIOR, 2010).

3.3.1 Políticas Internacionais

As medidas políticas - incluindo leis com metas de desvio de aterro, responsabilidade ampliada do produtor, proibições de aterro para resíduos recicláveis e metas de reciclagem e de compostagem - elevaram as taxas de recuperação de resíduos em até 50% em três municípios referência: Adelaide, San Francisco e condados do Estado americano de Nova Iorque. Esses municípios somados a cidade de Quezon, nas Filipinas, possuem leis de resíduos sólidos e práticas que oferecem altas taxas de reciclagem (HOORNWEG *et al.*, 2012).

De acordo com Hoornweg *et al.* (2012), nos condados do Estado americano de Nova Iorque, por lei, todos os resíduos não recicláveis que chegam ao Centro de Reciclagem e Resíduos Sólidos devem ser separados dos resíduos recicláveis. A eliminação de resíduos não recicláveis exige o pagamento de uma taxa. Já os resíduos recicláveis não precisam ser pagos. Há ainda um compromisso das pessoas do condado em promover os 4Rs:

reduzir, reutilizar, reciclar, recomprar. Além destes municípios, as Ilhas Maurício, ao largo da costa da África e Rotterdam, na Holanda, também possuem suas políticas de gestão de resíduos.

O Japão também possui algumas leis para a regulação do uso de recursos: (1) Lei para a Promoção da Utilização Efetiva de Recursos, promulgada em 2000. De acordo com o Ministério de Economia, Comércio e Indústria do Japão – METI (2000), a lei tem por objetivo promover iniciativas integradas para os 3Rs (reduzir, reutilizar, reciclar) que são necessárias para a formação de uma sociedade sustentável. A lei designou 10 indústrias e 69 categorias de produtos onde as empresas são obrigadas a realizar iniciativas 3R, e estipula por decretos ministeriais os detalhes das ações voluntárias que eles devem tomar. Além desta lei, (2) há também em Tóquio, capital do Japão, a Lei de Reciclagem de Eletrodomésticos, instituída em 1998. Esta última responsabiliza tanto os fabricantes dos produtos quanto os revendedores e consumidores (METI, 1998):

- 1) Os fabricantes devem reciclar os produtos que fabricam retomando os eletrodomésticos que eles fabricaram ou importaram de varejistas. Devem ainda divulgar as taxas de reciclagem;
- 2) Os revendedores, por sua vez, são encarregados de coletar e transportar os eletrodomésticos usados para que o fabricante recicle. Também compõe a responsabilidade do revendedor: a emissão de cupons de reciclagem de eletrodomésticos aos fabricantes e ao organismo designado e divulgar os custos de coleta e transporte nas lojas.
- 3) Aos consumidores cabe eliminar o produto adequadamente e pagar as taxas de reciclagem.

A Coreia também possui iniciativas de sustentabilidade. No território há o EPR, sigla dada para o programa de Responsabilidade Ampliada ao Produtor. Os produtores e importadores de produtos com materiais de embalagem que se enquadrem nos requisitos do EPR devem reciclar uma certa quantidade de resíduos de produtos ou materiais de embalagem. Aqueles que não cumprem a obrigação estão sujeitos a cobranças de reciclagem (KECO, 2017). De acordo com o Ministério do Meio Ambiente da Coreia (2017), o EPR é uma forma de incentivar os fabricantes a considerar o meio ambiente através de todo o processo de design, fabricação, distribuição, consumo e disposição do produto.

Portugal é um país que tem demonstrado preocupação com a gestão de Resíduos Sólidos e tem estudado a adoção da Economia Circular. O país Europeu tem como diretriz neste quesito o Decreto-Lei nº 366-A/97, de 20 de dezembro, que estabelece princípios e normas aplicáveis ao sistema de gestão de embalagens e resíduos de embalagens. Lorena (2017) afirma que a existência do Sistema de Gestão Integrado permitiu que Portugal cumprisse as metas de reciclagem de embalagens exigidas na Diretiva Embalagens.

Filho *et al.* (2016) afirmam que em países com um governo federal, como Argentina, México e Venezuela, os estados ou províncias não delegaram poder ao Estado nacional para regulamentar os problemas ambientais. Mas, já tem acontecido progressos importantes em leis nacionais que estabelecem a promoção de sistemas de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos.

3.3.2 Políticas Nacionais

Neste contexto, o Brasil também já pode ser inserido no rol de países com políticas atuantes na gestão de resíduos, mais especificamente, na logística reversa. Em 2010, foi instituída no país, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) por meio da Lei Federal Nº 12.305 (BRASIL, 2010). A lei constituiu um marco legal-regulatório para a gestão integrada e sustentável de resíduos sólidos no país e lançou novos desafios para a implementação e aprimoramento da coleta seletiva nos municípios brasileiros (BESEN *et al.*, 2014).

A PNRS integra a Política Nacional do Meio Ambiente e articula-se com a Política Nacional de Educação Ambiental, regulada pela Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999; com a Política Federal de Saneamento Básico, regulada pela Lei nº 11.445, de 2007 e com a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005 (BRASIL, 2010). Guabiroba (2013) ressalta que esta Política também está coerente com a Política Nacional sobre Mudança do Clima, criada a partir da Lei Nº 12.187 de 2009. Essa política institui como um de seus objetivos a redução das emissões de gases de efeito estufa oriundas das atividades humanas em diferentes fontes, inclusive aquelas referentes a resíduos sólidos urbanos.

Para Benassuly (2014), a abrangência da PNRS se estende em três pontos fundamentais para a efetividade da gestão integrada de resíduos: a logística reversa, a responsabilidade compartilhada e o controle social.

A responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos é um conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos, nos termos da Lei. Por fim, Controle Social é um conjunto de mecanismos e procedimentos que garantam à sociedade informações e participação nos processos de formulação, implementação e avaliação das políticas públicas relacionadas aos resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Paralelamente à PNRS, Filho *et al.* (2015) destaca os esforços governamentais para disciplinar o problema dos Resíduos Sólidos Urbanos a exemplo do Decreto Federal nº 5.940/06 e do Decreto nº 40.645/07 do Governo do Estado do Rio de Janeiro que instituíram a Coleta Seletiva Solidária e a obrigatoriedade de separação dos resíduos recicláveis na fonte geradora (FILHO *et al.*, 2015).

Gonçalves *et al.* (2014) afirmam que o surgimento da lei Nº 12.305 no Brasil foi atrasado, classifica a sua fiscalização como fraca e afirma existir uma lacuna que surge entre o consumidor final e a empresa que faz a coleta. Tal lacuna é identificada por não haver ainda um sistema de conscientização que motive os consumidores a contribuírem com o fluxo reverso (Gonçalves *et al.*, 2014). No entanto, Filho *et al.* (2015) ressaltam que é relevante observar que a eficácia plena da legislação (PNRS) depende de uma cadeia de atores, planejamento técnico e recursos humanos e ambientais para a sua efetiva concretização.

Marreiros (2017), em seu artigo Inovação na economia circular, cita o resultado do estudo *Innventia International Consumer Survey*. O estudo, realizado com o objetivo de conhecer a relação dos consumidores com os temas da bioeconomia, foi aplicado junto de consumidores da classe média de diversos países, dentre eles: Alemanha, Brasil, China, Estados Unidos da América e Suécia. Dentre estes, o Brasil foi o país onde os consumidores estão mais preocupados com temas ambientais (76%), seguido da China, Alemanha, Estados Unidos e Suécia. Embora ainda haja lacunas nas políticas públicas nacionais, o país tem buscado estratégias que visam aprimorar a gestão dos resíduos sólidos e tem se destacado, inclusive, frente a países mais desenvolvidos.

3.4 Considerações Finais

Este Capítulo buscou apresentar os conceitos associados à Economia Circular, os principais estudos voltados para o tema e as empresas que já adotam o conceito, inclusive no Brasil. A Economia Circular defende a ideia de que a reutilização de produtos que estão no fim de seu ciclo de vida útil é mais econômica e sustentável do que o processo de reciclagem. Neste espaço, também foi elucidado que a Economia Circular é o planejamento estratégico de todo o ciclo de vida útil de um produto. Neste sentido, a reciclagem, a logística direta e logística reversa são parte deste planejamento.

No item 3.2 abordou-se o tema Cadeia de suprimentos e Logística Reversa, seus principais tipos e objetivos. Identificou-se, na literatura, uma variedade de definições, inclusive associando a logística reversa com reciclagem, como se ambas fossem a mesma atividade. No entanto, o Capítulo buscou esclarecer os diferentes conceitos e possibilitou entender que a reciclagem só é uma atividade possível se houver uma logística reversa.

E, por fim, o Capítulo apresentou as políticas internacionais e nacionais associadas à Logística Reversa como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída no Brasil em 2010 através da lei Nº 12.305. Notou-se que, embora tenha passado sete anos da instituição desta Lei, há muitos empresários, fornecedores, municípios que não a praticam na íntegra. Campanhas de conscientização ainda são necessárias.

O Capítulo apresentou diversas conceituações, mas como afirma Sauv e *et al.* (2015), as ciências ambientais, o desenvolvimento sustentável, a economia circular e, de fato, outros termos são importantes para encontrar solu es para um ambiente melhor. Os conceitos se sobrepõem, e os pesquisadores, guiados por qualquer um ou todos eles, podem contribuir com a segurança e a melhoria do meio ambiente.

O próximo Capítulo abordará as conceitua es de sustentabilidade. Com base em seus aspectos, dissertar-se-  questões associadas a avalia o de desempenho em cadeias de suprimento. Para isso, o estudo também propõe levantar e selecionar, com base na literatura, os indicadores e medidas necessários para tal avalia o.

4. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO COM BASE EM ASPECTOS DE SUSTENTABILIDADE

O Capítulo 3 apresentou os aspectos conceituais associados à Economia Circular e ciclo de vida do produto e possibilitou o entendimento de logística reversa e sua associação com reciclagem. Além disso, abordou-se os aspectos políticos atuantes na logística reversa destacando práticas internacionais em Portugal, Coreia, Japão e as nacional. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída no Brasil em 2010, foi o tema explanado neste último cenário.

O presente Capítulo tem o objetivo de levantar os indicadores e medidas para avaliação de desempenho com base nos aspectos da sustentabilidade. Para tanto, este espaço se dedica a apresentar os principais conceitos associados à sustentabilidade, avaliação de desempenho e cadeias de suprimentos. Neste Capítulo, também dissertar-se-á sobre os modelos de gestão em cadeias de suprimento praticados pelos autores pesquisados. As conceituações e levantamentos bibliográficos dão base para a seleção de indicadores e medidas para avaliação de desempenho que serão apresentados e compilados em forma de tabela juntamente com seus respectivos aspectos e atributos.

4.1. Conceitos associados à sustentabilidade

Sustentabilidade é uma palavra que dá origem a uma série de significados. Há uma larga variação no entendimento conceitual do termo, o que torna complexa a tarefa de elaborar uma única definição, principalmente devido a sua apropriação por distintas áreas de conhecimento (MISSIMER *et al.*, 2017; LANKOSKI, 2016; LOZANO, 2008; MILANEZ, 2002). A multiplicidade de definições causa muita confusão sobre seu uso, uma vez que o significado de alguns termos é similar ou é apenas ligeiramente diferente um do outro (GLAVIC *et al.*, 2007).

Há autores que abordam a sustentabilidade com um viés voltado para o contexto empresarial (LANKOSKI, 2016); Outros, adotam a definição que alguns conferem à sustentabilidade para desenvolvimento sustentável e vice-versa e englobam terminologias como produção mais limpa, prevenção da poluição, entre outros (GLAVIC *et al.*, 2007; DALAL-CLAYTON *et al.*, 2002). Para Dalal-Clayton *et al.* (2002), desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento econômico e social positivo, sem excesso de degradação ambiental. Para Vallance *et al.* (2011), o termo desenvolvimento sustentável possuía

inicialmente um viés claramente social. No entanto, durante duas décadas, essa dimensão foi negligenciada em meio a referências abreviadas à sustentabilidade, que se concentraram em questões ambientais biofísicas ou foram compreendidas dentro de um discurso que confundia “desenvolvimento” e “crescimento econômico”.

No entanto, a definição mais difundida e comum é a sustentabilidade como o resultado da sinergia das dimensões ambientais, sociais e econômicas (MORET *et al.*, 2009), o que alguns autores preferem chamar por tripé da sustentabilidade ou *triple bottom line* (WIJETHILAKE, 2017; LANKOSKI, 2016).

Dada a falta de clareza sobre o significado do termo, numerosos estudos dedicados à sustentabilidade omitem definições explícitas, o que, naturalmente, leva a uma maior imprecisão (CHASIN, 2014). Lankoski (2016) observa que compreender as formas alternativas de conceber a sustentabilidade é importante para que empresas e *stakeholders* possam melhor perceber que tipo de "sustentabilidade" elas estão buscando.

Alguns autores buscam as representações gráficas para tornar o conceito mais didático. No entanto, embora defina sustentabilidade como a integração dos aspectos econômicos, ambientais e sociais, Lozano (2008) esclarece que as três representações gráficas mais utilizadas para conceituar a sustentabilidade: (1) Diagrama de Venn; (2) Três círculos concêntricos e (3) O Hexágono de Planejamento, não têm tido mais uma boa aceitação por profissionais e pesquisadores do tema. Além de apresentarem uma incoerência conceitual, são representações antropocêntricas, compartimentadas e sem completude e continuidade (LOZANO, 2008). O autor propõe uma representação com um maior equilíbrio entre os três aspectos, uma perspectiva holística e temporal, pois as ações da sociedade de hoje implicam na sociedade de amanhã.

Portanto, a presente pesquisa utilizará o termo sustentabilidade como resultado do equilíbrio entre os aspectos sociais, econômico-financeiros e ambientais. Estas três dimensões da sustentabilidade, conforme observação de Mani *et al.* (2016), têm se mostrado além das fronteiras organizacionais, indicando a importância de gerenciar as iniciativas de sustentabilidade, inclusive, em toda a cadeia de suprimentos.

4.2. Avaliação de desempenho em cadeias de suprimento

Para abordar o tema proposto, faz-se necessário o entendimento dos conceitos associados à cadeia de suprimentos ou *supply chain*. Define-se esta cadeia como uma atividade que

considera o produto desde o processamento inicial das matérias-primas até a entrega ao cliente (LINTON *et al.*, 2007). Alves *et al.* (2014) afirmam que todas as atividades associadas ao fluxo de informação ao longo da cadeia também são incluídas e que elas podem ocasionar sérios impactos ao ambiente, como o desperdício dos recursos naturais e emissão de gases nocivos. Por este motivo, algumas cadeias consideram também a etapa do pós-consumo, de modo que o resíduo gerado pelo bem tenha um destino final apropriado. Desta forma, a cadeia de suprimentos está sujeita a um gerenciamento que norteia as suas operações (ALVES *et al.*, 2014).

Agami *et al.* (2012) definem a gestão da Cadeia de Suprimentos ou *Supply Chain Management* (SCM) como uma filosofia de negócio eficaz para ajudar as empresas a sobreviver sob pressões contínuas e alcançar o objetivo comum de maior satisfação do cliente. O gerenciamento ou gestão desta cadeia se dá por meio da sua avaliação de desempenho. Abu-Suleiman *et al.* (2005) reforçam este pensamento ao afirmar que o gerenciamento de desempenho é um aspecto importante de uma iniciativa de *Supply Chain Management* bem-sucedida. Portanto, avaliar o desempenho de uma cadeia de suprimentos requer medição para que se tome ciência se as estratégias adotadas estão resultando em um bom desempenho e correspondendo às expectativas traçadas.

Como ferramenta de gestão indispensável para alcançar o sucesso, a medição de desempenho permite que a cadeia de suprimentos gerencie estrategicamente e controle continuamente a realização dos objetivos. Ela fornece a assistência necessária para a melhoria do desempenho na busca da excelência da cadeia de suprimentos (AGAMI *et al.*, 2012). A seleção de métricas de desempenho corretas é outra questão crucial. As medidas adequadas não só oferecem um meio de acompanhar quão distante uma organização está de atingir os seus objetivos, mas também fornecem um meio de comunicar a estratégia e incentivar a sua implementação (AGAMI *et al.*, 2012).

Agami *et al.* (2012) e Neely (2005) apontam a evolução das métricas de desempenho em cadeias de suprimentos e observam que antes da década de 80 eram utilizadas métricas de contabilidade financeira; em seguida, as empresas apostavam no *ROI* (Retorno sobre o investimento); posteriormente, em indicadores financeiros e não financeiros e, por fim, uma abordagem integrada com o *Balanced Scorecard* (BSC) que apontava a importância da avaliação de indicadores não financeiros. O *Balanced Scorecard* (BSC) é bastante citado na literatura quando o tema se refere a avaliação de desempenho em ambientes corporativos. Em seus estudos, Abu-Suleiman *et al.* (2005) observam que o BSC também

tem sido sugerido por pesquisadores para aplicação em Gestão de Cadeias de Suprimentos.

A gestão eficaz do desempenho é fundamental para reconhecer os benefícios e alcançar sistemas eficientes de gerenciamento da cadeia de suprimentos (ABU-SULEIMAN *et al.*, 2005). Abu-Suleiman *et al.* (2005) ressaltam a importância destes sistemas com base em 3 categorias: (1) Ação Organizacional: que refere ao fato de que, quando as ações são medidas, estimulam as pessoas a se esforçarem para alcançar alto desempenho conduzindo a identificação de áreas de melhorias; (2) Estrutura para a tomada de decisões: a prática da medição fornece uma base para avaliar alternativas e identificar critérios de decisão e impulsiona decisões que visam otimizar o desempenho em vários objetivos; (3) Controle de *Loop* Fechado: Um sistema de gestão de desempenho empresarial eficaz permite a obtenção de *feedback* e monitoramento adequado do processo de negócios.

Em seus estudos, Agami *et al.*(2012) identificaram que existem duas classes de sistemas de gestão de desempenho em cadeias de suprimentos: financeira e não-financeira. Baseados neste entendimento, os autores citam os diversos métodos disponíveis em cada classe (Tabela 4.1), porém observa que cada um possui as suas limitações.

Tabela 4.1: Métodos de avaliação de desempenho em cadeias de suprimentos separados por classe.

Financeira	Não- Financeira
Custeio baseado em atividades (ABC)	Cadeia de suprimento com <i>Balanced Scorecard</i> (SCBS)
Valor econômico agregado (EVA)	Modelo de referência das operações na cadeia (SCOR)
	Sistema de medição baseado em dimensões (DBMS)
	Sistema de medição baseado em interfaces (IBMS)
	Sistema de medição baseado em perspectiva (PBMS)
	Sistema de medição baseado em hierarquia (HBMS)
	Sistema de medição baseado em funções (FBMS)
	Sistema de medição baseado na eficiência (EBMS)
	Sistema de medição baseado no desempenho genérico (GPMS)

Fonte: Adaptado de Agami *et al.*(2012).

Em suas pesquisas, Butzer *et al.* (2017) desenvolveram um sistema para avaliar de forma holística o desempenho de uma cadeia de suprimentos reversa internacional utilizando a abordagem do *Balanced Scorecard* (BSC) e *Analytic Hierarchy Process* (AHP). O BSC foi acrescido de mais duas perspectivas e foi utilizado para desenvolver o sistema de

avaliação de desempenho; já o AHP foi sugerido como ferramenta para definir e calcular os indicadores.

Bukhori *et al.* (2015) avaliaram o desempenho da cadeia de suprimentos de uma empresa de aves por meio do modelo SCOR (*Supply Chain Operations Reference*) combinado com o processo de normalização Snorm DeBoer. Este último processo foi utilizado para comparar cada medida de indicadores-chave de desempenho (KPI) por meio de uma equação matemática. Os piores resultados desta equação foram processados no método AHP para identificar o problema do desempenho da cadeia. Em seguida, utilizaram-se o digrama de causa-efeito para propor as recomendações.

Já Cedillo-Campos *et al.* (2013) propuseram uma auto-avaliação dinâmica do desempenho em cadeias de suprimentos com base na simulação de cenários e verificando as variáveis logísticas e unidades funcionais: processo de distribuição, produção e aquisição. Os autores levaram em conta os KPI's e utilizaram o DOE, uma técnica estatística de *design* de experimentos para a validação de resultados.

A pesquisa de Yang *et al.* (2012) objetivou avaliar o desempenho geral de uma cadeia de suprimentos. Para tanto, foi utilizado o modelo SCOR para construir um sistema de indicadores e o modelo analítico hierárquico (AHM) para determinar o peso de cada indicador no sistema. Em seguida, utilizaram o método *fuzzy* para estabelecerem a matriz de avaliação e, por fim, o modelo M (1,2,3) para cálculo dos resultados da avaliação.

Assim como Butzer *et al.* (2017), Bhagwat *et al.* (2007) também desenvolveram um *Balanced Scorecard* para Gestão da Cadeia de Suprimentos (SCM). Diferentes métricas de desempenho do SCM foram analisadas e ajustadas dentro das quatro perspectivas do BSC: financiamento, cliente, processo interno de negócios e aprendizagem e crescimento e, em seguida, aplicaram em três pequenas e médias empresas (PMES) situadas na Índia para conhecer o comportamento do modelo.

Abu-Suleiman *et al.* (2005) propuseram um processo que integra metodologias, ferramentas e tecnologias de *business intelligence* (*Data Mining*) em um sistema de gestão de desempenho coeso. O sistema proposto estendeu a abordagem das quatro perspectivas do *Balanced Scorecard* que foram mapeadas no modelo SCOR (*Supply Chain Operations Reference*). O resultado dessa metodologia foi um conjunto identificado de indicadores-chave de desempenho (KPI's) que, posteriormente, com base

na definição de objetivos, permitiu comparar o desempenho real com o desempenho planejado.

Um estudo realizado por Holmberg *et al.* (2000), com seis empresas da Suécia, identificou que a avaliação de desempenho em Cadeias de Suprimento não se limita apenas a utilização de sistemas e ferramentas de medição. De acordo com os pesquisadores, entre os problemas encontrados nas empresas, estavam: ligação fraca entre estratégia e ações; uma forte dependência de medidas financeiras que causam comportamento reativo e uma confusa relação de medidas isoladas. Juntos, os problemas tornaram difícil para as empresas compreenderem e agirem com base nas informações fornecidas pelos seus sistemas de medição (HOLMBERG *et al.*, 2000).

Além disso, ROCHA *et al.* (2015), lembra da importância em unir a gestão de cadeias de suprimentos com o conceito de sustentabilidade. A gestão de cadeias de suprimentos e a incorporação da sustentabilidade à sua gestão são iniciativas que estão sendo utilizadas por diferentes organizações, de diferentes segmentos mercadológicos, com o objetivo de obter diferenciais competitivos em relação aos seus concorrentes e conquistar a longevidade em seu mercado (ROCHA *et al.*, 2015).

4.3. Conceitos de aspecto, atributo, indicador e medida

Nascimento *et al.* (2011) desenvolveram um mapeamento de indicadores de desempenho e, ao pesquisar o termo, surgiram artigos que apresentavam os termos *indicador*, *critério*, *atributo* e *medida*. Da mesma forma, na literatura pesquisada com os termos “Avaliação de Desempenho”, “Cadeias de Suprimentos” e “Sustentabilidade”, estes termos aparecem na maioria das pesquisas. Soma-se a estes termos a palavra *aspectos*. Em função disto, faz-se necessário conceituar algumas terminologias que serão utilizadas nesta pesquisa e suas relações umas com as outras.

Na literatura, o termo *Aspectos* está em sua maioria associado ao tema sustentabilidade, referindo-se aos aspectos sociais, ambientais ou econômicos (DALAL-CLAYTON *et al.*, 2002; RENN *et al.*, 2007; LOZANO, 2008; SEURING&MÜLLER, 2008; MANI *et al.*, 2012; POPOVIC *et al.*, 2013; ROCHA *et al.*, 2015; LEONETI *et al.*, 2016; LANKOSKI, 2016; LIM *et al.*, 2016; HALLSTEDT, 2017). Outros autores utilizam outras nomenclaturas como *Tripé da Sustentabilidade* ou *Dimensões da sustentabilidade*

(DELAJ&TAKAHASHI, 2008). Portanto, na presente pesquisa, *Aspectos* será o nome dado às três áreas que envolvem a sustentabilidade: aspectos socioambientais, para questões que interferem ou impactam a sociedade e o meio ambiente e aspectos econômico-financeiros, para questões que envolvem resultados monetários. Os aspectos orientam a perspectiva da avaliação (LEAL JR., 2010).

Cada *aspecto* possui um conjunto de *atributos*, que são características associadas a um elemento (LEAL JR., 2010). Este é mais um termo que não possui uma denominação única. Há outros autores como Delai&Takahashi (2008) que denominam *tema*, porém a conceituação é a mesma. Para Leal Jr. (2010), os atributos constituem uma direção para a criação de um conjunto de *indicadores* que irão representá-los preferencialmente de forma quantitativa.

Indicadores são informações quantificadas, de cunho científico, usadas nos processos de decisão em todos os níveis da sociedade e úteis como ferramentas de avaliação de determinados fenômenos (MMA, 2017). Um indicador torna também possível comparar e medir uma diferença relativa entre soluções (HALLSTEDT, 2015).

Nas pesquisas de avaliação de desempenho em cadeias de suprimentos, embora os estudiosos utilizem ferramentas de medição diferentes, todas fazem uso de indicadores. Desta forma, entende-se que eles são fundamentais para uma avaliação de desempenho. De acordo com Popovic *et al.* (2013), os indicadores desempenham um papel importante na avaliação se o processo está se movendo em direção à sustentabilidade. Os indicadores utilizados na sustentabilidade refletem os três aspectos: meio ambiente, economia e sociedade.

Os indicadores assumem papel central, por configurarem-se como instrumentos capazes de fornecer informações para o processo de tomada de decisão. A construção de indicadores de desempenho de forma adequada está diretamente relacionada ao sucesso de um sistema de avaliação de desempenho organizacional (NASCIMENTO *et al.*, 2011). Os indicadores também são utilizados para formar *medidas* para atributos (LEAL JR. *et al.*, 2010). Medição de desempenho é o processo de quantificação da ação. O nível de desempenho que uma empresa atinge é em função da eficiência e da eficácia das ações que realiza. Logo, a medição do desempenho pode ser definida como o processo de quantificação da eficiência e da eficácia da ação, onde: (1) eficácia refere-se ao atendimento e alcance de resultados e exigências do cliente, enquanto a (2) eficiência é

uma medida de como economicamente os recursos da empresa são utilizados ao fornecer um determinado nível de satisfação ao cliente (NEELY *et al.*, 1995).

4.4. Indicadores e medidas para avaliação de desempenho

Tendo em vista estas definições e com base na literatura, a Tabela 4.2 apresentará um conjunto de indicadores e de medidas para avaliação de desempenho associadas à sustentabilidade. Como os atributos podem ser encontrados com diferentes interpretações na literatura, torna-se importante a descrição de cada um para o conhecimento do viés adotado neste estudo.

Os aspectos socioambientais estão relacionados com a equidade e a qualidade de vida e o bem-estar do ecossistema (DELAI&TAKAHASHI, 2008). Desta forma, os seguintes atributos são encontrados na literatura: empregabilidade, saúde pública, poluição, energia e consumo de produtos. O número de colaboradores de uma empresa ou empregabilidade é um atributo relacionado ao aspecto social. Se refere à quantidade de demanda por mão de obra e, por isso, a taxa de geração de empregos. A saúde pública está associada tanto a questões sociais quanto ambientais. Refere-se a situações que podem provocar uma maior incidência de doenças na sociedade reduzindo o seu nível de qualidade de vida, tais como: serviços de saneamento, remoção e destinação de resíduos.

O atributo poluição se divide em poluição do ar, da água, do solo, visual e sonora. A poluição do ar é um atributo que envolve as emissões de gases de efeito estufa, tais como: o dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O) e o gás metano (CH₄). A ação humana é a principal responsável por mudanças climáticas e pelo aquecimento global, devido às emissões de gases que aumentam o efeito estufa na atmosfera. Quanto mais as atividades humanas afetam o clima, maiores são os riscos de impactos severos e irreversíveis para as pessoas e para os ecossistemas (IPCC, 2014; RENO *et al.*, 2008).

Os resíduos sólidos são uma grande fonte de gás metano (CH₄), um poderoso gás de efeito estufa que desempenha um papel importante no aquecimento global. CH₄ é o segundo gás de efeito estufa mais importante após o dióxido de carbono, porque seu forçamento radiativo entre todos os gases de efeito estufa de longa duração representa aproximadamente 20% do forçamento radiativo total. (LIU *et al.*, 2014; WANG *et al.*, 2011; HOORNWEG *et al.*, 2012). Além destes poluentes, há ainda as emissões de gases provocadas pelos modos de transporte (CO₂). De acordo com Guabiroba (2013), no Brasil

no ano de 2011, o setor de transporte foi responsável por cerca de 9% das emissões totais de CO₂. Só os veículos rodoviários leves são responsáveis por 39% destas emissões; os sistemas de ônibus respondem por 7%; os veículos utilitários leves a óleo diesel por 10% e os caminhões são responsáveis por 44% dessas emissões.

A poluição da água e do solo refere-se ao consumo de água e refere-se ainda à gestão e à disposição inadequada de resíduos, provocando o surgimento de insetos e de odores causados por chorumes, além de provocar a degradação do solo e o comprometimento dos corpos d'água e mananciais. A gestão inadequada de resíduos também contribui para a poluição do ar e a coleta de lixo em condições insalubres nos logradouros públicos e nas áreas de disposição final (BESEN *et al.*, 2006). Estes prejuízos afetam não apenas as pessoas, mas também a fauna e a flora. Já a poluição visual refere-se a elementos que estão em excesso em um determinado ambiente, provocando incômodos e transtornos para as pessoas que estão ao redor. Há ainda a poluição sonora que se refere aos intensos ruídos provocados por transportes ou por processos empresariais que podem tanto causar perturbações à população como ser prejudiciais à saúde.

Energia é um atributo que refere-se a duas formas de interpretação: (1) avalia o consumo de energia. Refere-se a quantidade de gasto energético por meio de utilização de equipamentos e de maquinários. Também pode estar associado a custos e (2) recuperação de energia: refere-se à energia renovável que pode ser transformada em oportunidades de negócios. Delai&Takahashi (2008) afirmam que a produção de energia, bem como o seu uso e sub-produtos afetam o meio ambiente desde a disponibilidade de recursos até a poluição ambiental, sendo esta mais ou menos crítica dependendo das suas fontes renováveis (solar, eólica, biomassa) ou não-renováveis. Jacobi *et al.* (2011) afirmam que dentre as prioridades da gestão sustentável de resíduos sólidos, que tem direcionado a atuação dos governos, da sociedade e da indústria, está a recuperação de energia a partir destes próprios resíduos. Como atributo desta pesquisa, o foco que será dado à energia está direcionado para o consumo.

Consumo de produtos é o atributo associado a geração de resíduos na cadeia logística de um determinado produto. Envolve a sustentabilidade bem como os temas reciclagem, logística reversa e economia circular.

Nos aspectos econômico-financeiros destacam-se os atributos: custo, receita e tempo. O custo é um atributo que está em todos os processos de gestão e envolve alguns dos

atributos já supracitados. Logo, o atributo refere-se ao custo da operação que envolve também a energia, custo de transporte, custo de reutilização de produtos e custo para um descarte correto de resíduos. Em algumas literaturas (LEONETI *et al.*, 2016; DELAI&TAKAHASHI, 2008), este atributo é encontrado como investimento.

O atributo receita refere-se aos resultados financeiros oriundos de uma operação. O lucro de uma organização é resultado da diferença entre receita e custo. E, por fim, o Tempo é o atributo que refere-se a avaliação da capacidade de realizar uma operação no menor tempo possível, pois entende-se que quanto maior o tempo, maior será o custo.

Tabela 4.2: Atributos, indicadores e medidas de desempenho segundo aspectos socioambientais e econômico-financeiros.

Aspectos	Atributos	Indicadores	Unidades	Medidas	Unidades	Autores
Socioambientais	Número de Colaboradores Envolvidos	Geração de empregos	Qtd	Geração de Empregos / Período de tempo Geração de Empregos/Volume de serviços	Qtd/mês Qtd/vol	Mahjouri <i>et al.</i> (2017); Leoneti <i>et al.</i> (2016); Wilson <i>et al.</i> (2015); IPCC (2014); ABRELPE (2015); ABRELPE (2014); Benassuly (2014); Hoornweg <i>et al.</i> (2012); Moret <i>et al.</i> (2009); Delai&Takahashi (2008); Renn <i>et al.</i> (2007)
	Saúde Pública	Nível de qualidade de vida	IDH	Nível da Qualidade de Vida/Área geográfica	IDH/m²	Deus <i>et al.</i> (2015); IPCC (2014); Hoornweg <i>et al.</i> (2012); Jacobi <i>et al.</i> (2011); Scheinberg <i>et al.</i> (2010)
	Poluição do ar por Gases de Efeito Estufa	Emissão de dióxido de carbono (CO2)	Kg	Emissão de CO2/Frequência Emissão de CO2/Capacidade de processamento Emissão de CO2/Período de tempo	Kg/Hz Kg/m³ Kg/mês	IPCC (2014); Liu <i>et al.</i> (2014); Popovic <i>et al.</i> , 2013; Guabiroba (2013); Hoornweg <i>et al.</i> (2012); Wang <i>et al.</i> (2011); Jacobi <i>et al.</i> (2011); Lozano <i>et al.</i> (2011); Leal Jr. (2010); Brito <i>et al.</i> (2010); Moret <i>et al.</i> (2009); Delai&Takahashi (2008); Renou <i>et al.</i> (2008); Muga <i>et al.</i> (2008); Guisasola <i>et al.</i> (2008); Fernandes <i>et al.</i> (2008); Renn <i>et al.</i> (2007)
		Emissão de óxido nitroso (N2O)	Kg	Emissão de N2O/Frequência Emissão de N2O/Capacidade de processamento Emissão de N2O/Período de tempo	Kg/Hz Kg/m³ Kg/mês	
		Emissão de gás metano (CH4)	Kg	Emissão de CH4/Frequência Emissão de CH4/Capacidade de processamento Emissão de CH4/Período de tempo	Kg/Hz Kg/m³ Kg/mês	
		Volume de dióxido de carbono (CO2) emitidos por transportes	Kg	Emissão de CO2/Distância percorrida	Kg/Km	
	Poluentes Locais	Emissão de NOx	Kg	Emissão de NOx/Frequência Emissão de NOx/Capacidade de processamento Emissão de NOx/Período de tempo Emissão de Nox/Distância percorrida	Kg/Hz Kg/m³ Kg/mês Kg/Km	MMA, 2013
		Emissão de NMHC	Kg	Emissão de NMHC/Frequência Emissão de NMHC/Capacidade de processamento Emissão de NMHC/Período de tempo Emissão de NMHC/Distância percorrida	Kg/Hz Kg/m³ Kg/mês Kg/Km	MMA, 2013
		Emissão de CO	Kg	Emissão de CO/Frequência Emissão de CO/Capacidade de processamento Emissão de CO/Período de tempo Emissão de CO/Distância percorrida	Kg/Hz Kg/m³ Kg/mês Kg/Km	MMA, 2013
		Emissão de MP	Kg	Emissão de MP/Frequência Emissão de MP/Capacidade de processamento Emissão de MP/Período de tempo Emissão de MP/Distância percorrida	Kg/Hz Kg/m³ Kg/mês Kg/Km	MMA, 2013

Tabela 4.2: Atributos, indicadores e medidas de desempenho segundo aspectos socioambientais e econômico-financeiros (continuação).

Aspectos	Atributos	Indicadores	Unidades	Medidas	Unidades	Autores
Socioambiental	Poluição da Água e do Solo	Consumo de água na operação	l	Quantidade de consumo de água/período de tempo	l/mês	Sauvé <i>et al.</i> (2016); Alves <i>et al.</i> (2014); Benassuly (2014); Guabiroba (2013); Hoornweg <i>et al.</i> (2012); Jacobi <i>et al.</i> (2011); Wang <i>et al.</i> (2011); Leal Jr. (2010); Moret <i>et al.</i> (2009); Jacobi <i>et al.</i> (2006), Delai&Takahashi (2008); IBGE (2010); Guisasola <i>et al.</i> (2008); Renou <i>et al.</i> (2008)
		Quantidade de óleo descartado em afluentes e esgotos	Kg	Quantidade de óleo gerado/Quantidade descartado em afluentes	Adimensional	
		Quantidade de óleo em aterros sanitários	Kg	Quantidade de óleo/Área geográfica	Kg/m ²	
	Poluição Sonora	Intensidade de ruídos oriundos de transportes	dB	Intensidade de ruído/Distância percorrida	dB/Km	Mahjouri <i>et al.</i> (2017); IPCC (2014); Curiel-Esparza <i>et al.</i> , (2014); Pan <i>et al.</i> (2014); Guabiroba (2013); Leal Jr. (2010); Linton <i>et al.</i> (2007); Dalal-Clayton <i>et al.</i> (2002); Balkema <i>et al.</i> (2002); Aligleri <i>et al.</i> (2002)
		Intensidade de ruídos oriundos de empresas	dB	Intensidade de ruído/Faixa de frequência	dB/Hz	
	Poluição Visual	Área ocupada por resíduos	m ²	Área ocupada/Espaço disponível	Adimensional	Mahjouri <i>et al.</i> (2017); Guabiroba (2013); Leal Jr. (2010); Aligleri <i>et al.</i> (2002)
	Energia	Consumo de energia	MJ	Consumo de energia/Volume de demanda	MJ/m ³	IPCC (2014); Alves <i>et al.</i> (2014); Popovic <i>et al.</i> (2013); Nascimento <i>et al.</i> (2011); Jacobi <i>et al.</i> (2011); Leal Jr. (2010); Delai&Takahashi (2008); Renn <i>et al.</i> (2007); Balkema <i>et al.</i> (2002); Aligleri <i>et al.</i> (2002)
			MJ	Consumo de energia/Período de tempo	MJ/mês	
			MJ	Consumo de energia/Distância percorrida	MJ/Km	
	Consumo de Produtos	Produção de resíduos	Kg	Quantidade de resíduos gerados/Área geográfica/Período de tempo	kg/m ² /year	Deus <i>et al.</i> (2015); ABRELPE (2014); Nascimento <i>et al.</i> (2014); Popovic <i>et al.</i> (2013); Guerrero <i>et al.</i> (2013); Hoornweg <i>et al.</i> (2012); Jacobi <i>et al.</i> (2011); Araujo <i>et al.</i> (2010); Scheinberg <i>et al.</i> (2010); Moret <i>et al.</i> (2009); Guabiroba (2009); Renou <i>et al.</i> (2008); Fernandes <i>et al.</i> (2008); Delai&Takahashi (2008); Renn <i>et al.</i> (2007); PNRS (2010); UTLU <i>et al.</i> (2007); Pokhrel <i>et al.</i> (2005); Balkema (2002)
Econômico-Financeiros	Custo	Custo de operação	R\$	Custo de operação /Período de tempo	R\$/mês	Mahjouri <i>et al.</i> (2016); Leoneti <i>et al.</i> (2016); Guabiroba (2013); Leal Jr. (2010); Moret <i>et al.</i> (2009); Delai&Takahashi (2008)
		Custo de energia	R\$	Custo de energia/Período de tempo	R\$/Mês	
		Custo de transporte	R\$	Custo de transporte/Distância percorrida	R\$/Km	
		Custo de reutilização de produtos	R\$	Custo da operação/Período de tempo	R\$/Mês	
		Custo de descarte de resíduo em aterro	R\$	Custo da operação/Quantidade transportada	R\$/Qtd	
	Receita	Receita adquirida com a operação	R\$	Receita da operação/Período de tempo	R\$/mês	Nascimento <i>et al.</i> (2011); Leal Jr. (2010), Guabiroba (2009)
		Quantidade de óleo vendida ou entregue	Kg	Receita de venda/Quantidade entregue	R\$/Kg	
Tempo	Tempo de operação	Dia	Tempo de operação/Quantidade de demanda	Dia/Qtd	Leal Jr. (2010)	

4.5. Considerações finais

Este Capítulo buscou apresentar as conceituações de sustentabilidade, avaliação de desempenho e levantar, por meio da literatura, as formas de medição e gestão de uma cadeia de suprimentos. Embora não tenha sido identificado um consenso em relação ao modelo ou estratégia ideal para avaliação de desempenho, foi possível identificar que os indicadores são a base de todos os processos e que há várias associações de avaliação de desempenho em cadeias de suprimentos com a ferramenta *Balanced Scorecard* (BSC).

Os estudos apontam que muitas vezes o problema não está na ferramenta de avaliação de desempenho, mas no entendimento da cadeia de suprimentos e no próprio estabelecimento de estratégias e definição de objetivos que se quer alcançar na empresa.

O Capítulo também possibilitou a conceituação de aspectos, atributos, indicadores e medidas, pois são encontrados na literatura com terminologias ou abordagens díspares. E, por fim, como resultado da pesquisa, é apresentada a Tabela 4.2 com uma seleção de indicadores e de medidas para avaliação de desempenho com base nos aspectos da sustentabilidade.

5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

No Capítulo anterior, foram definidos indicadores e medidas para avaliação de desempenho com base nos aspectos da sustentabilidade. Não há um consenso para a aplicação de um método que avalie o desempenho de uma cadeia de suprimento. Esta falta de definição faz com que muitos gestores hajam de forma empírica ao adotar modelos aleatórios, sem seguir um padrão.

Logo, este Capítulo tem o objetivo de propor um procedimento que auxilie na comparação de cadeias de suprimento associadas à logística reversa. O procedimento proposto tem o objetivo de comparar duas ou mais cadeias de suprimento reversas com base em aspectos da sustentabilidade. Pelo fato de estarem associadas à logística reversa, essas cadeias têm início a partir da geração de um resíduo. O fim da cadeia trata-se do tratamento do resíduo por meio de reciclagem, incineração, compostagem, disposição adequada ou inadequada. Cada cadeia poderá ter um fluxo de destinação diferente e, por isto, é relevante entender cada elemento que a compõe para que seja analisado o destino mais apropriado. Os aspectos da sustentabilidade e suas respectivas medidas serão os determinantes para analisar o desempenho da cadeia.

O procedimento proposto é aplicável em qualquer tipo de cadeia de suprimento reversa. Assim, este é composto por nove Etapas. A Figura 5.1 apresenta o fluxo destas Etapas que receberão um maior detalhamento a seguir.

5.1. Etapa (1) – Definição e caracterização da área de estudo

A primeira Etapa visa a definição do caso que se quer estudar e o levantamento de suas características. Neste sentido, para comparar duas ou mais cadeias reversas, deve-se: (1) delimitar a região onde o estudo será aplicado. Ao delimitar a região, é possível verificar cadeias de suprimento que justificam realizar este estudo e aplicar este método; (2) definir o tipo de resíduo gerado e (3) buscar informações sobre as possíveis alternativas de destinações. Caso o resíduo possua locais diferentes de origens, estas também deverão ser definidas. A caracterização do estudo de caso dará base para o entendimento da identificação dos elementos da cadeia.

5.2. Etapa (2) - Identificação dos elementos das cadeias de suprimento

A Etapa 2 visa identificar os elementos que compõem as cadeias de suprimento. Tendo-se em mente que o primeiro elemento de uma cadeia reversa é o gerador do resíduo e o último elemento é o seu local de destinação final, o bem é transferido de fornecedores para clientes em uma cadeia composta por residentes, empresas, cooperativas, instituições públicas, organizações não governamentais e outros possíveis elementos. Após a identificação de todos os elementos participantes, cada um deverá ser entendido. A identificação e o entendimento de cada elemento da cadeia são obtidos por meio de pesquisa bibliográfica, documental ou pesquisa de campo com especialistas da área em estudo. Desta forma, sugere-se a seguir três passos:

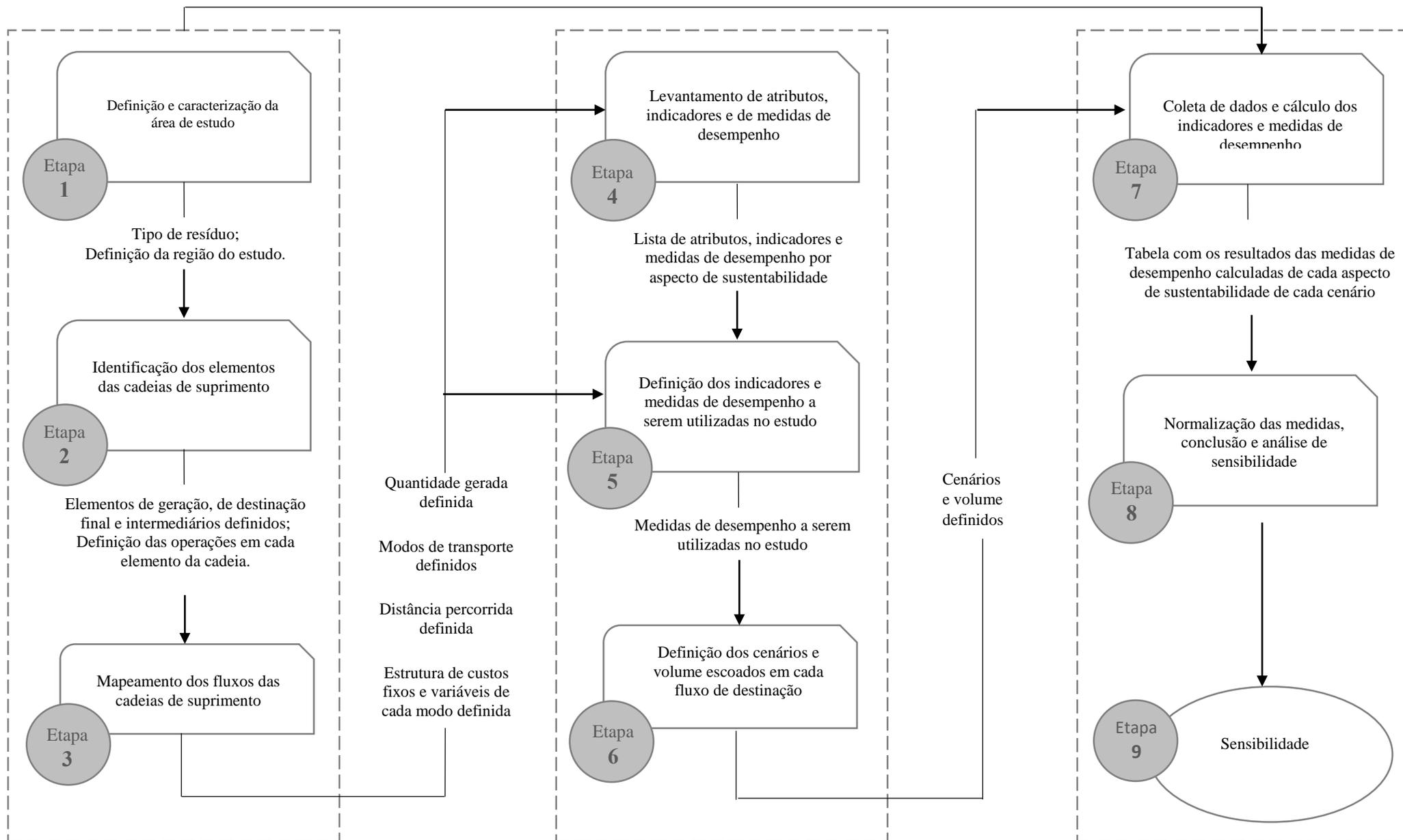


Figura 5.1: Procedimento para análise de desempenho de duas ou mais cadeias de suprimento.

No primeiro Passo, deve-se levantar informações sobre os elementos que geram estes resíduos. Deve-se determinar então onde o resíduo é gerado, o volume gerado em um determinado período e se é realizada a operação de armazenamento.

No segundo Passo, deve-se identificar os intermediários da rede de destinação de resíduos sólidos da cadeia. Estes elementos intermediários podem ser cooperativas, associações, estações de tratamento, indústria, centro de distribuição, entre outros. A partir da definição destes elementos, deve-se entender a sua operação. É necessário entender sobre processo, pessoas e tecnologias envolvidas nesta operação, além de identificar a quantidade de resíduos que recebem e processam em um determinado período de tempo. Deve-se entender ainda como operam as suas atividades, como os resíduos chegam até eles, para onde vão e como são destinados. Cabe ressaltar que uma determinada cadeia pode ser composta por mais de um elemento intermediário.

Por fim, o terceiro Passo envolve a identificação do elemento de destinação final. Deve-se entender como é a gestão do resíduo neste local em específico. Neste local, o resíduo pode ser reciclado, incinerado, compostado ou ainda pode ser disposto adequada ou inadequadamente. Para tanto, deve-se levantar: a localização do espaço de destinação final, o tipo de processamento dos resíduos e armazenamento, a existência de algum tipo de impacto ambiental, como ruídos excessivos e poluição do solo e a natureza dos custos dos processos. Para este levantamento, recomenda-se pesquisa de campo e documental.

5.3. Etapa (3) - Mapeamento dos fluxos das cadeias de suprimento

Como há mais de um elemento na cadeia, há a necessidade de movimentação física entre um e outro e esta movimentação pode ser feita por diferentes modos de transporte. Os modos podem ser rodoviário, ferroviário, dutoviário, aquaviário ou aeroviário (WANKE E FLEURY, 2006). Portanto, nesta Etapa, os tipos de modos utilizados na cadeia também devem ser definidos.

Os transportes são grandes fontes de poluição. Assim, emissões de poluentes locais ou de gases de efeito estufa podem ser agravadas pelas más condições dos veículos e das vias, das tecnologias empregadas e das formas de gerenciamento da operação (LEAL JR., 2010).

Em 2014, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB publicou um Plano de Controle de Poluição Veicular. O documento é uma obrigatoriedade do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 418/20091 que visa gerir a qualidade do ar e indicar ações para o controle da emissão de poluentes e a redução do consumo de combustíveis por veículos. No entanto, segundo a CETESB (2014), mesmo os automóveis equipados com sistemas de controle de poluição mais sofisticados, continuam sendo grande fonte de poluição.

Cada modo de transporte possui seus devidos custos que se dividem em fixos e variáveis. De acordo com a Associação Nacional de Transporte Rodoviário de Carga – NTC (2014), os custos fixos são custos operacionais do veículo que não variam com a distância percorrida, isto é, continuam existindo, mesmo com o veículo desligado. Estão ligados ao tempo e, geralmente, são calculados por mês. Os custos variáveis correspondem aos custos que variam com a distância percorrida pelo veículo, ou seja, que deixam de existir quando o veículo está desligado (NTC, 2014).

Pootakham e Kumar (2010) afirmam que o sistema de transporte dutoviário também apresenta custos fixos e custos variáveis. Os custos fixos incluem o custo de entrada e de saída da estação. A estação de entrada refere-se ao terminal onde a carga se move através de bombas do tanque de armazenamento para a tubulação. Já a estação de saída refere-se ao terminal onde a carga se move da tubulação para o tanque de armazenamento. Quanto aos custos variáveis, estes envolvem o custo do sistema do duto (custo de instalação, construção, manutenção do duto e bombas, custo da linha de comunicação e acesso rodoviário), custo operacional do duto (custo de mão de obra e custo de eletricidade) e custo da estação de reforço que é necessária para superar as perdas de fricção durante o transporte em casos de grandes distâncias.

Em relação ao transporte ferroviário, apesar de ter um custo fixo de implementação e de manutenção elevado, este apresenta grande eficiência energética. No Brasil, 19,46% das cargas e 1,37% dos passageiros são transportados pelo modo ferroviário, incluindo transporte por metrô (CNT, 2006). A estrutura de custos da infraestrutura ferroviária (incluindo trilhos) apresenta períodos de renovação relativamente longos, que se estendem por volta de 40 anos, já que trabalhos com terraplenagem e fundação são investimentos não recuperáveis e que não são considerados como elementos de custo depois de concluídos. Gastos com vagões e com locomotivas também implicam em

investimentos em bens com vida útil longa, de 10 e 18 anos, respectivamente (CNT, 2013).

No que tange o transporte aeroviário, considera-se o custo com combustível, que responde por 37,3% do custo de vôos das empresas, seguido pelos gastos com arrendamento, manutenção e seguro das aeronaves, que representam 17,0% do custo total. Já os insumos de infraestrutura, como os gastos com tarifas de navegação aérea e tarifas aeroportuárias, estes representam 5,9% do total dos custos apurados (CNT, 2015). De acordo com a CNT (2015), uma forma de elevar a eficiência no transporte aeroviário é concentrar os processos operacionais, como os de manutenção e de serviços gerais, em um único local, em vez de serem executados em diferentes pontos da rede.

Por suas características de transporte para grandes volumes e de grandes distâncias, o transporte aquaviário agrega preservação ambiental e custos inferiores aos demais modos de transporte. No Brasil, o sistema aquaviário responde por aproximadamente 13,8% da matriz de cargas transportadas, incluindo o transporte fluvial, de cabotagem e de longo curso. Estima-se que o custo de transporte por quilômetro em uma hidrovia seja duas vezes menor que o de uma ferrovia e cinco vezes mais baixo do que o de uma rodovia (CNT, 2006). Os custos de um sistema aquaviário envolvem: custos das atividades de manutenção por dragagem, de sinalização fixa e balizamento flutuante, de limpeza e destacamento, além dos custeios administrativo e operacional. A Tabela 5.1 apresenta os itens dos custos fixos e variáveis para cada modo de transporte.

Tabela 5.1: Itens de custo por modo de transporte.

Itens de Custos		Modos de Transporte				
		Rodoviário	Dutoviário	Ferrovário	Aeroviário	Aquaviário
Custos Fixos	Remuneração mensal do capital	x				
	Salário do motorista (com encargos)	x				
	Manutenção			x	x	x
	Depreciação do veículo	x				
	Depreciação dos equipamentos de vôo				x	
	Licenciamento	x				
	Seguros	x			x	

Itens de Custos		Modos de Transporte				
		Rodoviário	Dutoviário	Ferrovário	Aeroviário	Aquaviário
Custos Fixos	Custo de entrada e saída da estação/terminal		x			
	Custo com arrendamento de aeronaves e motores				x	
	Custo com tarifa aeroportuária				x	
	Custo de implantação			x		
	Tarifa de concessão ferroviária			x		
	Custo de sinalização e balizamento flutuante					x
	Custo de limpeza					x
Custos Variáveis	Manutenção	x			x	
	Combustível	x			x	
	Custo com tripulação				x	
	Tarifa de decolagem, pouso e navegação aérea				x	
	Óleo de Carter	x				
	Lavagem e graxas	x				
	Pneus	x				
	Arla 32	x				
	Custo do sistema do duto		x			
	Custo operacional		x		x	
	Custo da estação de reforço		x			
	Custo com vagões e locomotivas			x		
Custo com trilhos			x			

Fonte: Elaboração própria a partir de NTC (2014), Pootakham e Kumar (2010), CNT (2006), CNT (2013), CNT (2015).

Para o cálculo dos custos dos modos de transporte em uma cadeia de suprimentos, outros dados deverão ser considerados, tais como: (1) volume de resíduo transportado; (2) o tempo percorrido entre um elemento e outro da cadeia e a (3) distância percorrida entre estes elementos para estimativa da quantidade de combustível utilizada.

5.4. Etapa (4) – Levantamento de indicadores e de medidas de desempenho

Esta Etapa visa levantar todos os atributos associados aos aspectos de sustentabilidade com base na literatura e, posteriormente, identificar os indicadores e as medidas de

desempenho associadas a cada atributo. Cabe ressaltar que o Capítulo 4 desta dissertação apresenta um levantamento de atributos, de indicadores e de medidas de desempenho que podem ser aplicadas nesta Etapa.

5.5. Etapa (5) - Definição dos indicadores e medidas de desempenho a serem utilizadas no estudo

Após levantar um conjunto de indicadores e medidas de desempenho na Etapa anterior, é necessário realizar os cálculos destas medidas. No entanto, pode ser que nem todas as medidas definidas na Etapa anterior sejam consideradas no estudo. Neste sentido, esta Etapa tem o intuito de determinar um ou mais critérios que serão utilizados para definir tanto os indicadores como as medidas de desempenho que darão base para a análise das cadeias. Esses critérios devem justificar a seleção das medidas definidas na Etapa anterior. Essa seleção poderá levar em conta as medidas que têm mais influência na operação das cadeias em estudo: (1) medidas que geram impactos diretos mais graves para a sociedade, tais como impactos que prejudicam a saúde da população; (2) modos de transporte dos resíduos e (3) particularidades associadas à região onde as cadeias operam.

5.6. Etapa (6) – Definição dos cenários e volumes escoados em cada fluxo de destinação

Definidos os indicadores e medidas de desempenho na Etapa anterior e tendo conhecimento dos elementos de destinação do resíduo definidos na Etapa 2, deve-se definir os cenários que serão utilizados para fins de análise. Entende-se por cenários um quadro formado por um conjunto de possibilidades de fluxos de destinação do resíduo. Se na cadeia a ser analisada há três possíveis destinações, logo cada cenário será formado por estas três destinações. O cenário é definido para que a análise fique mais assertiva e próxima à realidade. Caso o analista simplesmente compare as cadeias de forma isolada, a análise pode fornecer resultados inconsistentes, pois estará baseada em dados improváveis. Portanto, é importante criar cenários considerando os fluxos atuais da cadeia para comparar com outros possíveis fluxos. Desta forma, uma análise pode ter dois ou mais cenários. A quantidade é particular para cada analista. No entanto, a sua definição torna-se importante para que se compare com mais clareza as possíveis variações das medidas de desempenho em cada fluxo e em cada cenário.

Antes de prosseguir para o cálculo das medidas, é imprescindível ter ciência do volume de resíduo escoado em cada fluxo de destinação. Este volume pode ser alterado em cada cenário de acordo com a realidade de cada cadeia.

5.7. Etapa (7) - Coleta de dados e cálculo dos indicadores e medidas de desempenho

As medidas de desempenho resultarão dos cálculos dos indicadores em cada estágio da cadeia de suprimento e em cada cenário. Logo, esta Etapa inicia-se com o cálculo dos indicadores. Vale ressaltar que outros dados poderão ser necessários e, portanto, coletados. Realizado este primeiro cálculo em cada fluxo de destinação, os resultados devem ser agrupados por cenários dando origem aos indicadores totais de cada cenário. São estes indicadores que serão utilizados para o cálculo das medidas.

Cada medida definida na Etapa 5 será calculada de acordo com as suas equações e unidades especificadas na Tabela 4.2. Em suma, esta Etapa será dedicada para: (1) coleta de dados; (2) cálculo dos indicadores de desempenho e (3) cálculo das medidas de desempenho.

O período e a forma de coleta de informações devem ser definidos. Estes dados poderão ser obtidos por meio de pesquisa bibliográfica, documental ou por meio de entrevistas com especialistas. O resultado desta Etapa será um conjunto de medidas de desempenho calculadas de cada aspecto de sustentabilidade de cada cenário. A partir destes valores, será possível normalizar as medidas e obter a conclusão do estudo na próxima Etapa.

5.8. Etapa (8) – Normalização das medidas, conclusão e análise de sensibilidade

Esta Etapa 8 visa normalizar as medidas a partir da Equação 5.1 de uma etapa da Análise Relacional de Grey em que quanto maior a medida, melhor é o desempenho.

$$x'_k(t) = \frac{x_k^{(0)}(t) - \min_{\forall k}(x_k^{(0)}(t))}{\max_{\forall k}(x_k^{(0)}(t)) - \min_{\forall k}(x_k^{(0)}(t))}, \text{ para } k = 1, \dots, m, t = 1, \dots, n. \quad (5.1)$$

Onde:

$$x'_k(t) = \text{medida normalizada}$$

$x_k^{(0)}(t)$ = medida não normalizada

k = particionamento em (k) número de grupos.

A partir das medidas normalizadas, extrai-se uma média simples entre as medidas de cada cenário e os resultados podem ser plotados em um único gráfico onde os valores são exibidos em um eixo (X,Y), onde X = medidas de desempenho e Y = valores normalizados de cada cenário. O gráfico permitirá ao analista verificar e entender o comportamento de cada medida de desempenho por cenário.

Para aprofundar ainda mais o estudo, propõe-se que se realize uma média ponderada a partir dos resultados das medidas normalizadas de cada cenário. Posteriormente, recomenda-se a aplicação de uma análise de sensibilidade por meio da atribuição de pesos por cenário.

5.9. Etapa (9) - Sensibilidade

Os valores resultantes da análise de sensibilidade permitirão a plotagem de um novo gráfico que tem por intuito facilitar a observação do cenário mais sustentável de acordo com cada peso atribuído. Este gráfico também poderá ser exibido em um eixo (X,Y), onde X = pesos atribuídos e Y = valores normalizados médios dos cenários.

5.10. Considerações finais do capítulo

Este Capítulo propôs um procedimento que remetesse à análise comparativa de desempenho de duas ou mais cadeias de suprimento associadas à logística reversa. O procedimento é exclusivo para cadeias reversas. Comparar duas ou mais cadeias de suprimento é o primeiro passo para buscar melhorias e estruturar as cadeias com base no conceito da sustentabilidade.

No decorrer do procedimento, foi possível perceber a necessidade de um conhecimento prévio referente às conceituações e técnicas de pesquisa. Saber definir o tipo de pesquisa e aplicar a suas técnicas contribuirão para o desenvolvimento de cada Etapa apresentada. O Capítulo também permitiu conhecer os conceitos e itens associados aos custos fixos e variáveis por modo de transporte.

No próximo Capítulo, o procedimento proposto será aplicado em um caso envolvendo três cadeias de destinação do óleo residual de fritura: (1) a primeira cadeia tem início com o descarte dos resíduos na rede de esgoto e destinação final para aterro sanitário, (2) a segunda cadeia trata da destinação do resíduo para uma unidade de produção de biodiesel e (3) a terceira cadeia trata da destinação final para o afluentes. O referido estudo será realizado no município de Volta Redonda no Estado do Rio de Janeiro.

6. APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO PROPOSTO

No Capítulo 5, foi proposto um procedimento voltado a comparar duas ou mais cadeias de suprimento associadas à logística reversa. O procedimento foi composto por nove etapas que possibilitaram a definição e caracterização do estudo de caso, a definição de cenários, o cálculo dos indicadores e das medidas de desempenho, a normalização de medidas e análise de sensibilidade. Além do procedimento proposto, o Capítulo resultou em uma Tabela de custos fixos e variáveis associados a cada modo de transporte.

Este Capítulo visa aplicar o procedimento proposto em um caso envolvendo três cadeias de destinação do óleo residual de fritura: (1) a primeira cadeia tem início com o descarte dos resíduos na rede de esgoto e destinação para o aterro sanitário, (2) a segunda cadeia trata da destinação do resíduo para uma unidade de produção de biodiesel e a (3) terceira cadeia trata da destinação final para o aflente. O referido estudo será realizado no município de Volta Redonda no Estado do Rio de Janeiro.

6.1. Etapa (1) – Definição e caracterização da área de estudo

O procedimento proposto no Capítulo anterior é exclusivo para cadeias reversas. Logo, a cadeia a ser analisada tem início na geração de um resíduo.

O estudo será aplicado no município de Volta Redonda, localizado no Sul do Estado do Rio de Janeiro. O Estado possui 92 municípios. A região metropolitana do Rio de Janeiro é composta por 18 municípios e concentra 75% da população do Estado. Outras três cidades, que não integram a região metropolitana, possuem população significativa (acima de 250 mil habitantes): Campos dos Goytacazes, Petrópolis e Volta Redonda (ANA, 2010), conforme aponta a Figura 6.1.

De acordo com dados de 2017, coletados pelo censo demográfico do IBGE, o município de Volta Redonda possui uma população estimada em 265.201 habitantes, distribuídos em uma área de 182 km² (IBGE, 2017). A cidade, emancipada em 1954, é conhecida por abrigar a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), fundada em 1941. A CSN foi a primeira grande siderúrgica e marco no processo de industrialização do Brasil (BENTES, 2008).

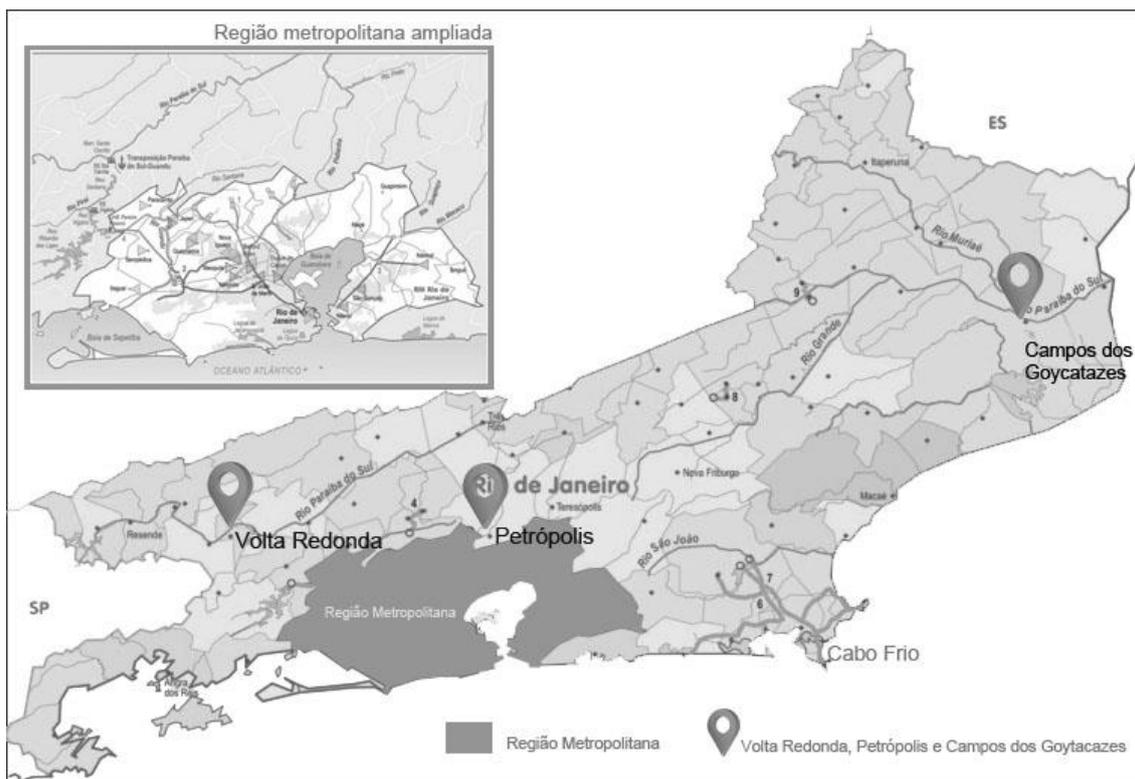


Figura 6.1: Região metropolitana do Rio de Janeiro e cidades acima de 250 mil habitantes.

Fonte: Elaborado a partir da ANA (2010)

De acordo com Bentes (2008), a CSN gera uma série de impactos ambientais no seu processo produtivo. Além do consumo de muita água, que é drenada do rio Paraíba do Sul, são lançados resíduos no mesmo rio, que ainda não são totalmente controlados e que podem trazer graves problemas ao homem e aos animais dos quais ele se alimenta. O município também sofre com impactos gerados pela acelerada urbanização que resultou na falta de infraestrutura com loteamentos irregulares, inclusive disposição inadequada dos resíduos sólidos urbanos em lixões e nos rios.

Dados da CEPERJ (2011) mostram que são produzidos, em Volta Redonda, uma estimativa de 6.463,77 toneladas/mês de lixo domiciliar. Deste montante, 2% do peso deste lixo, equivalente a 130 toneladas/mês, é encaminhado para reciclagem, o que significa que a outra parcela, tem sido descartada inadequadamente.

Dentre os tipos de resíduos sólidos, destaca-se o óleo residual de fritura. Este é o tipo de resíduo que será encaminhado para a destinação final nas três cadeias. Neste sentido, o óleo residual de fritura, proveniente do consumo de óleos vegetais comestíveis virgens

refinados, possui duas possíveis destinações: esgoto sanitário e processadores que transformam o resíduo em um novo produto (GUABIROBA, 2011), tais como: rações animais, indústrias de cosméticos, indústrias de materiais de limpeza, indústrias de tintas, indústrias de biodiesel (ZUCATTO *et al.*, 2013). Inserir-se-á neste trabalho mais uma possível destinação que é o descarte para o afluente.

Em 2014, foram produzidos no mundo 192.289 mil toneladas de óleos vegetais. Incluem neste total: óleos de Palma, Soja, Canola, Girassol, Gorduras e outros. Deste total, 30.410 foram destinados para produção de biodiesel e 161.879 foram destinados para alimentação e química. No mesmo ano, foram produzidos no Brasil, 9.569 mil toneladas de óleo. Deste total, 3.001 foram destinados para a produção de biodiesel e 6.566 destinados para alimentação de química (ABIOVE, 2016).

De acordo com a Associação Brasileira das Indústrias de óleos Vegetais - ABIOVE (2015), cada família brasileira consome, em média, 4 litros de óleo por mês e descarta 1 litro. De acordo com a Associação dos Produtores de Biodiesel do Brasil - APROBIO (2017), o país recicla cerca de 30 milhões de litros de óleo de fritura na produção do biocombustível.

O óleo residual de fritura largamente utilizado para o preparo de alimentos pode constituir-se em grave poluente quando descartado de modo inadequado (TOMASI *et al.*, 2014). Percebendo a necessidade da adequação do descarte e/ou reutilização deste resíduo, o incentivo ao fluxo reverso do produto pode ser considerado como uma opção para minimizar os impactos que ele pode ocasionar (GONÇALVES&CHAVES, 2014).

Foram pesquisados 20 estudos que abordam o óleo residual de fritura entre os anos 2005 e 2016, sendo 7 publicados no Brasil e 13 em periódicos internacionais. Destes, 08 estudos envolvem só aspectos ambientais; 04 envolvem só aspectos econômicos; 02 estudos envolvem os aspectos ambiental e social; 04 envolvem os aspectos econômico e ambiental e 02 envolvem os três aspectos: social, econômico e ambiental. Do total de estudos, 16 associam o óleo residual de fritura à produção de biodiesel. Mais detalhes desta pesquisa estão expostos no Anexo I.

6.2. Etapa (2) - Identificação dos elementos das cadeias de suprimento

Os geradores do óleo residual de fritura são as residências e os estabelecimentos comerciais, em especial os restaurantes, lanchonetes e bares. No município de Volta Redonda, os domicílios permanentes somam 84.284 unidades (IBGE, 2010) e 6.510 empresas atuantes, sendo que, destas, 552 unidades são classificadas como empresas de alojamento e de alimentação (IBGE, 2014).

A forma com que estes geradores descartam o resíduo subdivide-se em três possibilidades que formam três cadeias logísticas: (1) a primeira cadeia tem início com o descarte dos resíduos na rede de esgoto e destinação final em aterro sanitário, (2) a segunda cadeia trata da destinação do resíduo para uma unidade de produção de biodiesel e (3) a terceira cadeia trata do descarte em afluentes. Logo, têm-se o primeiro elemento de ambas as cadeias. A Figura 6.2 apresenta os elementos de cada cadeia que serão detalhados a seguir.

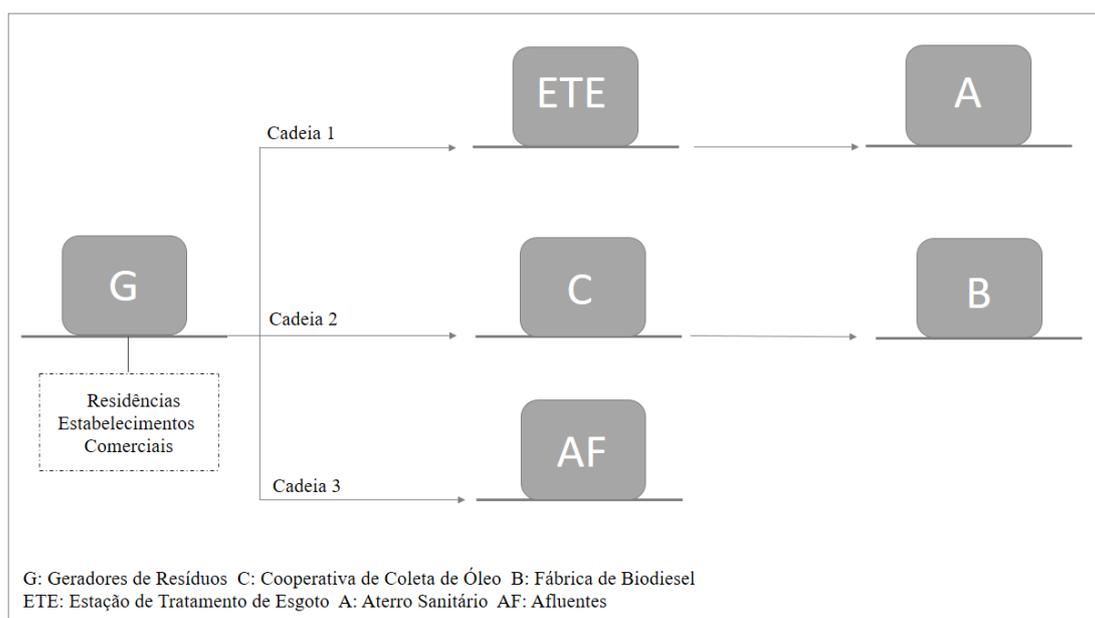


Figura 6.2: Elementos das cadeias de destinação do óleo residual de fritura.

Fonte: elaboração própria.

6.2.1 Primeira cadeia: descarte dos resíduos na rede de esgoto

O óleo residual de fritura descartado no próprio local de geração movimenta-se em uma rede de esgoto até chegar em uma Estação de Tratamento (ETE). O esgoto chega à estação

por meio das tubulações do vaso sanitário, da pia e do chuveiro. Logo, a Estação de Tratamento é o elemento intermediário desta cadeia.

Devido ao descarte de resíduos no esgoto, a rede precisa passar por tratamento para que não contamine os rios e, conseqüentemente, o meio ambiente.

O município de Volta Redonda trata 22% de todo o esgoto sanitário produzido (SNIS, 2015). De acordo com o Sistema Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA (2015), a média deste tratamento no Brasil é de 42,7% para a estimativa dos esgotos gerados e 74% para os esgotos que são coletados. No referido município, há a Estação Engenheiro Gil Portugal, inaugurada em 2015. Essa Estação trabalha atualmente com uma média de 90 litros/segundo e o fluxo da sua operação se divide em oito partes: (1) Descarte de resíduos em residências e estabelecimentos comerciais; (2) processo de gradeamento; (3) elevatória; (4) processo de separação de areia e de gordura; (5) processo de tratamento do esgoto a partir do sistema anaeróbico; (6) processo de tratamento do esgoto a partir do sistema aeróbico; (7) efluente tratado e (8) escoamento do efluente tratado ao corpo receptor.

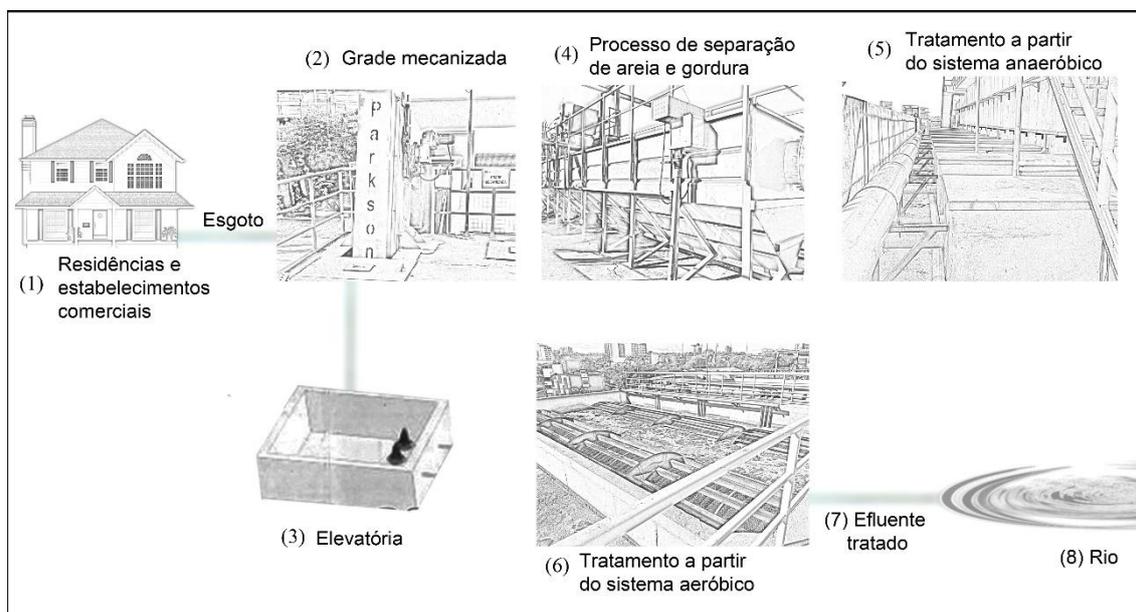


Figura 6.3: Fluxo da operação na estação de tratamento de esgoto.

Fonte: Elaboração própria.

O processo de gradeamento é feito de forma automática por meio de uma esteira rolante, também conhecida por grade mecanizada, que tem por função reter todo o resíduo grosso presente no esgoto (papéis, estopas, fraldas, absorventes, panos de prato, pedaços de

madeira, lata, plásticos, entre outros). O resíduo que ficou na grade é movido para um balde que é retirado manualmente e acondicionado em sacos de lixo e, posteriormente, encaminhado para o aterro sanitário (ABREU, 2016). O esgoto bruto é mais de 90% de água.

O esgoto que sai do processo de gradeamento é direcionado à estação elevatória que serve para bombear o fluxo de esgoto para os desarenadores. Desarenadores são equipamentos destinados a separar areias do esgoto. Nesta Estação de Tratamento, por ser mais moderna, os desarenadores separam ao mesmo tempo a areia e a gordura. A areia, por ser mais densa, decanta e a gordura flutua. O objetivo do desarenador é evitar o entupimento da canalização e impedir a formação de depósitos de resíduos dentro dos reatores nas próximas etapas do tratamento. Tanto a gordura quanto a areia retidas são direcionadas separadamente para um contêiner que, em seguida, são transportadas da Estação de Tratamento para o aterro sanitário.

Com a eliminação da areia e da gordura, o esgoto é encaminhado para calha *parshall*, local responsável por fazer a medição da vazão de afluente que entra na estação. Os valores são apresentados em um equipamento chamado Medidor Ultrassônico de Vazão. Realizada a medição, o esgoto é direcionado para a primeira parte do tratamento efetivo, também chamado de tratamento primário ou anaeróbico (onde não há a presença de oxigênio). Este processo é totalmente vedado e realizado por meio do Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente (RAFA). As bactérias presentes no esgoto proliferam até se tornar uma manta de lodo. O excesso de lodo proveniente deste processo é retirado e seco por meio de um processo de centrifugação.

O esgoto e o lodo tratados, ao saírem do processo primário, passam pelo tanque de pré-aeração onde recebem oxigênio. Em seguida, o esgoto é movimentado para o tratamento secundário ou aeróbico e, por meio de um suporte rotativo tubular, conhecido por biodrum, passa para a fase de formação de nitratos (NO_2) e nitritos (NO_3), fase também chamada de nitrificação. O biodrum, além de oxigenar, faz a homogeneização do esgoto.

Após este processo, 60% do lodo aeróbico é encaminhado para o decantador secundário junto com o esgoto tratado e 40% volta para o sistema e fica em processo de recirculação contínua dentro da estação.

Antes de serem lançados ao corpo receptor, neste caso o Rio Paraíba do Sul, o esgoto tratado passa por um terceiro processo, o de desnitrificação, por meio do tanque anóxico.

Neste processo, a amônia é eliminada e o oxigênio separa do nitrogênio resultando em gás. O gás é direcionado para o lavador de gases e neutralizado no local.

Nesta estação de tratamento, o lavador também serve para eliminar os gases metano, butano e sulfídrico (H₂S) provenientes do processo anaeróbico. O hipoclorito de sódio (NaClO) ou cloro, é utilizado durante este processo de lavagem. Em outras estações, estes gases são queimados.

De acordo com o Abreu (2017), não há como garantir que toda a gordura seja eliminada durante o processo de tratamento. A presença de gordura pós-tratamento pode interferir na eficiência da Estação. No entanto, há um nível aceitável pelo órgão regulador, o INEA (Instituto Estadual do Ambiente). A Estação precisa trabalhar com mais de 90% de remoção.

Portanto, os resíduos gerados na Estação de Tratamento são areias, gorduras, lodos e gases. Exceto este último que passa pelo processo de lavagem, os demais são destinados ao aterro sanitário. Logo, o aterro é o terceiro e último elemento dessa cadeia logística. De acordo com Abreu (2017), o aterro sanitário utilizado para o descarte dos resíduos gerados durante a operação fica em Barra Mansa, município vizinho ao município de Volta Redonda.

A Central de Tratamento de Resíduos de Barra Mansa (CTR), que funciona com o aterro sanitário, foi inaugurada em 2012. O CTR atende os municípios de Barra Mansa e Volta Redonda, além de grandes geradores industriais e privados. O tratamento de resíduos realizado no local consiste em disposição, compactação e cobertura dos resíduos. Em um primeiro momento, faz-se uma obra de terraplanagem, posteriormente, implanta a manta de alta densidade e, por cima, faz-se a inserção de 60 cm de argila compactada para proteger a manta. Em outra camada, faz-se o sistema de drenagem feito de rachão e o dreno de gás. O lixo orgânico é despejado por cima do dreno para não compactá-lo. Por fim, forma-se uma outra camada de 5 metros de resíduos que são compactados com o trator. Ao chegar em um certo nível, estabelecido pelo aterro, os resíduos são cobertos por argila. O aterro tem 20 anos de vida útil e, em 2017, recebe de 600 a 800 toneladas/dia.

6.2.2 Segunda cadeia: coleta para uma unidade de produção de biodiesel

Em 2015, 76,5% do biodiesel no Brasil foi fabricado a partir da matéria prima soja; 19,4% a partir de gordura animal; 2% a partir de algodão e mais 2,4% a partir de outros tipos de matérias primas, como o óleo residual de fritura, o dendê, entre outros (OLIVEIRA, 2016). Para que o óleo residual de fritura seja utilizado para este fim, é necessário um processo de pré-tratamento. Este trabalho é realizado por elementos intermediários na cadeia, como cooperativas, associações e empresas de coleta. Logo, este elemento intermediário é fundamental para que este resíduo seja destinado a uma empresa produtora de biodiesel.

Em Volta Redonda, há uma Cooperativa que desenvolve este trabalho desde 2007: Cooperativa dos Coletores de Resíduos Líquidos e Sólidos – Ecoóleo. De acordo com Silva (2016), há muitas pessoas envolvidas na operação, desde colaboradores diretos, doadores, catadores até outras cooperativas. Dos colaboradores diretos, há dez pessoas envolvidas na operação, sendo 6 funcionários fixos e 4 colaboradores associados. Mas, conforme a demanda, este número pode variar. Embora seja uma organização sem fins lucrativos, tanto colaboradores quanto associados são remunerados. Além do custo com mão de obra, há outros custos operacionais envolvidos: custos com veículo, combustível, energia, Internet e telefone. O custo chega a atingir cerca de R\$ 11.186,71 mil por mês.

Segundo Silva (2016), antes da sua instalação em Volta Redonda, foi realizada uma pesquisa junto aos supermercados e identificou-se que o município consumia cerca de 300 mil litros de óleo/mês e, por conseguinte, descartava esta mesma quantidade. Com o surgimento do trabalho de coleta, envolvendo esta e outras cooperativas e empresas, o descarte sofreu uma redução de 20% a 30%.

O resíduo é coletado pela cooperativa em residências e estabelecimentos comerciais. Uma média de 12 mil litros de óleo é coletada no período de um mês. A Cooperativa possui parceria com a secretaria do meio ambiente municipal e estadual. Desta forma, ao doar o resíduo, o estabelecimento comercial recebe uma declaração de empresa ecologicamente correta.

O óleo residual coletado é entregue com impurezas à cooperativa e, por este motivo, é necessário um processo de tratamento para que seja comercializado à empresa produtora de biodiesel. O processo todo consiste em oito Etapas. A Figura 6.4 ilustra o fluxograma das atividades de um ponto de coleta.

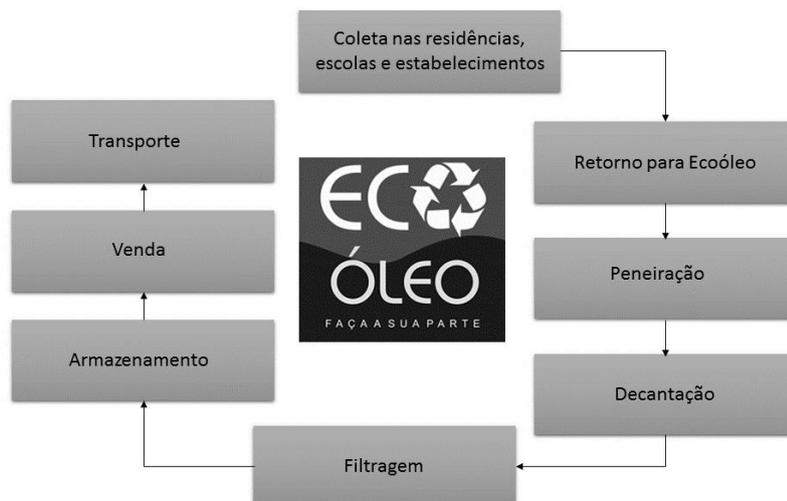


Figura 6.4: Fluxograma da Cooperativa dos Coletores de Resíduos Líquidos e Sólidos.

Fonte: Ecoóleo, 2016.

Além do tratamento do óleo, a Cooperativa também processa os resíduos que chegam junto aos óleos e, em seguida, descarta-os por meio de um processo de compostagem. Estes resíduos ficam em repouso por um período de 15 a 20 dias para retirar todo o excesso de óleo. Em seguida, é utilizado para esterco e adubo (SILVA, 2016).

A empresa que compra o óleo residual de fritura determina a sua qualidade. O óleo tratado deve apresentar um nível máximo de 1,5% de acidez e 2% de teor de água. São necessários três dias para tratar 1.000 litros de óleo.

De acordo com Silva (2016), há clientes do Rio de Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte. Em Volta Redonda, a empresa Cesbra, produtora de biodiesel, é sua cliente. Logo, a análise deste estudo centrará nesta empresa, que é o terceiro e último elemento desta cadeia.

A empresa Cesbra iniciou a sua operação no município de Volta Redonda na década de 50, mas começou a trabalhar com biodiesel em 2007, quando recebeu autorização da Agência Nacional do Petróleo (ANP) para a produção do produto. Toda gordura animal e vegetal são passíveis de serem transformados em biodiesel. De acordo com Freitas (2017), a empresa trabalha também com óleo reciclado. Os fornecedores da empresa são tanto Cooperativas quanto empresas particulares, entre elas estão: Ecoóleo (Volta Redonda), Cicloóleo (Volta Redonda) e ONG Trevo (São Paulo). Grande parte dos fornecedores está no município do Rio de Janeiro e de São Paulo pelo fato da quantidade

de óleos coletados em Volta Redonda não ser suficiente para suprir a demanda da fábrica de biodiesel que compra uma média de 1,5 milhão de litros de óleo por mês.

Ao chegar na fábrica, uma amostra do óleo residual de fritura é encaminhada para o laboratório para análise da acidez e teor de água. Aprovado na análise, o óleo é direcionado para tanques, onde fica armazenado até o momento da produção.

A fábrica, que conta com 50 funcionários incluindo setor de produção, administrativo e laboratório, produz 100 mil litros de biodiesel por dia, aproximadamente 2 milhões de litros por mês. Proporcionalmente, 1 litro de óleo residual produz 900 mililitros (ml) de biodiesel.

O biodiesel é produzido a partir da mistura de óleo, metanol (álcool) e catalizador (metox). Este catalizador é produzido pela própria Cesbra e tem por função acelerar a reação química. Uma reação tem o tempo médio de 3 a 4 horas. Da chegada do óleo até a transformação em biodiesel leva-se em média 10 horas para a produção de 30 mil litros do produto. Obrigatoriamente, todo o biodiesel produzido pela Cesbra é vendido para a empresa Petrobrás que, em seguida, distribui para as refinarias. Em média, 1 litro de biodiesel é comercializado a um pouco mais de R\$ 2,00.

Os resíduos que saem deste processo de produção de biodiesel são glicerina bruta, metanol e ácido graxo. O metanol retorna para o processo de produção; já a glicerina e o ácido graxo são revendidos.

6.2.3 Terceira cadeia: descarte dos resíduos em afluentes

Por fim, a terceira cadeia do óleo residual de fritura e que não pode ser desconsiderada é o descarte em afluentes. As duas primeiras cadeias supracitadas, possuem elementos intermediários: Estação de Tratamento de Esgoto e Cooperativa, respectivamente. Já a terceira cadeia constitui-se apenas do gerador e receptor, sendo o primeiro elemento residências e estabelecimentos comerciais e o segundo, os afluentes.

O descarte em afluentes ocorre quando os geradores de resíduos não possuem rede de esgoto adequadas. Bentes (2008) afirma que a infraestrutura do município de Volta Redonda não acompanhou a acelerada urbanização. Desta forma, ainda há áreas com ausência de saneamento, sem água tratada, sem rede de esgoto e sem tratamento para lançamento nos afluentes. Um percentual de 3,9% do município de Volta Redonda possui esgotamento sanitário inadequado (IGBE, 2017) e da quantidade de esgoto coletado,

apenas 22% são tratados (SNIS, 2015). Logo, entende-se que o percentual que não é tratado, é descartado no afluente. Estes dados sustentam a importância de se analisar esta terceira cadeia.

6.3. Etapa (3) - Mapeamento dos fluxos das cadeias de suprimento

Neste item, é necessário verificar os modos para o transporte do óleo residual de fritura entre os elementos da cadeia identificados na etapa anterior. Na primeira cadeia, são utilizados os modos dutoviário e rodoviário. O duto faz ligação entre os geradores do resíduo e a Estação de Tratamento de Esgoto. Após o tratamento, os resíduos gerados na operação são transportados até o Aterro Sanitário por meio de um caminhão semileve, do tipo SewerJet.

Já na segunda cadeia, são utilizados dois tipos diferentes de veículos: carro e caminhão. O carro do tipo comercial leve, ano 2005, é utilizado para coletar os óleos nas residências e estabelecimentos comerciais. De acordo com Silva (2016), dois veículos do mesmo modelo ficam disponíveis para a operação, mas, geralmente, a Cooperativa utiliza apenas um. A coleta é realizada diariamente, das 8 horas às 18 horas, tanto em Volta Redonda quanto em municípios vizinhos como Barra Mansa, Barra do Piraí, Três Rios e Sapucaia. No entanto, na presente análise, considerar-se-á somente o município de Volta Redonda. O veículo tem capacidade de transportar 1.000 kg de óleo e seu combustível é gasolina e Gás Natural Veicular (GNV). Segundo a cooperativa, o veículo percorre 336 quilômetros por semana.

Para entregar o óleo tratado na unidade de fabricação de biodiesel, utiliza-se o caminhão, do tipo semipesado, movido a diesel e com capacidade de transportar de 10 a 15 toneladas. O veículo para entrega do resíduo é terceirizado e o custo do frete é fixo. Para o percurso entre a Cooperativa e a unidade de produção de biodiesel, o frete apresenta uma média de R\$ 350,00 por viagem.

Na terceira cadeia, é utilizado apenas o duto para transportar o resíduo até o afluente. A Figura 6.5 ilustra o mapeamento dos fluxos das cadeias.

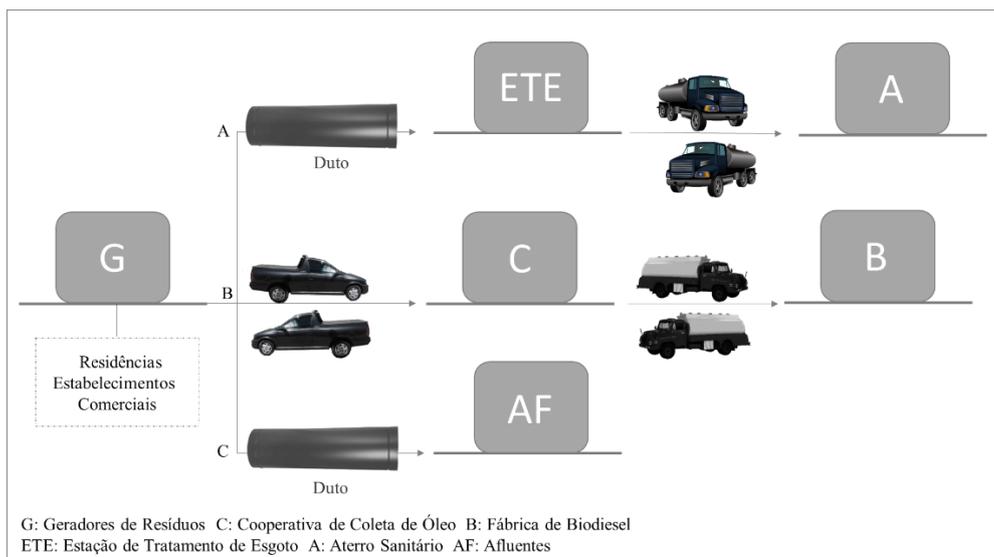


Figura 6.5: Cadeias de destinação do óleo residual de fritura com seus modos de transporte.

Fonte: elaboração própria.

Tanto o modo rodoviário quanto o modo dutoviário possuem sua estrutura de custos fixos e variáveis, conforme Tabela 6.1.

Tabela 6.1: Estrutura de custos fixos e variáveis dos modos rodoviário e dutoviário.

	Itens de Custos	Unidade	Modos de Transporte		
			Rodoviário	Dutoviário	
Custos Fixos	Remuneração mensal do capital empatado	R\$/Veículo	x		
	Salário do motorista	R\$/Veículo	x		
	Custo de manutenção	R\$/Veículo	x		
	Reposição/Depreciação do veículo	R\$/Veículo	x		
	Taxas e impostos (Licenciamento, IPVA, DPVAT, vistoria de tacógrafo)	R\$/Veículo	x		
	Seguro do veículo	R\$/Veículo	x		
	Seguro de responsabilidade civil facultativo	R\$/Veículo	x		
	Custo de entrada e saída da estação/terminal				x
Custos Variáveis	Peças, acessórios e material de manutenção	R\$/KM	x		
	Despesas com combustível	R\$/KM	x		
	Lubrificantes	R\$/KM	x		
	Lavagem e graxas	R\$/KM	x		
	Pneus e recauchutagens	R\$/KM	x		
	Custo do sistema do duto				x
	Custo operacional				x
	Custo da estação de reforço				x

6.4. Etapa (4) – Levantamento de indicadores e de medidas de desempenho

Os indicadores e medidas de desempenho foram levantados na Tabela 4.2 do Capítulo 4. Os indicadores foram divididos pelos seus respectivos atributos e pelos dois aspectos da sustentabilidade: socioambiental e econômico-financeiros.

No aspecto socioambiental, os indicadores selecionados contemplam: geração de empregos, nível de qualidade de vida, emissão de gases de efeito estufa, consumo de água e quantidade de resíduos em esgotos e aterros sanitários, intensidade de ruídos oriundos dos transportes e empresas, área ocupada pelos resíduos gerando poluição visual, consumo de energia e produção de resíduos.

Já no aspecto econômico-financeiro, são contemplados os custos de operação, transporte, reutilização de produtos e descarte de resíduo em aterro, tempo e receita adquirida com a operação.

6.5. Etapa (5) - Definição das medidas de desempenho a serem utilizadas no estudo

Levando em consideração as medidas de desempenho da Tabela 4.2 e considerando as três cadeias reversas em estudo, serão estabelecidos os seguintes critérios. Serão consideradas as (1) medidas que geram impactos diretos mais graves para a sociedade; os (2) modos de transporte dos resíduos e as (3) particularidades associadas à região onde as cadeias operam.

A região onde as cadeias em estudo operam é conhecida pelo seu alto índice de poluição, conforme explicitado na Etapa (1). Com base nesta realidade, o município já tem o ar altamente poluído. Somado a isso, os modos de transporte utilizados nas cadeias reversas emitem mais gases poluentes.

Quanto maior a poluição, maior serão os custos para reparo e correções. Com alto custo, as empresas fazem cortes, demitem trabalhadores, o que impacta na qualidade de vida dos colaboradores. A redução do número de colaboradores impacta na economia do município, que afetará o seu melhor desenvolvimento. Logo, as medidas de desempenho a serem utilizadas neste estudo estão apresentadas na Tabela 6.2.

Tabela 6.2: Medidas de Desempenho segundo aspectos socioambientais e econômico-financeiros a serem aplicados no município de Volta Redonda.

Aspectos	Atributos	Indicadores	Unidades	Medidas	Unidades
Socioambientais	Número de colaboradores envolvidos	Geração de empregos	Qtd	Geração de Empregos/Volume de serviços	Qtd/vol
	Poluição do ar por Gases de Efeito Estufa	Volume de dióxido de carbono (CO2) emitidos por transportes	Kg	Emissão de CO2/Distância percorrida/Período de tempo	Kg/Km/mês
	Poluentes Locais	Emissão de NOx	Kg	Emissão de NOx/Frequência	Kg/Hz
				Emissão de NOx/Capacidade de processamento	Kg/m ³
				Emissão de NOx/Período de tempo	Kg/mês
				Emissão de NOx/Distância percorrida	Kg/Km
	Emissão de NMHC	Kg	Emissão de NMHC/Frequência	Kg/Hz	
Emissão de NMHC/Capacidade de processamento			Kg/m ³		
Emissão de NMHC/Período de tempo			Kg/mês		
Emissão de NMHC/Distância percorrida			Kg/Km		
Emissão de CO	Kg	Emissão de CO/Frequência	Kg/Hz		
		Emissão de CO/Capacidade de processamento	Kg/m ³		
		Emissão de CO/Período de tempo	Kg/mês		
		Emissão de CO/Distância percorrida	Kg/Km		
Emissão de MP	Kg	Emissão de MP/Frequência	Kg/Hz		
		Emissão de MP/Capacidade de processamento	Kg/m ³		
		Emissão de MP/Período de tempo	Kg/mês		
		Emissão de MP/Distância percorrida	Kg/Km		
Poluição da Água	Quantidade de óleo descartado em afluentes e esgotos	Kg	Quantidade de óleo gerado/Quantidade descartado em afluentes	Adimensional	
Energia	Consumo de energia	MJ	Consumo de energia/Volume de demanda	MJ/m ³	
		MJ	Consumo de energia/Período de tempo	MJ/mês	
		MJ	Consumo de energia/Distância percorrida	MJ/Km	
Econômico-Financeiros	Custo	Custo de transporte	R\$	Custo de transporte/Distância percorrida	R\$/Km
		Custo de Operação	R\$	Custo da operação/Período de tempo	R\$/Mês
		Custo de descarte de resíduo em aterro	R\$	Custo da operação/Quantidade transportada	R\$/Qtd
	Receita	Receita adquirida com a operação	R\$	Receita da operação/Período de tempo	R\$/mês
		Quantidade de óleo vendida ou entregue	Kg	Receita de venda/Quantidade entregue	R\$/Kg

Fonte: elaboração própria.

6.6. Etapa (6) – Definição dos cenários e volumes escoados em cada fluxo de destinação

Até a presente Etapa, tem-se as seguintes informações: a cadeia em estudo possui três possíveis destinações, conforme discriminadas nas Etapas anteriores; cada elemento de destinação final já foi identificado e os indicadores e medidas de desempenho já foram selecionados. Para prosseguir para os cálculos que levam à análise final da Cadeia, deve-se definir os cenários e os volumes escoados em cada fluxo de destinação. Neste sentido,

a análise será formada por três cenários, sendo cada um composto pelas três possibilidades de destinação.

O Cenário 1 será aquele que se baseará nos dados atuais da cadeia do óleo residual de fritura, onde a maior quantidade do resíduo é descartada no afluente Rio Paraíba do Sul, seguida do descarte em aterro sanitário e, por último, a destinação para a unidade de produção de biodiesel. Neste sentido, o Cenário 1 será subdividido da seguinte forma: Cenário 1.1: Destino para fábrica de biodiesel, Cenário 1.2: Destino para aterro sanitário e Cenário 1.3: Destino para o Rio Paraíba do Sul.

No Cenário 2, a quantidade de resíduos será estimada para se ter ciência do comportamento das medidas de desempenho. Logo, a quantidade de óleo será distribuída de forma equilibrada entre as três destinações. O Cenário será subdividido da seguinte forma: Cenário 2.1: Destino para fábrica de biodiesel, Cenário 2.2: Destino para aterro sanitário e Cenário 2.3: Destino para o Rio Paraíba do Sul.

O Cenário 3 será aquele que representará o Cenário ideal, onde a maior quantidade de resíduo é destinada para uma unidade de fabricação de biodiesel; em seguida, para o aterro sanitário e, por último, a menor quantidade destinada para o Rio Paraíba do Sul. O Cenário 3 será subdividido da seguinte forma: Cenário 3.1: Destino para fábrica de biodiesel, Cenário 3.2: Destino para aterro sanitário e Cenário 3.3: Destino para o Rio Paraíba do Sul.

Definidos os Cenários, deve-se definir o volume a ser escoado em cada fluxo de destinação a partir das premissas pré-estabelecidas para cada Cenário. Desta forma, deve-se ter conhecimento da quantidade de óleo residual descartada no município de Volta Redonda. De acordo com o Instituto Trata Brasil (2015), o descarte de óleo no Brasil é de 1 litro de óleo/domicílio/mês. Considerando que Volta Redonda possua 84.284 domicílios (IBGE, 2010), o município descarta 84.284 litros de óleo/mês. Como é sabido, 1 litro de óleo corresponde a 0,9 kg, logo a quantidade de óleo residual de fritura gerada em Volta Redonda é: 75.855,60 kg/mês, aproximadamente 76 mil kg/mês.

De acordo com dados do IBGE (2017), a quantidade da população estimada em Volta Redonda, em 2017, é de 265.201 habitantes. Neste sentido, a partir da relação entre a quantidade de óleo residual gerado no município e a quantidade populacional, tem-se que são descartados 0,2866 kg/hab/mês.

A quantidade de resíduos dispostos ou entregues em cada fluxo de destinação será equivalente a quantidade de resíduos coletados pelo elemento intermediário no período de um mês. Logo, no Cenário 1.1 (destino para fábrica de biodiesel), deve-se levantar a quantidade de óleo coletados pela Ecoóleo. De acordo com Silva (2017), são coletados 600 litros de óleo por dia (540 kg/dia). Considerando o período de um mês, a quantidade de óleo entregue à unidade de produção de biodiesel é 10.800kg/mês.

Em relação ao Cenário 1.2 (destino para aterro sanitário), deve-se levantar a quantidade de óleo entregue no aterro sanitário. Esta cadeia tem como elemento intermediário a Estação de Tratamento de Esgoto. Como já especificado na Etapa 2, neste estudo, tomar-se-á como padrão a ETE Gil Portugal que, pela quantidade de bairros que estão interligados a ela, atende 28.901 mil habitantes. Portanto, para definir a quantidade de óleo entregue no aterro sanitário, deve-se levantar a quantidade de óleo coletada pelas ETEs do município.

O óleo chega às ETEs por meio do esgoto sanitário. Partindo-se do princípio que Volta Redonda trata 22% do esgoto coletado (SNIS, 2015), entende-se que o óleo está inserido neste percentual. Neste sentido, estima-se que apenas 22% da população total do município é atendida por serviços referentes ao esgotamento sanitário, o que corresponde a 58.344,22 habitantes.

Logo, se a quantidade de óleo descartada por habitante em Volta Redonda é de 0,2866 kg/mês, deste percentual de esgoto que chega às ETEs de Volta Redonda, aproximadamente 16.800 kg são óleos residuais. A quantidade de óleo descartado somente na ETE Gil Portugal será a relação entre a quantidade de óleo descartada/habitante no município e a quantidade de habitantes atendida por esta Estação. Esta última será baseada na quantidade de bairros que destinam esgoto para esta ETE. O resultado desta relação será aproximadamente 8.300kg/mês. Portanto, a quantidade de óleo que chega às ETEs de Volta Redonda é equivalente a coleta de duas ETEs do porte da Gil Portugal. Desta forma, a quantidade de óleo descartada no Cenário 1.2 será representada pela quantidade de óleo descartada em todo o município.

Já para o Cenário 1.3 (destino Rio Paraíba do Sul), o volume de óleo disposto será calculado a partir da diferença entre o total de óleo descartado no município e os volumes escoados nos Cenários 1.1 e 1.2. Logo, a quantidade será de 48.400 kg/mês. Os dados são apresentados na Tabela 6.3.

Tabela 6.3: Dados para definição do volume escoado em cada fluxo de destinação do Cenário 1.

Quantidade descartada por domicílio (litros/mês)	1
Número de domicílios no município de Volta Redonda	84.284
Fator de conversão de Litros em kg	0,9
Quantidade descartada por domicílio em Volta Redonda (kg)	76.000
Número de habitantes em Volta Redonda	265.201
Quantidade de óleo descartada/hab em Volta Redonda	0,2866
Quantidade de óleo entregue à fábrica de biodiesel (kg/mês) - Cenário 1.1	10.800
Quantidade de habitantes atendidos pela ETE Gil Portugal	28.901
Percentual de esgoto tratado em Volta Redonda	22%
Quantidade de habitantes com esgoto tratado	58.344,22
Quantidade de óleo entregue no aterro sanitário (kg) - Cenário 1.2	16.800
Quantidade de óleo disposto no Rio Paraíba do Sul (kg) - Cenário 1.3	48.400

Conforme dados discriminados, para o Cenário 1, a maior quantidade de óleo entregue ou disposta foi para o Rio Paraíba do Sul. Para o Cenário 2, as quantidades serão equilibradas entre os três fluxos. Conforme Tabela 6.3, no Cenário 1.1, a Cooperativa entregará a quantidade de 10.800kg de óleo/mês, o que demandará, pela capacidade do caminhão, apenas 1 viagem até à unidade de fabricação de biodiesel. Para o Cenário 2.1, a quantidade será estimada com base no envolvimento de três outras cooperativas. De acordo com Silva (2017), cada Cooperativa fornece 5 toneladas. Logo, acrescentar-se-á, neste Cenário, 15 toneladas de óleo, além da quantidade do Cenário anterior. A mesma lógica aplicou-se para o Cenário 3.1, em que foi estimado o envolvimento de quatro Cooperativas. Considerando que cada uma forneça 5 toneladas de óleo, o valor a ser acrescentado na quantidade entregue à fábrica de biodiesel será de 20 toneladas. No entanto, esta quantidade é o dobro da discriminada no Cenário 1.1, logo o Cenário 3.1 reflete duas Cooperativas do porte da Ecoóleo.

Assim como a quantidade de óleo descartada no Cenário 1.2 é representada pela quantidade de óleo descartada no município, equivalente a duas ETES Gil Portugal (16.800Kg), para fins de comparação os Cenários 2.2 e 3.2, serão equivalentes a três ETES Gil Portugal (25.200 Kg). Conseqüentemente, os Cenários 2.3 e 3.3, com descarte no Rio Paraíba do Sul, serão resultantes da diferença entre a quantidade descartada por domicílio em Volta Redonda (kg) (76.000) e os Cenários 2.1 (25.000Kg); 2.2 (25.200Kg) e 3.1 (40.000Kg); 3.2 (25.200Kg), respectivamente.

6.7. Etapa (7) - Coleta de dados e cálculo dos indicadores e medidas de desempenho

Esta etapa visa calcular as medidas de desempenho a partir da Tabela 6.2. Para tanto, os dados explicitados na coluna indicadores precisam ser coletados para os fluxos de cada cenário.

Tendo em vista o mapeamento dos fluxos detalhado na Etapa 3, as cadeias utilizam-se de diferentes tipos de transporte para a movimentação entre um elemento e outro. Além do transporte, cada etapa deste fluxo precisa ser analisada para o cálculo dos indicadores e, conseqüentemente, das medidas de desempenho propostas. No entanto, para facilitar o entendimento, este passo do procedimento será dividido e apresentado por Etapas da Cadeia.

Etapa: Transporte Coleta

A primeira etapa refere-se aos indicadores de transporte da coleta e, portanto, a distância percorrida por viagem deve ser calculada. A distância percorrida pelo veículo até o seu destino pode ser obtida por meio da marcação da quilometragem de saída e de chegada do veículo e, posteriormente, a diferença entre elas. No Cenário 1.1, de acordo com Silva (2017), para a coleta de óleo residual, são percorridos 1.344 km/mês entre a sede da Cooperativa e residências e estabelecimentos comerciais do município de Volta Redonda. Esta mesma distância será considerada para os Cenários 2.1. Já o Cenário 3.1, como corresponde a duas Cooperativas, os dados serão sempre dobrados. Desta forma, como a quantidade de coleta será maior, o número de viagens e a distância percorrida na coleta também será maior.

Para os Cenários 1.2 e 1.3, que destinam para o Aterro Sanitário e Rio Paraíba do Sul, respectivamente, o transporte utilizado é o dutoviário. Desta forma, as emissões de gases e energia serão desconsideradas. Assim, não é necessário definir a distância percorrida para a coleta do resíduo, uma vez que este é escoado diretamente na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) e afluente.

Além do indicador de distância, as emissões de gases de efeito estufa, gases poluentes locais, consumo de energia e quantidade de colaboradores envolvidos devem ser conhecidos. De acordo com o Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2013), cada categoria de veículo possui os seus respectivos fatores de emissão de gases, conforme Tabela 6.4.

Tabela 6.4: Fatores de emissões e consumo de energia em veículos de carga.

Categoria	Motor	Fator de emissão CO2 kg/litro **	Consumo litro/100km ***	Fator de emissão CO2 kg/km	Fatores de emissão					Conteúdo energético MJ/litro ****	Energia consumida MJ/km
					NOx g/km	NMHC g/km	CO g/km	MP g/km	Fator médio g/km		
Comerciais leves	Otto / GNV *	1,999	7,1	0,1419	0,2900	0,0260	0,5600	0,0000	0,2487	36,85	2,616
Comerciais leves	Diesel	2,603	9,5	0,2473	1,4900	0,1070	0,4840	0,0320	0,9092	36,90	3,506
Caminhões semileves (PBT > 3,5 t. < 6 t.)	Diesel	2,603	11,0	0,2863	0,5110	0,0040	0,0040	0,0030	0,2831	36,90	4,059
Caminhões leves (PBT ≥ 6t. < 10 t.)	Diesel	2,603	18,0	0,4685	0,7710	0,0270	0,1200	0,0070	0,4465	36,90	6,642
Caminhões semipesados (PBT ≥ 15 t.; PBTC < 40 t.)	Diesel	2,603	29,0	0,7549	1,6450	0,0360	0,2750	0,0160	0,9550	36,90	10,701
Caminhões pesados (PBT ≥ 15 t.; PBTC ≥ 40 t.)	Diesel	2,603	29,0	0,7549	1,5440	0,0110	0,1110	0,0140	0,8721	36,90	10,701
					55,1%	3,9%	15,7%	25,3%			

* Dado da categoria automóvel.

** No caso do motor Otto/GNV, a unidade é kg/m³.

*** No caso do motor Otto/GNV, a unidade é m³/100km e Fonte para consumo motor Otto/GNV: <http://usegnv.com.br/simulador-gnv/>

**** Fonte: COPPE/UFRJ (2011);

Obs.: Pesos para o cálculo do fator médio de emissão de gases poluentes de acordo com Schettino (2005)

Fonte: MMA (2013)

No Cenário 1.1, os dados de emissão de dióxido de carbono (CO₂), gases poluentes locais (NO_x, NMHC, CO e MP) e energia consumida podem ser obtidos a partir da relação entre a distância percorrida pelo transporte na coleta e os fatores dos gases e energia. O veículo utilizado pela Cooperativa para a coleta de óleo é do tipo comercial leve movido à GNV. Este combustível tem como gás poluente, o CO₂. Os dados associados a GNV foram obtidos por meio do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (2013). Para a coleta de óleo, a cadeia envolve dois colaboradores: o motorista e o ajudante. O cálculo para os Cenários 2.1 e 3.1 para este indicador será similar ao cálculo anterior.

Nos fluxos que destinam para o Aterro Sanitário e Rio Paraíba do Sul, por utilizarem o transporte dutoviário, que é encapsulado, não emite gases poluentes e o seu funcionamento se dá por gravidade. Desta forma, não há consumo de energia e tampouco o envolvimento de colaboradores. Estes dados serão aplicados nestes fluxos de todos os demais cenários.

Outro indicador a ser calculado na etapa da coleta é o custo de transporte por mês em cada fluxo e em cada cenário. Nos Cenários 1.1, 2.1 e 3.1, estes dados podem ser obtidos com base na relação entre a distância percorrida por mês e os custos fixos e variáveis do transporte utilizado na cadeia, conforme Tabela 6.5. Para os fluxos que utilizam o duto, embora o transporte seja subterrâneo, ele recebe manutenções periódicas e, por este motivo, o custo do duto por mês é diretamente proporcional ao seu custo de manutenção.

De acordo com Barbosa (2017), são abertas no mês 42 ordens de serviço nos dutos que ligam a uma ETE Gil Portugal. Destas 42 OS, 15 referem-se a entupimentos provocados pelo óleo. O custo de manutenção envolve funcionários, custo do veículo para transportá-los e material, o que soma em média R\$ 500,00/manutenção. Logo, o custo do transporte dutoviário por mês é resultado da relação entre a quantidade de OS provocadas pelo óleo e o custo de manutenção. Como os dados do Cenário 1.2 correspondem a duas ETEs Gil Portugal, o custo será equivalente a duas Estações. Nos Cenários 2.2 e 3.2, o custo foi estimado para três ETEs Gil Portugal.

Tabela 6.5: Custos fixos e variáveis por combustível e categoria de veículo no ano 2015

Tipo de custo	Unidade	Item de custo	Custo mensal					
			comercial leve	comercial leve	caminhão semileve	caminhão leve	caminhão semipesado	caminhão pesado
Fixo	R\$/veículo	Depreciação	701,41	701,41	719,63	791,16	1396,05	1764,19
Fixo	R\$/veículo	Remuneração do Capital	341,91	341,91	500,39	603,22	1008,15	1229,54
Fixo	R\$/veículo	Licenciamento	133,70	133,70	199,50	241,45	362,73	490,26
Fixo	R\$/veículo	Seguros	456,91	456,91	552,21	671,54	759,12	929,55
Fixo	R\$/veículo	Salário do motorista (com encargos)	3251,60	3251,60	4187,11	4187,11	4187,11	4187,11
Fixo	R\$/veículo	Ajudante (com encargos)	1054,11	1054,11	1054,11	1054,11	1054,11	1054,11
Variável	R\$/km	Manutenção *	0,1919	0,1371	0,1985	0,2138	0,2064	0,1704
Variável	R\$/km	Pneus	0,0257	0,0257	0,0663	0,0823	0,1559	0,1101
Variável	R\$/km	Combustível	0,1465	0,3990	0,4254	0,4830	0,7142	0,9374
Variável	R\$/km	Arla 32	0,0000	0,0000	0,0000	0,0170	0,0223	0,0580
Variável	R\$/km	Óleo de Carter	0,0112	0,0112	0,0083	0,0086	0,0113	0,0172
Variável	R\$/km	Lavagens e Graxas	0,0969	0,0969	0,0860	0,1147	0,1056	0,0940
Fixo	R\$/veículo	Total	5939,64	5939,64	7212,95	7548,59	8767,27	9654,76
Variável	R\$/km	Total	0,472	0,670	0,785	0,919	1,216	1,387
Combustível			GNV	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel

*Fonte para comercial leve GNV: CONCEIÇÃO (2006); Guia do TRC (2015); Guia trabalhista (2015); RLV Soluções (2012)

Conforme já supracitado, o município de Volta Redonda possui uma população estimada em 265.201 habitantes. Uma ETE atende 28.901 habitantes. Logo, para atender toda a demanda populacional, seriam necessárias 10 ETEs do porte da Gil Portugal. Duas ETEs já estão sendo consideradas no Cenário 1.2, no entanto, sobraram oito ETEs. Desta forma, o custo de transporte no fluxo que destina óleo residual para o Rio Paraíba do Sul (Cenário 1.3) será calculado a partir da relação entre a quantidade de OS provocadas pelo óleo residual, o custo de manutenção de um duto para uma ETE e a quantidade de ETEs não consideradas no cálculo do Cenário anterior, a saber, oito ETEs.

O mesmo raciocínio foi utilizado para calcular o custo de transporte neste mesmo fluxo, porém nos Cenários 2.3 e 3.3. Como os Cenários 2.2 e 3.2 consideraram 3 ETEs para o cálculo do custo, os Cenários referentes aos fluxos de destinação para o Rio Paraíba do Sul considerará a quantidade de ETEs restantes, neste caso, sete Estações de Tratamento.

Etapa: Operação

Realizado o transporte para a coleta dos resíduos, a próxima Etapa da cadeia a ser analisada é a Operação. Neste sentido, serão considerados os indicadores de consumo de energia, número de colaboradores envolvidos no elemento intermediário e em cooperativas, caso exista. Com a obtenção destes dados, tem-se o custo operacional por mês de cada fluxo e Cenário.

No Cenário 1.1, de acordo com Silva (2017), o consumo de energia/mês da operação gira em torno de R\$ 400,00 equivalente a 571,10 kwh. Este dado foi convertido para MegaJoule, unidade adotada para os cálculos das medidas. Dentre os colaboradores envolvidos na operação da Cooperativa encontram-se dez: 1 secretária, 4 operadores, 4 estagiários e 1 dono. Neste sentido, o custo de operação do Cenário 1.1 refere-se a quantidade de colaboradores envolvidos, além dos custos administrativos, aluguel do espaço, impostos, energia elétrica, conforme Tabela 6.6. Neste cenário, não há o envolvimento de Cooperativas. Toda a quantidade de resíduo coletada e entregue à fábrica de biodiesel vem de doações de residências e de estabelecimentos comerciais.

Quando há a necessidade de completar a quantidade de óleo residual solicitada por uma empresa cliente, a empresa coletora do óleo firma parcerias com outras Cooperativas. São necessárias no mínimo 20 pessoas para que uma Cooperativa seja formada (SILVA, 2017). Logo, esta parceria está totalmente associada a quantidade de óleo destinada à unidade de fabricação de biodiesel. Conforme discriminado na Etapa anterior, pela

quantidade de óleo entregue, os Cenários 2.1 e 3.1 terão o envolvimento de três e quatro Cooperativas. Logo, serão 60 e 80 colaboradores de Cooperativas envolvidos neste Cenário, respectivamente. O óleo residual oriundo de outras Cooperativas não é doado. De acordo com Silva (2017), é pago R\$ 0,50/kg. Cada Cooperativa fornece em média 5 mil kg. Desta forma, como foram entregues à fábrica de biodiesel 15 mil kg de óleo a mais em relação ao Cenário anterior, entende-se que o óleo foi adquirido a partir de três Cooperativas, somando um custo de R\$ 7.500,00. Neste sentido, o custo de operação por mês do Cenário 2.1 será o custo do Cenário 1.1 acrescido do valor de aquisição do óleo.

Como o Cenário 3.1 corresponde a duas empresas beneficentes do óleo, tanto o consumo de energia quanto o número de colaboradores envolvidos serão dobrados. O custo operacional deste Cenário será o dobro do custo operacional do Cenário 1.1 acrescido do valor de aquisição do óleo a partir de quatro Cooperativas.

Nos Cenários 1.2, 2.2 e 3.2, após o esgoto ser transportado pelo duto até à ETE, ele passa por um processo de gradeamento para reter os materiais grossos e, em seguida, é movimentado até à estação elevatória onde é bombeado para o sistema de tratamento. Logo, há um consumo de energia associado à bomba. Porém, este consumo não se dá apenas pela existência do óleo, pois o esgoto é composto também por outros resíduos. Mesmo que a quantidade de óleo no duto fosse nula, ainda assim a ETE permaneceria com todo este processo. Por este motivo, não foi considerado nenhum consumo de energia na etapa de operação, uma vez que a análise tem como foco os indicadores que envolvem o óleo residual de fritura.

Para a quantidade de colaboradores na operação, segue-se a mesma lógica. Considerou-se apenas dois ajudantes no Cenário 1.2 e três colaboradores nos Cenários 2.2 e 3.2. Estes colaboradores são responsáveis por monitorar o enchimento dos tanques de areia e gordura no processo de desarenação. Como não há cooperativas nesta cadeia, os números de colaboradores em Cooperativas foram desconsiderados. Pelo fato da operação desta cadeia estar associada apenas ao ajudante, o custo mensal da operação refere-se aos salários destes ajudantes. O salário foi baseado no valor mínimo somado aos encargos sociais e trabalhistas (GUIA TRABALHISTA, 2005). Para os Cenários 1.3, 2.3 e 3.3 nenhum dado se aplica à etapa de operação.

Tabela 6.6: Custo operacional na Cooperativa dos Coletores de Resíduos – Ecoóleo.

Atividades	Recursos	Custos	Observações
Programação de veículos	Mão de obra de quatro Estagiários	R\$ 208,00	10% do total da bolsa auxílio de 4hs (R\$2.080,00).
Manuseio de material	Mão de obra dos quatro operadores	R\$ 632,46	15% do custo mensal com quatro operadores (R\$4.216,44).
Armazenagem	Local de armazenagem de matéria-prima	R\$ 420,00	35% do custo mensal com aluguel (R\$1.200,00).
Controle de estoque	Mão de obra de quatro Estagiários	R\$ 1.664,00	80% do total da bolsa auxílio de 4hs (R\$2.080,00).
Operação de equipamentos	Mão de obra de quatro operadores	R\$ 2.951,50	70% do custo mensal com quatro operadores (R\$4.216,44).
Trabalho de máquina	Água + Energia elétrica + Produtos de limpeza + Gás de cozinha	R\$ 524,00	Valor referente ao consumo de água (R\$55,00) + energia (R\$400,00) + produtos de limpeza (R\$20,00) + gás de cozinha (R\$49,00).
Outros processos para realização da produção	Local de operação	R\$ 360,00	30% do custo mensal com aluguel (R\$1.200,00).
Armazenagem	Local de armazenagem de produto acabado	R\$ 420,00	35% do custo mensal com aluguel (R\$1.200,00).
Processamento de pedidos feitos pelos clientes	Mão de obra da Secretária	R\$ 36,91	3% do custo mensal com a secretária (R\$1.230,19).
Programação de veículos	Mão de obra da Secretária	R\$ 24,60	2% do custo mensal com a secretária (R\$1.230,19).
Manuseio de produtos	Mão de obra de quatro operadores	R\$ 632,46	15% do custo mensal com quatro operadores (R\$4.216,44).
Propaganda	Mão de obra da Secretária + Telefone + Internet	R\$ 1.045,66	85% do custo mensal com a secretária (R\$1.230,19) + valor referente ao consumo de telefone (R\$179,50) + Internet (R\$90,00).
Atendimento a geradores do resíduo	Mão de obra da Secretária e dos quatro Estagiários	R\$ 331,00	10% do custo mensal com a secretária (R\$1.230,19) + 10% do total da bolsa auxílio de 4hs (R\$2.080,00).
Compra de insumos e de matérias-primas	Verba de aquisição	R\$ 0,00	A empresa não adquiriu nenhuma quantidade de óleo residual de terceiros
Finanças	Verba para pagamento de impostos	R\$ 1.427,82	Pagamento de impostos em um valor estimado de 4% sobre o faturamento mensal de R\$35.695,40.
Contabilidade	Serviço de contabilidade	R\$ 508,30	Valor referente à despesa com honorário de contabilidade.
Custo mensal		R\$ 11.186,71	

Fonte: Elaboração Própria

Etapa: Transporte Entrega

Após a coleta dos resíduos e o seu processamento, a próxima etapa da cadeia a ser considerada é o transporte de entrega ao destino final. Foi definido na Etapa 6 do procedimento proposto que, no Cenário 1.1, a Cooperativa entregaria à fábrica de biodiesel a quantidade de 10.800kg de óleo. O veículo utilizado para o transporte na entrega é um caminhão semipesado, com capacidade de 15 toneladas, movido a óleo diesel. Desta forma, será necessária apenas uma viagem até o destino. Como a quantidade entregue nos Cenários 2.1 e 3.1 aumentaram, o número de viagens e distância percorrida também aumentarão em ambos os Cenários.

O transporte de entrega do Cenário 1.2 está associado ao transporte que movimenta o óleo até o aterro sanitário. O transporte considerado neste caso é um caminhão semileve do tipo SewerJet, com capacidade de até 6 toneladas e movido a óleo diesel. Neste Cenário, a ETE entregará ao aterro sanitário a quantidade de 16.800 kg de óleo, conforme elucidado na Etapa 6. Logo, serão necessárias 3 viagens do caminhão ao aterro, o que definirá a distância percorrida, ida e volta, pelo veículo no período de um mês. Os Cenários 2.2 e 3.2 apresentarão valores de distâncias percorridas diferentes conforme a quantidade de entregas e número de viagens a serem realizadas.

Os dados de emissões de gases de efeito estufa (CO₂), poluentes locais e consumo de energia (Tabela 6.4) por mês foram calculados com base na distância percorrida entre o elemento intermediário e o destino final de acordo com os dados de cada fluxo e cenário.

Em relação ao número de colaboradores envolvidos no transporte de entrega considerou-se dois: o motorista e o ajudante, tanto para os fluxos que envolvem o destino para fábrica de biodiesel quanto para aqueles que destinam para o aterro sanitário.

Nos Cenário 1.1, 1.2 e 1.3, a entrega do resíduo é feita por uma empresa terceirizada que cobra um frete de R\$ 350,00/viagem, independente da distância e quantidade transportada. Logo, os valores serão de acordo com a quantidade de viagens realizadas.

Nos Cenários 2.1, 2.2 e 2.3, o cálculo do custo de transporte terá como resultado a relação entre a distância percorrida no período e os custos fixo e variável do veículo (Tabela 6.5). Já para os Cenários 1.3, 2.3 e 3.3, estes indicadores não se aplicam pelo fato do resíduo ser transportado por duto e escoado diretamente para o afluente.

Em relação ao indicador Custo de disposição final por mês, o único fluxo a que ele se aplica é do destino ao aterro sanitário. Os demais não possuem custos, pois um é destinado à fábrica de biodiesel e o outro ao afluyente. Logo, em relação aos Cenários 1.2, 2.2 e 3.2, o cálculo foi baseado no custo e na quantidade de descarte no aterro sanitário por mês. O custo de um descarte no aterro é de R\$ 5.665,20. O custo de disposição será este valor relacionado a quantidade de descartes no mês. Por fim, a quantidade de óleo descartado em afluentes por mês só se aplica aos Cenários 1.3, 2.3 e 3.3. Esta quantidade será a mesma definida na Etapa 6 do procedimento, a saber: 48.400, 25.800 e 10.800, respectivamente.

Com base nos dados expostos, têm-se os dados dos indicadores de cada fluxo. Desta forma, serão calculados os indicadores totais por fluxo de destinação (Tabela 6.7). A emissão total de CO₂ e gases poluentes locais será resultante da soma das emissões nas Etapas de transporte na coleta e entrega. O consumo total de energia resultará do consumo nas três Etapas da cadeia: transporte na coleta, operação e transporte na entrega. Neste sentido, todos os dados da Tabela 6.7 foram agrupados e apresentados na Tabela 6.8.

Em relação a receita na venda do óleo residual, este indicador se aplicará somente ao fluxo de destinação para unidade de produção de biodiesel. O custo de venda do óleo residual é de R\$ 0,80/kg (SILVA, 2017). A receita será a relação do custo por kg pela quantidade vendida e/ou entregue. Para os demais fluxos, este indicador não se aplica, uma vez que o resíduo não é comercializado.

A partir destes, os indicadores devem ser agrupados por cenário. Os dados agrupados serão utilizados para o cálculo das medidas de desempenho de cada cenário, conforme Tabela 6.8.

Tabela 6.7: Cálculos dos indicadores de desempenho em cada estágio da cadeia de suprimento.

Cenários		Cenário 1			Cenário 2			Cenário 3		
Etapas da cadeia	Indicadores	Destino (1)	Destino (2)	Destino (3)	Destino (1)	Destino (2)	Destino (3)	Destino (1)	Destino (2)	Destino (3)
		Fábrica de biodiesel	Aterro sanitário	Rio Paraíba do Sul	Fábrica de biodiesel	Aterro sanitário	Rio Paraíba do Sul	Fábrica de biodiesel	Aterro sanitário	Rio Paraíba do Sul
Transporte (coleta)	Número de viagens por mês (unidades)	1	(-)	(-)	1	(-)	(-)	2	(-)	(-)
	Distância percorrida por viagem - ida e volta (km)	1.344	(-)	(-)	1.344	(-)	(-)	1.344	(-)	(-)
	Distância percorrida por mês (km)	1344	(-)	(-)	1344	(-)	(-)	2.688	(-)	(-)
	Emissão de CO2 por mês (kg)	191	(-)	(-)	191	(-)	(-)	382	(-)	(-)
	Emissão de poluentes locais por mês (g)	334	(-)	(-)	334	(-)	(-)	669	(-)	(-)
	Consumo de energia por mês (MJ)	3.516	(-)	(-)	3.516	(-)	(-)	7.033	(-)	(-)
	Número de colaboradores envolvidos (unidades)	2	(-)	(-)	2	(-)	(-)	4	(-)	(-)
Custo de transporte por mês (R\$)	6.574	15.000	60.000	6.574	22.500	52.500	7.209	22.500	52.500	
Operação	Consumo de energia por mês (MJ)	2.056	(-)	(-)	2.056	(-)	(-)	4.112	(-)	(-)
	Número de colaboradores envolvidos (unidades)	8	2	(-)	8	3	(-)	16	3	(-)
	Número de colaboradores em cooperativas (unidades)	0	0	(-)	60	0	(-)	80	0	(-)
	Custo de operação por mês (R\$)	11.187	2.108	(-)	18.687	3.162	(-)	32.374	3.162	(-)
Transporte (entrega)	Número de viagens por mês (unidades)	1	3	(-)	2	5	(-)	3	5	(-)
	Distância percorrida por viagem - ida e volta (km)	85	66	(-)	85	66	(-)	85	66	(-)
	Distância percorrida por mês (km)	85	198	(-)	170	330	(-)	255	330	(-)
	Emissão de CO2 por mês (kg)	64	57	(-)	128	94	(-)	192	94	(-)
	Emissão de poluentes locais por mês (g)	81	56	(-)	162	93	(-)	244	93	(-)
	Consumo de energia por mês (MJ)	910	804	(-)	1.819	1.339	(-)	2.729	1.339	(-)
	Número de colaboradores envolvidos (unidades)	2	2	(-)	2	2	(-)	2	2	(-)
	Custo de transporte por mês (R\$)	350	7.368	(-)	700	7.472	(-)	1.050	7.472	(-)
	Custo de disposição final por mês (R\$)	(-)	16.996	(-)	(-)	28.326	(-)	(-)	28.326	(-)
	Quantidade de óleo descartado em afluentes por mês (kg)	(-)	(-)	48.400	(-)	(-)	25.800	(-)	(-)	10.800

O transporte de coleta do esgoto é o dutoviário e o transporte referente a entrega para o aterro sanitário é o caminhão semileve a diesel.

O transporte de coleta nas residências e estabelecimentos comerciais, a partir da Ecoóleo, é o rodoviário, comercial leve a GNV.

O transporte de entrega para a fábrica de biodiesel é um caminhão semipesado a diesel.

(-) não se aplica

Tabela 6.8: Cálculos dos indicadores de desempenho dos cenários conforme destino do óleo residual de fritura.

Cenários	Cenário 1				Cenário 2				Cenário 3			
	Destino (1)	Destino (2)	Destino (3)	Total	Destino (1)	Destino (2)	Destino (3)	Total	Destino (1)	Destino (2)	Destino (3)	Total
Indicadores	Fábrica de biodiesel	Aterro sanitário	Rio Paraíba do Sul		Fábrica de biodiesel	Aterro sanitário	Rio Paraíba do Sul		Fábrica de biodiesel	Aterro sanitário	Rio Paraíba do Sul	
A: Emissão de CO2 por mês (kg)	255	57	(-)	312	319	94	(-)	414	574	94	(-)	668
B: Emissão de poluentes locais por mês (g)	415	56	(-)	472	497	93	(-)	590	912	93	(-)	1.006
C: Consumo de energia por mês (MJ)	6.482	804	(-)	7.286	7.392	1.339	(-)	8.731	13.873	1.339	(-)	15.213
D: Número de colaboradores total (unidades)	12	4	(-)	16	72	5	(-)	77	102	5	(-)	107
E: Custo total de transporte por mês (R\$)	6.924	22.368	60.000	89.293	7.274	29.972	52.500	89.746	8.259	29.972	52.500	90.731
F: Custo total de operação por mês (R\$)	11.187	2.108	(-)	13.295	18.687	3.162	(-)	21.849	32.374	3.162	(-)	35.536
G: Custo de disposição final por mês (R\$)	(-)	16.996	(-)	16.996	(-)	28.326	(-)	28.326	(-)	28.326	(-)	28.326
H: Receita na venda do óleo por mês (R\$)	8.640	(-)	(-)	8.640	20.000	(-)	(-)	20.000	32.000	(-)	(-)	32.000
I: Quantidade de óleo descartado em afluentes por mês (kg)	(-)	(-)	48.400	48.400	(-)	(-)	25.800	25.800	(-)	(-)	10.800	10.800
J: Quantidade de óleo disposto ou entregue por mês (kg)	10.800	16.800	48.400	76.000	25.000	25.200	25.800	76.000	40.000	25.200	10.800	76.000

A Tabela 6.8 dá origem a Tabela 6.9 formada por um conjunto de medidas com os respectivos resultados totais de cada indicador e Cenário. As medidas de desempenho foram divididas em nove, conforme seu grau de importância e conforme os aspectos de sustentabilidade socioambientais e econômico-financeiros.

Tabela 6.9: Cálculos das medidas de desempenho dos cenários conforme destino do óleo residual de fritura.

Medidas	Cenário (1)	Cenário (2)	Cenário (3)
$M1 = J \text{ (kg)} / I \text{ (kg)}$	2	3	7
$M2 = D \text{ (unidade)} / J \text{ (10.000kg)}$	2	10	14
$M3 = H \text{ (1.000 R\$/mês)}$	9	20	32
$M4 = J \text{ (kg)} / A \text{ (kgCO}_2\text{)}$	244	184	114
$M5 = J \text{ (kg)} / B \text{ (g)}$	161	129	76
$M6 = J \text{ (kg)} / C \text{ (MJ)}$	10	9	5
$M7 = J \text{ (kg)} / E \text{ (R\%)}$	1	1	1
$M8 = J \text{ (kg)} / F \text{ (R\%)}$	6	3	2
$M9 = J \text{ (kg)} / G \text{ (R\%)}$	4	3	3

Conforme Tabela 6.9, M1: Poluição no Rio, M2: Número de colaboradores envolvidos, M3: Receita, M4: Emissão de CO₂ por mês, M5: Emissão de poluentes locais por mês, M6: Consumo de energia por mês, M7: Custo total de transporte por mês, M8: Custo de operação por mês e M9: Custo de disposição final por mês.

6.8. Etapa (8) – Normalização das medidas, conclusão e análise de sensibilidade

Para a normalização de cada uma das medidas, utilizou-se a Equação (5.1) citada no Capítulo 5 da Análise Relacional Grey, se quanto maior a medida melhor o desempenho. As medidas normalizadas são apresentadas conforme Tabela 6.10. A partir da referida Tabela 6.10, foi possível traçar o gráfico exposto por meio da Figura 6.6.

Tabela 6.10: Medidas normalizadas.

Medidas	Cenário (1)	Cenário (2)	Cenário (3)
$M1 = J \text{ (kg)} / I \text{ (kg)}$	0,00	0,25	1,00
$M2 = D \text{ (unidade)} / J \text{ (10.000kg)}$	0,00	0,67	1,00
$M3 = H \text{ (1.000 R\$/mês)}$	0,00	0,49	1,00
$M4 = J \text{ (kg)} / A \text{ (kgCO}_2\text{)}$	1,00	0,54	0,00

$M5 = J \text{ (kg)} / B \text{ (g)}$	1,00	0,62	0,00
$M6 = J \text{ (kg)} / C \text{ (MJ)}$	1,00	0,68	0,00
$M7 = J \text{ (kg)} / E \text{ (R\$)}$	1,00	0,68	0,00
$M8 = J \text{ (kg)} / F \text{ (R\$)}$	1,00	0,37	0,00
$M9 = J \text{ (kg)} / G \text{ (R\$)}$	1,00	0,00	0,00
Média	0,67	0,48	0,33

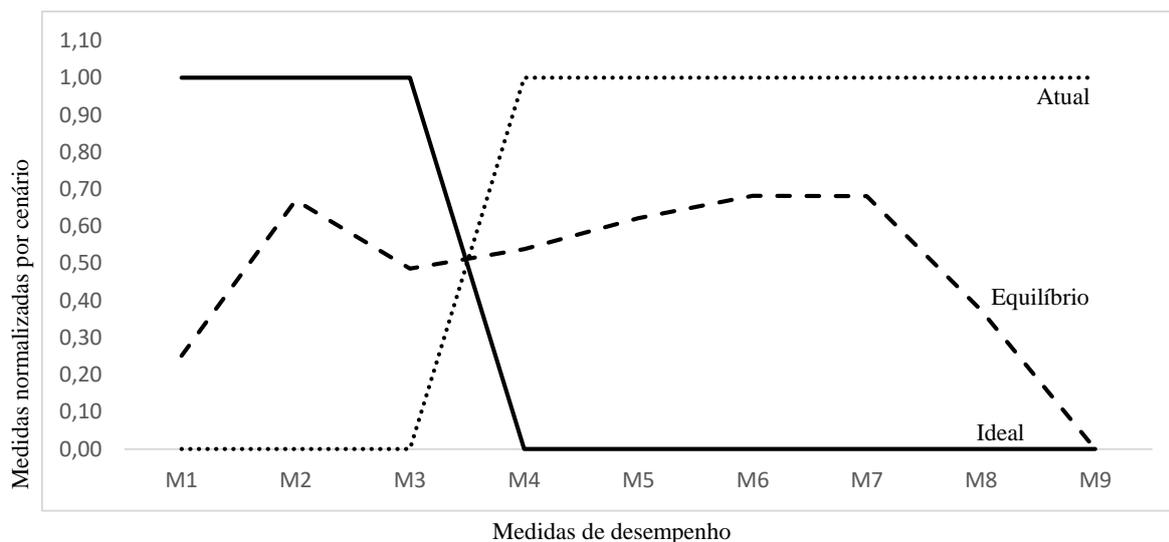


Figura 6.6: Medidas de desempenho por aspecto de sustentabilidade e por cenário.

Partindo-se da Equação (5.1), se quanto maior a medida melhor o desempenho, conclui-se que em relação as medidas M1: Poluição no Rio, M2: Número de colaboradores envolvidos e M3: Receita, o Cenário Ideal apresenta o melhor desempenho.

Em termos de poluição do rio, este resultado faz sentido, uma vez que o Cenário Ideal representa aquele em que a maior destinação final do óleo residual de fritura é a unidade de fabricação de biodiesel e a menor quantidade é destinada para o afluente.

Em relação a empregabilidade, o Cenário Ideal é o que possui o maior número de colaboradores envolvidos, pois para destinar um alto volume de resíduos à fábrica de biodiesel é necessário o envolvimento tanto de colaboradores quanto de cooperativas na empresa coletora do óleo.

Já em termos de receita, este também é o Cenário com maior desempenho, pois é o único que contempla receita, uma vez que o óleo residual é comercializado para a fábrica de biodiesel.

Em relação as medidas M4 a M9, o Cenário Atual, representado pela maior quantidade de descarte no afluente, é o que possui o melhor desempenho. Este resultado se justifica porque o transporte utilizado pelo fluxo que destina ao afluente é o dutoviário. Este tipo de transporte, como já explanado nas Etapas anteriores, não possui emissões de gases de efeito estufa e poluentes, não gera consumo de energia e o único custo associado a ele é o de manutenção. Logo, considerando apenas estes dados, o Cenário se destaca em termos de desempenho associado a estas medidas.

A partir das medidas supracitadas, extrai-se uma média ponderada das medidas normalizadas em cada cenário, conforme Tabela 6.11. São atribuídos pesos a cada medida com a finalidade de facilitar a análise e a comparação do desempenho de cada cenário. As medidas M4 a M9, por apresentarem baixo desempenho, tiveram seus pesos fixados em 1.

Tabela 6.11: Médias ponderadas das medidas normalizadas em cada cenário.

Peso M1, M2 e M3	Cenário (1)	Cenário (2)	Cenário (3)
0	1,00	0,48	0,00
1	0,67	0,48	0,33
2	0,50	0,48	0,50
3	0,40	0,47	0,60
4	0,33	0,47	0,67
5	0,29	0,47	0,71
6	0,25	0,47	0,75
7	0,22	0,47	0,78
8	0,20	0,47	0,80
9	0,18	0,47	0,82
10	0,17	0,47	0,83

*Pesos das medidas M4 a M9 fixas em 1.

6.9. Etapa (9) - Sensibilidade

A partir dos valores de cada Cenário, oriundos das variações de pesos, apresenta-se a Figura 6.7.

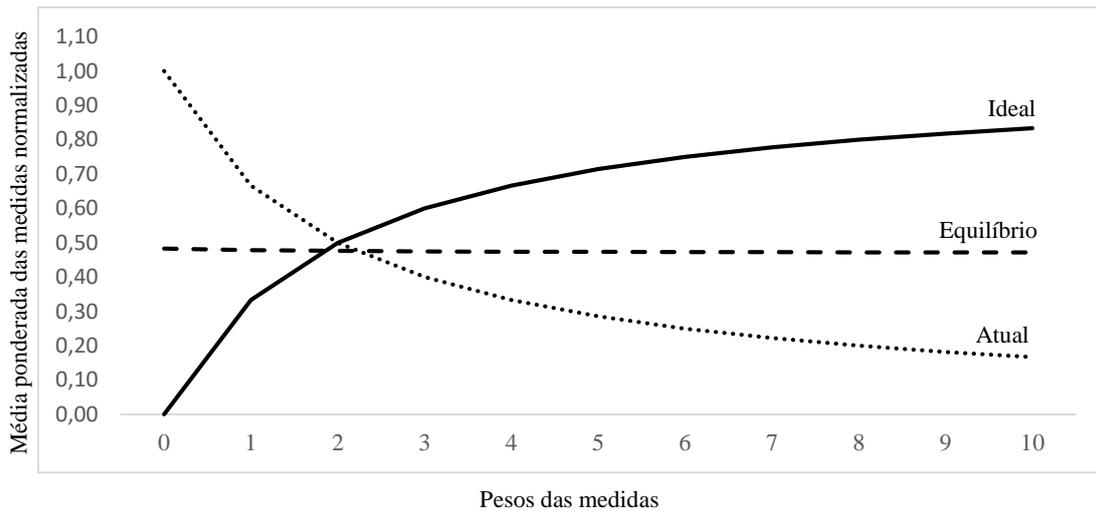


Figura 6.7: Desempenho dos cenários de acordo com a atribuição de peso das medidas. Portanto, a partir da Figura 6.7, constata-se que, quando não há nenhuma atribuição de peso para as medidas M1, M2 e M3, o Cenário com o melhor desempenho é o Cenário atual, em que a maior quantidade de resíduo é descartada no afluente, conforme demonstrou a Figura 6.6 da Etapa anterior.

Quando o $P = 1$, diminui-se bastante a diferença de desempenho entre os Cenários. No entanto, o Cenário atual continua melhor em relação aos demais.

Quando a atribuição do peso é 2, os Cenários se encontram, mas, por uma ínfima diferença, o Cenário 2, referente ao equilíbrio entre as destinações, apresenta o menor desempenho.

No entanto, ao atribuir um grau de importância de peso 3 para as medidas M1, M2 e M3, os desempenhos são invertidos: o Cenário Ideal começa a apresentar o melhor desempenho. Vale lembrar que o Cenário Ideal é aquele em que a maior quantidade de resíduo descartado é destinada para a unidade de produção de biodiesel e a menor quantidade disposta no afluente.

Quanto mais peso for atribuído, maior é o desempenho do Cenário Ideal. Desta forma, conclui-se que, para uma tomada de decisão, se não há atribuições de pesos de importância para nenhuma medida de desempenho, o Cenário atual é o mais sustentável.

Contudo, quando se atribui maior importância para as medidas referentes a poluição do rio, número de colaboradores envolvidos e receita, o cenário ideal é o mais sustentável.

Embora no Cenário Ideal a segunda maior quantidade de resíduo seja descartada em aterro sanitário, que possui alto custo de destinação, ainda assim o custo não é tão relevante a ponto de se justificar o descarte no afluente.

6.10. Considerações finais do capítulo

O Capítulo 6 foi dedicado à aplicação do procedimento proposto no Capítulo anterior envolvendo três cadeias de destinação do óleo residual de fritura no município de Volta Redonda: (1) a primeira cadeia tem início com o descarte dos resíduos na rede de esgoto e destinação para o aterro sanitário, (2) a segunda cadeia trata da destinação do resíduo para uma unidade de produção de biodiesel e a (3) terceira cadeia trata da destinação final para o afluente.

Na Etapa 6 do procedimento, foram definidos três Cenários, cada um com três fluxos de destinação do resíduo, para que a análise ficasse mais assertiva e próxima à realidade. Os Cenários são: Atual, de Equilíbrio e Ideal. Como resultado do procedimento, identificou-se que, quando não há atribuições de pesos de importância para nenhuma medida de desempenho, o Cenário atual é o mais sustentável.

Porém, ao atribuir um grau de importância de peso 3 ou mais para as medidas M1, M2 e M3, o Cenário Ideal apresentou o melhor desempenho, sendo, neste sentido, o mais sustentável.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho permite visualizar como um procedimento metodológico pode auxiliar os gestores na análise comparativa de desempenho de duas ou mais cadeias de suprimento associadas à logística reversa. Além do viés de sustentabilidade, tanto o trabalho quanto o procedimento são inéditos, uma vez que, por mais que a abordagem dos temas associados a óleos residuais e biodiesel sejam triviais, a comparação destas três cadeias ainda não foi identificada na literatura, conforme já relatado. O procedimento foi proposto e aplicado, o que o valida para novas aplicações exclusivas para cadeias reservas.

A relevância deste trabalho se fortaleceu no último Capítulo quando o procedimento metodológico proposto foi aplicado em um caso envolvendo três cadeias reversas associadas ao óleo residual de fritura. O estudo realizado acerca dos fluxos de destinação que formam estas cadeias permite ressaltar algumas considerações que merecem atenção:

(1) Aterro Sanitário: de acordo com a pesquisa de campo realizada, o aterro sanitário possui 20 anos de vida útil. No entanto, a sua existência está relacionada a quantidade de resíduos que recebe diariamente. Desta forma, quanto mais resíduos for descartado no espaço, mais rápido ele esgotará a sua capacidade e encerrará a sua atividade naquele local. Uma vez utilizado para aterro sanitário, o terreno fica inutilizado, não servindo para nenhum outro fim. Neste sentido, outro terreno precisará ser ocupado para substituir o aterro anterior;

(2) Unidade de produção de biodiesel: embora a produção de biodiesel gere renda e maior empregabilidade, como foi possível identificar em todo o trabalho, este fluxo utiliza-se de forma relevante o transporte rodoviário, o que resulta em uma alta emissão de gases de efeito estufa e poluentes locais;

(3) Afluentes: embora o descarte em afluentes apresente menor custo referente a emissão de gases poluentes, consumo de energia e operação, descartar resíduos nos rios pode provocar altos impactos ambientais como falta de oxigenação aos peixes.

As três cadeias citadas foram distribuídas em três cenários: Atual, Equilíbrio e Ideal. (1) O Atual refere-se aquele em que a maior quantidade de óleo residual de fritura é descartada no afluente, seguida do descarte em aterro sanitário e, por último, destinação à uma unidade de produção do biodiesel. (2) O equilíbrio é o Cenário em que o volume de óleo disposto ou entregue nos três fluxos da cadeia é bem próximo um do outro. Já o (3) Cenário Ideal é aquele em que a maior quantidade de óleo residual de fritura é

destinada para uma unidade de produção de biodiesel; em segundo lugar, disposição em aterro sanitário e, por fim, descarte em afluente.

Logo, o desenvolvimento de cada Capítulo permitiu responder as duas inquietações que deram origem ao trabalho: (1) Qual destinação do óleo residual de fritura é mais sustentável: descartá-lo em esgoto sanitário ou transformá-lo em um novo produto? (2) Será que o processo para transformação em novos produtos não teria algum impacto negativo ao ambiente que o desabone?

Em relação a primeira pergunta, foi comprovado, por meio do Capítulo 6, que, se não houver atribuições de peso para nenhuma medida de desempenho, o Cenário atual é o mais sustentável. No entanto, ao atribuir um grau de importância de peso 3 ou mais para as medidas M1, M2 e M3, o Cenário Ideal apresenta o melhor desempenho sendo considerado o mais sustentável. Logo, a destinação mais sustentável ou assertiva, em caso de tomada de decisão, é definida com base na avaliação e definição de pesos para as medidas de desempenho.

Em relação a segunda pergunta do problema de pesquisa, identificou-se que o processo para transformação em um novo produto, neste caso o biodiesel, também apresenta impactos ambientais. Porém, é o que possui o maior número de colaboradores envolvidos gerando, desta forma, mais empregabilidade e é o único fluxo que gera receita e novas possibilidade de negócios, uma vez que o óleo residual é comercializado para a geração de biodiesel.

Portanto, com base nos expostos, o objetivo deste trabalho que era estudar e entender qual a destinação do óleo residual de fritura é mais sustentável, considerando os três cenários acima detalhados, foi alcançado. Neste sentido, a literatura e as pesquisas de campo realizadas, contribuíram para que os objetivos específicos também fossem atendidos, principalmente em relação aos itens de custo dos processos e indicadores de sustentabilidade. Como foi estudado um caso específico, alguns dados não estão disponíveis na literatura. Desta forma, a pesquisa de campo contribuiu para tornar assertiva a análise.

No entanto, algumas limitações também podem ser encontradas. Para que o procedimento proposto seja aplicado com assertividade, é necessário que o tomador de decisão faça um estudo aprofundado de todas as cadeias que se quer analisar. O estudo permitirá selecionar os indicadores e medidas mais relevantes para o cenário estudado bem como selecionar

as fontes para coleta de dados. Sem estas informações detalhadas, o procedimento pode não apresentar resultados assertivos. Neste sentido, a outra limitação seria o tempo para realizar a análise e chegar ao resultado. O estudo demanda tempo, pois muitos dados podem não estar disponíveis. Logo, mais de uma técnica de pesquisa poderá ser necessária para que as informações tornem-se conhecidas.

A análise delimitou-se a considerar os impactos associados aos indicadores e medidas discriminados na Tabela 6.2. No entanto, há outros impactos que poderão ser considerados em próximas análises.

O trabalho se propôs a estudar sobre a destinação do óleo residual de fritura associada a sua transformação em biodiesel. Para novos estudos sugere-se (1) aplicar o procedimento metodológico para outras cadeias reversas, inclusive, para outros produtos oriundos do próprio óleo residual.

O fluxo da cadeia de suprimento considerado neste estudo tem início no gerador do resíduo até a sua entrega na ‘porta’ do destino final. Desta forma, para outras pesquisas propõe-se inserir no estudo os impactos sustentáveis que ocorrem nos destinos finais, a saber: aterro sanitário, afluente e unidade de produção de biodiesel. Se os fluxos e a forma de manuseio dos resíduos nestes destinos forem considerados, a análise pode apresentar outros resultados.

Assim como a gordura, o lodo também é um resíduo resultante a partir de um processo de Tratamento de Esgoto e pode ser transformado em biodiesel. Segundo Kwon *et al.* (2012), a produção de biodiesel utilizando os lipídios extraídos de lamas de esgoto poderia ser economicamente viável devido ao alto rendimento de petróleo e ao baixo custo dessa matéria-prima em comparação com as matérias-primas convencionais de biodiesel. Logo, sugere-se realizar uma análise comparativa sobre a destinação do lodo a partir das alternativas de aterro sanitário e transformação em biodiesel.

Outras proposições seriam: estudar outras tecnologias de transformação do óleo residual de fritura em biodiesel sem gerar tantos impactos ambientais oriundos de gases CO₂ e de poluentes locais; aplicar o procedimento estudando a mesma cadeia em outros municípios para efeitos de comparação, uma vez que a aplicação deste estudo foi delimitada ao município de Volta Redonda. Logo, como a análise depende de dados, cada município pode apresentar um comportamento diferente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIOVE. Mercado de óleos vegetais no Brasil. In.: Congresso de Óleos e Gorduras. São Paulo, 2016
- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. São Paulo, 2014.
- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. São Paulo, 2015.
- ABREU, Luiz Cláudio Monteiro. Informações a respeito do funcionamento da Estação de Tratamento de Esgoto – ETE. Supervisão Técnica da ETE. Volta Redonda – RJ, 2017.
- ABU-SULEIMAN, Amr; BOARDMAN, Bonnie; PRIEST, John W. A framework for an integrated Supply Chain Performance Management System. In.: International Journal of Production Research, V.43, Issue: 15, Pages 3287-3296, 2005.
- ACRE. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. Plano estadual de gestão integrada de resíduos sólidos – Rio Branco: SEMA, 2012.
- AGAMI, Nedaa; SALEH, Mohamed; RASMY, Mohamed. Supply Chain Performance Measurement Approaches: Review and Classification. In.: Journal of Organizational Management Studies, vol. 2012, DOI: 10.5171/2012.872753, 2012.
- ALDAMAK, Abdullah; ZOLFAGHARI, Saeed. Review of efficiency ranking methods in data envelopment analysis. In.: Measurement, 106, 161–172, 2017.
- ALERJ. Política Estadual de Resíduos Sólidos do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/CONTLEI.NSF/b24a2da5a077847c032564f4005d4bf2/cf0ea9e43f8af64e83256db300647e83?OpenDocument>, 2003.
- ALES. Política Estadual de Resíduos Sólidos do Estado do Espírito Santo. Disponível em: http://www.al.es.gov.br/antigo_portal_ales/images/leis/html/LO9264.html, 2009.
- ALIGLERI, Lilian Mara; ALIGLERI, Luiz Antonio; CÂMARA, Marcia Regina Gabardo da. Responsabilidade Social na Cadeia Logística: uma Visão Integrada para o Incremento da Competitividade. In.: Encontro de estudos organizacionais, 2, Observatório da Realidade Organizacional: PROPAD/UFPE : ANPAD, Recife, 2002.

- ALRS. Política Estadual de Resíduos Sólidos do Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://www.al.rs.gov.br/filerepository/repLegis/arquivos/LEI%2014.528.pdf>, 2014.
- ALVES, Ana Paula Ferreira; NASCIMENTO, Luis Felipe Machado do. Green Supply Chain: protagonista ou coadjuvante no Brasil? In.: RAE - Revista de Administração de Empresas, V. 54, n. 5, 510-520. São Paulo: 2014.
- AMARAL, Daniel Furlan. Mercado de óleos vegetais no Brasil. In.: Congresso de óleos e gorduras, Campinas, SP, 2016.
- ANA. Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: resultados por estado / Agência Nacional de Águas; Engecorps/Cobrape. — Brasília: ANA: Engecorps/ Cobrape, 2010.
- APROBIO. Brasil recicla 30 milhões de litros de óleo de cozinha na produção de biodiesel. Disponível em: <http://aprobio.com.br/2017/01/10/brasil-recicla-30-milhoes-de-litros-de-oleo-de-cozinha-na-producao-de-biodiesel/> Acesso: junho, 2017.
- ARAUJO, Victor Kraemer Wermelinger Sancho; SILVIO, Hamacher; SCAVARDA, Luiz Felipe. Economic assessment of biodiesel production from waste frying oils. In.: Bioresource Technology, 101, 4415–4422, 2010.
- AVELLAR, José Virgílio Guedes de; MILIONI, Armando Zeferino; RABELLO, Tania Nunes. Modelos DEA com variáveis limitadas ou soma constante. In.: Pesquisa Operacional, v.25, n.1, p.135-150, 2005.
- BAENAS, Jovita Mercedes Hojas; CASTRO, Rosani de; BATTISTELLE, Rosane Aparecida Gomes;
JUNIOR, José Alcides Gobbo. A study of reverse logistics flow management in vehicle battery industries in the midwest of the state of São Paulo (Brazil). In.: Journal of Cleaner Production, 19, 168e172, 2011.
- BALKEMA, Annelies J.; PREISIG, Heinz A.; OTTERPOHL, Ralf; LAMBERT, Fred J.D. Lambert. Indicators for the sustainability assessment of wastewater treatment systems. In.: Urban Water, 4, 153–161, 2002.
- BARBOSA, Reginaldo Aparecido. Informações a respeito do funcionamento do transporte do esgoto no município de Volta Redonda. Supervisão Técnica do Serviço Autônomo de Água e Esgoto - SAAE. Volta Redonda – RJ, 2017.

- BARROS, Regina Mambeli. Resíduos Sólidos. In.: Ciências ambientais para engenharia / organização Luiz Augusto Horta Nogueira, Rafael Silva Capaz. - 1. ed. - Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. ISBN 978-85-352-/7739-5
- BENASSULY, Marcela Santos. Política pública para produção de biodiesel a partir da coleta seletiva do óleo residual de fritura: estudo de caso do Programa de reaproveitamento do óleo comestível do estado do rio de janeiro. Niterói, RJ: UFF, 2014.
- BENASSULY, Marcela Santos. Política pública para produção de biodiesel a partir da coleta seletiva do óleo residual de fritura: estudo de caso do Programa de reaproveitamento do óleo comestível do estado do rio de janeiro. Niterói, RJ: UFF, 2014.
- BENTES, Júlio Cláudio da Gama. Análise Ambiental-Urbana da Conurbação Volta Redonda-Barra Mansa, no Sul Fluminense. In.: IV Encontro Nacional da ANPPAS. Brasília, 2008.
- BESEN, G. R. et al. Gestão de resíduos sólidos na região metropolitana de São Paulo. In.: São Paulo em Perspectiva, 2006
- BESEN, Gina Rizpah; RIBEIRO, Helena; GUNTHER, Wanda Maria Risso; JACOBI, Pedro Roberto. Coleta seletiva na região metropolitana de São Paulo. In.: Ambiente & Sociedade, São Paulo XVII, n.3, p.259-278, 2014.
- BEULLENS, Patrick. Reverse logistics in effective recovery of products from waste materials. In.: Environmental Science & Bio/Technology, 3: 283–306 DOI: 10.1007/s11157-004-2332-3, 2004.
- BHAGWAT, Rajat; SHARMA, Milind Kumar. Performance measurement of supply chain management: A balanced scorecard approach. In.: Computers and Industrial Engineering, V.53, Issue: 1, Page: 43-62, 2007.
- BOGETOFT, Peter; OTTO, Lars. Benchmarking with DEA, SFA and R. In.: Springer Science + Business Media, LLC, DOI 10.1007/978-1-4419-7961-2, 2011.
- BRASIL Lei 12305 - Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Subchefia para Assuntos Jurídicos, Casa Civil, Presidência da República do Brasil, 2010
- BRITO, Renata Peregrino de; BERARDI, Patricia Calicchio. Vantagem competitiva na gestão sustentável da cadeia de suprimentos: um metaestudo. In.: ERA, v. 50, n. 2, 155-169. São Paulo, 2010.
- BUKHORI, Ikhsan Bani; WIDODO, Kuncoro Harto; ISMOYOWATI, Dyah. Evaluation of Poultry Supply Chain Performance in XYZ Slaughtering House Yogyakarta

- using SCOR and AHP Method. In.: Agriculture and Agricultural Science Procedia, V. 3, 221 – 225, 2015.
- BUTZER, Steffen; SCHÖTZ, Sebastian; PETROSCHKE, Matthias; STEINHILPER, Rolf. Development of a performance measurement system for international reverse supply chains. In.: Procedia CIRP, 61, 251-256, 2017.
- CANNELLA, Salvatore; BRUCCOLERI, Manfredi; FRAMINAN, José M. Closed-loop supply chains: What reverse logistics factors influence performance? I.: Int. J. Production Economics, 175, 35–49, 2016.
- CEDILLO-CAMPOS, M.; SÁNCHEZ-RAMIREZ, C. Dynamic Self-Assessment of Supply Chains Performance: an Emerging Market Approach. In.: Journal of Applied Research and Technology, V.11, Issue 3, Pages 338-347, 2013.
- CEMPRE. Fichas técnicas. *Composto Urbano*. Disponível em: <<http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/10/composto-urbano>>. Acesso em: 06 de Nov., 2016
- CEPERJ. Estimativa de lixo domiciliar produzido segundo municípios. Disponível em: <http://geo.ceperj.rj.gov.br/ceperj/index.php>. Acesso: maio, 2011.
- CESBRA. Processo de produção do biodiesel. Entrevista cedida pelo supervisor de qualidade da empresa. Volta Redonda, 2017.
- CETESB. Plano de Controle de Poluição Veicular 2014-2016. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Secretaria do Meio Ambiente, Governo de São Paulo - CETESB, 2014.
- CHASIN, Friedrich. Sustainability: Are We All Talking About the Same Thing? In.: 2nd International Conference on ICT for Sustainability (ICT4S), 2014.
- CHAVES, Gisele de Lorena Diniz; MARTINS, Ricardo Silveira; JUNIOR, Weimar Freire da Rocha; URIBE-OPAZO, Miguel Angel. Diagnostico da logística reversa na cadeia de suprimentos de alimentos processados no oeste paranaense. In: XLIII Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 2005.
- CHIZZOTTI, Antônio. Pesquisa Qualitativa em Ciências Humanas e Sociais. Petrópolis, RJ: Vozes, 2006.
- CICLO ORGÂNICO. Disponível em: <http://cicloorganico.com.br/> Acesso em: 11 de agosto de 2017.
- CLARK, James H.; FARMER, Thomas J.; HERRERO-DAVILA, Lorenzo; SHERWOOD, James. Circular economy design considerations for research and process development in the chemical sciences. In.: Green Chemistry, 18, 3914–

3934, 2016.

CNT. Atlas do Transporte. 1ª edição, 2006.

CNT. O sistema ferroviário brasileiro. Brasília, 2013.

CNT. Transporte e Economia – transporte aéreo de passageiros. Brasília, 2015.

CONCEIÇÃO Guilherme Wilson da. A viabilidade técnica, econômica e ambiental da inserção do Gás Natural Veicular em frotas do transporte coletivo urbano de passageiros. Dissertação, 2006.

COPPE/UFRJ, 2011, Inventário de emissões atmosféricas por veículos automotores do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: http://download.rj.gov.br/documentos/10112/975111/DLFE-51272.pdf/Inventario_2011.pdf.

CPRH. Política Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de Pernambuco. Disponível em: http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/Lei%2014236;141010;20101229.pdf, 2010.

CUIABÁ. Política Estadual de Resíduos Sólidos do Estado do Mato Grosso. Disponível em: http://www.cuiaba.mt.gov.br/upload/arquivo/lei%207.862_19%20DE_dezembro_%202002_sema.pdf, 2002.

CURIEL-ESPARZA, Jorge; CUENCA-RUIZ, Marco A.; MARTIN-UTRILLAS, Manuel; CANTO-PERELLO, Julian. Selecting a Sustainable Disinfection Technique for Wastewater Reuse Projects. In.: *Water*, 6, 2732-2747; doi:10.3390/w6092732, 2014.

DAHER, Cecílio Elias; SILVA, Edwin Pinto de la Sota; FONSECA, Adelaida Pallavicini. Logística Reversa: Oportunidade para Redução de Custos através do Gerenciamento da Cadeia Integrada de Valor. In.: *BBR- Brazilian Business Review*, Vol. 3, No. 1, pp. 58-73, Vitória, 2006.

DALAL-CLAYTON, Barry; BASS, Stephen. Sustainable development strategies: a resource book. 1st ed. London: Earthscan Publications Ltd; 2002

DELAI, Ivete; TAKAHASHI, Sérgio. Uma proposta de modelo de referência para mensuração da sustentabilidade corporativa. In.: *RGSA – Revista de Gestão Social e Ambiental*, V.2, N.1, pp.19-40, 2008

DEUS, Rafael Mattos Deus; BATTISTELLE, Rosane Aparecida Gomes; SILVA, Gustavo Henrique Ribeiro. Resíduos sólidos no Brasil: contexto, lacunas e tendências. In.: *Eng Sanit Ambient*, v.20, n.4, 685-698, 2015.

ECOBIKE Courier. Disponível em: www.ecobikecourier.com.br. Acesso em: 28 de

outubro de 2017.

ECOÓLEO. Processo de coleta e tratamento do óleo residual de fritura. Entrevista cedida pelo presidente da Cooperativa dos Coletores de Resíduos Líquidos e Sólidos – Ecoóleo. Volta Redonda, 2017.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Uma economia circular no Brasil: uma abordagem exploratória inicial, 2017.

ETE. Processo de tratamento de esgoto no município de Volta Redonda. Entrevista cedida pelo responsável operacional da estação. Nov., Out. e Dez., 2016.

FENOSA, Gás Natural. Simulador de Economia. Disponível em: <http://usegnv.com.br/simulador-gnv/> Acesso em: novembro, 2017.

FERNANDES, Roberto Klecius Mendonça; PINTO, Janete Maria Barreto; MEDEIROS, Otoniel Marcelino de; PEREIRA, Cinthia de Araújo. Biodiesel a partir de óleo residual de fritura: alternativa energética e desenvolvimento sócio-ambiental. In.: XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2008.

FILHO, Sérgio Thode; MACHADO, Carlos José Saldanha; VILANI, Rodrigo Machado; PAIVA, Julieta Laudelina; MARQUES, Mônica Regina da Costa. A Logística Reversa e a Política Nacional de Resíduos Sólidos: desafios para a realidade brasileira. In.: Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria, v. 19, n. 3, p. 529-538, 2015. ISSN: 22361170, DOI: 105902/2236117019322.

FILHO, Walter Leal; BRANDLI, Luciana; MOORA, Harri; KRUIPIENE, Jolita; STENMARCK, Asa. Benchmarking approaches and methods in the field of urban waste management. In.: Journal of Cleaner Production 112, 4377e 4386, 2016.

FREITAS, Eliezer Marchiori. Informações a respeito do funcionamento da unidade de produção de biodiesel. Setor Garantia da Qualidade. Volta Redonda – RJ, 2017.

GARCIA, P. A. de A., SILVA NEVES, J. C., JACINTO, C. M. C. e DROGUETT, E. A. L. Utilização de Análise Relacional *Grey* no gerenciamento da cadeia logística. XXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. 27 a 30/09/2005. Gramado, RS. 2005

GENOVESE, Andrea Genovese; ACQUAYE, Adolf A.; FIGUEROA, Alejandro; KOH, S.C. Lenny. Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. In.: *Ômega*, 2015.

- GEORGE, Donald A.R.; CHI-ANG LIN, Brian; CHEN, Yunmin. In.: A circular economy model of economic growth. In.: *Environmental Modelling & Software*, 73, 60-63, 2015.
- GHISELLINI, Patrizia; CIALINI, Catia; ULGIATI, Sergio. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. In.: *Journal of Cleaner Production*, 114, 11-32, 2016.
- GIL, Antônio Carlos. *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*. 6ªed. – São Paulo: Atlas, 2008.
- GLAVIC, Peter; LUKMAN, Rebeka. Review of sustainability terms and their definition. In.: *Journal of Cleaner*. 15, 1875-1885, 2007.
- GONÇALVES, Marcus Eduardo; MARINS, Fernando Augusto Silva. Logística Reversa numa Empresa de Laminação de Vidros: Um Estudo de Caso. In.: *GESTÃO & PRODUÇÃO*, V.13, N.3, p.397-410, 2006.
- GONÇALVES, Max Filipe Silva; CHAVES, Gisele de Lorena Diniz. Perspectiva do Óleo Residual de Cozinha (ORC) no Brasil e suas dimensões na Logística Reversa. In.: *Revista Espacios*, Vol 35, Nº 8, 2014.
- GONZÁLEZ-TORRE, Pilar L.; ADENSO-DÍAZ, B.; ARTIBA, Hakim. Environmental and reverse logistics policies in European bottling and packaging firm. In.: *International Journal of Production Economics*, 88, p. 95–104, 2004.
- GOVINDAN, Kannan; SOLEIMANI, Hamed. A review of reverse logistics and closed-loop supply chains: a *Journal of Cleaner Production* focus. In.: *Journal of Cleaner Production*, 142, 371e384, 2017.
- GOVINDAN, Kannan; SOLEIMANI, Hamed; KANNANC, Devika. Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future. In.: *European Journal of Operational Research*, 240, 603–626, 2015.
- GUABIROBA, R.C.da Silva. *O processo de roteirização como elemento de redução do custo de coleta em área urbana de óleo residual de fritura para produção de biodiesel*. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2009
- GUABIROBA, R.C.da Silva; D'AGOSTO, Márcio de Almeida. O impacto do custo de coleta do óleo residual de fritura disperso em áreas urbanas no custo total de produção de biodiesel – estudo de caso. *Revista Transportes*, v.19 n.1, p. 68–76, 2011.
- GUABIROBA, Ricardo Cesar da Silva. *Procedimento para definição de consórcios públicos responsáveis pela coleta de resíduos recicláveis domiciliares com base*

- em medidas de ecoeficiência. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2013.
- GUERRERO, L.A.; MAAS, G.;HOGLAND, W. Solid waste management challenges for cities in developing countries. In.: Waste Management. 220–232. October, 2013.
- GUERRERO, L.A.; MAAS, G.;HOGLAND, W. Solid waste management challenges for cities in developing countries. In.: Waste Management. 220–232. October, 2012
- TRC, Guia do. Planilha de Custos Operacionais. Disponível em: www.guiadotrc.com.br/truckinfo/caminhoes_semip.xls, 2015.
- TRC, Guia do. Planilha de Custos Operacionais. Disponível em: www.guiadotrc.com.br/truckinfo/caminhao_leve.xls, 2015.
- TRC, Guia do. Planilha de Custos Operacionais. Disponível em: www.guiadotrc.com.br/truckinfo/caminhao_semileve.xls, 2015
- GUISASOLA, Albert; HAAS, David de; KELLER, Jurg; YUAN, Zhiguo. Methane formation in sewer systems. In.: Water Research, 42, 1421 – 1430, 2008.
- GUO, Shu; SHEN, Bin; CHOI, Tsan-Ming; JUNG, Sojin. A review on supply chain contracts in reverse logistics: Supply chain structures and channel leaderships. In.: Journal of Cleaner Production, 144, 387e402, 2017.
- HALLSTEDT, Sophie I. Sustainability criteria and sustainability compliance index for decision support in product development. In.: Journal of Cleaner Production, 140 251 e 266, 2015.
- HOLMBERG, Stefan. A systems perspective on supply chain measurements. In.: International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 30 Issue: 10, pp.847-868, doi: 10.1108/09600030010351246, 2000
- HOORNWEG, Daniel; BHADA-TATA, Perinaz. What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. In.: Urban development Series Knowledge papers – The World Bank, N.15. Washington DC, USA: March, 2012.
- HORVATH, Philip A.; AUTRY, Chad W.; WILCOX, William E. Liquidity implications of reverse logistics for retailers: A Markov chain approach. In.: Journal of Retailing, Volume 81, Issue 3, Pages 191-203, 2005.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008. Rio de Janeiro, 2010.
- IBGE. Dados IBGE Cidades Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>, 2010. Acesso em: maio 2017.
- IBGE. Dados IBGE Cidades Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>, 2014. Acesso em: maio 2017.

- IBGE. Dados IBGE Cidades Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>, 2017. Acesso em: maio 2017.
- IBGE. Informações sobre os Estados brasileiros. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>, 2017.
- ICMBIO. Política Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de Santa Catarina. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Lei/2005/lei_sc_13557_2005_politica_estadual_residuos_solidos_sc.pdf, 2005.
- ICMS Ecológico. Disponível em: http://www.icmsecologico.org.br/site/index.php?option=com_content&view=article&id=95&Itemid=77. Acesso em: 28 de outubro de 2017.
- ILIC, Marina; NIKOLIC, Magdalena. Drivers for development of circular economy e A case study of Serbia. In.: *Habitat International*, 56, 191e200, 2016.
- IMASUL. Resíduos Sólidos do Mato Grosso do Sul. Disponível em: <http://www.imasul.ms.gov.br/apos-consulta-publica-plano-de-residuos-solidos-esta-em-fase-de-conclusao/>, 2017.
- IPCC. Climate Change 2014. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/> Acesso: 19 de março de 2017
- JACOBI, Pedro R.; BESEN, Gina Rizpah. Gestão de resíduos sólidos na região metropolitana de São Paulo: avanços e desafios. *São Paulo em Perspectiva*, v. 20, n. 2, p. 90-104, 2006.
- JACOBI, Pedro Roberto; BESEN, Gina Rizpah. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. In.: *Estudos Avançados*, 25 (71), 2011.
- JUCÁ, José Fernando Thomé. Tecnologias disponíveis para Tratamento dos Resíduos Sólidos Urbanos. In.: *Abrelpe/ Rio+20 - Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável*, 2012.
- JULONG, Deng. Introduction to Grey System Theory. In.: *The journal of Grey System*, 1, 1-24, 1989.
- KABIR, Golam; HASIN, M. Ahsan Akhtar. Comparative analysis of AHP and Fuzzy AHP models for multicriteria inventory classification. In.: *International Journal of Fuzzy Logic Systems (IJFLS)* Vol.1, No.1, 2011.
- KECO. Korea Environment Corporation. Extended Producer Responsibility (EPR). Disponível em: https://www.keco.or.kr/en/core/operation_extended/contentsid/1980/index.do, Acesso em: 29 de outubro de 2017.

- KISER, Barbara. Circular economy: Getting the circulation going. In.:Nature, N. 531, 443–446, 2016. doi:10.1038/531443a.
- KWON, Eilhann E.; KIM, Sungpyo; JEON, Young Jae; YI, Haakrho. Biodiesel Production from Sewage Sludge: New Paradigm for Mining Energy from Municipal Hazardous Material. In.: Environmental Science and Technology, N. 46 (18), 2012. DOI: 10.1021/es3019435
- KOTLER, Philip & KELLER, Kevin Lane. Administração de Marketing. 12ª ed., São Paulo, 2006.
- KUO, Yiyo; YANG, Taho; HUANG, Guan-Wei. The use of grey relational analysis in solving multiple attribute decision-making problems. Computers & Industrial Engineering, 55, 80–93, 2008.
- LANKOSKI, Leena. Alternative conceptions of sustainability in a business context. In.: Journal of Cleaner Production 139, p. 847-857, 2016
- LEAL JUNIOR, Ilton Curty. Método de escolha modal para transporte de produtos perigosos com base em medidas de ecoeficiência. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010.
- LEE, C.K.M.; LAM, Jasmine Siu Lee. Managing reverse logistics to enhance sustainability of industrial marketing. In.: Industrial Marketing Management, 41, 589–598, 2012.
- LEGISLAÇÃO, Portal de. Política Estadual de Resíduos Sólidos do Estado da Bahia. Disponível em: <http://www.legislabahia.ba.gov.br/verdoc.php?id=80648&voltar=voltar>, 2014.
- LEGISWEB. Política Estadual de Resíduos Sólidos do Amazonas - PERS/AM. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=342337>, 2017.
- LEITE, Fernando. Gestão de Resíduos. In.: Indústria e Ambiente – Revista de Informação Técnica e Científica, nº103, 2017. ISSN: 1645-1783.
- LEITE, Paulo Roberto. Congresso SIMPOI 2000 - Canais de distribuição reversos: fatores de influência sobre quantidades recicladas de materiais. In: III SIMPOI-Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais, 2000, São Paulo. Anais do III SIMPOI. São Paulo, 2000.
- LEONETI, Alexandre; NIRAZAWA, Alyni; OLIVERA, Sonia. Proposta de índice de sustentabilidade como instrumento de autoavaliação para micro e pequenas empresas (MPes). In.: REGE - Revista de Gestão, 23, 349–361, 2016.

- LIEDER, Michael; RASHID, Amir. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. In.: *Journal of Cleaner Production*, 115, 36-51, 2016.
- LIM, S. L., LEE, L. H., WU, T. Y. Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: Recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. In.: *Journal of Cleaner Production*, 111, 262–278. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.083>, 2016
- LINTON, Jonathan D.; KLASSEN, Robert; JAYARAMAN, Vaidyanathan. Sustainable supply chains: An introduction. In.: *Journal of Operations Management*, 25, 1075–1082, 2007.
- LIU, Yan; CHENG, Xiang; LUN, Xiaoxiu; SUN, Dezhi. CH₄ emission and conversion from A₂O and SBR processes in full-scale wastewater treatment plants. In.: *Journal of Environmental Sciences*, 26, 224–230, 2014.
- LORENA, Antônio. A Economia Circular e os desafios para o setor dos resíduos urbanos em Portugal. In.: *Indústria e Ambiente 103: Revista de Informação Técnica e Científica/Gestão de Resíduos : Economia Circular*, 2017. ISSN: 1645-1783.
- LOZANO, Rodrigo. Envisioning sustainability three-dimensionally. In.: *Journal Cleaner Production*. 16, 1838-1846, 2008.
- LOZANO, Rodrigo; HUISINGH, Don. Inter-linking issues and dimensions in sustainability reporting. In.: *Journal of Cleaner Production*, 19, 99–107, 2011.
- MAHJOURI, Maryam; ISHAK, Mohd Bakri; TORABIAN, Ali; MANAF, Latifah Abd; HALIMOON, Normala. The application of a hybrid model for identifying and ranking indicators for assessing the sustainability of wastewater treatment systems. In.: *Sustainable Production and Consumption*, V.1 0, 2 1 – 3 7, 2017
- MANI, Venkatesh; GUNASEKARAN, Angappa; PAPADOPOULOS, Thanos; HAZEN, Benjamin; DUBEY, Rameshwar. Supply chain social sustainability for developing nations: Evidence from India. In.: *Resources, Conservation and Recycling*. 111, 42–52. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.04.003>, 2016
- MARCHI, Cristina Maria Dacach Fernandez. Cenário mundial dos resíduos sólidos e o comportamento corporativo brasileiro frente à logística reversa. In.: *Perspectivas em Gestão & Conhecimento*, João Pessoa, v. 1, n. 2, p. 118-135, 2011. ISSN: 2236-417X.

- MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. Fundamentos da Metodologia Científica. 5ª ed. – São Paulo: Atlas, 2003.
- MARINS, Cristiano Souza; SOUZA, Daniela de Oliveira; BARROS, Magno da Silva. O uso do método de Análise Hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais – um estudo de caso. In.: XLI SBPO - Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento, 2009.
- MARREIROS, Ana. Inovação na Economia Circular. In.: Indústria e Ambiente – Revista de Informação Técnica e Científica, nº 103, 2017. ISSN: 1645-1783
- METI. Ministério da Economia, Comércio e Indústria do Japão. Disponível em: <http://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/english/law/home.html>, 1998.
- METI. Ministério da Economia, Comércio e Indústria do Japão. Disponível em: <http://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/english/law/promotion.html>, 2000.
- MILANEZ, Bruno. Resíduos sólidos e sustentabilidade: princípios, indicadores e instrumentos de ação - São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2002
- MIL-HOMENS, Feliz. A valorização energética de resíduos urbanos e a economia circular. In.: Indústria e Ambiente 103: Revista de Informação Técnica e Científica/Gestão de Resíduos : Economia Circular, 2017. ISSN: 1645-1783.
- Ministério do Meio Ambiente da Coreia. Disponível em: <http://eng.me.go.kr/eng/web/index.do?menuId=372> Acesso em: 29 de outubro de 2017.
- MISSIMER, M.; ROBERT, Karl-Henrik; BROMAN, Goran. A strategic approach to social sustainability e Part 1: exploring the social system. In.: Journal of Cleaner Production 140, 32 e 41, 2017.
- MMA. Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80060/Inventario _de_Emissoes_por_Veiculos_Rodoviaros_2013.pdf](http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80060/Inventario_de_Emissoes_por_Veiculos_Rodoviaros_2013.pdf) Acesso em: outubro, 2017.
- MMA. Brasil inicia processo para instalação da logística reversa, 2014. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/informmma/item/7015-brasil-inicia-processo-para-instalacao-da-logistica-reversa>.
- MMA. Coleta seletiva. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/catadores-de-materiais-reciclaveis/reciclagem-e-reaproveitamento>, Acesso em outubro de 2017.

- MMA. Indicadores Ambientais. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/governanca-ambiental/informacao-ambiental/sistema-nacional-de-informacao-sobre-meio-ambiente-sinima/indicadores> Acesso: Março de 2017.
- MMA. Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Estado do Pará. Disponível em: http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80058/PERS/PA%20PERGIS_VOL_1.pdf, 2014.
- MMA. Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Sergipe. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80058/PERS/PERS%20SE%202014dez.pdf>, 2014.
- MMA. Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de Pernambuco. Disponível em: http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80058/PERS/PE%20PERS_2012jul.pdf, 2012.
- MMA. Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado do Maranhão. Disponível em: http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80058/PERS/MA%20PERS%20Vol%201_2012jul.pdf, 2012.
- MMA. Planos Estaduais de Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/instrumentos-da-politica-de-residuos/item/10611>, 2015.
- MMA. Resíduos Sólidos no Estado do Paraná. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/46_11112008102446.pdf. Acesso em outubro de 2017.
- MORET, Artur S., SGANDERLA, Gean C.S.; GUERRA, Sinclair M.G.; MARTA, José M.C. Análise da sustentabilidade do biodiesel com uso da Análise de Custos Completos. In.: Espaço Energia - Número 11, 2009.
- MPCE. Política Estadual de Resíduos Sólidos no âmbito do Estado do Ceará. Disponível em: <http://www.mpce.mp.br/wp-content/uploads/2015/12/Lei-Estadual-n%C2%BA16.032-2016-Institue-a-Pol%C3%ADtica-Estadual-de-Res%C3%ADuos-S%C3%B3lidos-no-Estado-do-Cear%C3%A1.pdf>, 2016.
- MUGA, Helen E.; MIHELIC, James R. Sustainability of wastewater treatment technologies. In.: Journal of Environmental Management, 88, 437–447, 2008.
- NASCIMENTO, Gabriel A.; JUNIOR, Claudio J. dos Santos; SANTANA, Fernanda S. de; SILVA, Vania N. T. da. O aproveitamento do óleo residual vegetal para produção do biodiesel: uma estratégia tecnológica e sustentável. In.: Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior - ABEAS - v.29, n.2, p.61-63, ISSN -

0101-756X - DOI: <http://dx.doi.org/10.12722/0101-756X.v29n02a01>, 2014

- NASCIMENTO, Sabrina do.; BORTOLUZZI, Sandro César; DUTRA, Ademar; ENSSLIN, Sandra Rolim. Mapeamento dos indicadores de desempenho organizacional em pesquisas da área de administração, ciências contábeis e turismo no período de 2000 a 2008. In.: *Revista de Administração*, v.46, n.4, p.373-391, ISSN 0080-2107, DOI: 10.5700/rausp1018. São Paulo, 2011
- NEELY, Andy. The evolution of performance measurement research: Developments in the last decade and a research agenda for the next. In.: *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 25 Issue: 12, pp.1264-1277, doi: 10.1108/01443570510633648, 2005.
- NEELY, Andy; GREGORY, Mike; PLATTS, Ken. Performance Measurement Systems Design: A Literature Review and Research Agenda. In.: *International Journal of Operations and Productions Management*, Vol. 15 Issue: 4, pp.80-116, doi: 10.1108/01443579510083622, 1995.
- NTC. Manual de cálculo de custos e formação de preços do transporte rodoviário de cargas. DECOPE – Departamento de custos operacionais, estudos técnicos e econômicos. São Paulo, 2014.
- NUNES, K.R.A.; MAHLER, C.F.; VALLE, R.A. Reverse logistics in the Brazilian construction industry. In.: *Journal of Environmental Management* 90, 3717–3720, 2009.
- OLIVEIRA, Breno Machado Gomes de.; SOMMERLATTE, Breno Resende. Plano de Gerenciamento Integrado do Resíduo Óleo de Cozinha (PGIROC). Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente: Fundação Israel Pinheiro: Novembro, 2009.
- OLIVEIRA, Marcos de. Óleo para o biodiesel. In.: *Revista Pesquisa FAPESP*, N.245, 68-71, 2016.
- PAKKAR, Mohammad Sadegh Pakkar. An integrated approach to grey relational analysis, analytic hierarchy process and data envelopment analysis. *Journal of Centrum Cathedra: The Business and Economics Research Journal*, Vol. 9, N. 1, pp. 71-86, DOI 10.1108/JCC-08-2016-0005, 2016.
- PAN, Shu-Yuan; DU, Michael Alex; HUANG, I-Te; LIU, I-Hung; CHANG, E-E; CHIANG, Pen-Chi. Strategies on implementation of waste-to-energy (WTE) supply chain for circular economy system: a review. In.: *Journal of Cleaner Production*, 108, 409e421, 2015.
- PEGIRS-RN. Pano Estadual de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Rio Grande do

- Norte. Disponível em: <http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/semarh/doc/DOC00000000020200.PDF>, 2012.
- PEÑA, Carlos Rosano. A Model of Evaluation of the Efficiency of the Public Sector through the Method Data Envelopment Analysis (DEA). In.: RAC, Curitiba, v. 12, n. 1, p. 83-106, 2008.
- PEREIRA, André Luiz; BOECHAT, Cláudio Bruzzi; TADEU, Hugo Ferreira Braga; SILVA, Jersone Tasso Moreira; CAMPOS, Paulo Március Silva. Logística Reversa e Sustentabilidade. In.: Cengage Learning, São Paulo, 2012.
- PGA – Programa de Gestão Ambiental. Sabão feito com óleo de cozinha. Disponível em: <http://pga.pgr.mpf.mp.br/praticas-sustentaveis/sabao/sabao-feito-com-oleo-de-cozinha/?searchterm=%C3%B3leo> Acesso em: agosto de 2016
- PINTO, Jorge Serrano Pinto. Logística direta e reversa: duas "metades" de um processo só. In.: Portal Brasil Engenharia, 2016. Acesso: 28 de agosto de 2017. Disponível em: <http://www.brasilengenharia.com/portal/noticias/noticias-da-engenharia/15631-logistica-direta-e-reversa-duas-qmetadesq-de-um-processo-so>.
- POKHAREL, Shaligram. MUTHA, Akshay. Perspectives in reverse logistics: A review. In.: Resources, Conservation and Recycling, 53, 175–182, 2009.
- POKHREL, D; VIRARAGHAVAN, T. Municipal solid waste management in Nepal: practices and challenges. In.: Waste Management, 25, 555–562, 2005.
- POOTAKHAM, Thanyakarn; KUMAR, Amit. Bio-oil transport by pipeline: A techno-economic assessment. In.: Bioresource Technology, 101, 7137–7143, 2010.
- POPOVIC, Tamara; KRASLAWSKI, Andrzej; AVRAMENKO, Yury. Applicability of Sustainability Indicators to Wastewater Treatment Processes. In: 23rd European Symposium on Computer Aided Process Engineering – ESCAPE 23, 2013
- PÓVOA, Angela Cristiane Santos; BRITO, Eliane Zamith; LEITE, Paulo Roberto. Determinantes da estruturação dos canais reversos: o papel dos ganhos econômicos e de imagem corporativa. In.: Gestão & Conhecimento, v. 5, n.1, 26-53, 2007.
- RAMOS, Guerreiro. A nova ciência das organizações: uma reconceituação da riqueza das nações. 2ª ed. Pag. 22. Rio de Janeiro: FGV, 1989.
- RATHI, Sarika. “Alternative Approaches for Better Municipal Solid Waste Management in Mumbai, India”, Waste Management, v. 26, pp. 1192-1200, 2005.
- RE-CICLO Compostagem Urbana. Disponível em: www.re-ciclo.net/site. Acesso em: 28 de outubro de 2017.

- RENN, O; DEUSCHLEA, J.; JÄGER A.; WEIMER-JEHLE, W. A normative-functional concept of sustainability and its indicators. In.: Stuttgart Research Centre for Simulation Technology (SRC SimTech) - SimTech – Cluster of Excellence, 2007
- RENOU, S.; THOMAZ, J.S.; Aoustin, E.; PONS, M.N. Influence of impact assessment methods in wastewater treatment LCA. In.: Journal of Cleaner Production, 16, 1098-1105, 2008.
- RLV, Soluções Empresariais. Planilhas de Custos Operacionais. Disponível em: www.rlv solucoes.com.br/Carga_jan_2012/caminhoes_pesados.xl, 2015.
- ROAD.CC. Cargo bike waste collection scheme bids for £25k fund. Disponível em: <http://road.cc/content/news/210811-cargo-bike-waste-collection-scheme-bids-%C2%A325k-fund> Acesso em: 11 de agosto de 2017.
- ROCHA, Adilson Carlos da.; GOMES, Cláudia Maffini; KNEIPP, Jordana Marques; CAMARGO, Caroline Rossetto. Gestão sustentável da cadeia de suprimentos e desempenho inovador: um estudo multicaso no setor mineral brasileiro. In.: RAI – Revista de Administração e Inovação, v. 12, n.2, p. 293-316, ISSN: 1809-2039, DOI: 10.11606/rai.v12i2.100343, São Paulo: 2015
- ROSSÉS, Gustavo Fontinelli; SCCOTT, Carla Rosane da Costa; OLIVEIRA, João Hélio Righi de; SILVA, Alexandre Fontinelli da; ENDE, Marta Von; REISDORFER, Vitor Kochhann. A perspectiva dos sistemas de logística direta e logística reversa: o caso de uma companhia no ramo industrial de bebidas. In.: Sistemas & Gestão 10, pp 30-40, 2015.
- SAATY, R.W. The Analytic Hierarchy Process - What it is and how it is used. In.: Mathl Modelling, Vol. 9, N. 3-5, pp. 161-176, 1987.
- SAATY, Thomas L. Highlights and critical points in the theory and application of the Analytic Hierarchy Process. In.: European Journal of Operational Research, 74, 426-447, 1994.
- SAATY, Thomas L. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. In.: European Journal of Operational Research, 48, 9-26, 1990.
- SAUVÉ, Sébastien; BERNARD, Sophie; SLOAN, Pamela. Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. In.: Environmental Development, 17, 48–56, 2016.
- SCHEINBERG, A., Wilson, D.C., Rodic, L. Solid waste management in the World's Cities. In.: United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT). UN-

- Habitat's Third Global Report on the State of Water and Sanitation in the World's Cities. EarthScan, Newcastle-upon-Tyne, UK, 2010.
- SCHETTINO, M R. A., 2005. Environmental policy for urban buses in the Metropolitan Areas of São Paulo. IV International Conference of Vehicular Emissions, Brasília - DF - Brazil.
- SECC. Política Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de Goiás. Disponível em: http://www.gabinetecivil.goias.gov.br/leis_ordinarias/2002/lei_14248.htm, 2002.
- SEPAD. Política Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de Minas Gerais. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=9272>, 2009.
- SEMA-MT. Política Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de Mato Grosso. Disponível em: http://www.cuiaba.mt.gov.br/upload/arquivo/lei%207.862_19%20DE_dezembro_%202002_sema.pdf, 2002.
- SEMARH-AL. Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de Alagoas. Disponível em: http://residuossolidos.al.gov.br/vgmidia/arquivos/191_ext_arquivo.pdf, 2015.
- SEMARH-TO. Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de Tocantins. Disponível em: <https://central3.to.gov.br/arquivo/359089/>, 2017.
- SEMAS-PE. Projeto Relix finaliza ações com entrega das Ciclolix. Disponível em: http://www.semas.pe.gov.br/web/semas/exibir_noticia?groupId=709017&articleId=19457172&templateId=2386863, 2017.
- SERHMACT. Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado da Paraíba. <http://static.paraiba.pb.gov.br/2013/01/PLANO-ESTADUAL-VERSAO-PRELIMINAR.pdf>, 2014
- SEURING, Stefan; MÜLLER, Martin. From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. In.: *Journal of Cleaner Production*, 16, 1699–1710, 2008
- SHEU, Jih-Biing. A coordinated reverse logistics system for regional management of multi-source hazardous wastes. In.: *Computers & Operations Research*, 34, 1442–1462, 2007.
- SHEU, Jih-Biing. Green supply chain management, reverse logistics and nuclear power generation. In.: *Transportation Research Part E*, 44, 19–46, 2008.
- SHIBÃO, Fábio Ytoshi; MOORI, Roberto Giro; SANTOS, Mario Roberto dos. A logística reversa e a sustentabilidade empresarial. In.: XIII SemeAD – Seminários em Administração, 2010. ISSN: 2177-3866

- SILVA, Edna Lúcia da Silva; MENEZES, Estera Muszkat. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. 3. ed. rev. atual. – Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.
- SILVA, Harley; BARBIERI, Alisson Flávio; MONTE-MÓR, Roberto L. Demografia do consumo urbano: um estudo sobre a geração de resíduos sólidos domiciliares no município de Belo Horizonte. In.: R. bras. Est. Pop., Rio de Janeiro, v. 29, n. 2, p. 421-449, jul./dez. 2012.
- SILVA, José Sebastião da. Informações a respeito da operação da Cooperativa dos Coletores de Resíduos Líquidos e Sólidos – ECOÓLEO. Presidência da Ecoóleo. Volta Redonda – RJ, 2016.
- SILVA, José Sebastião da. Informações a respeito da operação da Cooperativa dos Coletores de Resíduos Líquidos e Sólidos – ECOÓLEO. Presidência da Ecoóleo. Volta Redonda – RJ, 2017.
- SINJ-DF. Política Distrital de Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/78558/7e89669b.pdf>, 2014.
- SNIS. Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2015. Brasília, 2017
- SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2015. Brasília: 212p, 2017.
- SOARES, Isabel Teresinha Dutra; STRECK, Letiane; TREVISAN, Trevisan; MADRUGA, Lucia Rejane da Rosa Gama. Logística Reversa: uma análise de artigos publicados na base SPELL. In.: Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – GeAS, Vol. 5, N. 2. Maio, 2016. DOI: 10.5585/geas.v5i2.385.
- SSRH - Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos. Política Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo. Disponível em: http://www.saneamento.sp.gov.br/Arquivos/Decretos/Arquivo%203%20-%20Politica%20estadual%20de%20RS%20-%202006_Lei_12300.pdf, 2006.
- STAHEL, Walter R. Circular economy: A new relationship with our goods and materials would save resources and energy and create local jobs, explains Walter R. Stahel. In.: Nature, Vol 531, 435, 2016.

- STOKES, Rob. Creating new opportunities for NSW businesses. In.: Office of Environment & Heritage. Disponível em: <http://www.environment.nsw.gov.au/resources/business/sustainabilityadvantage/140840-circular-economy-wme.pdf> Acesso em: Agosto de 2017.
- SUDARTO, Sumarsono; TAKAHASHI, Katsuhiko; MORIKAWA, Katsumi; NAGASAWA, Keisuke. The impact of capacity planning on product lifecycle for performance on sustainability dimensions in Reverse Logistics Social Responsibility. In.: *Journal of Cleaner Production*, 133, 28e42, 2016.
- TCHOBANOGLIOUS, George & KREITH, Frank. Handbook of solid waste management. 2. ed. New York: McGraw Hill. 833p, 2002.
- TOMASI, Katina, FERNANDES; Sandra Beatriz Vicenci; LUCHESE, Osório Antônio; UHDE, Leonir Terezinha; BUSNELLO, Maristela Borin. Perfil de consumo e descarte de óleo comestível no município de Ijuí-RS. In.: *REVISTA CONTEXTO & SAÚDE*, EDITORA UNIJUÍ, V. 14, N. 27, p. 54-64, 2014.
- TRABALHISTA, Guia do. Cálculos de encargos sociais e trabalhistas. Disponível em: <http://www.guiatrabalhista.com.br/tematicas/custostrabalhistas.htm>. Acesso em: Novembro, 2017.
- TRABALHISTA, Guia do. Tabela dos valores nominais do salário mínimo. Disponível em: http://www.guiatrabalhista.com.br/guia/salario_minimo.htm Acesso em: Novembro, 2017.
- TRATA BRASIL. Apenas 10% dos 500 mil litros de óleo descartados ao mês no Brasil são reciclados. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/apenas-10-dos-500-mil-litros-de-oleo-descartados-ao-mes-no-brasil-sao-reciclados>. Acesso em: novembro de 2017
- UTLU, Zafer; KOÇAK, Mevlüt Süreyya. The effect of biodiesel fuel obtained from waste frying oil on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions. In.: *Renewable Energy*, 33, 1936–1941, 2008.
- VALLANCE, Suzanne; PERKINS, Harvery C.; DIXON, Jennifer E. What is social sustainability? A clarification of concepts. In.: *Geoforum* 42, 342–348, 2011.
- WANG, Jinhe; ZHANG, Jian; XIE, Huijun; QI, Pengyu; REN, Yangang; HU, Zhen. Methane emissions from a full-scale A/A/O wastewater treatment plant. In.: *Bioresource Technology*, 102, 5479–5485, 2011.

- WANKE, Peter; FLEURY, Paulo Fernando. Transporte de cargas no Brasil: estudo exploratório das principais variáveis relacionadas aos diferentes modais e às suas estruturas de custos. In: DE NEGRI, J. A.; KUBOTA, L. C. (Org.). Estrutura e Dinâmica do Setor de Serviços no Brasil. Brasília: IPEA, p. 409-464, 2006.
- WASTE360. Bike-Riding Waste Haulers Gain Grant to Support Food Scrap Collection Efforts. Disponível em: <http://www.waste360.com/composting/bike-riding-waste-haulers-gain-grant-support-food-/scrap-collection-efforts>. Acesso em: 11 de agosto de 2017.
- WIJETHILAKE, Chaminda. Proactive sustainability strategy and corporate sustainability performance: The mediating effect of sustainability control systems. In.: Journal of Environmental Management, 196, 569e582, 2017
- WILSON, David C; RODIC, Ljiljana; COWING, Michael J.; VELIS, Costas A.; WHITEMAN, Andrew D.; SCHEINBERG, Anne; VILCHES, Recaredo; MASTERSON, Darragh; STRETZ, Joachim; OELZ, Barbara. 'Wasteaware' benchmark indicators for integrated sustainable waste management in cities. In.: Waste Management 35, 329–342, 2015
- YANG, Jing; JIANG, Hua. Fuzzy Evaluation on Supply Chains' Overall Performance Based on AHM and M(1,2,3). In.: Journal of Software, VOL. 7, NO. 12, 2012.
- YAP, Nonita T. The Challenges of Economic Growth and Environmental Sustainability . In.: Greener Management International, Nº 50, pp. 11-24, China: 2005.
- YIN, Robert K. Estudo de Caso: Planejamento e Métodos. Trad. Daniel Grassi – 2ªed. – Porto Alegre: Bookman, 2001.
- ZUCATTO, Luis Carlos; WELLE, Iara; SILVA, Tania Nunes da. Cadeia reversa do óleo de cozinha: coordenação, estrutura e aspectos relacionais. In.: Revista de Administração de Empresas - RAE, FGV-EAESP, V.53, N.5, PAG.442-453 - São Paulo, 2013.

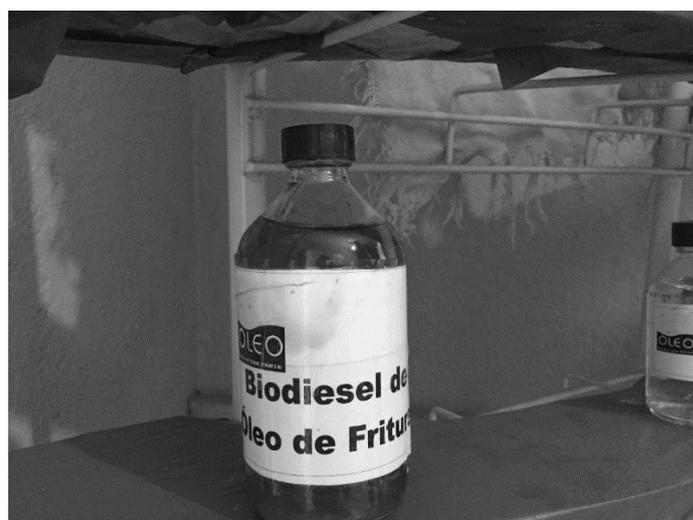
Anexo I – Levantamento de publicações referentes ao tema óleo residual de fritura nos últimos anos

Tipo	Nome do Artigo	Autores	Objetivo do trabalho	Aspecto(s) considerado(s)			Publicado em:	Ano:
				Econ.	Amb.	Soc.		
Óleo Residual de Fritura	Biodiesel production from waste frying oil using waste animal bone and solar heat	CORRO <i>et al.</i>	O estudo descreve um processo catalítico em duas etapas para a produção de biodiesel a partir de óleo de fritura a baixo custo, utilizando o osso animal como catalisador e a radiação solar como fonte de calor.		x		Waste Management	2016
	O aproveitamento do óleo residual vegetal para produção do biodiesel: uma estratégia tecnológica e sustentável	NASCIMENTO <i>et al.</i>	Apresenta o processo de produção do biodiesel utilizando como insumo o óleo residual de fritura.		x		Revista Educação Agrícola Superior da Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior (ABEAS)	2014
	Política Pública para produção de biodiesel a partir da coleta seletiva do óleo residual de fritura: estudo de caso do programa de reaproveitamento do óleo comestível do estado do Rio de Janeiro	BENASSULY	Avalia os pontos de sucesso e fracasso do programa desenvolvido pelo Estado do Rio de Janeiro (PROVE) no âmbito das políticas públicas que visa o recolhimento do óleo residual de fritura para ser utilizado como insumo na cadeia reversa de produção do biodiesel.		x	x	Dissertação UFF	2014
	A questão do descarte de óleos de gorduras vegetais hidrogenadas residuais em indústrias alimentícias	GOMES <i>et al.</i>	O estudo é um levantamento relacionado com os modelos de descarte de óleos/gorduras vegetais residuais praticados por indústrias alimentícias de pequenos portes instalados em uma cidade de médio porte do Estado da Paraíba.		x	x	XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	2013
	Biodiesel production from waste frying oils: Optimization of reaction parameters and determination of fuel properties	UZUN <i>et al.</i>	O estudo analisa a conversão do óleo residual de fritura em biodiesel. Este é otimizado com relação aos parâmetros do processo e tipos de purificação.		x		Journal Energy	2012
	Optimisation du choix de l'huile en friture industrielle: l'exemple MC Cain	GONDÉ & MORIN	Ilustra o uso industrial do óleo de fritura na MC Cain, empresa canadense de alimentação, por meio da entrevista com o gerente de nutrição Pierre Gondé.		x		Journal OCL	2012
	O impacto do custo de coleta do óleo residual de fritura disperso em áreas urbanas no custo total de produção de biodiesel – estudo de caso	GUABIROBA <i>et al.</i>	Verifica se o custo da coleta de óleo torna o óleo residual mais caro que o óleo virgem e apresenta a importância da utilização de um software de roteirização para reduzir o custo de transporte.	x			Revista Transportes	2011

Nome do Artigo	Autores	Objetivo do trabalho	Aspecto(s) considerado(s):			Publicado em:	Ano:
			Econ.	Amb.	Soc.		
Biodiesel production from waste frying oils and its quality control	SABUD AK <i>et al.</i>	Estuda a produção de biodiesel a partir dos óleos residuais de fritura coletados a partir de vários restaurantes do McDonald's, em Istambul.	x	x		Waste Management	2010
Economic assessment of biodiesel production from waste frying oils	ARAÚJO <i>et al.</i>	Este artigo propõe um método para avaliar os custos de produção de biodiesel a partir do óleo residual de fritura para desenvolver uma avaliação econômica desta alternativa.	x			Bioresource Technology Journal	2010
Plano de Gerenciamento Integrado do Resíduo Óleo de Cozinha - PGIROC	Oliveira <i>et al.</i>	Objetiva orientar os municípios mineiros na gestão adequada dos resíduos sólidos urbanos. Dá ênfase aos processos de reciclagem e reutilização do óleo residual de fritura e propicia alternativas de geração de renda e inclusão social.	x	x	x	Fundação Estadual do Meio Ambiente – Feam e Fundação Israel Pinheiro – FIP de Minas Gerais	2009
O processo de roteirização como elemento de redução de custo de coleta em área urbana de óleo residual de fritura para produção de biodiesel	GUABIR OBA, Ricardo Cesar da Silva	Estuda a viabilidade de se reduzir o custo do biodiesel produzido a partir do óleo residual de fritura por meio da melhoria no processo de roteirização da coleta de matéria prima dispersa na cidade do Rio de Janeiro.	x			Dissertação UFRJ	2009
Determination of residual oil in diesel oil by spectrofluorimetric and chemometric analysis	Corgozinho <i>et. al</i>	O estudo objetiva desenvolver um método analítico simples e rápido para a identificação e quantificação de óleo residual nas amostras de biodiesel, usando espectrofluorimetria síncrona associada a técnicas quimiométricas como PLS, APC e LDA.		x		Journal Talanta	2008
The production of biodiesel from waste frying oils: A comparison of different purification steps	Predojević	O estudo objetiva caracterizar o biodiesel produzido por duas etapas de transesterificação alcalina de óleos residuais de girassol usando metanol e KOH como catalisador; investiga o impacto de diferentes métodos de purificação sobre as propriedades e o rendimento dos produtos obtidos.	x	x		Journal FUEL	2008
Biodiesel a partir do óleo residual de fritura: alternativa energética e desenvolvimento sócio-ambiental	Fernandes, Roberto Klecius Mendonça (2008)	O estudo alerta para os benefícios sociais, ambientais e econômicos proporcionados pelo processo de industrialização do biodiesel por transesterificação a partir de óleos residuais de frituras por imersão.	x	x	x	Evento enegep e na Biblioteca da Associação Brasileira de Engenharia de Produção	2008

The effect of biodiesel fuel obtained from waste frying oil on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions	UTLU <i>et.al.</i>	Neste estudo, o uso de éster metílico obtido a partir de óleo de fritura é examinado como um material experimental. Os resultados recolhidos foram comparados com o diesel. A quantidade de emissão, tais como CO, CO ₂ , NO _x e escuridão de fumaça de óleos de fritura são menores do que o combustível diesel.		x		Renewable Energy	2008
An analysis of biodiesel fuel from waste edible oil in Taiwan	TSAI <i>et al.</i>	O estudo objetiva apresentar uma análise da utilização de energia a partir de resíduos de óleo comestível para a produção de diesel em Taiwan.	x	x		Renewable and Sustainable Energy Reviews	2007
Production of biodiesel from waste frying oils	FELIZA RDO <i>et.al.</i>	Estuda a transesterificação do óleo residual de fritura com o objetivo de alcançar as melhores condições para a produção de biodiesel.		x		Waste Management	2006
An approach to the economics of two vegetable oil-based biofuels in Spain	DORADO <i>et. al.</i>	O estudo aborda o biodiesel como forma de energia renovável que fornece um combustível menos poluente para os motores diesel e apresenta a viabilidade econômica para a sua produção.	x			Renewable Energy	2006
Valorisation non alimentaire des huiles de friture usagées en tant que lubrifiants biodégradables	AVELLAN & ALFOS	O estudo objetiva despertar uma nova maneira de utilizar o óleo residual de fritura coletado na Europa como lubrificantes biodegradáveis destinados para aplicações de agentes desmoldantes, óleos para caixas de velocidade industriais e fluidos hidráulicos	x	x		Journal OCL	2005
Investigations on the performance and exhaust emissions of a diesel engine using preheated waste frying oil as fuel	Pugazhva divu <i>et. al.</i>	Apresenta uma investigação experimental, onde o óleo residual de fritura foi usado como um combustível alternativo para motores diesel. Concluiu-se que os óleos residuais de fritura pré-aquecidos a 135 8C poderiam ser usados como um substituto de combustível diesel para o funcionamento do motor de curto prazo.		x		Renewable Energy	2005

Anexo II - Imagens dos óleos coletados pela Ecoóleo



Anexo III -Imagens do Pré-Tratamento do Esgoto em Volta Redonda – Unidade Gil Portugal (Vila Santa Cecília)



(1) Gradeamento



(2) Painel das bombas e grade mecanizada



(3) Tubulações por onde entra o esgoto bruto



(4) Desarenador



(5) Gordura



(6) Medidor de vazão na calha parshall



(7) Medidor Ultrassônico de Vazão



(8) Caixa receptora de esgoto - processo anaeróbico



(9) Formação de nitratos e nitritos



(10) Tanque da Caixa de Gordura



(11) Lavador de Gás

Anexo IV: Entrevista resultante da visita técnica na Cooperativa dos Coletores de Resíduos Líquidos e Sólidos – Ecoóleo

José Sebastião da Silva – Presidente da Ecoóleo

1. Qual o objetivo principal da Ecoóleo?

O objetivo principal da cooperativa é evitar que o óleo vá para o meio ambiente, pois o estrago pode ser grande: danifica a rede de esgoto, causa entupimentos, poluição do rio que, às vezes, não é visível.

2. Como funciona a Cooperativa?

A cooperativa foi fundada visando o meio ambiente. O óleo coletado vem com quantidade de resíduo no meio, resíduo mais pesado como: pedaço de batata, banha de porco. Quando o óleo chega na empresa, ele é retirado e o resto é processado. O resíduo fica em repouso durante 15...20 dias para que seja escoado todo o óleo dele. Após este período, é feito um trabalho de compostagem para esterco e adubo para plantas.

3. Quantas pessoas estão envolvidas na operação?

Há muitas pessoas envolvidas na operação. Nós somos uma cooperativa sem fins lucrativos, mas nossos associados recebem de acordo com o que é vendido. Eles não tem carteira assinada, mas tem todos os direitos. Há 10 colaboradores: 6 que são remunerados e trabalham no horário fixo e há outros 4 que não tem horário fixo, mas também recebem. Além destes, há também outras pessoas envolvidas no projeto como os catadores.

A Cooperativa tem os seguintes custos a partir da venda do óleo: paga o carro, gás, gasolina, energia, internet, telefone e paga os funcionários.

4. Quantas vezes por semana é feita a coleta a partir da Cooperativa? A cooperativa tem um carro próprio?

Sim, temos um carro próprio. A coleta é feita todos os dias, das 8 às 18 horas.

5. Quantos carros a Ecoóleo tem?

Tem dois carros próprios. Por enquanto tem somente um carro trabalhando, mas há outros que prestam serviço porque a coleta é realizada em Volta Redonda e no entorno: Barra Mansa, Barra do Piraí, Três Rios, Sapucaia. Nestes locais há pessoas que fazem a coleta e a Ecoóleo pega com eles. A Ecoóleo recolhe tanto de residências quanto de estabelecimentos comerciais.

6. Qual o carro usado para a coleta na cidade?

O carro é um Corsa pickup, ano 2005, gasolina e GNV. A capacidade do carro é de 700kg, mas a cooperativa adaptou e agora tem capacidade para 1.000kg.

7. A coleta é realizada em todos os bairros?

Sim, o carro percorre diariamente os bairros de Volta Redonda. No caso de estabelecimento comerciais, é de acordo com a necessidade. Os responsáveis entram em contato e a Ecoóleo vai recolher.

8. Quantos Km o carro da Cooperativa percorre por dia?

Dia 23/10/2017: Velocímetro: 259.368km

Dia 27/10/2017: Velocímetro: 259.704km

Dias da Semana	Distância percorrida para coletar óleo (KM ida e volta)	Município
Segunda-feira	63	Volta Redonda
Terça-feira	68	Volta Redonda
Quarta-feira	72	Volta Redonda
Quinta-feira	58	Volta Redonda
Sexta-feira	75	Volta Redonda
Mês	1344	Volta Redonda

9. Quantos litros de óleo foi coletado em uma semana?

Varia muito. Estávamos na faixa de 25 toneladas mas, com a crise, deu uma queda. Nesta semana foi em torno de 250 litros na parte da manhã e 350 litros na parte da tarde (600 litros/dia).

10. Por quanto você vende o óleo?

No máximo que se consegue é R\$ 0,80 para um litro de óleo. O cálculo é feito em cima de tonelada.

11. Vocês têm alguma pesquisa da quantidade de óleo descartada no esgoto antes da fundação da Ecoóleo?

Quando a Ecoóleo chegou em Volta Redonda, a poluição era de 100%. A cooperativa fez uma pesquisa e chegava 300 mil litros de óleo nos supermercados da cidade, logo esta era a quantidade consumida no município. A Ecoóleo começou a recolher e esta quantidade de descarte já deve ter reduzido uns 20%.

12. O óleo residual pode ser utilizado como matéria prima na fabricação do biodiesel. Quanto de óleo residual de fritura é necessário para a produção de biodiesel?

Para 1 litro de biodiesel, pelo menos 1 litro de óleo residual.

13. Qual a capacidade do caminhão que transporta o óleo para a Cesbra?

Caminhão tanque com capacidade de 10 e 15 toneladas, a diesel. O caminhão é terceirizado e custa na faixa de 350 para transportar, independente da quantidade.

14. Quantas vezes por mês a Ecoóleo entrega óleo na Cesbra? E quando entrega, qual é a quantidade?

Três vezes por mês. 18 toneladas em cada viagem para Cesbra. Este óleo não é todo da coleta, há uma quantidade que também é comprada de cooperativas.

15. Com quantas cooperativas vocês trabalham?

Três ou quatro cooperativas. Cada Cooperativa tem no mínimo 22 pessoas em cada.

16. Por quanto é comprado o óleo?

R\$ 0,50 é um bom preço. Mais do que isso eu já pensaria.

Anexo V: Entrevista resultante da visita técnica na Estação de Tratamento de Esgoto - ETE

Químico Luiz Cláudio Monteiro Abreu – Supervisor Técnico

1. Como funciona a ETE Gil Portugal?

O gradeamento do esgoto nesta estação é feito de forma automática por meio de uma esteira rolante (grade mecanizada) que retém todo o material grosso (pano, fralda, absorventes, etc). Este material cai em um balde. O balde é retirado manualmente. O esgoto já gradeado cai na estação elevatória que serve para bombear o fluxo de esgoto para o sistema de tratamento. Esta estação trabalha atualmente com uma média de 90 litros/segundo. A bomba da elevatória e a grade são controlados por um painel.

O esgoto que chega no SAAE vem das tubulações do vaso sanitário, da pia, do chuveiro e é proveniente tanto de residências quanto estabelecimentos comerciais, exceto indústrias (afluente industrial). Há um problema na estação de tratamento de esgoto de Volta Redonda que é a interligação da rede de águas pluviais com a rede de esgoto. Esta interligação gera problemas tais como a diluição de carga orgânica, que alimenta as bactérias. Se as bactérias não tiverem carga orgânica para se alimentarem, elas começam a comer umas as outras.

O esgoto bruto sem o material grosso é bombeado para os desarenadores. Nesta etapa, são retidas as areias e as gorduras. O esgoto bruto é mais de 90% de água. A areia por ser mais pesada decanta, vai para o fundo; a gordura vai flotar. O aparelho (desarenador) é programado: uma concha abaixa e capta a gordura acumulada. Tanto a gordura quanto a areia são direcionadas separadamente para um contêiner que, em seguida, é transportado pelo próprio SAAE para um aterro sanitário/centro de tratamento de resíduos (CTR).

2. Vocês sabem a quantidade de óleo residual presente no esgoto? Tem este controle?

Não há registro da porcentagem de óleo residual de fritura presente na gordura. Só se fizer uma análise de ácidos graxos.

O esgoto sem o material grosso, isento de areia e gordura, é encaminhado para calha parshall, local responsável por fazer a medição da vazão do esgoto que está entrando na estação. Em cima da calha há um medidor instalado que faz este controle de vazão.

Os valores são apresentados em um outro equipamento chamado Medidor Ultrassônico de Vazão (269,82 m³/h)

Feito isso, com a eliminação de areia, gordura, mediu a quantidade de esgoto, parte-se para a primeira parte do tratamento efetivo, também chamado de tratamento primário ou anaeróbico (sem ar/oxigênio).

O tratamento anaeróbico/UASB é feito por meio do RAFA (reator anaeróbico de fluxo ascendente), entra por baixo e sai por cima. Primeira etapa do tratamento é o tratamento anaeróbico. Este tratamento é totalmente vedado. As bactérias não podem ter oxigênio, se não elas morrem. Vai jogando material orgânico e as bactérias vão proliferando até se tornar uma manta de lodo. Este excesso de lodo é retirado e seco na centrífuga.

Em seguida, parte-se para o processo de pré-aeração e depois para o sistema de biodrum (aeróbico). É uma etapa de nitrificação (formação de nitratos NO₂ e nitritos NO₃). Quebra a molécula da amônia. O sistema, além de oxigenar, faz a homogeneização do esgoto.

Depois que passa pelo biodrum, 60% vai para o decantador secundário (esgoto tratado) e 40% volta para o sistema (lodo que vai para o fundo). O lodo é sugado por meio da válvula de air lift.

A eficiência de uma estação é medida por meio da análise de DBO e DQO. Embora haja o processo de tratamento, sempre fica algum resíduo de gordura, por exemplo, mas a níveis aceitáveis pelo INEA. A estação precisa trabalhar com mais de 90% de remoção.

No tanque anóxico vai ocorrer a desnitrificação. O tanque é cheio de bactéria aeróbicas que se alimentam de matéria orgânica e de oxigênio.

Se tirar o oxigênio do nitrato e nitrito, sobra nitrogênio que é encaminhado para o lavador de gases e neutralizado lá. Este lavador funciona para eliminar gases provenientes da parte anaeróbica que gera muitos gases e é queimado.

Nesta ETE, os gases não são queimados, pois utiliza-se o processo de neutralização destes gases, ou seja, processo de lavagem dos gases. O cloro é utilizado para este fim.

Anexo VI: Relatório resultante da visita técnica no Aterro Sanitário

O aterro sanitário recebe resíduos classe 2 que são os não-perigosos. Caso chegue algum resíduo que esteja fora do contrato, o resíduo é recusado. A licença do aterro contempla o resíduo classe 1, por até 48 horas, oriundos da prefeitura de Barra Mansa e Volta Redonda. Eles ficam no local por até 48 horas até uma empresa terceirizada recolhê-los. Esta empresa trata o material que, em seguida, vira resíduo classe 2. A partir daí, o aterro recebe e dispõe na praça de operação. O resíduo classe 1 contempla resíduos explosivos e radioativos.

A capacidade de recebimento de resíduos funciona da seguinte forma: o aterro possui 20 anos de vida útil prorrogável por mais 5 anos. Depende da quantidade de resíduos recebida. Em 2017, o aterro tem recebido em torno de 600 a 800 toneladas /dia. No início era 300. O cálculo é realizado mensalmente.

O tratamento é aterro sanitário: o resíduo é disposto, compactado e coberto. É feita a obra de terraplanagem, depois implanta a manta de auto densidade. Em cima da manta é feita a compactação de mais ou menos 60cm de argila compactada para protegê-la. Em outra camada, faz-se o sistema de drenagem feito de rachão e o dreno de gás. O lixo orgânico é despejado por cima do dreno para não compactá-lo. Por fim, forma-se uma outra camada de 5 metros de resíduos que são compactados com o trator. Ao chegar em um certo nível estabelecido pelo aterro, os resíduos são cobertos por argila. O único resíduo que é tratado fora é o classe 1 para ser transformado em classe 2. O aterro recebe resíduos vindos de órgãos público, privado e classe 2.

Anexo VII: Entrevista resultante da visita técnica na Cesbra

Entrevista: Eliezer de Freitas - Garantia da Qualidade

1. Como é fabricado o biodiesel?

Toda a gordura animal e todo óleo vegetal são passíveis e possíveis de serem transformados em biodiesel. Só que entra a questão da oferta e demanda. Hoje, a viabilidade maior é a soja. A Cesbra produz o biodiesel a partir da mistura de óleo residual e óleo virgem.

O biodiesel é a mistura do óleo de soja, metanol (álcool) e um catalisador. Este catalisador tem a função de acelerar a reação química.

2. Como é o processo desde a chegada do óleo até a sua transformação em biodiesel?

Assim que o óleo chega é retirada uma amostra que vai direto para o laboratório para verificar a quantidade de acidez e presença de água. Caso a água ou acidez esteja fora dos padrões, é feita uma reação piloto no próprio laboratório. Estando dentro dos padrões, o óleo é movimentado para os tanques de armazenamento. Em seguida, o óleo junto com o metanol e catalisador são direcionados para o tanque de reação, onde sai o biodiesel.

3. Qual a quantidade de óleo são necessários para produzir o biodiesel?

É praticamente um pra um. 1 litro de óleo para 1 litro de biodiesel. A quantidade de compra mensal corresponde a 1,5 milhão de litros. Como somado ao óleo há o metanol, a produção acaba rendendo mais. A produção mensal chega a 2 milhões de litros.

4. Para onde é vendido o biodiesel?

Obrigatoriamente, ele é vendido para a Petrobrás por meio de um leilão. A empresa compra e faz a distribuição para as refinarias. A Cesbra é auditada pela ANP.

5. Tem algum resíduo que sai deste processo?

Sim. Glicerina bruta, metanol e ácido graxo. A glicerina e ácido graxo são vendidos. O metanol retorna para o processo.

6. Quantos colaboradores há na empresa?

Juntando produção e administração (laboratórios) soma 50 colaboradores.