



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPIRITO SANTO  
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPIRITO SANTO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA

**MAX FILIPE SILVA GONÇALVES**

**PLANEJAMENTO DA LOGÍSTICA REVERSA DO ÓLEO RESIDUAL DE  
FRITURA PARA UMA DESTINAÇÃO AMBIENTALMENTE CORRETA**

SÃO MATEUS – ES  
2015

MAX FILIPE SILVA GONÇALVES

**PLANEJAMENTO DA LOGÍSTICA REVERSA DO ÓLEO RESIDUAL DE  
FRITURA PARA UMA DESTINAÇÃO AMBIENTALMENTE CORRETA**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Energia do Centro Universitário Norte do Espírito Santo, da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Energia, na área de concentração em engenharia, tecnologia e gestão.**

**Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Gisele de Lorena Diniz Chaves**

**Co-Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Rodrigo de Alvarenga Rosa**

**SÃO MATEUS – ESPIRITO SANTO  
2015**

**PLANEJAMENTO DA LOGÍSTICA REVERSA DO ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA PARA UMA DESTINAÇÃO AMBIENTALMENTE CORRETA**

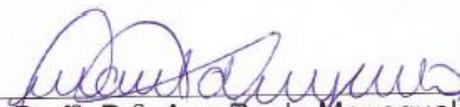
**MAX FILIPE SILVA GONÇALVES**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal do Espírito Santo,  
como parte das exigências do Programa  
de Pós-Graduação em Energia, para  
obtenção do título de Mestre em  
Energia.

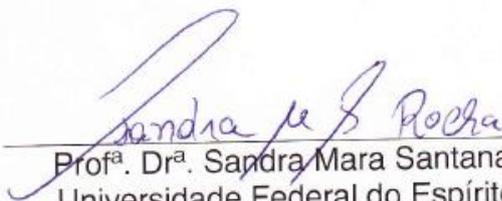
Aprovada: 22/02/2016.



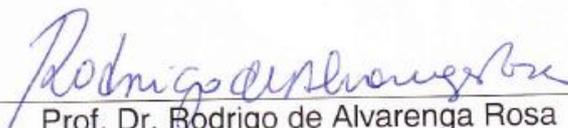
Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Gisele de Lorena Diniz Chaves  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientadora



Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Ana Paula Meneguelo  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Examinador Interno



Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Sandra Mara Santana Rocha  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Examinador Externo



Prof. Dr. Rodrigo de Alvarenga Rosa  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Examinador Externo

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Divisão de Biblioteca Setorial do CEUNES - BC, ES, Brasil)

---

G635p      Gonçalves, Max Filipe Silva, 1988-  
Planejamento da logística reversa do óleo residual de fritura  
para uma destinação ambientalmente correta / Max Filipe Silva  
Gonçalves. – 2016.  
112 f. : il.

Orientador: Gisele de Lorena Diniz Chaves.  
Coorientador: Rodrigo de Alvarenga Rosa.  
Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade Federal  
do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo.

1. Logística reversa. 2. Óleo residual de frituras. I. Chaves,  
Gisele de Lorena Diniz. II. Rosa, Rodrigo de Alvarenga. III.  
Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Universitário  
Norte do Espírito Santo. IV. Título.

CDU: 620.9

## AGRADECIMENTOS

Ao Deus que me deu vida, saúde, e me fez perseverar no período em que foi necessário trabalhar e estudar. A Ele devo toda honra e gratidão, pois me guardou em todas as viagens a São Mateus, me preservou com vida, saúde e emprego para finalizar este curso.

À minha Mariana que me incentivou, cuidou de mim, me compreendeu e me amou mesmo eu sendo ausente. A ela, um muito obrigado não representa o quanto foi importante todo o carinho e paciência dispensada nestes anos de empenho no mestrado.

À minha família agradeço pela estima e por acreditarem que eu era capaz.

Agradeço à Gisele, minha professora e orientadora que me ensinou muito! Conduziu este trabalho com muito critério e teve paciência comigo.

Ao professor Rodrigo que abraçou minha causa e me ajudou muito na modelagem matemática e outras coisas mais...

Agradeço aos professores do PPGE pelo conhecimento compartilhado, à SUPGRAD pela assistência e presteza sempre que precisei.

Agradeço o apoio dos meus amigos do programa pelas dicas, à IPB pelas orações, e aos demais por fazerem parte desta conquista. Em especial, agradeço ao Ralf pelas companhias de viagem, pelas risadas, experiência e distrações. Também ao Marcos pelo apoio na modelagem matemática.

Enfim, *tetelestai!*

## RESUMO

O aumento da geração de resíduos afeta o cotidiano de milhões de pessoas, mas a prática da destinação adequada destes resíduos é recente no Brasil, impulsionada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) promulgada em 2010. Dentre os resíduos, o óleo de cozinha usado proveniente de residências, comércio e indústrias, é um resíduo potencialmente poluidor quando descartado de maneira inadequada. Portanto, é necessário privilegiar outras destinações, tal como para fabricação caseira de sabão, tintas, biodiesel como outros. No entanto, uma dificuldade para o aproveitamento deste resíduo é ter um volume suficiente e que seja oferecido a baixo custo de forma a viabilizar seu processo de logística reversa. Neste sentido o objetivo deste trabalho é propor uma rede de logística reversa para este resíduo por meio de um modelo matemático para definição de centros de retorno minimizando o custo de instalação e operação da rede. O modelo foi validado por meio de aplicação no município de Linhares, norte do estado do Espírito Santo. Foram selecionados seis cenários baseados em dados reais que foram executados no *Solver* IBM CPLEX 12.6. Com os resultados obtidos, foi possível aferir sobre as alternativas para rede de logística reversa. A discussão dos resultados permeia os direcionadores econômicos, legais e ambientais. Foi possível perceber o impacto nos custos totais da rede com a alocação das facilidades em distintos locais, em função do volume de resíduo coletado, bem como o fluxo de envio de resíduo dos bairros para os centros de pré-tratamento e destes para os locais de reciclagem. Verificou-se que os custos de transporte são mais impactantes que os custos de instalação. A otimização da rede de logística reversa do resíduo contribui para sua implantação e reaproveitamento de um resíduo prejudicial ao meio ambiente, mas que pode ser utilizado como matéria prima em outro processo produtivo, desde que seja coletado e tratado adequadamente.

Palavras-chave: logística reversa, localização de facilidades, óleo residual de fritura.

## ABSTRACT

Increased waste generation affects the daily lives of millions of people, but the practice of proper disposal of this waste is recent in Brazil, driven by the National Policy on Solid Waste (PNRS) enacted in 2010. Among the waste, used cooking oil from households, commerce and industry, is a potentially polluting waste when disposed of improperly. Therefore it is necessary to focus on other destinations, such as to home-made soap, paint, biodiesel as others. However, a difficulty in the utilization of this waste is to have a sufficient volume and is provided at low cost so as to enable these processes. In this sense, the objective of this work is to propose a reverse logistics network for this waste by means of a mathematical model for defining return centers minimizing the cost of installation and operation of the network. The model was validated by application in Linhares, north of Espírito Santo. They selected six scenarios based on real data that were run on IBM Solver CPLEX 12.6. With the results obtained, it was possible to assess on alternatives to reverse logistics network. The discussion permeates the economic, legal and environmental drivers. It was possible to see the impact on the total costs of the network with the allocation of facilities in different places, depending on the collected waste volume, and the residue sending flow of the neighborhoods for pre- treatment centers and those for local recycling. It was found that transport costs are more striking than the installation costs. The optimization of reverse logistics network of waste contributes to its implementation and reuse of a harmful waste to the environment, but it can be used as raw material in another productive process, provided it is collected and treated properly

Keywords: reverse logistics, facilities location, waste cooking oil.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: As cinco dimensões básicas da logística reversa .....	17
Figura 2: Pirâmide Invertida de opções de recuperação .....	24
Figura 3: Classificação dos Problemas de Localização .....	30
Figura 4 Localização da cidade de Linhares .....	46
Figura 5 Bairros da Cidade de Linhares.....	46
Figura 6: Representação gráfica da rede de logística reversa do ORF.....	48
Figura 7: Representação da rede com parâmetros utilizados no modelo matemático.....	56
Figura 8: Locais Candidatos a receber um CT .....	61
Figura 9: Rede do Cenário 1 .....	73
Figura 10: Localização de CT do Cenário 1 .....	74
Figura 11: Rede do Cenário 2.1 .....	75
Figura 12: Localização de CT do Cenário 2.1 .....	76
Figura 13: Rede do Cenário 2.2 .....	77
Figura 14: Localização de CT do Cenário 2.2 .....	78
Figura 15: Rede do Cenário 3.1 .....	79
Figura 16: Rede do Cenário 3.2 .....	80
Figura 17: Rede do Cenário 3.3 .....	81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Consumo mensal de óleo por renda.....	58
Tabela 2: Faixa de capacidade do CT.....	63
Tabela 3: Custo Fixo de Instalação do CT em função da vida útil.....	65
Tabela 4: Custo Fixo de Operação.....	66
Tabela 5: Variação do Custo Operacional em função do volume processado no CT .....	66
Tabela 6: Quantidade de funcionários em função do volume processado no CT .....	67
Tabela 7: Custo Variável – Utilização de Reagente .....	69
Tabela 8: Receita obtida pela venda do ORF.....	70
Tabela 9: Análise dos Cenários.....	71

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
1.1 OBJETIVO GERAL .....	11
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	11
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
2.1 LOGÍSTICA REVERSA .....	13
2.2 LOGÍSTICA REVERSA DO ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA (ORF) .....	17
2.2.1 Motivadores para implantação da LR .....	18
2.2.2 Motivos para retornar .....	21
2.2.3 Identificação do produto ou material a ser retornado na LR.....	22
2.2.4 Processos envolvidos com a LR .....	24
2.2.5 Identificação dos participantes da LR .....	26
2.3 PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES .....	28
2.3.1 Taxonomia para Problema de Localização de Facilidade.....	30
2.4 ESTUDOS SOBRE PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO PARA LR .....	35
2.4.1 Estudos sobre problemas de localização para LR do ORF.....	38
2.5 ESTUDOS SOBRE PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES DO TIPO <i>MULTI-ECHELON</i> .....	39
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>42</b>
3.1 TIPO DE ESTUDO.....	42
3.2 PROCEDIMENTOS PARA OBTENÇÃO/COLETA DE DADOS .....	44
3.3 PROBLEMÁTICA .....	46
3.4 ELABORAÇÃO DE CENÁRIOS PARA ANÁLISE .....	49
<b>4. MODELAGEM MATEMÁTICA DA REDE LOGÍSTICA REVERSA .....</b>	<b>53</b>
4.1 MODELO MATEMÁTICO .....	53
<b>5. LEVANTAMENTO DOS DADOS DO ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>58</b>
5.1 ESTIMATIVA DA QUANTIDADE ORF GERADO PELOS GPG.....	58
5.2 ESTIMATIVAS DA QUANTIDADE ORF GERADO PELOS GGG .....	59
5.3 DA ALOCAÇÃO DE PONTOS DE ENTREGA VOLUNTÁRIA (PEV).....	59
5.4 LOCAIS CANDIDATOS A CENTRO DE TRATAMENTO.....	61
5.5 FAIXAS DE CAPACIDADE PARA CENTRO DE TRATAMENTO.....	63

5.6 CUSTOS FIXOS DE INSTALAÇÃO DE UM CENTRO DE TRATAMENTO (CT) .....	63
5.7 CUSTOS FIXOS DE OPERAÇÃO DE UM CT .....	65
5.8 CUSTOS VARIÁVEIS.....	67
5.9 RECEITA DA VENDA DO ORF.....	69
<b>6. ANÁLISE DOS CENÁRIOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>70</b>
6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS RESULTADOS .....	83
<b>7. CONCLUSÕES .....</b>	<b>85</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>89</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>105</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da população brasileira, ocorre também um crescimento de consumo de alimentos (IBGE, 2014-a). Conseqüentemente, o aumento do consumo de itens da cesta básica eleva a geração de resíduos sólidos e líquidos (LEAL *et al.*, 2009).

O aumento da geração de resíduos afeta o cotidiano de milhões de pessoas (DOVI *et al.*, 2009). A prática da destinação correta destes resíduos é recente no Brasil, visto que a necessidade de direcionar os resíduos para locais adequados está referenciada na lei 12.305/2010 que trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (BRASIL, 2010). Um dos principais desafios da PNRS é desabilitar o descarte em lixões (descarte a céu aberto), aterros controlados e recuperar as áreas degradadas por práticas inadequadas de descarte. Diversos resíduos são inadequadamente descartados, acarretando em aumento da poluição e degradação ambiental.

Em contrapartida, os resíduos podem se tornar matéria prima de um novo processo de fabricação (MOTA *et al.*, 2009). Isto quer dizer que mesmo após utilizado, um resíduo corretamente recolhido, pode ser reaproveitado como fonte de energia, insumo ou matéria prima de outro processo,.

Neste contexto, é possível citar o óleo vegetal utilizado como óleo comestível que, uma vez usado em fritura, gera um resíduo que necessita de uma destinação ambientalmente adequada (OIL WORLD, 2014). O óleo de cozinha usado, também chamado de óleo residual de fritura – ORF, proveniente de residências, comércio e indústrias, é um resíduo potencialmente poluidor quando descartado de maneira inadequada. O descarte nos ralos de pias deve ser evitado, pois um litro deste resíduo pode poluir mil litros de água (MARCA AMBIENTAL, 2015).

Considerando tais impactos, é necessário privilegiar outras destinações, tal como para fabricação caseira de sabão conforme Silva e Puget (2010) e Silva *et al* (2012), ou a fabricação de biodiesel de acordo com Rigo e Rosa (2008),

dentre outras alternativas. A possibilidade da reutilização do Óleo Residual de Fritura (ORF) mostra-se atraente, baseado na sustentabilidade dos recursos biológicos, proteção ambiental e considerações econômicas (TSAI *et al.*, 2007; GUI *et al.*, 2008).

O óleo residual usado vem se tornando um insumo complementar às matérias-primas tradicionais do mercado de biocombustível, o que proporciona uma diversificação da matriz energética (ÇANAKCI e VAN GERPEN, 2003). A conversão deste resíduo para biodiesel tem atraído os investidores do setor devido a sua sustentabilidade econômica e ambiental (IGLESIAS *et al.*, 2012; YONG *et al.*, 2012).

Diante do elevado consumo do óleo de cozinha evidenciado por Madalozo, (2008) e suas possibilidades de reutilização, é necessário identificar uma destinação adequada para o resíduo que é gerado após o uso deste produto, assim também como uma estrutura para que o resíduo seja coletado adequadamente e destinado ao reaproveitamento. Para o ORF tornar-se matéria prima de um novo processo, procedimentos importantes devem ser adotados. Conforme a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), a destinação adequada dos produtos ao final de seu ciclo de vida útil não é de responsabilidade apenas do consumidor final, mas deve ser compartilhada entre os envolvidos neste processo, desde a produção até a destinação final. Deste modo, cada um tem suas atribuições específicas. Sendo assim, os desafios são diversos, podendo ser destacada a capacidade de planejamento e de gestão mais eficiente deste fluxo reverso (GONÇALVES e CHAVES, 2014).

O caso da coleta e reaproveitamento do ORF enquadra-se no âmbito da Logística Reversa (LR) em que De Brito e Dekker (2003) caracterizam uma pirâmide invertida com opções de reaproveitamento organizadas hierarquicamente para os níveis de processamento com maior recuperação de valor em ordem decrescente: reuso direto, reparação, remodelagem, remanufatura, canibalização, e por último a incineração e/ou descarte em aterro sanitário. Sendo assim, considerando as características potenciais que o ORF possui, não é adequado que o resíduo seja descartado, pois possui ainda

possibilidade de reaproveitamento como nova fonte de energia (VAN KASTEREN e NISWORO, 2007).

Considerando que a LR tem como objetivo retornar valor, a opção de reaproveitar o óleo residual de fritura evita o descarte direto ao meio ambiente. Para retornar este valor, representado pelo ORF, é necessário estruturar uma rede de logística reversa garantido que as atividades sejam coordenadas buscando a otimização dos recursos para minimizar os custos envolvidos nesta cadeia (GONÇALVES e CHAVES, 2014).

Para facilitar o funcionamento da rede de LR, pontos de coleta podem ser implantados para concentrar o recebimento do ORF conforme sugerido por Tibben-Lembke e Rogers (2002). Estes pontos são denominados Pontos de Entrega Voluntária (PEV). A implantação desta facilidade é importante para minimizar as limitações existentes no fluxo reverso visto que existem dificuldades na gestão deste estoque, a previsão de demanda e retorno, definição de transporte, qualidade do produto a ser recebido e o custo da atividade de recolhimento. O PEV permite a consolidação da carga, ou seja, agregar volume. Isso é importante, pois segundo Matias (2014), o volume de ORF é o critério mais importante na decisão de reaproveitamento deste resíduo, mais até que outros fatores como o preço ou a qualidade do ORF.

No entanto, para o sucesso desta alternativa, um adequado Plano de Educação Ambiental se faz necessário (BINOTO, 2010). Este PEV é apenas um elo da rede de logística reversa e ainda depende da participação do consumidor final que deve utilizar esta facilidade para descartar o resíduo gerado.

Portanto, deve-se destacar a importância do estudo de uma adequada localização destas facilidades, com o objetivo de minimizar o esforço realizado pelo consumidor final e o custo do fluxo reverso para viabilizar sua implantação. Como o resíduo tem baixo valor agregado, caso o custo da logística reversa para a coleta e/ou o esforço do consumidor para levar o resíduo até os PEV sejam elevados, a estruturação de toda a cadeia reversa pode ser comprometida.

Diante do exposto, este trabalho tem como problema, a necessidade de propor alternativas para estruturar uma rede de logística reversa do ORF desde o ponto de consumo até o envio para empresas de beneficiamento deste resíduo. Para isso, tomou-se como campo de pesquisa a cidade de Linhares/ES para aplicação do estudo.

### 1.1 OBJETIVO GERAL

Este estudo tem como objetivo analisar alternativas para implantação da rede de logística reversa do óleo residual de fritura gerado em residências e estabelecimentos comerciais por meio de um modelo matemático de Programação Linear Inteira Mista.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Identificar os parâmetros determinantes para estruturar a rede de logística reversa;
- II. Elaborar e implementar o modelo matemático que melhor descreva os fluxos na rede de logística reversa;
- III. Aplicar e avaliar o modelo matemático proposto um estudo de caso;
- IV. Analisar as alternativas propostas por meio da construção de cenários, buscando identificar as vantagens e desvantagens de cada uma delas.

### 1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O trabalho está dividido em sete capítulos sendo estes:

1. Introdução;
2. Referencial teórico;
3. Metodologia;
4. Modelagem matemática da rede de logística reversa;
5. Levantamento dos dados do estudo de caso;

6. Análise de cenários e discussão dos resultados;
7. Conclusões.

No Capítulo 1, o tema selecionado foi apresentado e contextualizado, realizadas as considerações iniciais, evidenciados os objetivos e as justificativas da escolha do assunto e estrutura da dissertação.

O Capítulo 2 apresenta o referencial teórico, no qual são abordados os conceitos de Logística Reversa e os fatores que motivam a LR do ORF e ainda apresenta uma abordagem sobre problemas de localização.

Em seguida, no Capítulo 3 são destacados os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento da pesquisa e foram apresentados os cenários propostos para estudo.

No Capítulo 4, é apresentado o modelo matemático proposto seus respectivos conjuntos, parâmetros, variáveis de decisão, função objetivo e restrições.

A composição do Capítulo 5 consiste em apresentar os parâmetros do modelo, os quais foram aplicados nos diferentes cenários.

No Capítulo 6, os resultados são apresentados, analisados e discutidos.

Por fim, no Capítulo 7 são apresentadas as conclusões obtidas a partir da análise final do estudo de caso.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são explicados os principais conceitos de logística reversa e conceitos sobre problemas de localização de facilidades e suas aplicações. Uma revisão da literatura também é apresentada sobre cada um destes temas.

### 2.1 LOGÍSTICA REVERSA

O conceito de logística reversa (LR) é abordado por diversos autores no decorrer dos anos e, mesmo que seja tratado de maneiras diferentes, convergem para o mesmo sentido. Embora o conceito de logística reversa esteja presente há muito tempo, é difícil datar o surgimento deste termo com precisão (De Brito e Dekker, 2002). O seu conceito é relativamente novo quando observado sob ponto de vista acadêmico, o seu surgimento na literatura ocorreu nos anos 70, mas mesmo assim bastante incorporado às questões de reciclagem de resíduos sólidos (DE BRITO, 2003).

A Logística Reversa foi definida por Pohlen e Farris (1992) como o movimento de mercadorias do consumidor para o produtor por meio de um canal de distribuição. Kopicki *et al.* (1993) afirmaram que a LR é um termo amplo, referente ao gerenciamento da logística relativa ao fluxo de distribuição oposto ao tradicional. Inclui a distribuição reversa que permite o fluxo da carga e de informação na direção oposta à aplicada normalmente para as atividades logísticas.

Posteriormente, veio uma definição mais ampla da logística reversa afirmando ser o processo de planejamento, implementação e controle eficiente e eficaz do fluxo de entrada e armazenagem de materiais secundários e informações relacionadas opostas à direção tradicional da cadeia de suprimentos, com o propósito de recuperar valor ou descartar corretamente materiais (FLEISCHMANN *et al.*, 1997).

Stock (1998) afirma que o papel da logística consiste no retorno de produtos, redução de recursos, reciclagem, substituição de materiais, reutilização, disposição de resíduos, reforma, reparo e manufatura.

Dornier *et al.* (2000) definiram logística reversa como gestão de fluxos entre funções de negócio, englobando maior amplitude de fluxos do que no passado. Além de fluxos diretos tradicionalmente considerados, a logística engloba, entre outros, os fluxos de retorno de peças a serem reparadas, de embalagens e seus acessórios, de produtos vendidos devolvidos e de produtos usados/consumidos a serem reciclados.

Bowersox e Closs (2001) apresentaram a ideia de apoio ao ciclo de vida como um dos objetivos operacionais da logística reversa, referindo-se ao seu prolongamento além do fluxo direto dos materiais e à necessidade de considerar os fluxos reversos de produtos em geral.

Para Tibben-Lembke e Rogers (2002), a LR é o processo de planejamento, implementação e controle do fluxo eficiente e de baixo custo de matérias primas, estoque em processo, produto acabado e informações relacionadas, desde o ponto de consumo até o ponto de origem, com o propósito de recuperação de valor ou descarte apropriado para coleta e tratamento de lixo.

Ainda, Lacerda (2002) apresentou uma definição similar à de Tibben-Lembke (1999), em que define LR como o processo de planejamento, implementação e controle do fluxo de matérias primas, estoques em processo e produtos acabados do ponto de consumo até o ponto de origem, com o objetivo de recapturar o valor ou realizar um descarte adequado.

A LR pode ser entendida como a área da logística empresarial que planeja, opera e controla o fluxo das informações logísticas correspondentes ao retorno de bens de pós-venda e de pós-consumo, ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo, por meio dos canais de distribuição reversos (LEITE, 2003).

A respeito das dimensões do contexto da logística reversa, Fleischmann *et al.* (1997) indicaram que as situações em que ocorrem reaproveitamentos são diversas e podem ser classificadas de acordo com um número de critérios, incluindo: motivos do reuso, tipos de itens recuperados, formas de reuso e

agentes envolvidos. Analisando o trabalho de Leite (2003), pode-se adicionar um quinto aspecto ao contexto dos estudos de logística reversa, que é a relação entre os fluxos reversos diretos, ou melhor, a relação entre as direções dos fluxos. Cada um desses aspectos tem implicações importantes para os tipos de problemas de planejamento a serem estudados e para a formulação de modelos adequados.

De Brito (2003) propõe um conceito sobre LR apresentando seus direcionadores. Nesta parte, a importância de empresas e instituições na condução da logística reversa é abordada, assim como as razões dos produtos a serem retornados. De Brito e Dekker (2002) especificam quais os tipos de itens a serem recuperados e suas características, opções de recuperação ou formas de reutilização e os atores envolvidos.

O projeto da rede de logística reversa é um componente da logística reversa, responsável pelo planejamento do retorno e da circulação de todas as informações associadas ao produto retornado, bem como as infraestruturas de armazenagem. O seu estabelecimento favorece a funcionalidade e rentabilidade dos mercados de reuso, pois permite que um recuperador de produtos usados apresente, simultaneamente, as funcionalidades de um comprador, quando compra/adquire os produtos, e de um vendedor quando os revende (FLEISCHMANN, 2001).

Tal característica atribuí ao projeto de rede logística reversa, uma importância estratégica na gestão de cadeias de suprimentos do setor empresarial, podendo destacar pesquisas desenvolvidas abordando diferentes perspectivas sobre o tema (ACHILLAS *et al.*, 2010; ALUMUR *et al.*, 2012).

Fleischmann *et al.* (2000) explicam que as redes de logística reversa e as redes de logística tradicional podem ser comparadas por apresentarem características comuns. Os autores consideram que, em redes reversas o suprimento é uma variável exógena, e em redes tradicionais o suprimento é uma variável endógena. O termo endógeno é associado a algo inserido no processo de forma controlada, enquanto, o termo exógeno refere-se, a algo externo ao processo sendo, por essa razão, muitas vezes de difícil controle. Este fato demonstra que, apesar das características comuns, ambas as redes

possuem modelos de planejamento diferentes. Considerando isso, o planejamento da rede reversa será mais complexo que o da rede tradicional, por estar sujeito aos riscos e incertezas associados ao processo reverso, nomeadamente incerteza dos suprimentos em termos de quantidade e qualidade, dificuldade de previsão e estimativa de custos de operação (FLEISCHMANN, 2000, FLEISCHMANN, 2001; TIBBEN-LEMBKE E ROGERS, 2002).

O projeto da rede de logística reversa é composto por uma série de atividades logísticas e não logísticas, e envolve inúmeras decisões dentre as quais destacam-se a determinação do número de instalações logísticas necessárias, suas capacidades e respectivas localizações, cujo planejamento constitui um problema complexo de se resolver (PISHVAEE *et al.*, 2010; FERRI *et al.*, 2015).

O desenho do projeto de redes logísticas reversas é usualmente estudado na literatura como problema de localização de facilidades (LORENA, 2003). O problema de localização de facilidades é uma área da pesquisa operacional que, trata de decisões sobre onde localizar facilidades em uma rede, considerando que existem clientes a serem atendidos, de forma a otimizar um determinado critério (OWEN e DASKIN, 1998; MELO *et al.*, 2009; FARAHANI *et al.*, 2010; FERRI *et al.*, 2015).

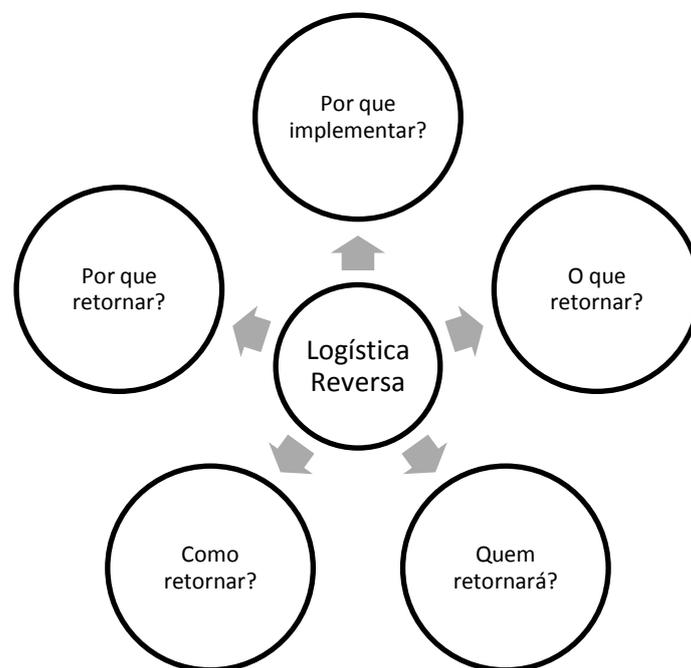
O planejamento de uma rede logística reversa é importante no gerenciamento de uma cadeia de suprimentos. No entanto, as decisões referentes ao número de instalações, suas localizações, suas capacidades, e o fluxo entre elas, afetam, de maneira direta, os custos totais da rede logística reversa (AMIRI, 2006, PISHVAEE *et al.*, 2010).

Ainda sobre logística reversa, na Seção 2.2 será abordada a logística reversa do ORF e fatores envolvidos na atividade de coleta deste resíduo.

## 2.2 LOGÍSTICA REVERSA DO ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA (ORF)

Para abordagem do ORF, nesta seção será utilizada uma estrutura proposta por De Brito (2003) voltada para a caracterização da LR do resíduo pesquisado. A fim de formalizar uma estrutura para a logística reversa, De Brito (2003) propôs uma estrutura baseada em cinco pilares, estes podem ser simplificados na forma de questionamentos como exposto na Figura 1.

Figura 1: As cinco dimensões básicas da logística reversa



Fonte: adaptado de De Brito (2003, p. 47).

Portanto, considerando as dimensões da logística reversa propostas por De Brito (2003), surgem questionamentos relacionados a motivações para implementar a logística, procedimentos e atores envolvidos nestas atividades.

Na verdade, essas são respostas para as seguintes fundamentais perguntas:

Por que implementar? Isto é, qual a real necessidade ou motivação de implantar o fluxo reverso de determinada cadeia. Por que retornar? Refere-se a identificação dos motivos que levam o produto retornar, sendo que pode ser retornado usado ou até mesmo novo. “O que é retornado?” é possível perceber

que vários tipos de produtos podem ser retornados e que todos merecem atenção especial de acordo com suas características. Como o retorno é realizado? é uma pergunta de extrema importância, pois trata das condições em que os produtos retornados realizam o fluxo reverso. E por fim, é questionado: Quem participa do retorno? É necessário saber, pois cada ator envolvido possui sua atribuição diante do fluxo reverso.

### 2.2.1 Motivadores para implantação da LR

Existem três motivadores que impulsionam a logística reversa e similar a este conceito, Melo *et al.* (2009) citam três justificativas para implementar a logística reversa sendo elas: aspectos econômicos, ou seja, possibilidade de recuperar valor, leis governamentais que forçam a implantação da logística reversa e o mercado que agrega a pressão dos consumidores (ROGERS e TIBBEN-LEMBKE, 1998).

Os aspectos econômicos referem-se aos ganhos financeiros que existem em potencial, ou seja, após a implantação da rede, o retorno financeiro será por meio da receita obtida na venda do resíduo. Normalmente não há incentivo governamental para implementação de uma rede, as empresas envolvem-se em atividades de logística sem apoio e contanto apenas com o retorno de investimento em longo prazo.

No setor produtivo, a logística reversa pode ser considerada como uma maneira de obter matéria prima a custos menores, podendo elevar a valorização do produto por meio da sua recuperação, diminuição dos custos de deposição de resíduos sólidos, e oportunidade para ter acesso aos mercados alternativos como o mercado de segunda mão. Rendimentos significativos podem ser observados com a adoção de iniciativas referentes a implementação da logística reversa, como por exemplo, a adoção de embalagens retornáveis ou o reaproveitamento de materiais reciclados na produção de novos produtos (LACERDA, 2003).

Considerando o ORF, existem processos que obtiveram bons resultados utilizando-o como matéria prima. A produção de biodiesel a partir de óleos usados tem sido discutida na literatura, por exemplo, em Felizardo *et al.* (2006) e Kulkarni e Dalai (2006) na fabricação de biodiesel, Marchetti Errazu (2008) e Marchetti *et al.* (2008) e Van Kasteren e Nisworo (2007) buscando eficiência em processos químicos, Guabiroba (2009) e Alves (2010) estudando os rendimentos do processo de produção, Mei *et al.*, (2011), Iglesias *et al.*, (2012), Yong *et al.* (2012) que apresentaram resultados significativos na produção de biodiesel a partir de ORF.

Dib (2010), Oliveira (2013) e Wang (2013) apresentaram rendimentos médios entre 80% a 97% para a produção de biodiesel por meio de resíduos de óleo vegetal. Contudo, Mei *et al.* (2011), Vitória *et al.* (2011) e Oliveira (2013), alertaram para necessidade do biodiesel atender as especificações de qualidade para comercialização que, no caso do Brasil, são estabelecidas pela Agência Nacional de Petróleo (ANP). Silva e Puget (2010) alcançaram resultados interessantes que revelaram que é possível obter um rendimento da reação em torno de 97%, além de um tempo baixo de produção e custo irrisório, tornando o resíduo atraente para este mercado.

Considerando o ORF, pode-se observar que o fator econômico existe, visto que ele pode ser utilizado para obtenção de outras energias biocombustíveis (Çanakçı e Van Gerpen, 2003), sendo sua aplicação viável economicamente (Iglesias *et al.*, 2012; Yong *et al.*, 2012; Silva e Puget, 2010; Silva *et al.*, 2012-a). O aspecto econômico é interessante, pois 70-95 % do custo total de produção de biodiesel surge da matéria prima conforme abordado por Zhang *et al.* (2003). Ainda, pesquisas mostram que é possível obter rentabilidade com o reaproveitamento do ORF (DORADO *et al.*, 2006; HAAS *et al.*, 2006; MARCHETTI *et al.*, 2008).

Os motivadores legais referem-se à jurisdição que indique que a empresa deve recuperar o produto e o consumidor deve retorná-lo. Alguns países e regiões desenvolvidas possuem regulamentos rigorosos ao retorno de bens pós-consumo. Este impulsionador está relacionado com questões de direito ao consumidor assim como responsabilidade ambiental. Inclusive, muitos países

desenvolvidos criaram políticas que penalizam o descarte do ORF (Kulkarni e Dalai, 2006), mas no Brasil o surgimento da legislação ocorreu somente em 2010 (Lei Nº 12.305 de agosto de 2010), e sua fiscalização ocorre de forma tímida. Portanto, no caso do ORF, não se considera este fator um motivador da implantação da logística reversa, exceto casos de legislação municipal específica para este fim.

O aspecto Mercado consiste em características mercadológicas que se referem à diferenciação de produtos e serviços prestados aos clientes, e o aspecto da Cidadania corporativa, contempla o conjunto de valores/princípios que a organização possui por implementar e estar associado às atividades de logística reversa, construindo deste modo uma imagem ambientalmente consciente para os consumidores e fornecedores (KANNAN, *et al.*, 2010). Para o ORF, o fato de realizar sua coleta para providenciar uma destinação adequada não se apresenta atraente para a comunidade, pois não há conhecimento necessário dos danos que este resíduo pode causar ao meio ambiente, no entanto, as possibilidades de reaproveitamento devem se tornar conhecidas para valorizar a LR do resíduo. Dentre os meios disponíveis para fazer com que estas informações possam chegar à população, trabalhos em escolas de ensino básico podem contribuir e, divulgação por meio de propagandas também pode ser eficaz.

Estes três elementos se correlacionam em qualquer circunstância, visto que sempre que um fator deixa de existir, um outro entrará em evidência. Isto quer dizer que, se o fator legal não contempla a atividade de descarte adequado de um determinado resíduo, certamente o fator econômico ou o fator mercado estarão presentes para motivar a LR do resíduo. Este caso pode ser exemplificado com a estrutura de coleta de latas de alumínio Leite, (2003) Coelho *et al.* (2011) e embalagens PET. Welle, (2011), a qual foi estruturada sem sequer existir legislação, mas, havia interesse econômico. Nestes casos o fator mercado ainda foi beneficiado pela atitude das empresas que praticam a coleta. No caso de pilhas e baterias, o fator econômico não existe, se faz necessário o fator legal para regular a coleta destes resíduos (KANNAN, *et al.*, 2010).

Pitta Junior. *et al.* (2009) consideram que o retorno do óleo de cozinha à cadeia produtiva, como matéria-prima, diminui o custo do produto; serve para a fabricação de produtos, como biodiesel, tintas, óleos para engrenagens, sabão e detergentes, que além de agregar valor econômico ao processo e contribuir para a preservação do meio ambiente, também valoriza o nome da empresa perante o público consumidor. A utilização de um ciclo reverso será economicamente viável caso a soma dos custos do acondicionamento até a movimentação ao local de produção seja inferior ao valor da matéria retornada, acarretando em vantagens competitivas para a empresa.

### 2.2.2 Motivos para retornar

Motivos variados fazem com que produtos retornem às empresas por meio de caminhos diversos. Segundo Dekker *et al.* (2004) os produtos podem ser descartados ou retornados geralmente por não desempenhar sua função de maneira correta, ou por não possuir mais utilidade. As razões de retorno podem ser classificadas em três tipos: retornos de fabricação, retornos de distribuição e retornos oriundos do cliente.

O retorno de fabricação é efetivado durante a fase de produção, sendo motivado por sobras de matérias-primas, produtos semiacabados ou acabados que não foram aprovados diante de teste de qualidade, ou seja, não conforme, e necessitam de retrabalho (DE BRITO, 2004).

O retorno de distribuição se refere a produtos oriundos de recalls, ajustes de estoques ou retornos comerciais (DEKKER *et al.*, 2004).

E por fim, o cliente pode retornar o produto para o fabricante ao final da sua vida útil, cabendo ao fabricante a reutilização ou recuperação de alguns materiais, além de um descarte adequado do resíduo gerado (ROGERS; TIBBEN-LEMBKE, 1998).

O retorno do óleo residual enquadra-se na categoria de retorno de consumidores, e trata-se de um retorno de final de vida. Após o processo de fritura, o óleo chega ao término do seu ciclo de vida útil, sendo por isso

descartado no meio ambiente, ou enviado para reciclagem (Guabiroba, 2009). Vale ressaltar que os consumidores podem ser classificados como pessoa física (consumidores residenciais) quanto como pessoa jurídica, ou seja, estabelecimentos que processam alimentos e geram este resíduo que deve ser descartado. Os motivos que levam os consumidores a retornarem o óleo residual podem ser tanto os ganhos econômicos por meio da venda do óleo, os ganhos corporativos para desenvolver uma boa imagem social, ou fatores legais atendendo a necessidade de cumprir a legislação (MATTOSINHO e DA SILVA, 2010); MEI *et al.*, 2011 e YONG *et al.*, 2012).

### 2.2.3 Identificação do produto ou material a ser retornado na LR

De Brito (2004) considera a composição, a deterioração e o padrão de uso como sendo as especificações relevantes quanto a determinação das atividades logísticas. Chaves (2009) completa afirmando que as características do produto como tamanho, peso, valor e facilidade do transporte têm um papel decisivo para a estruturação da rede logística reversa.

A importância da diferenciação em função do retorno ser um produto ou uma embalagem é destacada por Rogers e Tibben-Lembke (1998), os quais defendem que uma atividade logística reversa específica será utilizada para cada tipo de retorno.

Fleischman *et al.* (1997) destacam categorias que classificam os tipos de itens recuperados. Em sua pesquisa são contemplados componentes de bens (televisões, impressoras e outros equipamentos eletrônicos), que, em geral, são retornados no caso de falhas ou para manutenção, sem uma precisão exata quanto ao tempo de retorno. Há também os bens de consumo (copiadoras, geladeiras, automóveis, entre outros), que são em geral, retornados ao final de sua vida útil, implicando na obsolescência do produto.

Caracterizando os resíduos sólidos, a Lei Nº 12.305/2010, define os resíduos oriundos de diversas origens (residencial, comercial e industrial), em que o ORF enquadra-se na classe dos resíduos domiciliares, originários de atividades

domésticas em residências urbanas. Vale ressaltar que esta norma legal entende que resíduo sólido é todo material, substância, objeto cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou exijam, para isso, soluções técnicas ou economicamente viáveis em face da melhor tecnologia disponível. O resíduo difere de rejeito, cuja única destinação possível são os aterros sanitários, pois não apresentam outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

No contexto do ORF, o resíduo a ser retornado pode se caracterizar em diversas fases de uso. Por se tratar de um produto de uso doméstico e industrial, as maneiras que ele é utilizado são as mais variadas, ou seja, os produtos que são fritos por ele são inúmeros, o que conseqüentemente altera suas características químicas. As suas especificações químicas variam em função do seu padrão de uso (número de frituras) e origem (se provém de soja, girassol ou alguma outra oleaginosas), mas regra geral ele possui elevada viscosidade, alto grau de calor específico, baixo número de iodo, elevado teor de acidez devido a formação dos ácidos graxos livres e odor desagradável (DIB, 2010).

O estado físico do resíduo, além de líquido, pode se apresentar de forma sólida. Dependendo da temperatura do ambiente em que estiver, a solidificação do óleo é natural, sendo seu estado físico diretamente proporcional à temperatura. Estas características também podem influenciar no desempenho do resíduo como matéria prima, por demandar mais energia para alcançar o estado líquido, caso haja necessidade.

Definir estas informações é importante para garantir a eficiência do processo reverso, pois auxiliam a etapa da classificação, que é responsável por decidir destino do resíduo (LAMBERT *et al.*, 2010). As opções de reaproveitamento dependem do estado deste resíduo e serão discutidas na próxima subseção.

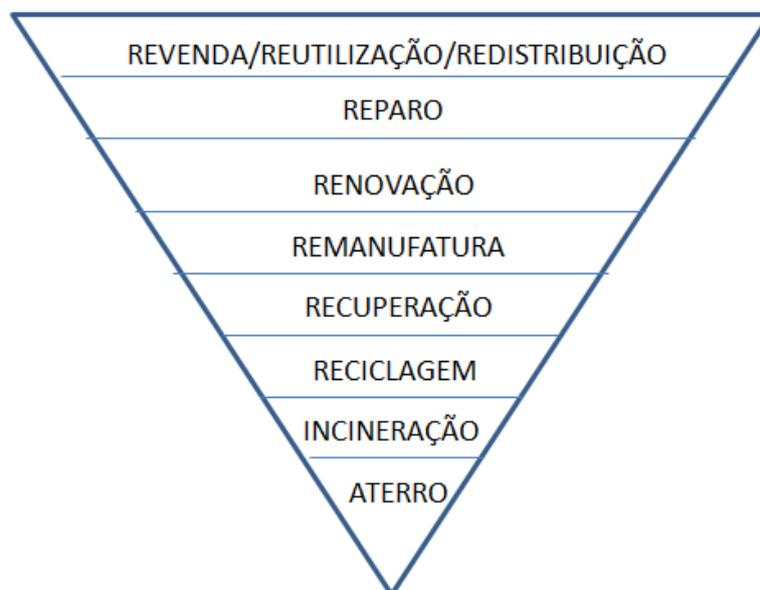
## 2.2.4 Processos envolvidos com a LR

Lambert *et al* (2011) sugerem uma etapa inicial no processo de LR deve ser a inspeção do produto ou material a ser retornado. Esta atividade tem como objetivo identificar o que pode ser aproveitado e o que deve ser eliminado. A inspeção neste caso seleciona e define em qual modalidade de recuperação o resíduo será encaminhado.

Quanto a estas opções, Ramos *et al.* (2011) afirmam que pode ser utilizada uma metodologia de classificação denominada de 6R's (seis erres), os quais significam: Reutilização; Revenda; Reparo; Remanufatura (re-industrialização); Reciclagem; e Redesign (reprojeto).

De Brito (2003) lança uma proposta trazendo um conceito de pirâmide invertida considerando a hierarquia de níveis de possibilidades de recuperação dos bens, como mostrado na Figura 2.

Figura 2: Pirâmide Invertida de opções de recuperação



Fonte: Adaptado de De Brito e Dekker (2004).

Estes autores propõem a condução da recuperação de valores considerando uma escala decrescente, ou seja, dar-se-á prioridade às destinações em que o

máximo de valor será recuperado. Processos com menores *lead times*, portanto, mais econômicos, estão alocados acima da pirâmide assumindo posição hierárquica elevada como, por exemplo, o reaproveitamento do produto. Caso esta opção não seja possível, reparos, remanufatura ou recuperação podem ser executados para aprimorar o produto para retornar ao mercado (não necessariamente o mesmo de origem).

Para identificar em qual linha da pirâmide o material poderá para ser introduzido novamente ao mercado, é importante utilizar uma etapa denominada inspeção que tem como objetivo avaliar seu estado e também os aspectos específicos de sua qualidade (LACERDA 2003).

De Brito (2003) ainda propõe a Incineração como uma forma de recuperação do produto, sendo classificada em nível de energia, podendo ser obtida por meio da queima dos produtos descartados. O processo de tomada de decisão deve buscar alcançar um nível de qualidade que proporcione uma recuperação no nível mais alto da pirâmide, visando obter um maior retorno econômico por meio da recuperação. Por essa razão a incineração seria uma opção final de recuperação, sendo então o aterro sanitário uma destinação que não recupera valor, apenas garante um descarte do resíduo.

A falta de controle dos resíduos durante a sua disposição final pode trazer sérios impactos ambientais. Como disposição final segura, entende-se que esta não deve, de maneira nenhuma, danificar o meio ambiente, nem atingir, de maneira direta ou indireta, a sociedade (LEITE, 2003).

No caso do ORF, dentre as opções disponíveis nesta pirâmide, a forma mais adequada seria a recuperação ou reciclagem visto que é necessário realizar alterações físico-químicas no resíduo para que este seja destinado a um novo mercado.

Diante das possíveis características apresentadas pelo ORF, tratamentos específicos são sugeridos para que seja possível utilizá-lo como matéria prima no processo de fabricação do biodiesel por meio da transesterificação, Ramos *et al.* (2000) ou reação orgânica de saponificação para produção de sabão (PUGET, 2010). A respeito do pré-tratamento necessário para obtenção do

biocombustível, embora Ramos *et al.* (2000) apontem qualidades semelhantes entre os óleos usados e os óleos virgens, é possível que nos óleos usados ocorra a presença de ácidos graxos e umidade acima do ideal. Por esta razão, tornam-se necessárias algumas etapas de purificação destes óleos. Christoff (2006) aponta o aquecimento do material para facilitar a filtração da matéria prima. Geris (2007) apontou que a filtração dos óleos residuais é indicada, pois retém os resíduos sólidos oriundos dos processos de fritura.

### 2.2.5 Identificação dos participantes da LR

Considerando o aspecto de quem participa da LR, trata de uma abordagem sobre os membros da logística reversa, nomeados normalmente como atores diretos e indiretos no processo. Demajorovic *et al.* (2012) ratificaram que para uma rede logística reversa funcionar de maneira adequada, é necessária a coordenação de diversos atores na cadeia produtiva.

Cada ator possui objetivos e responsabilidades distintas, e uma boa relação entre eles (atores) é fundamental, para que se atingiam bons resultados de uma rede de distribuição. Portanto a divergência de ações desequilibra o desempenho do canal de distribuição reverso, seja pelo detrimento dos relacionamentos entre as partes ou do não alcance do objetivo comum do canal (DE BRITO, 2003).

Basicamente, os atores mais importantes podem ser divididos em quatro grupos: atores participantes da cadeia de suprimento, os quais podem ser identificados como sendo fornecedores, fabricantes, atacadistas, varejistas, entre outros; os atores especializados no canal de distribuição, os quais podem ser considerados como intermediários especialistas em reciclagem, organizações específicas, operadores entre outros; as Instituições governamentais também são consideradas como atores e, por último, agentes oportunistas como, por exemplo, as organizações de caridade (DE BRITO e DEKKER *et al.*, 2004; LEITE 2003).

Sendo assim, os agentes participantes são as entidades que possuem funções específicas como, por exemplo, no caso reverso, as funções de coleta, triagem, teste, armazenagem, acondicionamento, remanufatura e destinação final. Os agentes podem ser os mesmos da cadeia direta, ou podem ser terceiros. Nos casos de logística reversa de pós-consumo, os produtos descartados podem seguir canais diferentes de distribuição reversa. Por exemplo, Leite (2003) destaca cinco exemplos de fontes: coleta seletiva, coleta de lixo urbano – que atualmente é o principal destino de qualquer produto descartado (de qualquer natureza), desmanche de bens duráveis, comércio de usados e resíduos industriais.

Para o óleo residual, os atores da sua cadeia reversa variam de acordo com, o mercado onde será inserido. A constituição da cadeia reversa e um mercado de biodiesel, por exemplo, será diferente da constituição para o mercado de tintas, com exceção dos fornecedores, esses permanecem sempre os mesmos. O Quadro 1 representa o modelo de um exemplo da constituição da cadeia reversa no mercado de biodiesel.

Quadro 1: Constituição da cadeia reversa do óleo de cozinha para produção do biodiesel

Atores envolvidos na cadeia de suprimentos reversa	<u>Fornecedores</u> : grandes geradores (industriais alimentares, restaurantes, hotéis, bares, estabelecimentos de <i>fast food</i> ) e pequenos geradores (residências privadas) <u>Fabricantes</u> : empresas de biodiesel ou empresas de reciclagem; Atacadista e Varejista
Agentes especializados no canal de distribuição reversa	<u>Intermediários</u> : pontos de coleta, centros de coleta, empresas coletoras; cooperativas de catadores <u>Empresa de reciclagem</u> : empresas especializadas na reciclagem do óleo
Instituições governamentais	Ministério do Ambiente; Ministério da Energia; Agência Nacional de Petróleos; Câmeras Municipais; Ministério do Turismo
Agentes oportunistas:	Empresas/ instituições que reaproveitam os subprodutos da produção de biodiesel exemplo os que reaproveitam da glicerina

Fonte: Adaptado de Mei *et al.* (2011)

Esta cadeia ou rede é formada por todos os elos que participam deste fluxo reverso. Uma forma de abordar a rede de logística reversa, pode ser por meio da alocação de facilidades, que será melhor discutida na próxima seção.

Prosseguindo no referencial teórico desta pesquisa, na seção 2.3, será apresentado um estudo dos problemas de localização de facilidades, dando ênfase em modelos para problemas de localização utilizados em projetos de rede reversa.

### 2.3 PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES

A localização das instalações na rede é o mais importante do planejamento estratégico de logística e cadeia de suprimento para grande parte das empresas. Esta decisão pode ser modelada matematicamente. Um modelo matemático pode ser considerado adequado quando é capaz de prever com razoável precisão o efeito de mudanças em um dado sistema em seu desempenho. Sua análise e solução podem fornecer informações valiosas sobre a operação do sistema ou organização em estudo (FARAHANI *et al.*, 2011).

Os problemas de localização de facilidades consistem em determinar locais para a instalação de facilidades que atendam às demandas de clientes com o menor custo possível. E clientes podem ser bairros, unidades de vendas, estudantes (GOMES, 2015).

Da Costa (2014) explica que, na prática ao se localizar uma facilidade deve-se também indicar a sua área de atendimento. Esta característica é conhecida na literatura como alocação. Normalmente a finalidade dos problemas de localização é determinar a melhor localização para as facilidades de modo a otimizar uma função de custo ou, então, determinar o número de facilidades necessárias de serem alocadas para que uma função de custo seja otimizada.

O estudo da localização de facilidades pode ser influenciado por fatores tangíveis e intangíveis (LOPEZ e HENDERSON 1989; YANG e LEE 1997; BHATNAGAR *et al.*, 2003). A função de custo, denominada função objetivo, visa a maximizar ou minimizar, e está sujeita às restrições específicas (GALVÃO, 1981; LORENA 2003). A área da pesquisa operacional vem desenvolvendo uma enorme variedade de modelos matemáticos para

representar os problemas de localização e assim solucioná-los (DASKIN 2008; OWEN e DASKIN, 1998; GALVÃO *et al.*, 1999; BALLOU, 2001; CURRENT *et al.*, 2001; PIZZOLATO *et al.*, 2012).

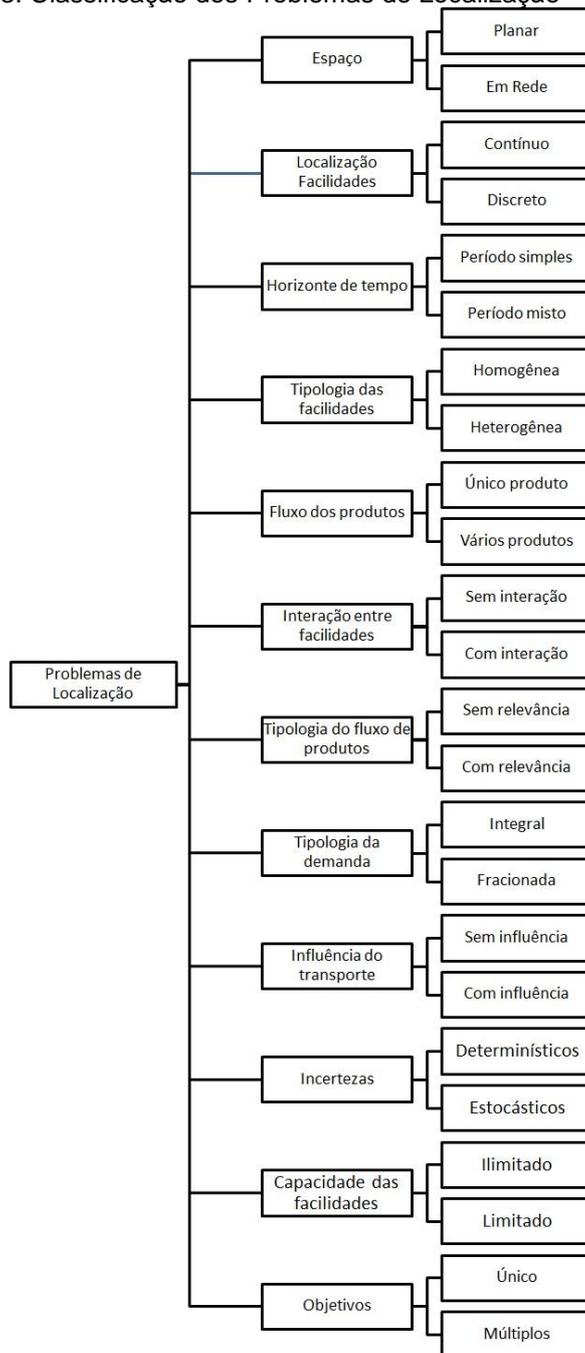
Por estar associada ao planejamento estratégico, a aplicação da localização de facilidades vem sendo utilizada tanto no setor público, quanto no setor privado (GALVÃO, 1981; OWEN e DASKIN, 1998; LORENA 2003). No setor público, o estudo de localização é normalmente realizado com o objetivo de oferecer serviços à população e atrair atividade econômicas às cidades como, por exemplo, escolas Barcelos, Pizzolato e Lorena, (2004), Pizzolato, *et al.* (2004), postos de saúde Galvão (2014), corpo de bombeiros, centrais de ambulâncias Figueiredo e Lorena (2005), viaturas de polícia, pontos de ônibus, seções eleitorais Oliveira (2013) e outros. No caso do setor privado, o objetivo normalmente é reduzir custos e o estudo é aplicado nas instalações de facilidades capazes de garantir maior competitividade de mercado para as empresas como, por exemplo, fábricas, armazéns, depósitos, torres de transmissão, lojas de franquias (OWEN e DASKIN, 1998; BALLOU, 2001; CURRENT *et al.*, 2001, ARRUDA *et al.*, 2010).

De acordo com Lacerda (2002), os métodos de solução mais utilizados nos problemas de localização são os métodos heurísticos, a simulação e a otimização, mais especificamente as programações linear e não linear, sendo estas as técnicas predominantes na grande maioria das ferramentas de otimização. Uma das principais vantagens da programação matemática é a capacidade de modelar, adequadamente, os custos fixos e variáveis de uma rede logística. Além disto, garante que a solução encontrada seja a melhor possível com relação ao conjunto de premissas adotadas. Os métodos heurísticos, ao contrário, exigem menos recursos computacionais, mas também são menos rigorosos na identificação das melhores alternativas. (SCHWARTZ FILHO, 2006).

### 2.3.1 Taxonomia para Problema de Localização de Facilidade

A literatura apresenta diferentes taxonomias para a classificação dos modelos de localização de facilidades. A Figura 3 apresenta uma classificação voltada para o problema de localização de facilidades em uma rede logística. Em seguida serão descritas todas as classes expostas por Gomes (2015).

Figura 3: Classificação dos Problemas de Localização



Fonte: Gomes (2015, p.30).

A primeira classe, denominada Espaço, refere-se à distribuição da demanda no espaço de localização. Na subclasse nomeada Planar, são caracterizados quando a demanda acontece em qualquer lugar do plano e é representada pelas coordenadas  $x$  e  $y$ . A existência de restrições de percurso é desconsiderada de modo que se utiliza a distância mais curta, ou seja, a distância euclidiana e o modelo de Weber.

Na classe de modelos em Rede, as facilidades e os pontos de demanda estão localizados nos nós da rede logística (LORENA, 2003). Há restrições de fluxo nos arcos que ligam estes nós da rede (KLOSE e DREXL, 2005 e GHIANI *et al.*, 2004). Como exemplo, Ramu e Kennedy (1994) utilizaram o modelo de rede em seu estudo de localização de um aterro sanitário que tinham motivações ambientais, legais e econômicas.

A classe Localização de Facilidades possui os modelos Contínuos, onde os modelos permitem que as facilidades sejam localizadas em qualquer lugar dentro do espaço tratado do problema, o que os assemelha aos Problemas Planares. Daskin e Owen (1998), afirmam que os modelos de localização contínua apresentam dificuldades de ordem computacional e prática, por vezes resultando em formulações não lineares difíceis de serem solucionadas para mais de uma localização ou por apresentar soluções inviáveis na prática. Os modelos em Rede são classificados como modelos Discretos, pois se assume que os clientes e as facilidades estão localizados nos nós de uma rede, em um conjunto finito de localizações (KLOSE e DREXL, 2005 e GHIANI *et al.*, 2004).

Na classe Horizonte de tempo, há a subclasse Período simples, que considera somente um único período e todo planejamento é feito com as previsões para este período. E também há a subclasse Período misto, onde o horizonte de planejamento é dividido em períodos e em cada um deles novas demandas e novos cenários são definidos, definindo planejamentos diferentes para cada período (KLOSE e DREXL, 2005 e GHIANI *et al.*, 2004).

Para a classe Tipologia das Facilidades, existe a subclasse nomeada Homogênea que assume somente um tipo de instalação previsto para localização. Também há a Heterogênea, que em contrapartida existem vários

tipos de facilidades para serem localizados (KLOSE e DREXL, 2005 e GHIANI *et al.*, 2004).

No caso da classe Fluxo dos produtos, na subclasse Único produto, existe um fluxo de apenas um produto ao longo da rede logística e, na subclasse Multiproduto, diversos produtos podem fluir ao longo das facilidades existentes na rede, assume que a facilidade alocada atenderia mais de um produto (DUBKE, 2006). Neste último caso, cada produto está associado a um fluxo específico (KLOSE e DREXL, 2005 e GHIANI *et al.*, 2004). Entretanto, existem problemas multi-produto nos quais as facilidades precisam prestar diversos serviços para lidar com vários produtos (SALEMA, 2006). Outros trabalhos que podem também ser destacados são os que tratam de modelos discretos capacitados multi-produtos como o proposto por Geoffrion e Graves (1974) que busca localizar centros de distribuição de carga. O modelo matemático proposto pelos autores considera um conjunto de locais de produção (plantas), um conjunto de produtos, um conjunto de locais candidatos para os centros de distribuição (facilidades) e um conjunto de clientes que demandam produtos (pontos de demanda). Além disso, o modelo considera a capacidade de fornecimento de cada produto em cada planta, volumes mínimo e máximo passando pelas facilidades, custos fixos de instalação e custos variáveis que são função das quantidades transportadas. Neste sentido, busca-se localizar os centros de distribuição de carga ao menor custo possível, tal que todo cliente seja atendido e que as restrições de capacidade sejam respeitadas. Há também, Gomes (2015) que na mesma linha, busca desenvolver um modelo matemático baseado no problema de localização de facilidades *n-echelon* para definição das centrais de transbordo a serem escolhidas para uma melhor configuração da rede logística reversa de resíduos sólidos em terminais marítimos.

Na classe Interação entre facilidades, quando não existe fluxo de produtos entre facilidades, denomina-se Sem interação. Em contrapartida, problemas nos quais existe a possibilidade de fluxos de produtos entre as facilidades e então a solução do problema de localização passa a depender não só da distribuição espacial das facilidades, mas também, dos fluxos entre as

facilidades são denominados Problemas de Localização com Interação (KLOSE e DREXL, 2005; GHIANI *et al.*, 2004).

Na classe Tipologia do fluxo de produtos, inicialmente tem-se a subclasse Sem Relevância, onde o fluxo do produto que chega à facilidade e que sai da facilidade não é determinante para resolver o problema de localização. Estes problemas são tradicionais de localização espacial de uma facilidade em função da localização espacial dos fornecedores e clientes sem considerar os fluxos da rede logística. Estes problemas são conhecidos como *Single Echelon*. Na subclasse Com Relevância, os fluxos de produtos que entram e saem das facilidades da rede são determinantes para a solução do problema de localização. Estes problemas são conhecidos como Múltiplas Camadas ou *Multiple-Echelon* ou *Multi-Echelon*. Nestes problemas, as restrições que tenham como objetivo o equilíbrio entre os fluxos de entrada e de saída, devem ser consideradas (KLOSE e DREXL, 2005 e GHIANI *et al.*, 2004).

Na classe Tipologia da demanda, é onde o fluxo da demanda não pode ser fracionado, por exemplo, por questões contratuais, e então é exigido que cada cliente seja abastecido por uma única facilidade da rede logística. Quando a demanda pode ser fracionada, um cliente pode ser atendido por duas ou mais facilidades, tem-se então a classe da demanda Fracionada (KLOSE e DREXL, 2005 e GHIANI *et al.*, 2004).

A classe Influência do transporte trata da dependência e impacto do transporte em decisões de localização. A maioria dos modelos de localização assume que o custo de transporte entre duas facilidades, ou entre uma facilidade e um cliente, é calculado como um valor de frete, geralmente calculado por distância vezes o volume de carga a ser transportado. Nestes casos tem-se a classe Sem influência. Tal abordagem é apropriada se a viagem dos veículos pode ser realizada por meio de uma rota direta. No entanto, se cada veículo faz coletas e/ou entregas para vários pontos, então estabelecer um frete único pode não ser facilmente definido. Nestes casos, as rotas a serem seguidas pelos veículos devem ser consideradas explicitamente quando for tratar o problema de localização. Esta classe é definida como Com Influência. Para estes casos, o problema de localização é denominado de *Location Routing Problem* (KLOSE e DREXL, 2005 e GHIANI *et al.*, 2004).

A classe Incerteza traduz melhor as incertezas que ocorrem em problemas reais. Tem-se, primeiramente, a subclasse Determinístico, onde não se consideram as incertezas e, portanto, os valores são fixos. Na classe Estocástico ocorrem incertezas oriundas de atrasos, por exemplo, tempo de carregamento, tempo de viagem. Diferentes fontes de incerteza podem ser encontradas na literatura, dentre elas: demandas dos clientes, tempos de viagem, taxas de câmbio, quantidade de retorno (MELO *et al.*, 2007).

Na classe Capacidade das facilidades, caso seja considerada a capacidade das facilidades como ilimitada, sem restrições, têm-se os modelos de localização não capacitados ou com capacidade ilimitada (*Uncaapacitated location model*). No entanto, existem modelos que já impõem limite ou tamanho da capacidade das facilidades nas restrições. Estes são problemas definidos como capacitados (*Capacitated facility location model*) (KLOSE e DREXL, 2005 e GHIANI *et al.*, 2004).

Para a classe Objetivos dos modelos de localização, pode-se considerar apenas um objetivo no problema, por exemplo, determinação de mínimo custo para a rede logística, neste caso, a classe Único objetivo. Como exemplos de modelos com único objetivo, Achilla *et al.* (2010) e Kannan *et al.* (2010) estudaram meios para obtenção de melhores condições para inserir centros de coleta, centros de triagem e empresa de reciclagem, Mounir e Abdellatif (2010) propuseram centros de coleta, aterro sanitário e empresa de reciclagem com menores custos, Aremu *et al.* (2011) buscaram minimizar custos para localização de contêiner, Lyeme (2011) e Eiselt e Marianov (2013) realizaram estudos de minimização de custos para alocação de centro de coleta, triagem e aterro sanitário e, por fim, Fetter e Rakes (2012) estudaram a localização de uma empresa de reciclagem. Diante dos exemplos, é possível identificar a aplicação dos modelos de único objetivo no segmento de resíduos sólidos assim também como a sua importância em trazer soluções para problemáticas diversas. Há ainda a possibilidade de existência de Múltiplos objetivos, por exemplo, determinação de mínimo custo com maximização do atendimento da demanda (KLOSE e DREXL, 2005 e GHIANI *et al.*, 2004). Os modelos com múltiplos objetivos podem ser descritos pela determinação de mínimo custo e maximização da demanda coberta Dubke (2006), ainda minimizar os riscos ambientais, e maximizar o nível de serviço, entre outros

objetivos (COSTA, 2012). Farahani *et al.* (2010) descrevem sobre os problemas de localização multi-objetivos em sua pesquisa. Aspectos tais como o equilíbrio de carga ou da carga de trabalho, podem ser levados em consideração, simplesmente por adição de novos objetivos. Assim, alguns trabalhos estudam a inclusão de novos objetivos, chamados de problemas de otimização multi-objetivos (GARCIA-NÁJERA; BULLINARIA, 2011; BAÑOS *et al.*, 2013). No segmento de resíduos sólidos, Erkut *et al.* (2008) buscou identificar centros de coleta, aterro sanitário e centros de recuperação buscando resolução por meio de multi-objetivos. Fonseca *et al.* (2009) através de uma programação linear inteira mista abordou como elementos da rede logística centros de coleta, centros de triagem, aterro sanitário e empresa de reciclagem.

Na seção 2.4 serão abordados estudos sobre problemas de localização voltados para aplicação em LR.

## 2.4 ESTUDOS SOBRE PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO PARA LR

A aplicação de técnicas de otimização a problemas envolvendo a coleta e destinação de resíduos sólidos urbanos tem se apresentado frequente e com as mais diversas estratégias e objetivos (ALUMUR *et al.*, 2012). No entanto, esta seção apresenta os trabalhos publicados sobre modelagem matemática aplicada à logística reversa de resíduos.

Para localização de facilidades em redes de logística reversa, existe como possibilidade a utilização da Programação Linear Inteira Mista (PLIM) (HUANG *et al.*, 1997; JAYARAMAN *et al.*, 2003; FERRI, 2014) como método de resolução. A PLIM pode ser definida como a representação simplificada de um problema real, por meio de uma função objetivo (maximização ou minimização) e de restrições, na qual as variáveis são discretas e binárias (HUANG, 1997). A literatura indica vários estudos sobre o projeto de redes de logística reversa que, envolvem o processo de reciclagem e aplicaram a PLIM como, por exemplo, Louwers *et al.* (1999) e Realff *et al.* (2004) na reciclagem de carpetes;

Schultmann *et al.* (2003) na reciclagem de baterias; e Pati *et al.* (2008) na reciclagem de papel.

Dekker *et al.* (2004) propôs um modelo estocástico de programação linear inteira mista com o objetivo de maximizar o lucro total para uma rede de reciclagem de areia. O modelo foi adequado para diferentes situações, gerando vários cenários.

Problemas como a estruturação de uma rede de logística reversa para o côco verde também podem ser resolvidos por meio de modelagem matemática, assim como foi proposto para o estado do Espírito Santo (SCHWARTZ FILHO, 2006).

Lee e Dong (2008) abordaram o projeto de rede logística para recuperação de produtos de informática no final da vida útil. Para este caso, foi desenvolvido um modelo de programação determinística gerenciando de maneira sistemática os fluxos logísticos. Considerando a complexidade do problema e o grande número de variáveis e restrições, foi desenvolvida uma abordagem heurística de duas fases para decompor o projeto integrado das redes de distribuição *multi-echelon* tradicional e reversa em um problema de localização-alocação e um problema de fluxo de rede.

Um modelo não linear foi desenvolvido por Aras *et al.* (2008) para determinar as localizações dos centros de recolhimento em uma rede logística reversa que permitia determinar o preço ideal de compra de produtos utilizados com o objetivo de maximizar o lucro total. Uma abordagem heurística para resolver o modelo.

Um modelo Programação Linear Inteira Mista biobjetivo com objetivos de minimização custos totais e a minimização do atraso total de tempo de ciclo foram propostos por Du e Evans (2008) para um serviço de pós-venda.

Pishvaei *et al.* (2010) propõe a minimização de custos de transporte e custos fixos para estruturação da rede de logística reversa, por meio de uma programação inteira linear mista.

Sasikumar *et al.* (2010) desenvolveram um modelo de programação linear inteira mista para maximizar os lucros de uma rede logística reversa *multi-echelon* aplicada em a recauchutagem de pneus de caminhão.

Giuriatto (2014) propôs um modelo de localização para definir quais municípios serão candidatos a pontos de coleta de pneus inservíveis no estado do Espírito Santo.

Ferri *et al.* (2015), estudaram a localização de facilidades para a gestão de resíduos sólidos urbanos na Cidade de São Mateus com o auxílio do *solver* CPLEX. Os autores estruturaram o problema de localização de centros de armazenamento e triagem de resíduos sólidos urbanos com base em uma variante do problema p-Mediana. E resolveram-no com base na Programação Linear Inteira Mista.

Gomes (2015) trabalhou com localização de facilidades para resíduos sólidos utilizando a rede *multi-echelon* com duas camadas. Além disso, há um grande desenvolvimento nas últimas décadas no que diz respeito à integração de logística reversa e gestão de resíduos (FERREIRA, 2012).

Além disso, há estudos que apresentaram e discutiram casos de aplicação de logística reversa em indústrias e setores específicos. Destacam-se: resíduos de construção (SPENGLER *et al.*, 1997; BARROS *et al.*, 1998; LISTES e DEKKER, 2005), plástico (POHLEN e FARRIS, 1992; GRACZYK e WITKOWSKI, 2011), carpetes (LOUWERS *et al.*, 1999), copiadoras (KRIKKE *et al.*, 1999), subprodutos do aço (SPENGLER *et al.*, 1997), lojas de departamento (RODRIGUES e PIZZOLATO, 2003), embalagem reutilizável/ retornável (KROON e VRIJENS, 1995; ADLMAIER e SELLITO, 2007), computadores/ informática (RAVI *et al.*, 2005; LEE e DONG, 2008), latas de alumínio (SOUZA *et al.* 2006), setor automotivo (DYCKHOFF *et al.*, 2004), vendas *on line* (MIN *et al.* 2006), recauchutagem de pneus (SASIKUMAR *et al.* 2010; GIURIATTO, 2014), indústria química (GUILLÉN-GOSÁLBEZ e GROSSMANN, 2009), baterias e pilhas (SCHULTMANN *et al.*, 2003; KANNAN *et al.*, 2010; RAMKUMAR *et al.*, 2011).

Na subseção 2.4.1, são abordadas as pesquisas desenvolvidas sobre problemas de localização na área de LR do ORF.

#### 2.4.1 Estudos sobre problemas de localização para LR do ORF

Na literatura não há muitos trabalhos sobre problemas de localização para a LR do ORF, no entanto, as pesquisas desenvolvidas contribuem para a identificação de limitações e proporciona a avaliação de variáveis importantes como custos de instalação, operação e de transporte.

Rigo e Rosa (2008) apresentaram uma proposta de resolução do problema de LR da coleta de ORF para aplicação como insumo da produção de biocombustível. O problema consiste na entrega de bombonas vazias e coleta de bombonas cheias de ORF dos restaurantes e bares para industrialização do biodiesel.

Pinto *et al.*, (2009) desenvolveram um trabalho cujo objetivo consiste na localização do melhor ponto para instalação de uma estação de tratamento de óleo e gordura vegetal derivados de fritura para fabricação de biodiesel na cidade de Natal-RN.

Arruda *et al.* (2010) propôs a localização de usinas de tratamento de óleos residuais urbanos como insumo na cadeia produtiva de biodiesel. O objetivo era avaliar a cadeia do resíduo na cidade de Fortaleza e estabelecer uma localização otimizada visando reduzir custos de coleta. Neste caso, aplicou-se uma técnica conhecida como Problema de Localização de Facilidade Capacitado. No mesmo sentido, Rocha (2009) propõe uma análise da cadeia produtiva dos óleos de gordura residuais com foco nos agentes catadores de resíduos urbanos, realizando um estudo de caso na cidade de Fortaleza.

Para auxiliar a localização de facilidades, rotas podem ser definidas para determinar o melhor caminho a ser percorrido pelos coletores. Isto pode reduzir tempo e custo da rede. Binoto (2010) utilizou um Sistema de Informações Geográficas e aplicou em um programa específico para planejamento de transportes o qual permitiu desenvolver rotas por meio de algoritmos que

incluem um procedimento de roteirização em arco. Por meio de simulações o autor concluiu que é possível obter conjunto de rotas que minimizem o custo e a mão de obra necessária para a coleta do óleo residual de fritura conforme estrutura proposta.

Leão *et al.* (2011) realizaram um estudo em que buscou-se otimizar o fornecimento do óleo como suprimento para o biodiesel a partir de pequenas plantações, mas considerando aspectos como agricultura, logístico, industrial e social. Em um modelo de dois níveis, e função objetivo considerando o custo como fator determinante, o local de aplicação do modelo foi a região semiárida do Brasil.

Uma rede de logística reversa para viabilizar a coleta e transporte óleo residual de fritura de forma a garantir o volume e escala necessários para seu reaproveitamento foi proposta por Matavel (2015) que teve como objetivo a produção do biodiesel no distrito municipal KaMpfumo em Moçambique. A rede logística reversa do estudo possui dois elos, a listar: os geradores de óleo residual de fritura e os centros de retorno e pré-tratamento. O modelo matemático proposto baseou-se em uma variante do problema p-Mediana para a localização das facilidades. O método de resolução foi a Programação Linear Inteira Mista, implementado em linguagem C/C++, e testado com o *solver* CPLEX.

## 2.5 ESTUDOS SOBRE PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES DO TIPO *MULTI-ECHELON*

Problemas do tipo *Single-echelon* são aqueles nos quais tanto o fluxo de material que sai ou o fluxo de material que entra nas facilidades a serem localizadas é insignificante. Já no *Multi-echelon* tanto o fluxo de entrada quanto o fluxo de saída de mercadorias são relevantes (GOMES, 2015).

Os problemas de localização do tipo *Multi-echelon* possuem diversas aplicações. Geoffrion e Graves (1974) desenvolveram um modelo de programação linear inteira mista para localizar centros de distribuição de forma

a minimizar os custos respeitando as restrições de capacidade impostas. O modelo é do tipo capacitado, discreto, multiprodutos e possui três tipos de nós: centro produtor, centro distribuidor e centro consumidor.

Gao e Robinson Junior (1994) apresentaram um modelo geral e um procedimento de solução *branch-and-bound dual-base* para encontrar as melhores soluções para os problemas de localização de facilidades não capacitados de *one echelon*, *two-echelon* e *multi-echelon*.

Para formulação geral do problema de localização de facilidades com dois *echelon*, Gao e Robinson Junior. (1994) utilizaram como fundamentação teórica os estudos de Khumawala's (1972), Kaufman *et al.* (1977), Robinson *et al.* (1993).

Em geral, os estudos relacionados aos problemas de localização de facilidades *multi-echelon* tratam de redes logísticas com dois níveis. Mas há algumas pesquisas nas quais foram utilizadas redes com três ou mais níveis. Pirkul e Jayaraman (1996) desenvolveram um modelo de programação inteira mista para um sistema multiprodutos com três camadas. Melo *et al.* (2006) realizaram um estudo de caso para redes *multi-echelon* sem restrição quanto ao número de camadas de localização.

Parte das pesquisas referentes à localização de facilidades em redes *multi-echelon* possuem enfoque no desenvolvimento de soluções algorítmicas, principalmente, quando os problemas envolvem a taxonomia de instalações capacitadas. Nessas pesquisas podem ser incluídos os trabalhos com algoritmos *branch and bound* (AKINC e KHUMAWALA, 1977; GAO e ROBINSON JUNIOR, 1994; TRAGANTALERNGSAK *et al.*, 2000), Relaxação Lagrangeana (TRAGANTALERNGSAK e HOLT, 1997; PIRKUL e JAYARAMAN, 1998; HINOJOSA *et al.*, 2000), decomposição de *Benders* (WENTGES, 1996, TANG *et al.*, 2013), métodos de base *dual* (GAO e ROBINSON JUNIOR, 1994), e também modelos de localização de plantas capacitadas com demandas estocásticas (LAPORTE *et al.*, 1994).

Por exemplo, Dubke (2006) propôs um modelo de *transshipment* (transbordo), combinado com o modelo de localização de plantas capacitadas, aplicado à

localização de terminais especializados inseridos em uma cadeia de suprimentos do agronegócio rumo à exportação. Com o objetivo de definir a abertura de armazéns (CD) em locais apropriados considerando o nível de serviço (alto, médio e baixo), Sisman (2012) minimizou os custos de operação, transporte, distribuição e inventário. Guazzelli e da Cunha (2014), seguiu a mesma linha aplicando um modelo para localização de centros de distribuição para indústria de alimentos.

### 3. METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados os aspectos referentes à metodologia utilizada no desenvolvimento desta pesquisa. Sua subdivisão consiste em apresentar o tipo de estudo, detalhamento dos procedimentos para obtenção/coleta de dados, a problemática do estudo de caso e, encerra-se com a apresentação dos cenários propostos a serem estudados.

#### 3.1 TIPO DE ESTUDO

O presente trabalho pode ser classificado, em relação à natureza, como uma pesquisa aplicada, considerando que seu objetivo principal é propor uma solução para uma problemática específica (LACERDA *et al.*, 2007). Alcançando os objetivos da pesquisa, será gerado conhecimento que poderá ser aplicado na prática. A abordagem será quantitativa, por meio da transformação do problema em elaboração de um modelo matemático para análise e embasamento para tomada de decisões.

A pesquisa se enquadra na modalidade de estudo de caso, por se concentrar em um caso particular, considerado representativo de um conjunto de casos análogos, e que está apto a fundamentar uma generalização para situações análogas (YIN, 2003). Ainda de acordo com Yin (2003), a essência do estudo de casos, é que eles tentam esclarecer uma decisão ou conjunto de decisões. A metodologia deste trabalho compreende o desenvolvimento e procedimento de aplicação de um modelo matemático para localização de empresas que atuem na logística reversa do ORF.

O problema proposto consiste em estimar a quantidade de empresas, suas capacidades e a melhor localização para instalar facilidades. Para validar este modelo, um estudo de caso com dados do município de Linhares, considerando a característica de geração do resíduo buscando a minimização do custo total de instalação, operação, estoque e transporte, foi realizada.

Considerando as classificações de problemas de localização, esta pesquisa pode ser caracterizada como tipologia dos Problemas de Localização, abordando fatores econômicos, os valores de investimento pela abertura das facilidades, custos de operação e custos de transporte. Ainda, de acordo com a taxonomia de Klose e Drexl (2005) e Ghiani *et al.* (2004) a problemática estudada enquadra-se como Problema em Rede, pois as facilidades e os pontos de demanda estão localizados nos nós da rede logística e há restrições de fluxo nos arcos que ligam estes nós da rede. Em relação à localização das facilidades, enquadra-se como Discreto, já que os clientes e as facilidades estão localizados nos nós de uma rede, em um conjunto finito de localizações. O horizonte de tempo é de Período Simples porque considera somente um período único e todo planejamento é feito com as previsões para este período.

Quanto à tipologia das facilidades é considerada Homogênea, pois existe somente um tipo de instalação, os CT previstos para localização. Considerando o fluxo dos produtos, pode ser classificado como único produto pois somente um produto, o ORF será manuseado na rede de LR. As facilidades possuem Interação, visto que existe fluxo de produtos entre os nós, assim, a solução do problema de localização passa a depender não só da distribuição espacial das instalações, mas também, dos fluxos entre as facilidades. Dessa forma, pode-se dizer que os fluxos possuem Relevância, e por isso, são necessárias restrições de equilíbrio. São os problemas denominados Multiple-Echelon (KLOSE e DREXL, 2005; GHIANI *et al.*, 2004).

Quanto à demanda, diz-se Fracionada, pois um cliente pode ser atendido por duas ou mais facilidades, por exemplo, dois CT podem enviar resíduos para determinada EBR. Considerando a influência do transporte, assume-se que o custo de transporte entre facilidades é calculado como um valor de frete, portanto, não há influência. Em relação às incertezas, trata-se de um problema Determinístico, pois os valores são fixos. As incertezas oriundas de atrasos, por exemplo, tempo de carregamento e tempo de viagem, não ocorrem. Por fim, classifica-se o modelo como Limitado e com objetivos múltiplos. Limitado, pois há restrições quanto ao tamanho e capacidade de determinadas facilidades (KLOSE e DREXL, 2005; GHIANI *et al.*, 2004).

### 3.2 PROCEDIMENTOS PARA OBTENÇÃO/COLETA DE DADOS

As pesquisas de mercado na cidade foram realizadas consultando comerciantes, corretores e especialistas. Não foi descartada, no entanto, a pesquisa na literatura em relação aos custos de instalação, equipamentos, custos de matéria-prima, reagentes, unidades de limpeza do ORF.

Para a coleta de dados, foi necessário realizar uma pesquisa de campo na cidade de Linhares/ES. Durante o período de quatro meses foi efetuado o levantamento de informações necessárias para viabilizar a criação de uma rede de logística reversa do ORF. Dentre as informações identificadas, destacam-se a quantidade de ORF gerado, como funciona a rede já existente, identificação sobre possíveis locais para se alocar centros de retorno e centros de pré-tratamento, e informações associadas aos custos logísticos e operacionais do processo reverso.

Para obtenção dos parâmetros do modelo, de forma a garantir a qualidade dos dados obtidos, instituições como a concessionária de energia elétrica EDP/Escelsa, a qual fornece energia para a cidade de Linhares e as Secretarias de Saúde e Assistência Social da Prefeitura Municipal da cidade foram pesquisadas. Os dados fornecidos por estas fontes permitiram formar o Grupo de Pequenos Geradores (GPG) pois nestes setores foram adquiridas a quantidade de residências existentes e população da cidade, assim também como dos seus respectivos bairros. No caso do Grupo de Grandes Geradores (GGG), inicialmente foi pesquisado na Receita Estadual do Estado do Espírito Santo, Junta Comercial do Estado – JUCES, e Câmara dos Dirigentes Lojistas CDL, sobre os registros de empresas do segmento alimentício na cidade estudada. Algumas limitações foram encontradas como:

- Empresas deste segmento nem sempre são registradas na Receita Estadual nem na JUCES (Mesmo não possuindo registro as empresas

funcionam normalmente e a justificativa do órgão fiscalizador é de que seria melhor deixar funcionar do que multar e não movimentar a economia);

- Algumas empresas que possuem registro não são conveniadas à CDL;

Portanto, além da pesquisa documental, em que foram utilizados dados destes setores para obtenção dos parâmetros necessários para o modelo, uma pesquisa de campo complementou o levantamento de dados por meio de visitas em estabelecimentos geradores de ORF como cozinhas industriais, lanchonetes, bares, restaurantes e padarias.

Não foi possível precisar sobre a proporção entre amostra e população, ou seja, os estabelecimentos atingidos pela pesquisa em relação à quantidade de estabelecimentos existentes. No entanto, uma vez que o número de empresas pesquisadas foi superior ao número de empresas registradas nos devidos órgãos, considera-se que os dados são representativos deste setor.

O assunto abordado no questionário aplicado aos GGG – Grupo de Grandes Geradores foi referente à geração do resíduo considerando quantidade, maneira/modo de manuseamento e local de disposição. O questionário foi aplicado para gerentes ou responsáveis de estabelecimentos comerciais no segmento de alimentação, assim também como na empresa de coleta de óleo atuante na cidade. Considerando que as empresas são de pequeno porte, o questionário foi respondido pelos próprios responsáveis conhecedores do processo de modo geral.

As informações relativas à demografia da área de estudo foram levantadas no site do IBGE (2014). Os dados sobre custos de construção de instalações e aquisição de equipamentos foram obtidos por meio de pesquisa de mercado e entrevista em empresa do ramo. Ainda por meio de entrevistas em empresas do segmento, foram coletadas informações sobre o preço de compra do ORF.

O tratamento dos dados obtidos foi realizado com o auxílio do pacote *Office Ms Excel* 2010. Desta forma, a adequação dos dados tratados aos parâmetros utilizados na modelagem matemática elaborada permitiu a realização das etapas subsequentes de obtenção dos resultados e análise dos cenários.

### 3.3 PROBLEMÁTICA

A cidade de Linhares-ES tem uma população estimada de 160.765 habitantes sendo que mais de 86% residem em área urbana e o restante em zona rural, conforme IBGE (2014). Apresenta-se como região emergente no estado do Espírito Santo. Seu território consiste em 3.510,86 km<sup>2</sup> divididos em 35 bairros e ainda a zona rural (IBGE, 2014). Na Figura 4 está apresentada a localização geográfica da cidade de Linhares, onde a parte esquerda identifica-se o estado do Espírito Santo e no lado direito, a cidade de Linhares e suas fronteiras.

Figura 4: Localização da cidade de Linhares



Fonte: Google Maps, (2014).

A área urbana da cidade pesquisada pode ser observada na Figura 5.

Figura 5: Bairros da Cidade de Linhares



Fonte: IBGE (2014).

A população da cidade pesquisada foi dividida em dois grupos geradores de ORF que consistem em Grupo de Pequenos Geradores (GPG) com menor potencial de geração do resíduo, enquadrando-se neste grupo os consumidores domésticos dos quais o percentual gerado por habitante/residente é baixo. Já o GGG é caracterizado pelo seu elevado potencial de geração do resíduo em questão, concentrando neste grupo os estabelecimentos comerciais (restaurantes, bares, lanchonetes e hotéis) e cozinhas industriais.

Atualmente existe a PNRS (BRASIL, 2010) e a legislação estadual LEI N° 9.264/2009 (ESPÍRITO SANTO, 2009), que trata dos resíduos sólidos no estado do Espírito Santo, mas não é possível identificar uma rede de logística reversa estruturada do ORF no município.

Mesmo considerando que a carência desta rede pode estar associada à falta de planejamento, o intuito da pesquisa não é descobrir os motivos de tal fato nem mesmo indicar os motivos de ainda não existir uma rede estruturada. No entanto, entende-se que a criação de uma rede logística reversa para este resíduo e a instalação de CT, pode viabilizar a sua destinação adequada. Tais infraestruturas logísticas são necessárias para o funcionamento eficaz da logística reversa deste resíduo, pois servirá de consolidação do elo entre os geradores, e as indústrias geradoras de energia a partir do resíduo, garantindo uma otimização na circulação do ORF e minimizando seus impactos ambientais.

Leite (2003) caracteriza Ponto de Entrega Voluntária (PEV) como estruturas fixas localizadas estrategicamente na cidade onde o cidadão espontaneamente deposita materiais recicláveis. Deste modo, o GPG utiliza este intermédio para participar do fluxo reverso do resíduo considerando a quantidade gerada que é inferior à do GGG.

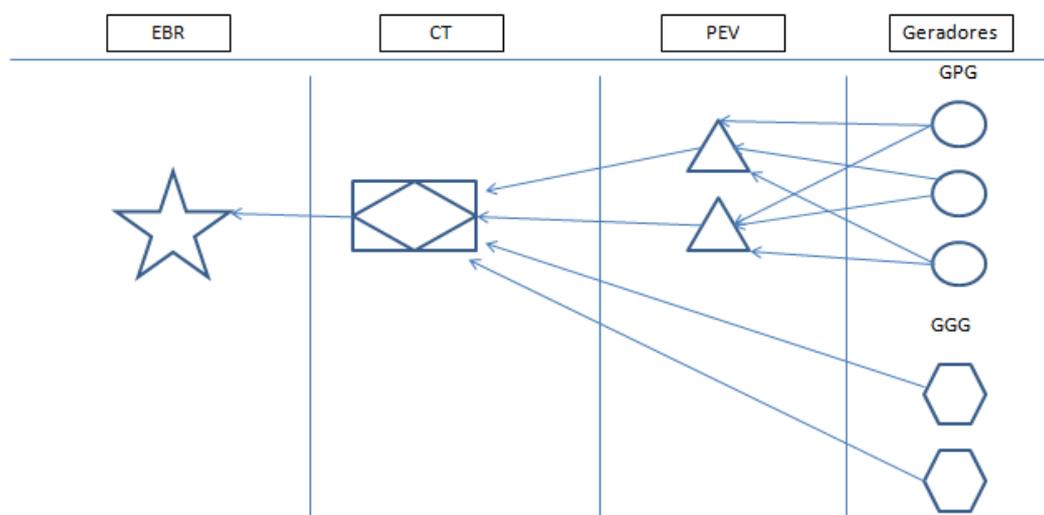
Os Centros de Tratamentos (CT) são facilidades desenvolvidas para receber o ORF, possui a função de limpeza e purificação do resíduo, antes de encaminhá-lo para a indústria. Estes centros, além de armazenar, possuem pré-tratamento que é uma facilidade que viabiliza a agregação de valor ao

resíduo. São facilidades desenvolvidas para consolidar grandes volumes de cargas, e permitem a maximização do retorno e da coleta, pois além de criarem o maior volume de resíduos em um único ponto, estão localizadas em áreas centrais, que permitem o acesso tanto dos clientes quanto dos produtores (ROGERS e TIBBEN-LEMBKE 1998; LEITE 2003).

A Empresa Beneficiadora de Resíduo (EBR) é caracterizada pelo Fabricante que fará uso do resíduo como nova fonte de energia, podendo ser indústria de sabão, de biodiesel e/ou tintas.

Diante destas definições, a Figura 6 ilustra a rede da rede de logística reversa do ORF e como se dispõem as alternativas de retorno propostas neste estudo.

Figura 6: Representação gráfica da rede de logística reversa do ORF



Fonte: Elaborada pelo autor.

A rede de logística reversa proposta neste trabalho é modelada matematicamente conforme apresentado na Seção 4.1. A solução deste modelo matemático alimentado pelos parâmetros obtidos é realizada, por intermédio do solver CPLEX (IBM, 2015). Existe uma dificuldade em determinar quantos PEV serão alocados e em qual local. Se a alocação de PEV for em pequena quantidade, tem-se um custo menor de instalação, mas acarreta numa longa distância percorrida pelo cidadão levar e descartar seu ORF; se houver a alocação de PEV em grande quantidade, isto gera custo elevado de

implantação, inviabilizando o projeto, apesar de oferecer mais comodidade aos cidadãos. Estes PEV são úteis para facilitar a entrega do ORF nos bairros visando minimizar custos concentrando o resíduo em um local onde será coletado ao atingir um nível estabelecido pela empresa de coleta.

Há uma previsão do Governo do Estado construir com recursos próprios todas as estruturas necessárias para garantir a coleta e destinação adequada de resíduos nas regiões mencionadas. Assim, a operação de cada sistema delegada, por concessão, ficará sob responsabilidade de empresas privadas (SEPLADE, 2014). Porém, ainda não se tem o conhecimento se os PEV utilizados para coleta de ORF serão contemplados nesta ação do governo, pois os recipientes de resíduos gerais não são os mesmos para ORF. No entanto, os PEV podem ser instalados e mantidos pelas prefeituras utilizando recursos próprios ou fazendo uso de parcerias com empresas privadas.

O modelo matemático proposto buscou envolver a rede logística reversa necessária para a coleta dos ORF estruturado na Figura 6. Portanto a rede que o modelo contempla consiste em coletar o resíduo no GPG e GGG, enviar para um CT e posteriormente destinação para uma empresa que comercializará o ORF. Esta escolha se deu, já que a destinação do ORF para indústrias de beneficiamento é determinada por fatores como o preço pago por estas empresas, condições de compra e pagamento, distância (que determina o valor do frete), volume, qualidade da matéria prima, dentre outros, conforme discutido por Matias (2014). Como são muitas opções de indústrias (fabricação de biodiesel, sabão e outros) e diversos fatores que interferem nesta decisão, foi considerado que o próximo elo após o CT será uma empresa de beneficiamento de resíduo, não se atendo à fábricas específicas que utilizam o ORF como base do processo produtivo.

### 3.4 ELABORAÇÃO DE CENÁRIOS PARA ANÁLISE

Para realizar a análise do estudo inicialmente foram elaborados seis cenários para comparações conforme o Quadro 2. Os cenários foram divididos em três

classes. A Classe 1, considera apenas a coleta no GGG, a Classe 2, envolve a coleta no GGG e GPG considerando o consumo atual do município estudado, já a Classe 3, considera a coleta no GGG e GPG com aumento de consumo.

Quadro 2: Cenários a serem avaliados

<b>Classe</b>	<b>Cenário</b>	<b>Descrição</b>
1	Cenário 1	Coleta de ORF em GGG
2	Cenário 2.1	Coleta de ORF em GGG e GPG (PEV) considerando consumo mensal
	Cenário 2.2	Coleta de ORF em GGG e GPG (PEV) considerando consumo quinzenal
3	Cenário 3.1	Coleta de ORF em GPG considerando aumento de 20% da oferta
	Cenário 3.2	Coleta de ORF em GGG considerando aumento de 60% da oferta
	Cenário 3.3	Coleta de ORF considerando aumento de 20% da oferta em GPG e 60% em GGG

Fonte: Elaborado pelo autor

No Cenário 1, a proposta é realizar a coleta do resíduo apenas nos GGG. Atualmente a cidade estudada é contemplada por uma extensão de uma empresa que realiza a coleta do ORF. Neste contexto, por falta de legislação específica para este resíduo, falta de fiscalização e amparo do órgão público a que compete – Secretaria de Meio Ambiente, a coleta não é realizada de maneira formal e também não abrange todo o território municipal. A empresa que hoje opera a coleta no município conta com dois veículos médios de coleta realizando este serviço apenas em GGG, ou seja, cozinhas industriais, lanchonetes, bares, restaurantes e padarias. Sendo assim, as residências, que compõem o GPG não são atendidas pelo serviço de coleta do resíduo.

Para a condução da coleta, o gerador do ORF comunica a empresa solicitando a retirada. O resíduo é enviado para um CT onde é realizado um pré-tratamento (apenas filtragem) e armazenado durante um período de uma semana. Após o processo de tratamento, o resíduo é encaminhado para as fábricas onde se torna matéria-prima de um novo processo.

Portanto, neste Cenário 1 assume-se a condição de que apenas os GGG são atendidos abstendo-se dos GPG. Considera-se ainda um sistema de coleta sem rota definida sendo atendido por dois veículos leves, direcionando o

resíduo para um CT intermediário com posterior envio para o CT final. Desta forma, este cenário considera a situação atual do município em que não há PEV para a coleta do ORF dos GPG. Deseja-se obter como resultado, o comportamento dos custos e a identificação da melhor localização do CT para este cenário. Será possível avaliar se o modelo atualmente utilizado é adequado.

Na Classe 2 de Cenários, inicialmente foi realizada uma análise da coleta mensal do resíduo tanto em GPG quanto em GGG, e logo após foi avaliado um aumento da frequência de coleta para identificar as consequências desta decisão.

Para o Cenário 2.1, assume-se a condição de que a cidade contará com PEV que serão distribuídos para que seja reduzido o percurso dos integrantes do GPG minimizando esforços de levar o ORF ao PEV. Conforme Binoto (2010), os PEV facilitam a coleta reduzindo custos com transporte, especialmente em bairros com baixa densidade populacional e evita trechos improdutivos, como pode ocorrer na coleta porta a porta. A coleta no GGG é realizada no próprio estabelecimento e o resíduo será enviado diretamente para o CT, assim também como o resíduo coletado nos PEV. O consumo foi contabilizado como a oferta mensal.

No Cenário 2.2, considerou-se a coleta do ORF a cada quinze dias em GGG e GPG utilizando os PEV. Como o problema não é de roteirização, neste cenário o objetivo é identificar a influência do aumento da frequência de coleta do resíduo. Portanto, o serviço de coleta foi forçado para acontecer duas vezes ao mês de forma a avaliar se é melhor ter uma capacidade maior para comportar um grande volume de resíduo para ter menor custo de transporte ou não investir em uma facilidade com capacidade elevada e realizar mais de uma coleta ao mês.

Na Classe 3 de Cenários, alguns aumentos foram avaliados tanto para GPG quanto para GGG. Tal abordagem permite compreender a influência de cada aumento previsto, mesmo não havendo crescimento populacional.

No Cenário 3.1, foi considerada a coleta de ORF com a alocação de PEV para atendimento ao GPG considerando que haverá um plano de educação ambiental. Mesmo com a evolução da alimentação saudável, a qual utiliza menos fritura e conseqüentemente reduz do óleo utilizado, este cenário

desconsidera esta variável pois por outro lado, o crescimento da alimentação fora de casa (em restaurantes) induz a alimentação industrializada, o que também eleva o consumo de óleo vegetal. Sendo assim, será avaliado o impacto de um plano de educação ambiental, conforme exigência da PNRS. Diante desta ação, este cenário foi conduzido estimando-se um aumento de 20% da oferta do ORF. O objetivo é avaliar se haverá alteração da escolha da localidade a ser definida, assim também como o comportamento do custo total da rede.

No Cenário 3.2, foi abordada a coleta de ORF em GGG considerando a possibilidade de uma exigência legal incluindo algum tipo de penalidade do tipo multa para os estabelecimentos que não cumprirem o descarte adequado do resíduo.

Para este cenário, adotou-se a hipótese de que seja legalmente estabelecida uma política de incentivo e obrigatoriedade de coleta do ORF, incluindo a fiscalização para verificar seu descarte adequado, a exemplo de normas legais nos municípios de Cotia/SP (Lei municipal Nº 1833/2014) e Vila Velha/ES (Lei Municipal Nº 5.252/2012). Desta maneira, aplicando-se multa e havendo fiscalização, espera-se que a quantidade de ORF a ser coletada terá um aumento em volume, não porque a geração aumentará, mas sim porque a entrega do resíduo será praticada com mais compromisso pelos geradores. Nesta ocasião, foi estimado um aumento de 60% da oferta do resíduo para o GGG.

No Cenário 3.3, foi simulada a coleta de ORF com alocação de PEV para atendimento ao GPG considerando um aumento de 20% e no GGG com um aumento de 60%.

Para finalizar esta sequência de cenários, o Cenário 3.3, considerou os 20% de aumento do Cenário 3.1 que é justificado pelo aumento da oferta do volume de ORF devido a um plano de educação ambiental e, compreende também o Cenário 3.2 com 60% de aumento do volume ofertado pelo GGG considerando a existência de penalidade do tipo multa conforme proposto pelo Cenário 3.2.

No Capítulo 4, será apresentada a modelagem matemática da rede de LR proposta para este trabalho. Será abordado o modelo matemático assim também como os parâmetros, variáveis de decisão e a função objetivo.

#### 4. MODELAGEM MATEMÁTICA DA REDE LOGÍSTICA REVERSA

O modelo matemático proposto baseou-se nos estudos de Gomes (2015). Este possui uma função objetivo abrangente permitindo a análise de custos e receitas assim como Gomes (2015) desenvolveu para resíduos sólidos. Matavel (2015) trabalhou de forma similar apresentando a projeção de uma rede logística reversa para viabilizar a coleta e transporte do ORF de forma a garantir o volume e escala necessários para seu reaproveitamento, com destaque para a produção do biodiesel no distrito municipal KaMpfumo em Moçambique. Porém o modelo proposto por Matavel (2015) não contemplava o encaminhamento do resíduo para as EBR, sendo caracterizado, portanto como problema de dois níveis, ou seja, a rede logística reversa de sua pesquisa possuía dois elos, os geradores de ORF e os CT.

O modelo desta pesquisa contempla a minimização dos custos de instalação e operacionais dos CT, redução dos custos de transporte entre os elos da rede e busca a maximização da receita auferida pela venda do ORF como poderá ser visto na Seção 4.1.

##### 4.1 MODELO MATEMÁTICO

###### Conjuntos

- I Conjunto dos PEV,  $i = 1 \dots npv$ ;
- J Conjunto dos CT,  $j = 1 \dots nct$ ;
- K Conjunto das EBR,  $k = 1 \dots neb$ ;
- N Conjunto de faixas de capacidade dos CT,  $n = 1 \dots nfx$ .

## Parâmetros

- $d_i$  Quantidade de ORF no PEV  $i \in I$ ;
- $f_{jn}$  Custo fixo de abertura de um CT  $j \in J$  na faixa de capacidade  $n \in N$ ;
- $cx_{ij}$  Custo de transporte em litro de ORF por quilômetro transportado do PEV  $i \in I$  para o CT  $j \in J$ ;
- $cw_{jk}$  Custo de transporte em litro de ORF por quilômetro transportado do CT  $j \in J$  para a EBR  $k \in K$ ;
- $caf_{jn}$  Capacidade de recebimento do CT  $j \in J$  na faixa de capacidade  $n \in N$ ;
- $car_k$  Capacidade de recebimento da EBR  $k \in K$ .

## Variáveis de decisão

- $x_{ij}$  Quantidade de ORF transportado do PEV  $i \in I$  para o CT  $j \in J$ ;
- $w_{jk}$  Quantidade de ORF transportado do CT  $j \in J$  para a EBR  $k \in K$ ;
- $y_{jn}$  Variável binária que assume o valor igual 1 se um CT  $j \in J$  é aberto na faixa de capacidade  $n \in N$  e, 0, caso contrário;
- $r_k$  Receita obtida por litro de ORF entregue à EBR  $k \in K$ .

De acordo com a notação definida, a seguir são apresentadas a função objetivo e as restrições do modelo matemático proposto.

### Função Objetivo

$$\begin{aligned} \text{Minimizar } & \sum_{j \in J} \sum_{n \in N} f_{jn} y_{jn} + \sum_{j \in J} c_j \sum_{i \in I} x_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{x_{ij}} x_{ij} \\ & + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} c_{w_{jk}} w_{jk} - \sum_{k \in K} r_k \sum_{j \in J} w_{jk} \end{aligned} \quad (1)$$

### Restrições

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = d_i \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \leq \sum_{n \in N} c a f_{jn} y_{jn} \quad \forall j \in J \quad (3)$$

$$\sum_{n \in N} y_{jn} \leq 1 \quad \forall j \in J \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = \sum_{k \in K} w_{jk} \quad \forall j \in J \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J} w_{jk} \leq c a r_k \quad \forall k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{n \in N} y_{jn} \leq n c t \quad (7)$$

$$y_{jn} \in \{0,1\} \quad \forall j \in J, n \in N \quad (8)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (9)$$

$$w_{jk} \geq 0 \quad \forall j \in J, k \in K \quad (10)$$

A Função Objetivo, Equação (1), representa o custo total incluindo custos fixos de abertura, custos de operação, custo de transporte e soma a receita obtida pela venda do resíduo para as empresas de beneficiamento. A função objetivo deve ser minimizada.

As Restrições (2) garantem que a demanda de todos os PEV seja coletada. Já as Restrições (3) preveem que todo resíduo enviado para um PEV seja menor que a sua capacidade.

As Restrições (4) garantem que só será aberto um CT em uma faixa de capacidade, ou seja, não pode ser aberto dois CT em uma mesma localidade, mesmo sendo de faixa de capacidade diferente.

As Restrições (5) asseguram que todo volume que chega ao CT será enviado para a EBR.

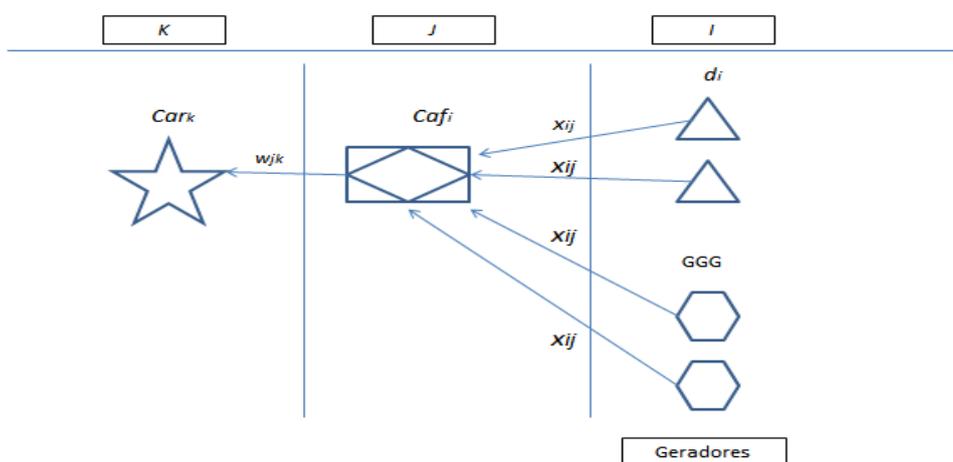
As Restrições (6) garantem que tudo que é transportado de um CT para uma EBR é menor ou igual do que sua respectiva capacidade.

As Restrições (7) limitam a quantidade total de CT que podem ser abertos.

As Restrições (8), (9) e (10) estão relacionadas aos domínios das variáveis de decisão.

A Figura 7 representa graficamente os parâmetros e as variáveis de decisão do modelo matemático proposto. A apresentação da Figura 7 é dividida em três partes que representam os três níveis do modelo de localização.

Figura 7: Representação da rede com parâmetros utilizados no modelo matemático



Fonte: Elaborada pelo autor.

No primeiro nível, representado pela coluna mais à direita da Figura, estão os geradores de resíduos, GPG e GGG, representados por triângulo e hexágono respectivamente. Neste caso, os dois grupos foram unidos em um mesmo nível para efeito de modelagem. Comparando-se com a Figura 6, é possível perceber que o GPG está representado na Figura 7 pelos PEV, visto que a coleta dar-se-á neste ponto. Cabe ressaltar ainda que para esta pesquisa, considera-se que o GPG enviará o ORF até o PEV, sendo o custo de transporte de responsabilidade do gerador ou consumidor final, não fazendo

parte desta modelagem. No segundo nível, estão os potenciais CT que poderão ser escolhidos pelo modelo e, por fim, mais à esquerda da Figura estão as EBR que podem receber o ORF gerado pelos GPG e GGG. Todos os parâmetros e variáveis de decisão são apresentados na Figura 7.

## 5. LEVANTAMENTO DOS DADOS DO ESTUDO DE CASO

Nesse capítulo são apresentados os valores dos parâmetros utilizados no modelo matemático para o município de Linhares assim como a forma de obtenção de cada um deles.

### 5.1 ESTIMATIVA DA QUANTIDADE ORF GERADO PELOS GPG

Estima-se que a média de consumo de óleo vegetal de um brasileiro seja 33,2 kg/pessoa/ano (GUNSTONE, 2013). Madalozo (2008) realizou um estudo na cidade de Ponta Grossa, Estado do Paraná, que mostrou-se útil para justificar a estimativa da demanda de ORF. Ele utilizou dados do IBGE e entrevistas domiciliares para estimativa do consumo mensal de óleo e de seu respectivo rejeito gerando a Tabela 1 (MADALOZO, 2008).

TABELA 1: CONSUMO MENSAL DE ÓLEO POR RENDA

Renda (Salários Mínimos/Mês)	Consumo de óleo (litros/pessoa/mês)	Geração de rejeito (litros/pessoa/mês)	% de Rejeito
0 a 1	1,12	0,19	17%
1 a 3	1,34	0,21	16%
3 a 5	0,95	0,24	25%
5 a 10	1,07	0,17	16%
> 10	0,75	0,15	20%

Fonte: Adaptado de Madalozo (2008, p. 57)

Madalozo (2008) obteve um valor médio de consumo de 0,937 litros por pessoa/mês e 0,177 litros por pessoa/mês de descarte de óleo, o que representa aproximadamente 18,9% do consumo.

Para inserir como parâmetro no modelo matemático gerado nesta pesquisa, foi realizada uma pesquisa sobre a estimativa da quantidade de ORF gerado por meio de pesquisa de campo.

O Apêndice A foi elaborado considerando a população do município adotado e apresenta a estimativa da quantidade de ORF gerado adequando os valores à realidade de pequenos geradores na cidade de Linhares, em que o índice de ORF foi considerado como 18,9% do consumo, que é a média dada pela

Tabela 1 (MADALOZO, 2008). A aproximação foi considerada pois não há registros de média de consumo por classe social na cidade de Linhares.

Para efeito de padronização das unidades de medidas, o valor dado em quilograma foi convertido em litros. Portanto, o valor da última coluna denominada “ORF Gerado Litros/Ano” é resultado da conversão de kg (massa) para litros (volume) sendo utilizado  $0,9 \text{ kg/m}^3$  como valor de densidade do ORF (EIM, 2012). Como se sabe que a densidade =  $\frac{\text{massa}}{\text{volume}}$ , então sabe-se também que  $\text{volume} = \frac{\text{massa}}{\text{densidade}}$  e, assim, consegue-se calcular o valor do volume em litros.

## 5.2 ESTIMATIVAS DA QUANTIDADE ORF GERADO PELOS GGG

Para o GGG, foi elaborada uma tabela conforme dados coletados nos órgãos pesquisados e na pesquisa de campo. O Apêndice B apresenta a quantidade de óleo coletada em GGG na cidade de Linhares.

No Apêndice B, a coluna denominada “Ponto de Coleta” reúne os estabelecimentos atendidos pelo atual processo de coleta instalado na cidade. Ao lado, a coluna Localização identifica em qual bairro o estabelecimento é sediado e, as colunas de “Quantidade” (mês e ano) são para diferenciar o volume coletado durante o mês assim também como anual.

## 5.3 DA ALOCAÇÃO DE PONTOS DE ENTREGA VOLUNTÁRIA (PEV)

A literatura apresenta distintos apontamentos, e em alguns casos contraditórios no que se refere ao número mínimo/ideal de facilidades que tenham a função de centros de retorno na gestão de resíduos sólidos, que se deve instalar em municípios. Por exemplo, o Guia para Elaboração de Planos de Gestão de Resíduos Sólidos recomenda que as sedes municipais com população entre 75 e 100 mil devem ter cerca de quatro PEV para atender a população (BRASIL, 2011). Por seu turno, o Ministério Público do Espírito Santo (2014) sugere a existência de um ponto de entrega voluntária para cada 800 habitantes da cidade. Em princípio, no Termo de Compromisso Ambiental – TCA 01/2013,

Linhares (2013), assinado pelo Ministério Público do Espírito Santo e o município de Linhares, foi determinado que a quantidade de PEV a serem alocados, deve ser de 1 a cada 800 habitantes. Sobre a quantidade a ser alocada é certo que em cada bairro haverá pelo menos a alocação de uma unidade. Peixoto *et al.* (2006) enfatizaram a importância da participação da população no processo de coleta e, portanto, indica que a ordem de prioridade para implantação dos PEV deve levar em conta a densidade populacional, ou seja, hierarquicamente as regiões com maior densidade populacional deverão possuir maior prioridade em relação às de menor densidade populacional.

Quanto maior for a densidade populacional, maior será a geração de resíduos, logo um número maior de pontos é necessário para atender esta demanda. Peixoto *et al.* (2006) sugere que a distância máxima entre os geradores e os PEV deverá ser de no máximo 500 metros. Não foi encontrada na literatura nenhuma referência em relação ao número ideal de centros de tratamento para a logística reversa de ORF específica. Matavel (2015) considerou em sua modelagem que, para cada bairro da cidade em que realizou sua pesquisa, seria alocado um PEV. Considerando que Matavel (2015) é uma pesquisa atual apresentando resultados atrativos e, que a sugestão de alocação de PEV aproxima-se da sugestão do TCA proposto ao município, para este trabalho foi considerada a alocação de um PEV para cada bairro, ou seja, cada bairro da cidade será contemplado com um PEV.

Considerando que existem vários tipos de recipientes para armazenamento do resíduo, e também restrições de dimensão física para alocação do PEV, este aspecto qualitativo foi desconsiderado. Sugere-se que o PEV deve ser escolhido conforme três variáveis: capacidade para atender à demanda do bairro em que será utilizado, as características do recipiente, como por exemplo, altura, largura, se é cilíndrico ou no formato paralelepípedo (deverá ser escolhido conforme condições do espaço em que será alocado), e por fim, o custo de cada recipiente de acordo com o tipo e capacidade.

#### 5.4 LOCAIS CANDIDATOS A CENTRO DE TRATAMENTO

Após o estabelecimento de uma quantidade mínima de PEV como forma de garantir maior participação da população e, conseqüentemente, uma maximização da coleta do ORF, é necessário identificar quantos CT e em qual localidade deverão ser abertos.

Para o PEV, o objetivo é garantir um mínimo de distância entre o local onde será instalado e as residências, para aumentar a probabilidade de entrega de ORF pelos consumidores minimizando o esforço do consumidor para entrega. Porém, para CT, além do elevado custo de instalação e operação, o seu objetivo é receber grandes quantidades de ORF para armazenagem e tratamento oferecendo estrutura adequada para veículos do tipo caminhão tanque que adentrarão no local. Cabe, portanto, ao modelo decidir quantos CT serão instalados e em qual faixa de capacidade será aberto.

Diferentemente de Arruda (2010), a cidade de Linhares não possui tantas opções disponíveis de associações ou cooperativas de catadores em funcionamento para serem utilizados no modelo como locais candidatos. Apenas uma associação de catadores foi identificada na cidade (Projeto CRIAR) e os demais locais candidatos foram sugeridos pelo autor, para localização de CT, assim como foi proposto por Ferri *et al.* (2014) e por Matavel (2015).

Os critérios na escolha do local candidato consideraram se o perfil do bairro era residencial ou se havia limitação de tráfego para carga e descarga. Buscou-se também o equilíbrio entre distância a ser percorrida para envio do resíduo ao CT (enquadra-se no custo variável) e custo de instalação da facilidade, visto que a aquisição de um lote possui elevado investimento dependendo do bairro escolhido.

Foi realizada uma pesquisa na cidade mais próxima (20km), denominada Sooretama para aquisição de um terreno para instalação do CT, pois o valor de aquisição é consideravelmente menor. Devido às questões de política fiscal, o município estudado não seria beneficiado com a arrecadação de renda oriunda de impostos. Buscando minimizar os custos de instalação, foi sugerida uma localização no distrito de Bebedouro, ainda pertencente ao município de

Linhares pois ainda é uma região com baixa valorização imobiliária. Mesmo distante 10 km da zona urbana, a tentativa permitirá avaliar o impacto do custo de transporte entre os PEV e os CT.

No Quadro 3, estão apresentados os locais candidatos a serem utilizados no modelo para receber CT otimizando o transporte no processo reverso do ORF.

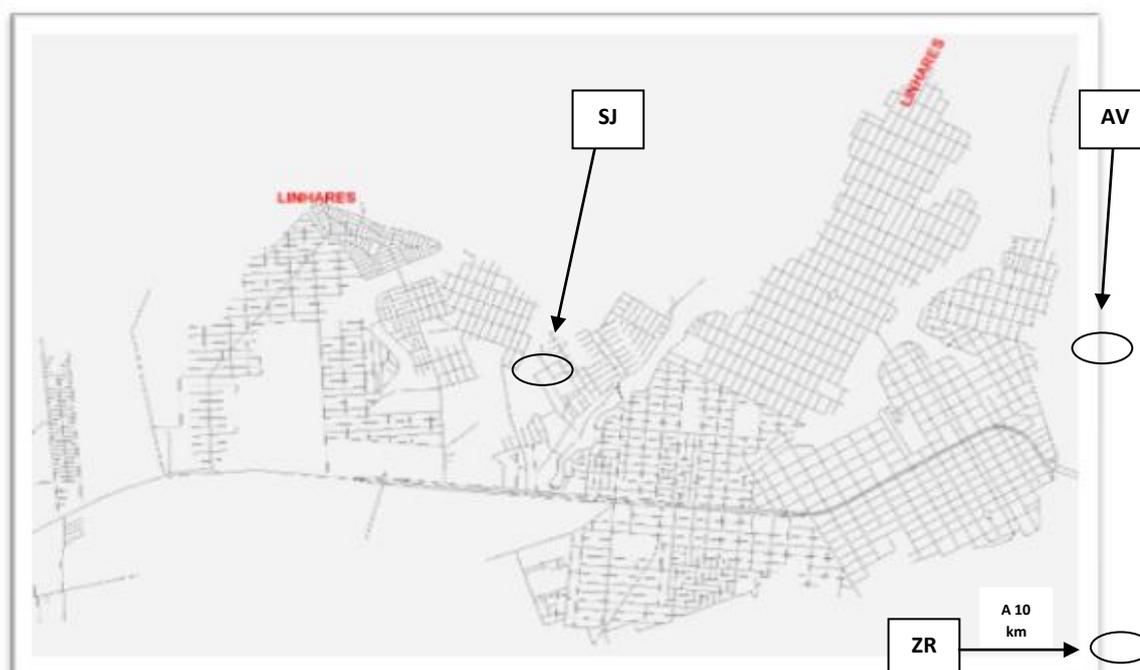
Quadro 3: Locais Candidatos a receber um CT

Identificação	Sigla	Bairro Candidato
CT1	SJ	São José
CT2	AV	Aviso
CT3	ZR	Distrito de Bebedouro

Fonte: Elaborada pelo autor

Na Figura 8 são apresentados os locais candidatos a receber um CT.

Figura 8: Locais Candidatos a receber um CT



Fonte: Adaptado de IBGE (2014)

Na Figura 8, não é possível representar o distrito adotado como terceira alternativa, pois fica localizado a 10 km leste do mapa, o que inviabilizaria a visualização nítida da Figura 8.

## 5.5 FAIXAS DE CAPACIDADE PARA CENTRO DE TRATAMENTO

As faixas de capacidade dos CT foram definidas em função da oferta do município. O CT receberá o resíduo dos grupos GPG e GGG e as faixas de capacidade consideraram a soma destas duas ofertas. Na Faixa 1, foi considerado que o recebimento do ORF no CT seria apenas de 50% de toda a possível geração do resíduo. Na Faixa 2, assumiu-se que o recebimento seria de 75% potencialmente existente no município. Na Faixa 3, considera-se que toda a geração seria descartada e coletada adequadamente resultando então em 100% de direcionamento do resíduo ao CT. E por fim, na Faixa 4 foi considerado um aumento populacional de 10% no município.

Na Tabela 2 são listadas as faixas de capacidade do CT.

TABELA 2: FAIXA DE CAPACIDADE DO CT

CT	Faixa de capacidade do CT (Kg)							
	Faixa 1 (50%)		Faixa 2 (75%)		Faixa 3 (100%)		Faixa 4 (110%)	
	Mensal	Anual	Mensal	Anual	Mensal	Anual	Mensal	Anual
CT 1	40670	488035	61004	732052	81339	976069	89473	1073676
CT 2	40670	488035	61004	732052	81339	976069	89473	1073676
CT 3	40670	488035	61004	732052	81339	976069	89473	1073676

Fonte: Elaborada pelo autor

## 5.6 CUSTOS FIXOS DE INSTALAÇÃO DE UM CENTRO DE TRATAMENTO (CT)

O custo fixo de instalação está associado aos custos de aquisição de terreno, de construção das instalações físicas, de aquisição de máquinas, de equipamentos, assim como da formação dos trabalhadores (SCHWARTZ FILHO, 2006). Este custo é diretamente proporcional à variação da capacidade que se deseja instalar, uma vez que uma capacidade elevada requer um aumento da área utilizada, do número de maquinário assim também como o número de funcionários.

Foi avaliada a alternativa de utilizar infraestruturas alugadas para minimizar o investimento inicial, mas, além de não encontrar opções viáveis para

implantação do CT, o fato de adquirir o lote, garante que não haverá riscos de alteração do mesmo desvalorizando a pesquisa realizada.

Os preços dos imóveis foram adquiridos por meio de informação verbal em imobiliárias sediadas no próprio município. Um dos locais candidatos a receber o CT não possui custo de aquisição, pois a prefeitura já possui um projeto de associação de catadores e artesanato com resíduos recicláveis. Sendo assim, seria necessário apenas realizar uma alteração no *layout* da construção já edificada e, por isso, existe uma diferença no custo de construção neste local.

Os custos de construção foram baseados no CUB/m<sup>2</sup> de 2015 onde é possível encontrar informações sobre o Custo Unitário Básico de Construção, tais dados são obtidos pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2015). O projeto contemplou muros fechando o terreno, um galpão coberto para proteger os tanques e um escritório. Para atendimento à legislação brasileira, foi previsto um sistema de contenção para evitar o derramamento de óleo (BRASIL, 2000).

Os preços dos tanques foram levantados por meio de cotação realizada em uma empresa da cidade de Campinas/SP, visto que na região não havia fornecedor do segmento. No Apêndice C é possível identificar que três tipos de tanques foram cotados para atender a demanda em diferentes faixas. Um recipiente de contenção também foi cotado para garantir que a legislação seja cumprida e também para realizar manejos urgentes conforme orientação do próprio fornecedor.

Dois tipos de veículos foram cotados, sendo um para coleta em menor quantidade (PEV) e envio ao CT. O outro veículo é para transportar o resíduo do CT para a empresa beneficiadora do óleo. Sendo assim, a pesquisa foi realizada na Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas Tabela FIPE (2015) que elabora os preços médios de veículos no mercado nacional, servindo apenas como um parâmetro para negociações ou avaliações. Os preços efetivamente praticados variam em função da região, conservação, cor, acessórios ou qualquer outro fator que possa influenciar as condições de oferta e procura por um veículo específico, que por questões de complexidade, não foram considerados neste estudo.

Os recipientes que serão utilizados como PEV alocados nos bairros e os que ficarão consignados nas empresas componentes do GGG foram precificados em empresas próximas da cidade de Linhares dando prioridade à economia do Estado do Espírito Santo, mas considerando os preços praticados por uma empresa na cidade de Sumaré em São Paulo justificaram a utilização de seus valores na pesquisa. Nesta mesma empresa, adquiriu-se preços para bombas de sucção para retirada do óleo e kit de filtragem do ORF.

Um carro transportador foi inserido na pesquisa para manuseio de recipientes carregados de óleo. Tal equipamento é de simples concepção permitindo a fabricação em empresa de caldeiraria o que permite redução de custos. Seu preço foi obtido por meio de uma empresa sediada na cidade de Serra no próprio estado.

O Apêndice C apresenta o custo fixo de instalação, de acordo com as faixas de capacidade das instalações a alocar. Para o custo fixo de instalação foi considerado seu tempo de vida útil devido à depreciação de investimentos. Portanto, nos dados apresentados na Tabela 3 considerou-se 10 anos de vida útil (FERRI *et al.*, 2015).

TABELA 3: CUSTO FIXO DE INSTALAÇÃO DO CT EM FUNÇÃO DA VIDA ÚTIL

Localidade	Custo Fixo de Instalação (R\$) em função da vida útil			
	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 4
CT 1	36.057,61	37.495,76	39.333,91	42.009,18
CT 2	47.957,61	49.395,76	51.233,91	53.109,18
CT 3	38.257,61	39.695,76	41.533,91	43.409,18

Fonte: Elaborado pelo autor

## 5.7 CUSTOS FIXOS DE OPERAÇÃO DE UM CT

Os custos fixos de operação referem-se aos custos dos salários e encargos dos funcionários, manutenção do local e dos equipamentos, gastos de energia, água e telefone (SCHWARTZ FILHO, 2006). Os custos relativos a salários e custos administrativos foram obtidos em função das pesquisas de mercado nacionais, sendo assim, um cenário particular foi criado para atender ao modelo.

Não foi encontrada na literatura, a referência de um custo de manutenção aplicável ao CT de ORF, mas para este trabalho, baseados em uma empresa que já atua no segmento, os custos de manutenção, energia, água e telefone, foram estimados no ano de 2015 e estão apresentados na Tabela 4.

TABELA 4: CUSTO FIXO DE OPERAÇÃO

Descrição	Valor (R\$) *
Funcionários	1.277,48
Manutenção	2.300,00
Energia	300,00
Água	300,00
Internet	110,00
Telefone	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor

Nota: \*valor obtido em junho de 2015

Para operação do CT, estes custos são inerentes ao processo de pré-tratamento do ORF, por isso, não existe a possibilidade de eliminá-los. Mas é possível propor alternativas que minimizem os custos operacionais buscando eficiência na filtragem, porém não é o foco deste trabalho.

Para atender a oferta de ORF, a capacidade do CT altera conforme estabelecido na Tabela 2 que trata das Faixas de Capacidade. A variação destes custos operacionais é em função do volume de ORF coletado, ou seja, aumentando a quantidade de resíduo destinado ao CT, eleva-se o custo operacional desta facilidade. Neste trabalho foi utilizado um fator de correção de aumento do custo operacional a cada 10 mil kg de ORF processado. Na Tabela 5, é possível identificar como comportou-se a evolução do custo operacional em função da elevação do volume.

TABELA 5: VARIAÇÃO DO CUSTO OPERACIONAL EM FUNÇÃO DO VOLUME PROCESSADO NO CT

VARIAÇÃO DO CUSTO OPERACIONAL EM FUNÇÃO DO VOLUME PROCESSADO NO CT												
Volume (x1mil kg)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Fator multiplicador	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para estimar o valor dos salários, considerou-se a base do salário mínimo atualmente praticado no Brasil R\$788,00 de acordo com a legislação Lei nº 7.418 (BRASIL, 1985), os custos administrativos são referentes aos gastos de comunicação, taxas, registros, etc. A variação da quantidade de funcionários deu-se em função do volume processado, mas não obedeceu ao mesmo cálculo da Tabela 6, sendo calculado baseando-se na *expertise* de uma empresa do ramo conforme exposto na Tabela 6.

TABELA 6: QUANTIDADE DE FUNCIONÁRIOS EM FUNÇÃO DO VOLUME PROCESSADO NO CT

Volume (x1mil kg)	Nº de Funcionários
0 a 90	3
40 a 80	4
80 a 120	5

Fonte: Elaborado pelo autor

Apesar de utilizar também como base o volume de ORF processado, ou seja, quanto maior o volume de resíduo maior a demanda por mão de obra, o gestor não soube precisar a forma adequada de correlacionar estes fatores. Portanto, para estabelecer um padrão para determinar a quantidade adequada de funcionários para o volume de ORF processado, seria necessário um estudo de engenharia de métodos.

## 5.8 CUSTOS VARIÁVEIS

Os custos variáveis referem-se aqueles diretamente proporcionais ao volume da produção ou das vendas de uma empresa (SCHWARTZ FILHO, 2006)

### 5.8.1 Custos de Transporte

Para obtenção dos custos de transporte, foi necessário identificar a distância entre todos os bairros, uma vez que para que o modelo apresente um resultado

consistente, é necessário ter conhecimento da distância da facilidade para cada bairro a ser atendido. Com base na localização espacial dos locais, obteve-se os pares de distâncias Euclidianas entre ponto de origem e destino. A partir destes dados, esta distância foi corrigida em 10% de acordo com o trabalho de Pimentel (2004).

Para precificar o transporte a ser realizado, tomou-se como base o trabalho de Ferri *et al.* (2015), que utiliza o valor de R\$ 10,5/km/l como custo de coleta de resíduos sólidos praticado na cidade de São Mateus, também no estado do Espírito Santo. O valor foi utilizado tanto para transportar o resíduo a partir dos PEV para CT, quanto do CT para a empresa de beneficiamento.

É necessário ratificar que o custo de transporte do Grupo de Pequenos Geradores até os PEV foi desconsiderado, pois dar-se-á de forma voluntária não gerando custo à rede. Os custos de transporte, neste caso, serão aplicados apenas a partir dos PEV para CT e, posteriormente, partindo do CT para a empresa de beneficiamento do resíduo.

Quanto aos GGG haverá custo, pois, o volume é elevado e haverá demanda de um veículo na coleta do ORF para entrega aos CT.

Ao tentar definir rotas para coleta porta a porta de óleo residual de fritura visando o reuso, Binoto (2010) estabeleceu a distância percorrida dos veículos para coleta do resíduo, porém não entrou em detalhes quanto a distância máxima a ser percorrida. Mesmo assim, é importante ratificar que nesta pesquisa não serão definidas rotas de coleta do resíduo. Serão sugeridos pontos estratégicos para alocação dos centros de tratamento buscando minimizar os custos da rede de logística reversa.

### **5.8.2 Custos de Reagentes**

Na literatura não foi encontrada referência que especificasse a quantidade de reagentes necessários para testar qualidade de uma amostra de óleo assegurando que a filtragem está adequada. Conforme *Utah Biodiesel Supply*, 2014, o teste de qualidade do óleo limpo é efetuado por meio de amostragem,

misturando amostras em períodos específicos adicionando uma quantidade pequena de reagentes (Titration Kit), para testar a sua qualidade.

De acordo com informações obtidas da empresa que já realiza o tratamento do ORF, não é toda EBR que exige a utilização de reagentes na filtragem. Mas para parâmetro a ser utilizado neste trabalho, foi calculado que é possível tratar 1000 litros de óleo para cada litro de reagente, resultando no valor para cada faixa de capacidade estabelecida, conforme Tabela 7.

TABELA 7: CUSTO VARIÁVEL – UTILIZAÇÃO DE REAGENTE

Custo Variável – Utilização de Reagente R\$*				
Kit de reagentes	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 4
Reagente químico	6.734,94	9.094,41	11.453,88	12.397,67

Fonte: Elaborado pelo autor

Nota: \*valor obtido em junho de 2015

## 5.9 RECEITA DA VENDA DO ORF

Oito empresas que trabalham com o resíduo do óleo de fritura foram identificadas no raio de aproximadamente 1.000 km da cidade pesquisada e, por meio de contatos telefônicos realizados no período de julho de 2015, obteve-se valores praticados como pagamento por litro de óleo entregue. Ou seja, quando o CT recolhe, trata e envia para a empresa de beneficiamento, é possível garantir a viabilidade da rede, pois há um último elo que se interessa pelo resíduo e ainda paga por ele. O fato de uma empresa de iniciativa privada ter interesse em adquirir o ORF torna a prática da coleta mais atrativa no ponto de vista econômico. Caso o CT dependesse de fomento público provavelmente tanto a instalação quanto a operação poderia estar limitada e/ou não ter condições de pleno funcionamento.

A Tabela 8 descreve as empresas que beneficiam o resíduo, seus preços praticados para aquisição do resíduo e suas respectivas capacidades.

TABELA 8: RECEITA OBTIDA PELA VENDA DO ORF

Nº	Empresa	Local	Valor* pago em R\$ (L)	Capacidade Mês (L)	Capacidade Ano (L)
1	Biomarca	Cariacica – ES	0,30	30.000	36.0000
2	Lirium	Sertãozinho – SP	0,40	50.000	60.0000
3	Recoleo	BH – MG	0,52	35.000	42.0000
4	Recoleo	Vale do Aço – MG	0,52	40.000	48.0000
5	Dinâmica Ambiental	Diadema – SP	0,37	55.000	66.0000
6	Grupo Renova Grande Rio	Arujá – SP	0,29	25.000	30.0000
7	Ambiental	Campos de Goytacazes – RJ	0,43	35.000	42.0000
8	Usina Ecox	Guarulhos –SP	0,32	43.000	51.6000

Fonte: Elaborado pelo autor

Nota: \*valor obtido em junho de 2015.

De posse de todos os parâmetros, procedeu-se à análise dos cenários para identificação de suas particularidades, visando a identificação da influência de cada variável.

## 6. ANÁLISE DOS CENÁRIOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O modelo matemático proposto foi implementado e executado com o CPLEX 12.6 (IBM, 2015) em um computador equipado com um processador Intel R Core™ 2 Duo. (2.20GHz) e 4GB memória RAM,

Utilizando o *solver* para resolver o modelo, foram implementados cenários conforme estabelecido na Seção 3.4, sendo estes analisados de acordo com as respectivas variações dos parâmetros de entrada para identificar a sensibilidade dos resultados em função das variações aplicadas.

A Tabela 9 apresenta o volume ofertado de ORF, a representação dos custos de instalação, operação e os custos variáveis em relação ao montante gerado pela rede de logística reversa do resíduo. Identificou-se o impacto de cada custo, seja ele fixo ou variável, no custo total.

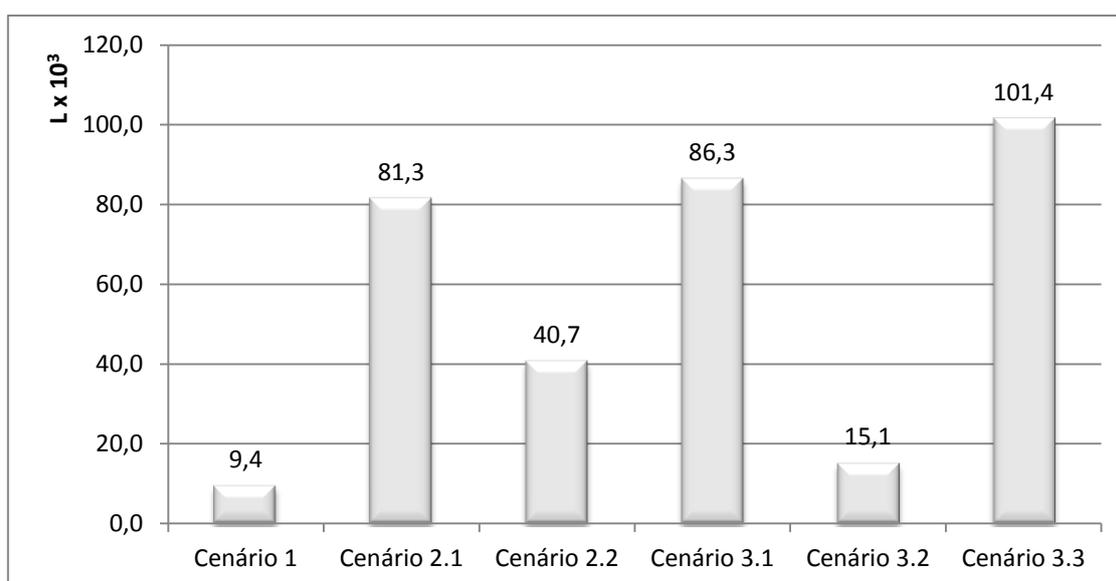
TABELA 9: ANÁLISE DOS CENÁRIOS

Cenário	Volume Coletado de ORF (L)	Participação dos custos nos resultados (%)			Custo Total (R\$)
		Custo de Instalação	Custo de Operação	Custos Variáveis	
1	9.444	45,1	8,9	46	980.832,73
2.1	81.339	2,8	1,2	96	13.735.628,11
2.2	40.670	10,4	2,7	86,9	4.233.007,09
3.1	86.274	4,6	1,4	94	14.729.156,71
3.2	15.111	33,2	5,8	61	1.567.152,18
3.3	101.385	3,2	0,7	96	20.808.342,59

Fonte: Elaborada pelo autor

É possível perceber no Gráfico 1 a expectativa de oferta de ORF dos cenários abordados nesta dissertação. O Cenário 1, prevê o menor volume de ORF e, mesmo considerando um aumento de 60% para GGG, o Cenário 3.2 permanece com um baixo volume. O Cenário 2.2, conforme esperado, representa uma coleta referente à metade daquele obtida no Cenário 2.1, pois envolve o volume gerado em 15 dias ao invés dos 30 dias do Cenários 2.1. Os maiores volumes são previstos nos Cenários 2.1, e no 3.3 pois são considerados a geração de GPG e GGG. O Cenário 3.1 também apresenta-se com volume considerável pois a proporção de GPG é elevada, apesar de um aumento inferior (20%).

Gráfico 1: Previsão de oferta por Cenário



Fonte: Elaborado pelo autor.

Sobre os custos totais, é interessante observar que por mais que o Cenário 1 seja o menos oneroso, não é adequado, visto que não envolve os GGG.e não

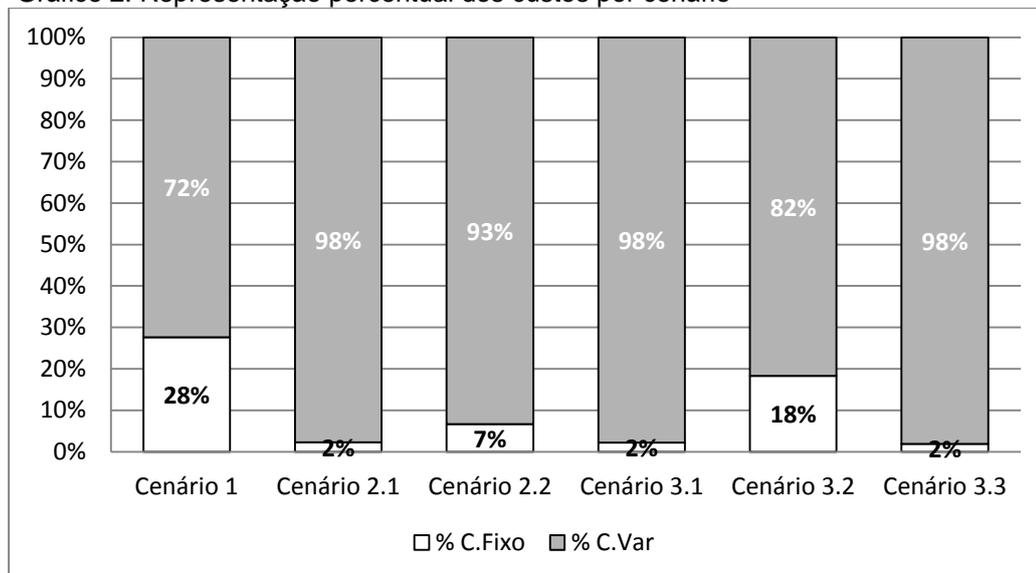
atende a legislação vigente. Além disso, não considera uma realidade de coleta do ORF que alcance o maior volume possível para minimizar o descarte inadequado deste resíduo.

Considerando os custos totais para a Classe de Cenários 2, há uma diferença no valor que leva a conclusão de que é viável utilizar a frequência de coleta quinzenal como pode ser observado no Gráfico 3. Apesar de realizar duas vezes o número de transporte, ainda sim é mais viável visto que a capacidade do CT não teria necessidade de ser elevada para realizar o processamento do ORF e o custo de transporte é menor.

Para a Classe de Cenários 3, por mais que seja o mais oneroso, o Cenário mais adequado seria o 3.3 pois considera a coleta em GGG e GPG já assumindo uma oferta elevada de resíduo. Portanto, cumpriria a legislação garantindo uma destinação adequada ao ORF.

O Gráfico 2, apresenta a proporção dos custos fixos e variáveis de cada cenário. Neste gráfico foram considerados como custos fixos a instalação e operação; como custos variáveis entraram o processamento do resíduo e transporte.

Gráfico 2: Representação percentual dos custos por cenário



Fonte: Elaborado pelo autor.

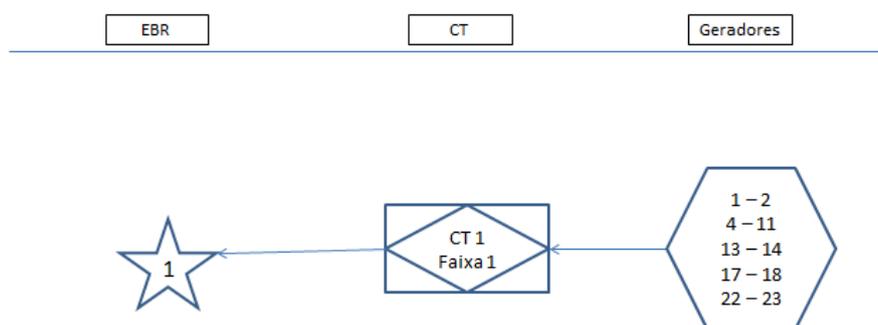
No Gráfico 2, é possível avaliar a variação dos custos fixos e variáveis em função do volume enviado em cada cenário. Nos Cenários 1 e 3.2, são

observados os maiores índices de custo fixo consideráveis, isto porque o volume coletado é menor do que nos demais cenários, influenciando no rateio destes custos por litro de óleo. Os cenários destacados são referentes à coleta de ORF em GGG e, mesmo havendo um aumento do volume coletado no Cenário 3.2 em relação ao Cenário 1, fica destacado pois nos outros cenários, a participação dos custos fixos são praticamente irrisórios. Nos demais cenários, os custos fixos são irrisórios a ponto de não serem considerados em grande proporção em relação ao custo variável que engloba o custo de processamento e custo de transporte.

Ressalta-se que a representatividade do custo variável é, na prática, ainda maior, pois os custos de transporte do GPG para PEV não foram contabilizados nesta rede.

Com a obtenção dos dados referente ao Cenário 1, é possível identificar que a localidade ideal para abertura do CT seria no bairro São Jose na Faixa 1, ou seja, para atender a demanda do GGG apenas e considerando a oferta atual, bastaria uma pequena instalação para comportar todo o volume de ORF para tratamento que consiste em menos de  $1 \times 10^3$ kg. A Figura 9 representa a rede reversa do resíduo em que os números indicam os bairros em que se encontram os GGG, conforme Apêndice B.

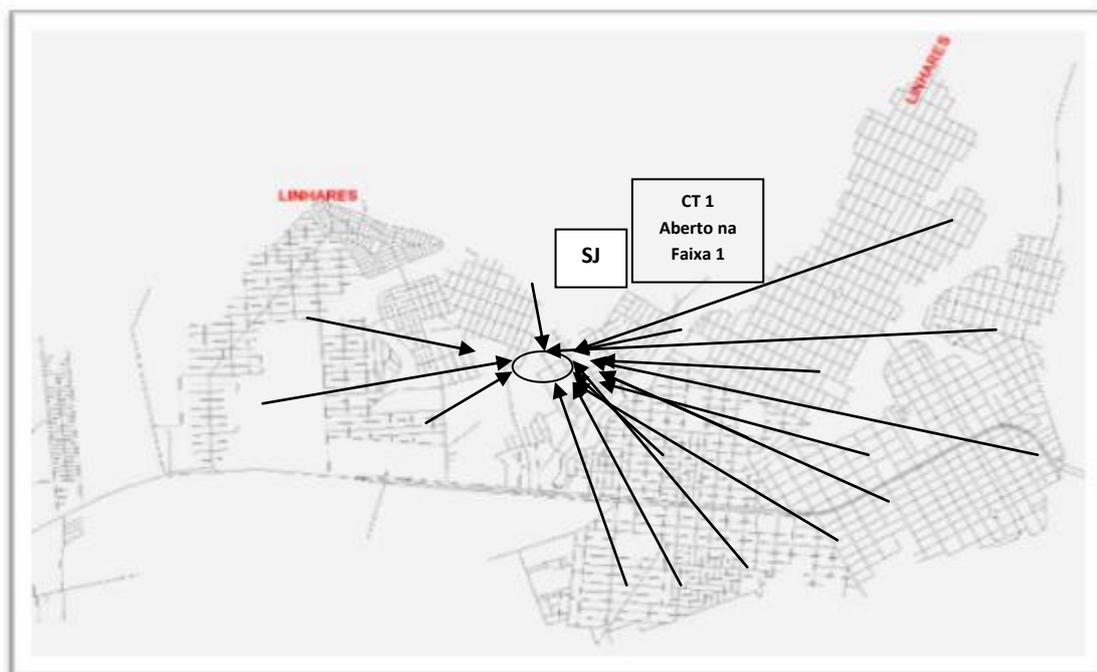
Figura 9: Rede do Cenário 1



Fonte: Elaborado pelo autor.

É importante ressaltar que não serão todos os bairros que serão geradores de resíduos visto que neste cenário, foi considerado apenas o GGG. A Figura 10 apresenta a localização do CT no bairro São Jose.

Figura 10: Localização de CT do Cenário 1

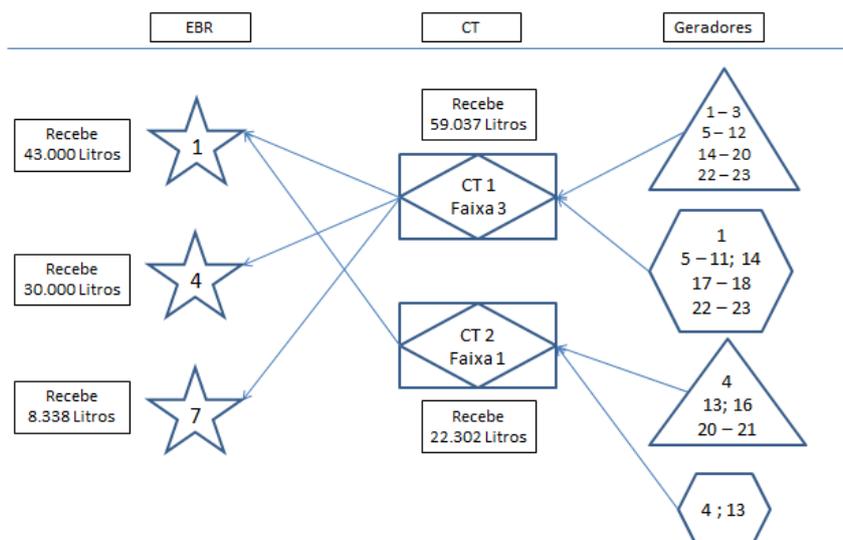


Fonte: Adaptado de IBGE (2014).

A EBR escolhida foi a Biomarca, localizada em Cariacica-ES. É importante salientar que as EBR realizam a compra do ORF a partir de 1.000kg em média.

Considerando a importância da coleta do resíduo, é necessário coletar não apenas em estabelecimentos comerciais que utilizam o óleo vegetal, mas também nas residências. Por isso, o Cenário 2 foi proposto para identificar em que esta alteração implicaria na localização e custos. A Figura 11 representa a rede reversa do resíduo no Cenário 2.1.

Figura 11: Rede do Cenário 2.1



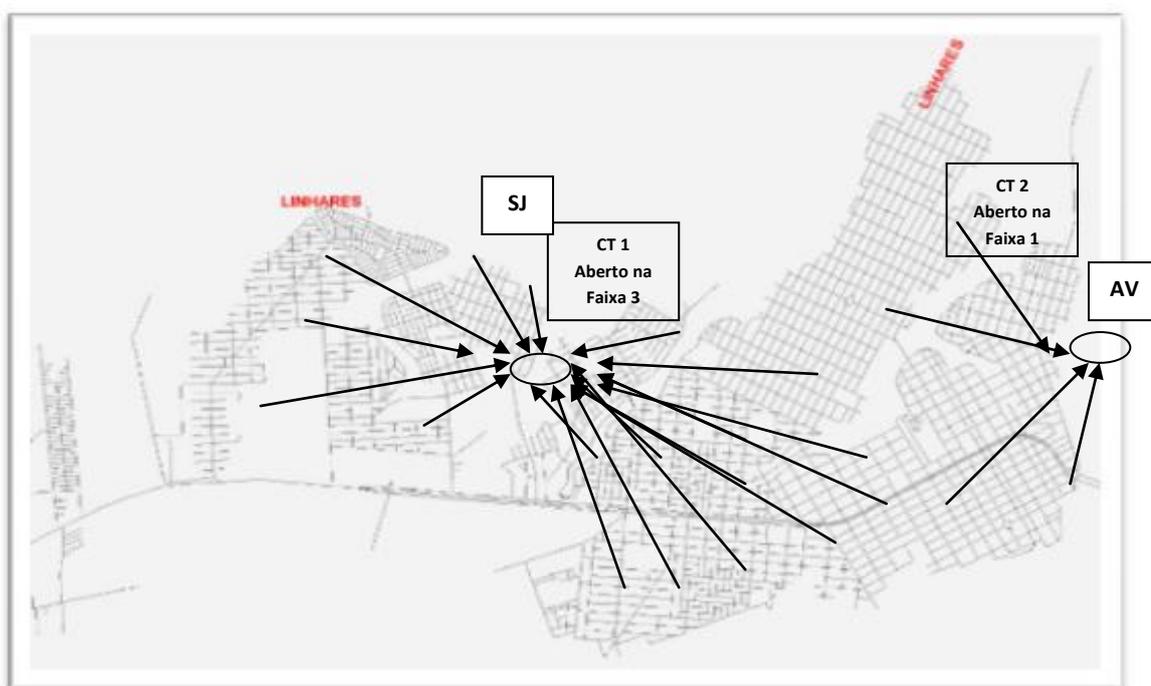
Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesta Figura, na coluna Geradores, existe uma diferenciação de figuras. Dentro do triângulo compreende os bairros que houve coleta em PEV, no hexágono, são os bairros em que ocorreu coleta em GGG. Neste caso, é possível identificar quais bairros enviaram para cada um dos CT escolhidos para abertura: nos bairros Araçá, Aviso, Boa Vista, Centro, Colina, Canivete, Interlagos, Jardim Laguna, Jose Rodrigues Maciel, Juparanã, Lagoa do Meio, Linhares V, Nossa Senhora da Conceição, Nova Bethânia, Nova Esperança, Novo Horizonte, Palmital, Planalto, Santa Cruz, São Jose e Três Barras, os GPG e GGG enviaram para o CT 1; nos bairros Canivete, Movelar e Shel, os GPG e GGG enviaram para o CT 2. Verifica-se que, independente de ser GGG ou GPG, o bairro sempre envia para um mesmo CT. Ainda, no nível do CT, coluna do meio, é apresentada a quantidade de ORF recebido por cada CT aberto. No nível das EBR, são descritas as EBR1 (Biomarca), 4 (Recoleo) e 7 (Grande Rio Ambiental) que foram escolhidas e qual volume de ORF cada uma recebeu de seus respectivos CT.

Após obtenção dos resultados do Cenário 2.1, é possível identificar que, apesar da sugestão de localização da instalação não ser alterada, uma nova faixa de capacidade é sugerida para absorver o aumento da quantidade de óleo previsto no Cenário avaliado. Conforme a Figura 11, a localização do CT

permanece no bairro São Jose sofrendo apenas a alteração da faixa de capacidade, elevando-se para o terceiro nível (Faixa 3 – 100%). O CT 2 localizado no bairro São Jose é lançado para abertura no nível 3 e, posteriormente, o segundo CT proposto pelo modelo fica localizado no bairro São Jose, ou seja, inicialmente será enviado todo o resíduo para o CT 1, o que não puder ser absorvido pela capacidade é destinado ao CT 2. A Figura 12 apresenta o mapa de localização e permite identificar as localidades sugeridas para abertura neste cenário.

Figura 12: Localização de CT do Cenário 2.1



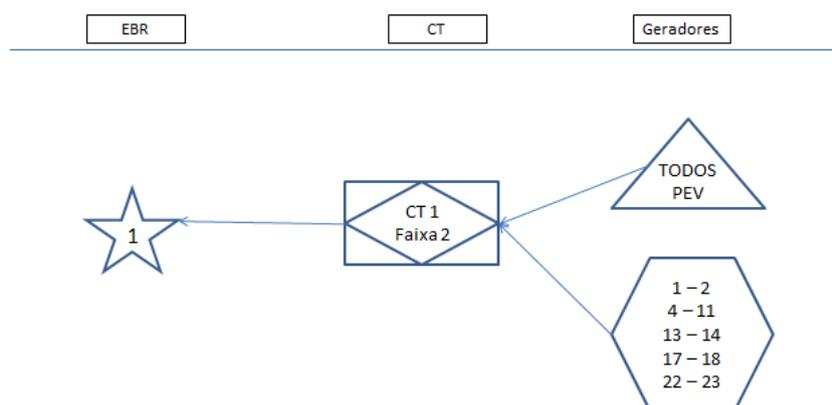
Fonte: Adaptado de IBGE (2014)

Neste cenário, o CT 3 mesmo apresentando baixo valor de instalação não foi sugerido pelo modelo a ser aberto como facilidade. Isto se dá provavelmente devido a sua elevada distância para transbordo. É importante analisar que o CT 1, mesmo tendo o mais elevado custo de instalação, é a primeira opção a ser alocada denominando o recebimento da maior quantidade de ORF, no entanto a justificativa é o custo de transporte que predomina nesta decisão. Tais custos podem ser evidenciados na Seção 5.8

A Figura 11 permite perceber que o CT 1 recebe ORF da maioria dos PEV alocados no município e, se houvesse mais capacidade, certamente absorveria toda a oferta do município nas condições em que foi submetido. O CT 2 recebe ORF de 5 bairros. Nesta ocasião, as EBR escolhidas para abertura foram a Biomarca localizada em Cariacica-ES(1), Recóleo, localizada no Vale do Aço-MG (4) e a Grande Rio Ambiental instalada em Campos de Goytacazes-RJ (7).

A Figura 13 apresenta a rede reversa avaliada no Cenário 2.2. Além de demonstrar que a coleta seria realizada em todos os PEV (um em cada bairro), esta figura apresenta o CT 1 localizado no bairro São Jose, escolhido para receber o ORF e também a EBR 1, Biomarca, selecionada para beneficiar o resíduo oriundo do CT 2.

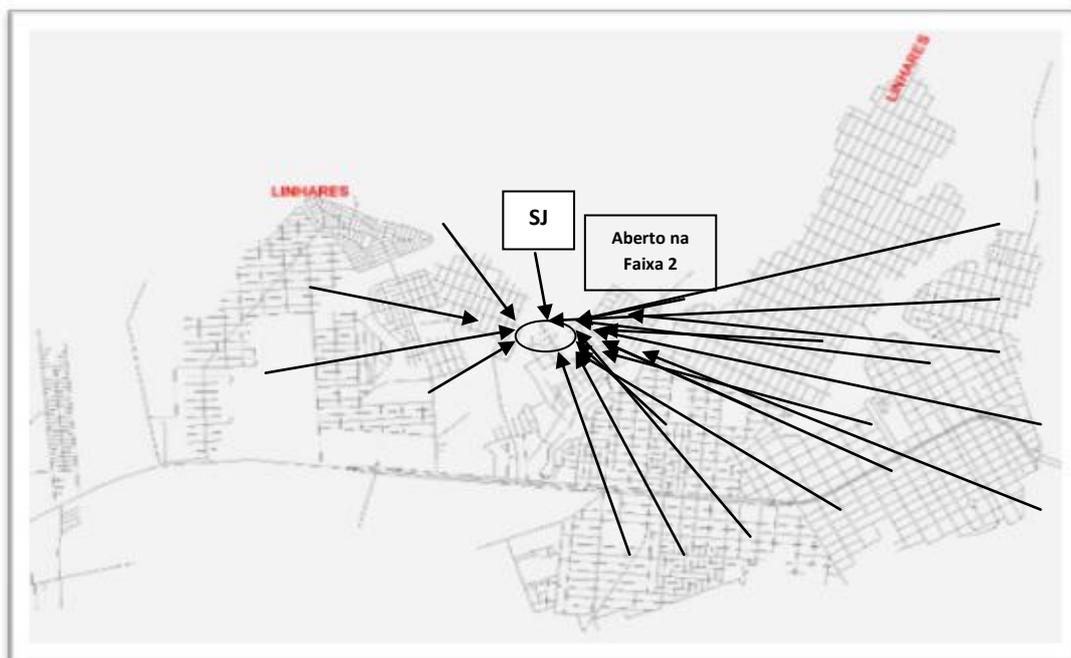
Figura 13. Rede do Cenário 2.2



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conseqüentemente, ao dividir a coleta mensal proposta no Cenário 2.1, o volume de ORF coletado no Cenário 2.2 refere-se a 50% do volume do Cenário 2.1. No entanto, será aberto apenas um CT para funcionamento da rede e o resultado do modelo sugeriu enviar para uma única EBR, em que a Biomarca foi escolhida. A Figura 14 apresenta a localização do CT 1 no Cenário 2.2.

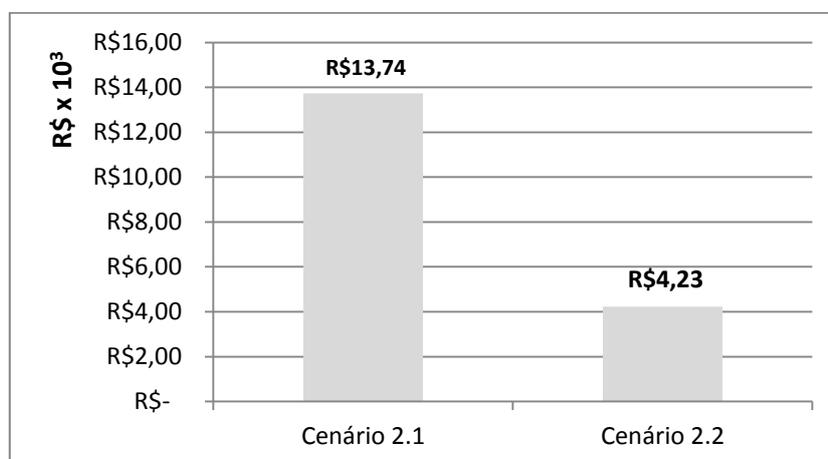
Figura 14. Localização de CT do Cenário 2.2



Fonte: Adaptado de IBGE (2014)

Para o Cenário 2.2, foi considerada a coleta do GGG e GPG porém, com frequência quinzenal. Percebe-se que, apesar de manter o mesmo custo de processamento, esta alternativa eleva o custo de transporte. Em contrapartida, o custo de instalação é menor, visto que não é necessário armazenar um elevado volume de ORF referente a trinta dias. O Gráfico 3 apresenta o impacto financeiro desta configuração.

Gráfico 3: Comparação entre custo total do Cenário 2.1 e Cenário 2.2

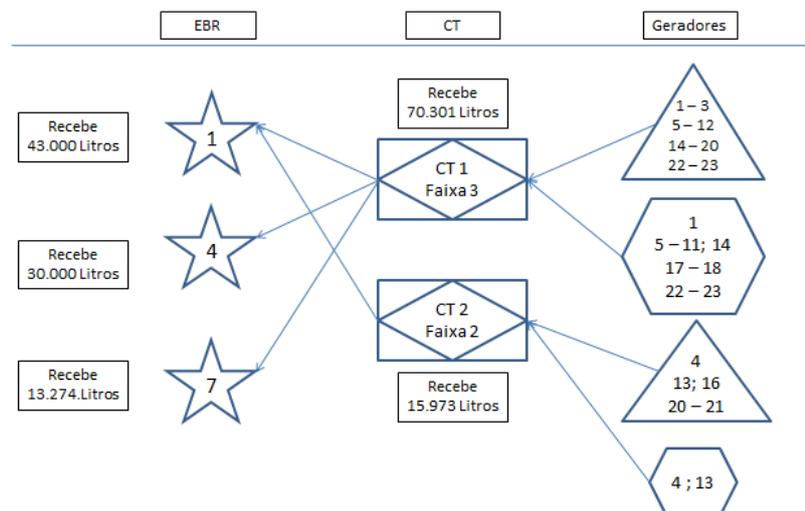


Fonte: Elaborado pelo autor

A análise dos resultados obtidos nos Cenário 2.1 e Cenário 2.2, permite concluir que é viável aumentar a frequência de coleta visto que o custo relacionado à instalação de uma capacidade maior é mais elevado do que realizar o transporte com maior frequência, ou seja, para comportar o volume mensal, o CT deveria ser aberto na maior faixa de capacidade e teria um custo de transporte menor. Considerando que o intervalo entre as coletas seja reduzido, o volume coletado será menor. Então apesar de realizar duas vezes o número de transporte, ainda sim é mais viável visto que a capacidade do CT não teria necessidade de ser elevada para realizar o processamento do ORF.

A Figura 15 apresenta a rede reversa do Cenário 3.1

Figura 15: Rede do Cenário 3.1



Fonte: Elaborado pelo autor.

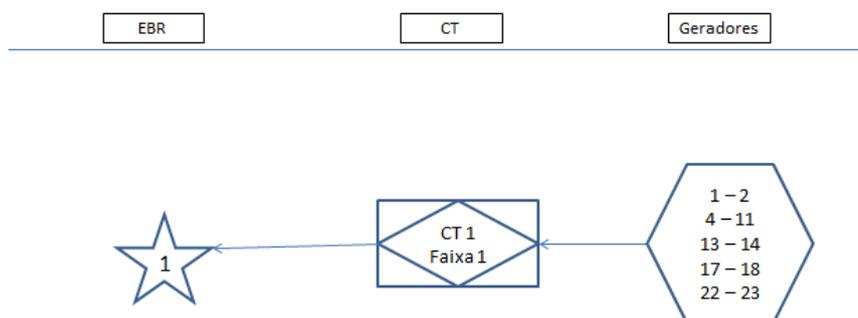
Nesta Figura, na coluna Geradores, existe uma diferenciação de figuras. Dentro do triângulo compreende os bairros que houve coleta em PEV, no hexágono, são os bairros em que ocorreu coleta em GGG. De acordo com a representação da Figura 15, serão abertos 2 CT, permanecendo prioritariamente o CT 1 no bairro São Jose, assim como nos cenários anteriores. Este CT absorve o volume até completar sua capacidade na faixa em que foi aberto e, para suprir o restante da demanda, o CT 2 no bairro Aviso é aberto para proporcionar o funcionamento da rede. É interessante observar que a configuração da rede é semelhante ao Cenário 2.1 pois, a diferença de volume do ORF é inferior a 5 mil litros. A EBR 1, localizada mais próxima ao

município de Linhares, utilizaria toda sua capacidade assim como a EBR 4. O restante seria enviado para a EBR 7.

A localização dos CT no Cenário 3.1 segue a mesma localização e faixas do Cenário 2.1, conforme Figura 12.

Ainda na análise da Classe 3 de Cenários conforme pode ser observado na Figura 16, o Cenário 3.2 apresenta a rede reversa semelhante ao Cenário 1.

Figura 16: Rede do Cenário 3.2



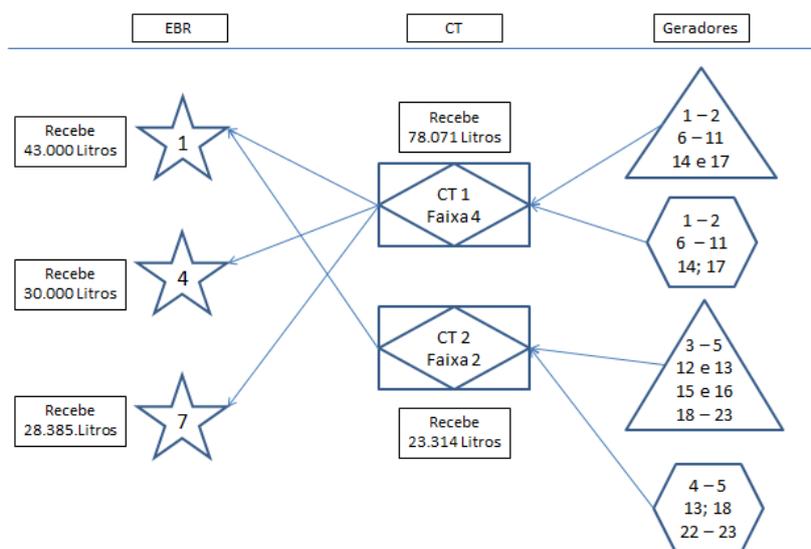
Fonte: Elaborado pelo autor

Considerando um pequeno volume de ORF, é aberto apenas um CT e a EBR 1 é capaz de absorver todo o resíduo da rede. Ressalta-se que não haverá coleta em todos os bairros, pois nem todos geram resíduo em GGG. O CT 1, localizado no bairro São Jose, foi identificado pela resolução do modelo como melhor alternativa para funcionamento da rede. A EBR 1, Biomarca, foi escolhida para receber o ORF oriundo do CT 1.

A localização do CT e faixa de capacidade do Cenário 3.2 foi igual àquela obtida no Cenário 1, conforme Figura 10.

Por fim, o último cenário estudado foi o Cenário 3.3 que prevê os dois grupos, GGG e GPG, considerando seus respectivos aumentos propostos na série de cenários 3. Na Figura 17 é apresentada a rede reversa para o Cenário 3.3. Nesta figura é possível identificar os CT abertos assim como as EBR escolhidas para envio do resíduo.

Figura 17: Rede do Cenário 3.3



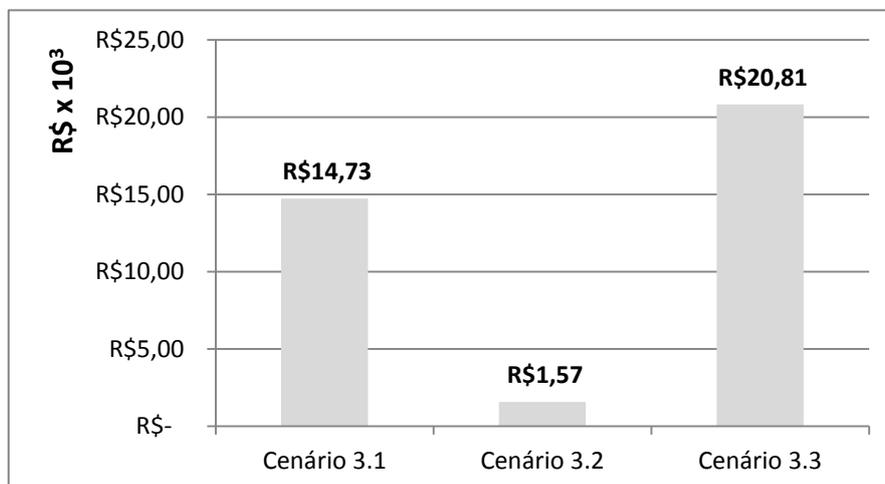
Fonte: Elaborado pelo autor

Neste Cenário, o CT 1 localizado no bairro São Jose, é aberto na última faixa, a Faixa 4. Como não é possível absorver todo o volume, mesmo na mais elevada faixa proposta, o CT 2 é aberto já na Faixa 2 para garantir que todo o ORF seja coletado conforme as restrições estabelecidas no modelo matemático. Assim como no Cenário 2.2 e 3.1, três EBR foram determinadas para envio do resíduo. A primeira a ser aberta, foi a EBR 1, Biomarca, a qual recebeu dos CT 1 e 2 atingindo sua capacidade e, também a EBR 4 que recebeu do CT 1 e também atingiu sua capacidade. A EBR 7 foi escolhida para envio do resíduo remanescente da rede e, assim como a EBR 4, recebeu ORF apenas do CT 1.

Considerando a escolha da EBR que receberá o resíduo, é interessante observar que o critério predominante não é o valor pago pela EBR ao CT por seu resíduo enviado. Dentre as alternativas disponíveis nesta pesquisa, em todos os cenários, a EBR escolhida sempre era a com menor distância do município. Este fator pode ser justificado, pois o valor pago pelo ORF entregue na EBR não é suficiente para cobrir os custos de transporte e gerar lucro. Neste caso, a distância torna-se prioritária na escolha da EBR. A partir do momento em que o valor pago pelo ORF aumentar, podem ocorrer variações nas escolhas das EBR.

Para a série de Cenários 3, as análises buscam identificar o impacto de cada grupo de geradores na estruturação da rede. O Gráfico 4 apresenta uma comparação entre custos totais dos Cenários 3.1, 3.2 e 3.3.

**Gráfico 4 - Comparação de custos na série de Cenários 3**



Fonte: Elaborado pelo autor

Diante do Gráfico 4, é possível identificar que o Cenário 3.1 tem o custo quase quatorze vezes mais elevado do que o Cenário 3.2 mesmo considerando que a expectativa de elevação da oferta seja três vezes menor. Isto mostra que a fonte que oferta maior volume de resíduo é o GPG e por apresentar-se disperso geograficamente, ou seja, está presente em todos os bairros, seu custo de transporte é mais representativo do que no GGG.

É interessante observar que, a soma dos custos totais dos Cenários 3.1 e 3.2, é inferior ao custo total do Cenário 3.3, que se refere ao mesmo volume de coleta. Esta soma representa 75% do Cenário 3.3. No entanto, dentre os fatores que influenciam nesta diferença, pode ser destacado o custo de transporte. No caso do Cenário 3.2, o percurso é realizado para coletar apenas em GGG e, como a quantidade de GGG é inferior à de GPG, o custo de transporte apresenta-se com valor menor.

Por mais que o custo de transporte do Cenário 3.3 seja mais elevado, a situação mais adequada a ocorrer seria que a coleta do ORF acontecesse tanto em GGG quanto GPG. Tal afirmativa dá-se pela necessidade de coletar a

maior quantidade de resíduo possível para minimizar seu impacto ao ser descartado de forma inadequada, além do atendimento à legislação.

## 6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS RESULTADOS

Conforme interpretação dos resultados, o custo de transporte apresenta-se determinante na escolha da abertura das facilidades, assim também como no envio do ORF para as EBR.

Considerando que em todos os cenários o critério para escolha da EBR para envio do ORF foi a distância. Apresenta-se como uma proposta de estudo da oferta do resíduo na região onde é situado o município, a utilização de uma EBR mais próxima que minimizaria o custo da rede por reduzir o custo de transporte. Além disso, esta EBR poderia ser utilizada para atender a região em que estará inserida, pois neste estudo não foi considerado o volume de ORF dos municípios próximos à cidade de Linhares.

Os resultados dos cenários, juntamente com as análises realizadas, permitiram avaliar e sugerir soluções para o problema proposto nesta dissertação. Ressalta-se que o objetivo do trabalho não é identificar o melhor cenário, mas sim avaliar custos, receitas obtidas, a abertura dos CT e para qual EBR será enviado o ORF. Não há um cenário ideal, pois cada um destes cenários abordou uma composição diferente de coleta, ou seja, o ORF pode ser oriundo de GGG, de GPG ou dos dois juntos. É cabível afirmar que o mais adequado é planejar a coleta de GGG e GPG.

É importante salientar que os municípios devem adequar-se à legislação que determina o descarte adequado de resíduos como o ORF. Cabe destacar ainda que o município em questão já assinou o TCA, firmando um compromisso em cumprir obrigações e diretrizes da PNRS. Portanto, alguns cenários analisados, apesar de apresentarem menor custo total, não atendem a legislação e possuem elevados custos ambientais que não foram inseridos na modelagem, tal como o custo do descarte inadequado.

No entanto, além de ser necessário ater-se às questões relacionadas aos custos de instalação, custos de operação e custos de transporte, existem outros aspectos que precisam ser levantados para escolha do melhor estrutura de LR do ORF para o ORF.

Dentre estes aspectos, a implicação no trânsito na região onde o CT estará instalado, horário de coleta do ORF em GGG, visto que bairros como o Centro de Linhares existe trânsito em horário comercial, análise qualitativa da região onde se espera abrir cada um dos PEV, assim como procedimento de manuseio destes, parcerias entre prefeitura e empresas privadas, entre outros aspectos que fogem do escopo desta pesquisa.

Por fim, é notável que os resultados deste estudo podem ser utilizados para diferentes ocasiões, auxiliando a tomada de decisão quanto à localização dos CT, parâmetros de custo e podem auxiliar na elaboração de propostas para EBR possibilitando assim, um melhor gerenciamento do resíduo e uma estrutura mais robusta da rede de LR do ORF.

Vale ressaltar que a validação do modelo considerou a realidade de um município e as EBR mais próximas. Outros locais podem ter interferência na análise e devem ser consideradas.

## 7. CONCLUSÕES

O objetivo de propor um planejamento da rede de logística reversa do óleo residual de fritura por meio de um modelo matemático foi alcançado.

A estrutura de funcionamento da rede de logística reversa abordada neste trabalho apresenta uma proposta que engloba a coleta do ORF, inclui todos os potenciais geradores do resíduo da área de estudo, considera GGG e GPG. O modelo matemático ainda prevê a receita obtida pela venda o ORF para Empresas Beneficiadoras do Resíduo, permitindo uma avaliação econômica da rede.

Por não considerar a participação de catadores individuais e/ou associações que atingiria números mais elevados de coleta visto que não dependeria apenas do voluntarismo da população. Além de ajudar a consolidar a carga nos centros de retorno, existiria uma remuneração em troca deste serviço promovendo ainda a inclusão social destes cooperadores.

A estrutura da rede de logística do ORF no município de Linhares apresentada neste estudo é apenas uma proposta do que poderá vir a ser o processo reverso do ORF na cidade pesquisada, caso venha a ser implementado. Os parâmetros utilizados para alimentar o modelo, conforme foram discutidos no Capítulo 5 são baseados em estimativas, projeções e entrevistas. Portanto, caso este modelo venha a ser implementado na prática, os parâmetros podem ser adequados à realidade proposta. Ressalta-se, desta forma, a flexibilidade deste modelo em se adequar e ajustar-se para melhor retratar a realidade a que estiver submetido.

Os resultados alcançados são importantes, pois permitem comprovar as premissas sobre os direcionadores da logística reversa sobre o ORF, que estão associados às hipóteses levantadas no início do estudo. Os direcionadores econômicos podem ser destacados, pois criam possibilidades de remuneração para todos os elos da cadeia reversa, conferindo efetividade ao processo. Os direcionadores legais destacam-se por promover uma maior participação e envolvimento da sociedade, complementando os direcionadores econômicos.

Utilizando-se destes dois impulsionadores a efetividade do processo reverso pode ser uma consequência natural.

Observando ainda o aspecto econômico, a rede apresenta-se onerosa considerando o custo de transporte principalmente. Os custos fixos apesar de não terem representação significativa no montante, são elevados tratando-se de uma coleta de resíduos. Neste caso, seria mais adequado uma parceria entre governo e empresa privada para distribuir atribuições e tornar a atividade de coleta e tratamento mais viável. O fomento da coleta adequada seria algo que o governo poderia planejar por meio de multa e fiscalização. Deste modo, esta ação impulsionaria a oferta e conseqüentemente a receita da empresa seria mais significativa, tornando a atividade mais atraente economicamente.

Neste contexto algumas ações podem ser sugeridas como a atuação do governo em conscientização ambiental por meio de programas ambientais, evidenciando as implicações negativas que o descarte inadequado do resíduo podem acarretar. Além disso, implantar uma legislação proibindo o descarte que não esteja estabelecido no programa de conscientização ambiental e ainda promova sanções, que podem ser tanto premiaias quanto punitivas aos estabelecimentos que realizarem ou não, a coleta adequada do resíduo, podem minimizar o descarte inadequado deste resíduo e os custos envolvidos na sua mitigação.

A criação de um sistema de gestão seria uma alternativa para controlar a oferta e canalização do resíduo para futuros interessados, objetivando renda por meio da venda do ORF.

Os resultados desta pesquisa podem ser utilizados pelo governo municipal e/ou governo estadual, pois fornecem informações que auxiliam a tomada de decisão quanto à localização de Centros de Tratamento de ORF. Além de impulsionar a criação de uma iniciativa de cooperação pública e/ou privada na gestão e valorização do resíduo pode integrar catadores e suas associações. Os resultados poderão também servir de base para outros municípios tomarem iniciativa de coleta estruturada de ORF. Também é possível partir desta pesquisa para aplicação em outros tipos de resíduos.

A contribuição deste trabalho reside na proposição de uma rede de LR do ORF por meio de um modelo matemático adequado às questões específicas que envolvem a logística reversa do ORF, com a demonstração da importância e relevância da existência e localização das infraestruturas logísticas no processo reverso, de recuperação de valor do ORF por meio da sua reinserção no processo produtivo. As infraestruturas logísticas projetadas (PEV e CT) podem contribuir para o funcionamento eficaz e eficiente da logística reversa do ORF, pois impactam na eficiência econômica da rede de LR. Portanto, estudos de localização desta facilidade são importantes para garantir a sustentabilidade econômica de longo prazo desta rede.

Algo importante para destacar é a importância dos atores envolvidos na rede, conforme apontado na revisão bibliográfica. É necessária a participação de todos os elos para que a rede funcione adequadamente e atinja o objetivo principal, que é a mitigação dos impactos gerados pelo ORF. Ao desempenhar suas funções, cada elo teria seus respectivos benefícios.

Os geradores teriam um procedimento para descarte do ORF, não sendo necessário descartá-lo de forma inadequada. Havendo a parceria de uma empresa particular nesta rede, a atividade de coleta poderia gerar receitas, e movimentar a economia da cidade e região, além de proporcionar geração de emprego.

Considerando a inspeção do resíduo, ela auxilia a definir em qual processo de reutilização o ORF poderá ser direcionado. A prática da inspeção pode ser importante para aumentar a receita, pois de acordo com as características do ORF, processos diferentes de fabricação podem ser identificados para sua utilização. Preços diferentes podem ser encontrados para cada tipo de beneficiamento do ORF.

Os resultados do estudo podem motivar futuras pesquisas para identificar o resíduo como oportunidade de diversificação da matéria-prima a ser usada em outros processos produtivos, visto que ainda há potencial energético no resíduo.

Dentre as limitações encontradas no desenvolvimento desta pesquisa, destaca-se o acesso a informação de uma maneira geral. O custo de transporte utilizado é referente a resíduos sólidos em geral, não sendo o valor exato para o ORF, resíduo estudado. Ainda, o rendimento do reagente e o custo de processamento do resíduo, ou seja, o custo para tratar o ORF para encaminhá-lo à empresa de beneficiamento, não são dados comprovados cientificamente, ou seja, são dados obtidos por meio de experiência da empresa pesquisada.

Para trabalhos futuros, sugere-se a pesquisa de valores mais precisos de determinadas variáveis como o custo de transporte e custo de processamento. Ainda é interessante realizar o estudo da influência da roteirização de veículos no desempenho da rede, considerando seu custo e operacionalização. A análise de fatores socioambientais do fluxo reverso do ORF também deverá ser levada em consideração nas pesquisas futuras.

Com este estudo espera-se ter contribuído para o aumento da literatura no âmbito de pesquisas acadêmicas sobre o município pesquisado. De igual modo, espera-se que as autoridades competentes, levem em consideração os aspectos abordados neste trabalho e discutidos no processo de tomada de decisão sobre ORF.

## REFERÊNCIAS

- ACHILLAS, C.; VLACHOKOSTAS, C.; AIDONIS, D.; MOUSSIOPOULOS, N.; IAKOVOU, E.; BANIAS, G. Optimizing reverse logistics network to support policy-making in the case of Electrical and Electronic Equipment. **Waste Management**, v.30, p. 2592–2600, 2010.
- ADLMAIER, D.; SELLITO, M. A. Embalagens retornáveis para transporte de bens manufaturados: um estudo de caso em logística reversa. **Produção**, v.17 n.2, p.395-406, 2007.
- AKINC, U.; KHUMAWALA, B. M. An efficient branch and bound algorithm for the capacitated warehouse location problem. **Management Science**, v. 23, n. 6, p. 585-594, 1977.
- ALUMUR, S., KARA, B. Y., A new model for the hazardous waste location-routing problem. **Computers & Operations Research**. V. 34. P 1406–1423. 2007.
- ALUMUR, S. A., NICKEL, S., SALDANHA-DA-GAMA, F., VERTER, V. Multi-period reverse logistics network design. **European Journal of Operational Research**. V.220 n.1, p. 67-78. 2012.
- ALVES, G.C.S. **Utilização dos óleos de fritura para produção de biodiesel**. 2010. Tese de Licenciatura. Faculdade De Tecnologia De Araçatuba- Curso De Tecnologia Em Biocombustíveis. Araçatuba. p.61. 2010
- AMIRI, A. Designing a distribution network in a supply chain system: Formulation and efficient solution procedure. **European Journal of Operational Research**.v.171, p. 567–576, 2006.
- ARAS. N.; AKSEN, D.; TANUGUR, A. G. Locating collection centers for incentive-dependent returns under a pickup policy with capacitated vehicles. **European Journal Operations**. V.191. p.1223–1240, 2008.
- ARAUJO, A. C., MATSUOKA, E. M., UNG, J. E., HILSDORF, W. C., SAMPAIO, M. Logística reversa no comércio eletrônico: um estudo de caso. **Gestão e Produção**. São Carlos, v. 20, n. 2, p. 303-320, 2013.
- AREMU, A. S.; ADELEKE, O. O.; SULE, B. F. A. Gis-based optimization technique for spatial location of municipal waste bins in a developing city. Ethiopian. **Journal of Environmental Studies and Management**, v. 4, n.3, p 65-72, 2011.
- ARRUDA, J. B., GUIMARÃES, L. R., ROCHA, M. S. Localização de usinas de tratamento de óleos residuais urbanos como insumo na cadeia produtiva de biodiesel. Anais. Rio Oil & Gas Expo and Conference 2010. Rio de Janeiro/RJ. 2010.
- BALLOU, R. H., Unresolved Issues in Supply Chain Network Design. **Information Systems Frontiers**, v. 3, n. 4, p.417-426, 2001.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos e Logística Empresarial**. 5. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BAÑOS, R., ORTEGA, J. GIL, C., MÁRQUEZ, A. L., & TORO, F. DE. A hybrid meta-heuristic for multi-objective vehicle routing problems with time windows. **Computers & Industrial Engineering**. v.65. n.2, p. 286 – 296. 2013.

BARCELOS, F. B., PIZZOLATO, N. D., Lorena, L. A. N. Localização de escolas do ensino fundamental com modelos capacitado e não capacitado: caso de Vitória/ES. **Pesquisa Operacional**. v.24. n.1, p.133-149. 2004.

BARROS, A.I.; DEKKER, R.; SCHOLTEN, V. A two-level network for recycling sand: A case study. **European Journal of Operational Research**. V.110:p.199–214, 1998.

BATH, V. N. A model for the optimal allocation of trucks for solid waste management. **Waste Management & Research**. n. 14. p 87-96. 1996.

BEN. **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL**. 2015. Disponível em: [https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final\\_2015\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2015_Web.pdf). Acesso em: 12 de set. 2015.

BENNEKROUF, M.; AGGOUNE-MTALLA, W., SARI, Z. A Generic Model for Network Design Including Remanufacturing Activities. **Supply Chain Forum**. ISSN online1624-6039, v.14, n 2, p.4-17, 2013.

BHATNAGAR, R.; JAYRAM, J.; PHUA, Y.C. Relative importance of plant location factors: a cross national comparison between Singapore and Malaysia. **Journal of Business Logistics**. n. 24, p. 147-170, 2003.

BINOTO, R. **Definição de rotas para coleta porta a porta de óleo residual de fritura visando o reuso**. Dissertação de Mestrado. Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia. Universidade Federal de São Carlos. 2010.

BRASIL. **Lei nº 7.418, de 16 de dezembro de 1985**. Institui o Vale-Transporte e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L7418.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L7418.htm). Acesso em: 17 de ago. 2015.

BRASIL, **LEI No 9.966, DE 28 DE ABRIL DE 2000**. Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9966.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9966.htm).

BRASIL. **LEI Nº 9.264 de 16/07/2009**. POLÍTICA ESTADUAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS. Assembleia Legislativa do Estado do Espírito Santo. Disponível em: <[http://www.al.es.gov.br/antigo\\_portal\\_ales/images/leis/html/LO9264.html](http://www.al.es.gov.br/antigo_portal_ales/images/leis/html/LO9264.html)>. Acesso em: 27 de mar. 2014.

BRASIL. **Lei Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. DOU, Brasília, 03 ago. 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em: 27 de mai. 2014.

CANAKCI, M.; VAN GERPEN, J. A pilot plant to produce biodiesel from high free fatty acid feedstocks. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.** n 46, p. 945-954. 2003.

CHAVES, G. D. L. D. **Diagnóstico da logística reversa na cadeia de suprimentos de alimentos processados no oeste paranaense.** Dissertação de mestrado Programa de pós-graduação em engenharia de produção. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 2005.

CHAVES, G. L. D. **Logística reversa de pós-venda para alimentos derivados de carne e leite: análise dos retornos de distribuição.** Tese de Doutorado. Programa de pós graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

CLARK. R. M., GILLEAN, J. I. Solid waste collection: a case study. **Operational Research Quarterly.** n. 28. p. 795-806. 1977.

COELHO, T. M., CASTRO, R., GOBBO Junior, J. A. PET containers in Brazil: Opportunities and challenges of a logistics model for post-consumer waste recycling. **Resources, Conservation and Recycling.** n. 55 v. 3, p. 291-299. 2011.

COSTA, M. B. Utilização de modelo de localização-alocação para identificação de zoneamento logístico integrado ao planejamento estratégico de transportes. Tese de Doutorado. Programa de pós-graduação em Engenharia de Transportes. UFRJ. Rio de Janeiro. 2012.

CHRISTOFF, Paulo. Produção de biodiesel a partir do óleo residual de fritura comercial. Estudo de caso: Guaratuba, litoral paraense. 66 f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia . Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC. 2006.

CHURCH, R.L. Geographical information systems and location science. **Computers & Operations Research.** v. 29, p. 541-562, 2002.

CUNHA, V.; CAIXETA FILHO, J. V. C. Gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos: estruturação e aplicação do modelo não-linear de programação por metas. **Gestão e Produção.** v. 9, n. 2, 2002.

**Custo Unitário Básico de Construção (CUB/m<sup>2</sup>).** <http://www.cub.org.br/>. Acesso em 08/07/2015.

DASKIN, M.S. Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications. **Wiley Interscience.** New York. 1995.

DASKIN, M.S. What You Should Know About Location Modeling. Wiley InterScience, Inc. **Naval Research Logistics.** v. 55, p. 283-294, 2008.

DE BRITO, M. P. **Managing reverse logistics or reversing logistics management.** Tese de Doutorado. Erasmus University Rotterdam, Rotterdam, 2003.

DE BRITO, M. P.; DEKKER, R. **Reverse logistics: a framework.** Econometric Institute. Report EI 2002-38, Erasmus University Rotterdam, The Netherlands, 2002.

DE BRITO, M.P., DEKKER, D. Framework for Reverse Logistics. Erim Report Series Research **In Management**. Erasmus Research Institute of Management. ERS-2003-045-LIS. Netherlands. p.1-29. 2003.

DEKKER, R.; VAN WASSENHOVE, L.N.; INDURFURTH, K. **Reverse Logistics: quantitative models for closed loop supply chains**. New York: Springer, 2004.

DEMAJOROVIC, J. et al. Logística reversa: como as empresas comunicam o descarte de baterias e celulares. **Revista de Administração de Empresas**. São Paulo, v. 52, n. 2, p. 165-178, 2012

DIB, F.H. Produção De Biodiesel A Partir De Óleo Residual Reciclado e Realização de Testes Comparativos com Outros Tipos de Biodiesel e Proporções de Mistura em um Moto-Gerador. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica Universidade Estadual Paulista "Júlio De Mesquita Filho" - Faculdade De Engenharia De Ilha Solteira. São Paulo. 2010.

DORNIER, P. P.; ERNST, R.; FENDER, M.; KOUVELIS, P. **Logística e Operações Globais: texto e casos**. Tradução Arthur Itakagi Utiyama. São Paulo: Atlas, 2000.

DORADO, M.P., BALLESTEROS, E., ARNAL, J.M., GÓMEZ, J., LÓPEZ, F.J.,. Exhaust emissions from a diesel engine fueled with transesterified waste olive oil. **Fuel**. N.82, p 1311 - 1315. 2003.

DOVI, V.G., FRIEDLER, F., HUISINGH, D., KLEMES, J.J. Cleaner energy for sustainable future. **J. Clean. Prod**. N.17, p. 889-895. 2009.

DU, F.; EVANS, G. W. A biobjective reverse logistics network analysis for post-sale service. **Comput Oper Res**. n.35. p.2617–2634, 2008.

DUBKE, A. F. **Modelo de localização de terminais especializados: um estudo de caso em corredores de exportação de soja**. Tese de doutorado. Departamento de Engenharia Industrial. PUC-RJ. Rio de Janeiro. 2006.

DUCATI, E. A. **Busca tabu aplicada ao problema de localização de facilidades com restrições de capacidade**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2003.

EIM. **Relatório de avaliação concurso recolha de óleos alimentares usados nas escolas**. Portugal, p.2, 2012.

EISELT, H. A.; MARIANOV, V. A bi-objective model for the location of landfills for municipal solid. **European Journal of Operational Research**. 2013.

EL-SAYED, M.; AFIA, N.; EL-KHARBOTLY, A. A stochastic model for forward–reverse logistics network design under risk. **Computers & Industrial Engineering**. v.58, p.423-31, 2010.

ERKUT, E.; KARAGIANNIDIS, A.; PERKOILIDIS, G.; TJANDRA, S. A. A multicriteria facility location model for municipal solid waste management in North Greece. **European Journal of Operational Research**. v. 187, p.1402–1421, 2008.

ESPÍRITO SANTO. **LEI Nº 9.264**. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências correlatas. Assembleia Legislativa do Estado do Espírito Santo. 2009.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Bioenergy Growth Must be Carefully Managed**. 2007.

FARAHANI, R. Z.; STEADIESEFI, M.; ASGARI, N. Multiple criteria facility location problems: A survey. **Applied Mathematical Modelling**. N. 34. p.1689 – 1709. 2010.

FELIZARDO, P., NEIVA C, M., RAPOSO, I., MENDES, J., BERKEMEIER, R., BORDADO, J., Production of biodiesel from waste frying oils. *Waste Management*. v.26, p. 487–494. 2006.

FERREIRA, J. J. **Incorporando emissões de carbono no planejamento de redes logísticas**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Administração, Instituto COPPEAD de Administração, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

FERRI, G. L., CHAVES, G. L. D., RIBEIRO, G. M. Analysis and location of urban solid waste collection/inspection centers for a reverse logistics network: a case study in São Mateus-ES. **Produção Production**. UFRJ. Rio de Janeiro. 2013

FERRI, G. L. **Proposta de rede de logística reversa para os resíduos sólidos urbanos**. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia de Produção. UFES. São Mateus-ES. 2014

FETTER, G., RAKES, T. Incorporating recycling into post-disaster debris disposal. **Socio-Economic Planning Sciences**. v. 46. p 14-22. 2012

FIGUEIREDO, A. P. S., LORENA, L.A.N. Localização de Ambulâncias: Uma aplicação para a cidade de São José dos Campos–SP. **Anais**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XII. p.1965-1972. 2005.

FIGUEIREDO, J.N.; MAYERLE, S.M. Designing minimum-cost recycling collection networks with required throughput. **Transportation Research Part E**. v. 44, p.731–752, 2008.

FLEISCHMANN, M.; RUWAARD – BLOEMHOF, J.M.; DEKKE, R.; LAAN, E.V.D.; NUNEN, J.A.E.V.; WASSENHOVE, L.N.V. Quantitative Models for Reverse Logistics: A Review. **Journal of Operational Research**. V103, n.1, p. 01-17,1997.

FLEISCHMANN, M. **Quantitative Models for Reverse Logistics**. 2000. 223 p. Tese de Doutorado. Erasmus University Rotterdam. Netherlands, 2000.

FLEISCHMANN, M.; KRIKKE, H. R.; DEKKER, R.; FLAPPER, S. D. P. A characterisation of logistics networks for product recovery. **OMEGA**, v. 28, p. 653 – 666, 2000.

FLEISCHMANN, M. Reverse Logistics Network Structures and Design. **Erim Report Series Research In Management**. Erasmus Research Institute of Management. ERS-2001-52-LIS. Netherlands.p.1-26, 2001.

FONSECA, M. C.; GARCÍA-SÁNCHEZ, A.; ORTEGA-MIER, M.; SALDANHA-DA-GAMA, F. A Stochastic Bi-Objective Location Model For Strategic Reverse Logistics. **TOP**.2009.

FREITAS, H., OLIVEIRA, M., SACCOL, A. Z., MOSCAROLA, J.. O método de pesquisa survey. **Revista de Administração da Universidade de São Paulo**. v. 35. n.3 .2000.

FULLER, D. A. ALLEN, J. **A typology of reverse channel systems for post-consumer recyclables**. **Environmental marketing: strategies, practice, theory and research**. Haworth Press, Binghamton, 1997. NY.

GALVÃO, R. D.; NOBRE, F. F.; VASCONCELLOS, M. M. Modelos matematicos de localização aplicados à organização espacial de unidades de saúde. **Revista de Saúde Pública**. n 4. v 33. p. 422-434. 1999.

GAO, L.; ROBINSON JUNIOR, E. P. A dual-based optimization procedure for the two-echelon uncapacitated facility location problem. **Naval Research Logistics**. v.39 p.191-212, 1992.

GAO, L. L.; ROBINSON JUNIOR, E. P. Uncapacitated facility location: General solution procedure and computational experience. **European Journal of Operational Research**, v.76.n.3, p.410-427, 1994.

GARCIA-NAJERA, A., & BULLINARIA, J. A. An improved multi-objective evolutionary algorithm for the vehicle routing problem with time windows. **Computers & Operations Research**. v. 38.n.1, p. 287-300. 2011.

GEOFFRION, A. M.; GRAVES, G. W. Multicommodity distribution system design by benders decomposition. **Management Science**. v. 20, p. 822-844, 1974.

GERIS, R. Biodiesel de soja: Reação de transesterificação para aulas práticas de química orgânica. **Química Nova**, vol. 30, n.5, p.1369-1373, 2007.

GHIANI, G.; LAPORTE, G.; MUSMANNO, R. Introduction to logistics systems planning and control. **John Wiley & Sons**, 2004.

GIURIATTO, N. T. **Rede logística reversa de pneus no Espírito Santo**. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharias e Tecnologia (DETEC) da Universidade Federal do Espírito Santo. São Mateus. 2014.

GOGGIN, K. and BROWNE, J. Towards a taxonomy of resource recovery from end-of-life products. **Computers in Industry**. n 42 p. 177–191. 2000.

GOLDEN, B. L., WONG, R.T Capacited arc routing problems. *Networks*, n. 11. p 305-315. 1981.

GOMES. T. C. **Modelo matemático para definição de centrais de transbordo para logística reversa de resíduos sólidos gerados em terminais marítimos do Rio de Janeiro**. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Espírito Santo. 2015.

GONÇALVES, M. F. S.; CHAVES, G. L. D. Perspectiva do Óleo Residual de Cozinha (ORC) no Brasil e suas dimensões na Logística Reversa. **Revista Espacios**. v 35. n. 8. 2014.

GRACZYK, M.; WITKOWSKI, K. Reverse logistics processes in plastics supply chains. **Total Logistic Management**, v.4, p.43, 2011.

GUILLÉN-GOSÁLBEZ, G., GROSSMANN, I. E. Optimal design and planning of sustainable chemical supply chains under uncertainty. **AIChE Journal**, v.55.n.1,p. 99-121, 2009.

GUNGOR, A. GUPTA, S. M. Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: a survey. **Computers & Industrial Engineering**. n 36, p. 811–853. 1999

GUAZZELLI, C. S.; DA CUNHA, C. B. Modelagem matemática para o problema de localização de centros de distribuição de empresa de alimentos. **TRANSPORTES**, v.22.n.3, p. 86-102, 2014.

GUI, M.M., LEE, K. T., BHATIA, S. Feasibility of edible oil vs. non-edible oil vs. waste edible oil as biodiesel feedstock. **Energy**. v. 33; p. 1646–53. 2008.

GUABIROBA, R. C. S. **O processo de roteirização como elemento de redução do custo de coleta em área urbana de óleo residual de fritura para produção de biodiesel**. Dissertação de Mestrado. Programa de pós graduação em Engenharia de Transportes, COPPE. UFRJ, Rio de Janeiro. 2009.

GUNSTONE, D.F. Major producing and consuming countries/regions - a general view. **Oils and fats in the market place**. 2013. Disponível em <http://lipidlibrary.aocs.org/market/countries.htm>. Acesso em dezembro de 2014.

HALL, R. **Handbook of transportation science. International series in operation research and management science**: n.23. Massachusetts: 1999.

HATEFI, S.M.; JOLAI, F. Robust and reliable forward–reverse logistics network design under demand uncertainty and facility disruptions. **Applied Mathematical Modelling**. 2013.

HUANG, G. G.; HUAICHENG, G.; GUANGMIG, Z. A Mixed Integer Linear Programming Approach for Municipal Solid Waste Management. **Journal of Environmental Sciences**, v. 9, n. 4, p 431 – 445, 1997.

HURTER, A.P., MARTINICH, J.S. **Facility Location and the Theory of Production**. Kluwer, Boston MA. 1989.

IBGE–**Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=320320>. Acesso em 12 de out. 2014-a.

IBGE–**Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default\\_resultados\\_amostra.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default_resultados_amostra.shtm). Acesso em: 31 de jun. 2014-b.

**IBM**. Disponível em <http://www-01.ibm.com/software/commerce/optimization/cplex-optimizer/>. Acesso em 19/10/2015.

IGLESIAS, L.; LACA, A.; HERRERO, M. A life cycle assessment comparison between centralized and decentralized biodiesel production from raw sunflower oil and waste cooking oils. **Journal of Cleaner Production**, v. 37, p. 162–171. 2012.

JAYARAMAN, V.; PATTERSON, R.A.; ROLLAND, E. The design of reverse distribution networks: Models and solution procedures. **European Journal of Operational Research**, v 150, p. 128-149, 2003.

JOZEFOWIEZ, N.; SEMET, F.; TALBI, E. Multi-objective vehicle routing problems. **European Journal of Operational Research**, v. 189. n.2. p. 293-309. 2008-a.

JOZEFOWIEZ, N.; SEMET, F.; TALBI, E. **From Single-Objective to Multi-Objective Vehicle Routing Problems: Motivations, Case Studies, and Methods**. In **The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges**. v. 43. Springer US. Part II, p. 445-471. 2008b.

KANNAN, G., SASIKUMAR, P., DEVIKA, K. A genetic algorithm approach for solving a closed loop supply chain model: A case of battery recycling. **Applied Mathematical Modelling**, V. 34. p. 655–670. 2010.

KHUMAWALA, B.M. An efficient branch-and-bound algorithm for the warehouse location problem. **Management Science**. v.18, p. 718-731, 1972.

KLOSE, A.; DREXL, A. Facility location models for distribution system design. **European Journal of Operational Research**, v.162. p. 4 – 29, 2005.

KOPICKI, R. J., BERG, M. J., LEGG, L. **Reuse and Recycling: Reverse Logistics Opportunities**. Oak Brook, IL, Council of Logistics Management Books, 1993.

KRIKKE, H.; VAN HARTEN, A.; SCHUUR, P. **Business case Oce: Reverse logistics network design for copiers**. *OR Spectrum*, v. 21, p.381 – 409, 1999.

KROON, L.; VRIJENS, G. Returnable containers: an example of reverse logistics. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 25, n. 2, p. 56–68, 1995.

KULKARNI, M. G.; DALAI, A. K. Waste cooking oil e an economical source for biodiesel: a review. **Ind. Eng. Chem. Res.** n. 45, p. 2901-2913. 2006.

LACERDA, D. P.; SILVA, E. R. P.; NAVARRO, L. L. L.; OLIVEIRA, N. N. P.; CAULLIRAUX, H. M. Algumas Caracterizações dos Métodos Científicos em Engenharia de Produção: Uma Análise de Periódicos Nacionais e Internacionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXVII, 2007, Foz do Iguaçu, **Anais...** Foz do Iguaçu: XXVII ENEGEP, 2007.

LAMBERT, S.; RIOPEL, D.; ABDUL-KADER, W. A reverse logistics decisions conceptual framework. **Computers & Industrial Engineering**. v.61. p. 561–58. 2011.

LACERDA, L. FIGUEIREDO, K. F.; FLEURY, P. F.; WANKE, P. **Logística Reversa: Uma visão sobre os conceitos e as práticas operacionais. Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento do fluxo de produtos e dos recursos**. Centro de Estudos em Logística. COPPEAD, UFRJ. São Paulo: Atlas, 2003.

LACERDA, L. **Logística Reversa: Uma visão sobre os conceitos básicos e as práticas operacionais**. Centro de Estudos em Logística (COPPEAD). Rio de Janeiro. 2002. Disponível em <[http://www.paulorodrigues.pro.br/arquivos/Logística\\_Reversa\\_LGC.pdf](http://www.paulorodrigues.pro.br/arquivos/Logística_Reversa_LGC.pdf)>. Acesso em Janeiro. 2014.

LAPORTE, G.; LOUVEAUX, F. V.; HAMME, L. Exact solution of a stochastic location problem by an integer L-shaped algorithm. **Transportation Science**. v.28, p.95-103, 1994.

LEAL, A. C.; GONÇALVES, M. A.; JÚNIOR, A. TOMAZ. Reinserção do lixo na sociedade do capital: uma contribuição ao entendimento do trabalho na catação e na reciclagem. **Revista Terra Livre**, São Paulo, n.19, p.177-190. 2009.

LEÃO, R. R. C. C., HAMACHER, S., OLIVEIRA, F. Optimization of biodiesel supply chains based on small farmers: A case study in Brazil. **Bioresource Technology**. v.102.p. 8958–8963. 2011.

LEE, D. H.; DONG, M. A heuristic approach to logistics network design for end-of-lease computer products recovery. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v.44. n.3,p. 455-474, 2008.

**LEI N° 5.252, de 02 de Janeiro de 2012**. Institui o programa municipal de coleta, reciclagem de óleos e gorduras usadas de origem vegetal e animal, no âmbito do município de Vila Velha-ES. 2012.

**LEI N° 1833, de 1º de Julho de 2014**. Dispõe sobre a política municipal de resíduos sólidos de Cotia, e dá outras providências. Cotia-SP. 2014.

LEITE, P. R. **Logística Reversa: meio ambiente e competitividade**. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

LEITE, P.R. Direcionadores Estratégicos em Programas de Logística Reversa no Brasil. **Revista Alcance.Eletrônica**. v.19. N.2. p.182-201. 2012.

LIECKENS, K.; VANDAELE, N. Reverse logistics network design with stochastic lead times. **Computers & Operations Research**. 2005.

LINHARES. Prefeitura Municipal de Linhares. **Termo de Compromisso Ambiental** – TCA. Disponível em <http://www.linhares.es.gov.br/>. Acesso em 04 de abril de 2014.

LYEME, H. A. **Optimization of Municipal Solid Waste Management System. A Case of Ilala Municipality, Dar es Salaam**. Tese de Licenciatura. Programa de pós-graduação em Modelação Matemática. University of Dar es Salaam. 2011.

LOPEZ, R.A.; HENDERSON, N.R. The determinants of location choices for food processing plants. **Agribusiness**. v.5, p.619-632, 1989.

LORENA, L.A.N. Análise Espacial de Redes com Aplicações em Sistemas de Informações Geográficas. **Revista Científica de Engenharia de Produção**, Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO, v.3, n.2, 2003.

LORENA, LAN.,SENNE, E. L. F., PAIVA, J. D. C.,MARCONDES, S. P. B. Integração de um Modelo de p-Medianas a Sistemas de Informações Geográficas. **Anais...** 31º Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. 635-647. 2000.

LOUWERS, D.; KIP, B.; PETERS, E.; SOUREN, F.; FLAPPER, S. A facility location allocation model for reusing carpet materials. **Computers and Industrial Engineering**, v. 36, p.855–869, 1999.

MADALOZO, J. A. **O potencial do uso do rejeito do óleo vegetal para a produção de biodiesel em Ponta Grossa – PR**. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Gaduação em Geografia ênfase em Gestão de Território. 2008.

MAPA, S.M.S. **Localização-Alocação de Instalações com Sistema de Informações Geográficas e Modelagem Matemática**. Dissertação de Mestrado. Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Itajubá/MG. 2007.

MAPA, S. M. S., LIMA, R. S. Uso combinado de sistemas de informações geográficas para transportes e programação linear inteira mista em problemas de localização de instalações. **Gestão e Produção**, v.19. n.1, p. 119-136. 2012.

**MAPS GOOGLE**. mapsgoogle.com. Acesso em 21/10/2014.

**MARCA AMBIENTAL**. Ecoindústria de Produção e Biodiesel – BIOMARCA. Disponível em <http://marcaambiental.com.br> Acesso em: 16/10/2015.

MARCHETTI, J., MIGUEL, V., ERRAZU, A. Techno-economic study of different alternatives for biodiesel production. **Fuel Processing Technology**. v. 89, p. 740–748. 2008.

MARTINS, R. A.; MELLO, C. H. P.; TURRIONI, J. B. **Guia para elaboração de Monografia e TCC em Engenharia de Produção**. Ed Atlas. 2013.

MATAVEL, N. I. **Logística reversa do óleo residual de fritura para produção d biodiesel do distrito municipal de Kampfumo – cidade de Maputo.** Dissertação de mestrado. Programa de pós graduação em Energia. Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2015.

MATIAS, Y. R. M. **Aproveitamento de óleo residual de fritura: O método de Análise Hierárquica de Processos – AHP para a escolha da melhor opção.** Trabalho de conclusão de Curso. Universidade Federal do Espírito Santo. Departamento de Engenharia de Produção. São Mateus. 2014.

MATTOSINHO, C.M.D.S., DA SILVA, I.R. As Contribuições Dos Canais Reversos De Óleo Vegetal De Fritura Para O Empreendedorismo Social: Um Estudo Em Organizações Não Governamentais. **Anais.** In: XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO 12-15 de Outubro. São Paulo. 2010.p 1-14.

MELKOTE, S.; DASKIN, M. S. Capacitated facility location/network design problems..**European Journal of Operational Research**, n. 129. , p. 481 – 495. 2001.

MELO, M.T.; NICKEL, S.; SALDANHA-DA-GAMA, F. Facility location and supply chain management – A review. **European Journal of Operational Research.** v.196. n.2, p. 401–412, 2009.

MEI, L.B., CHRISTIANI, V.S., LEITE, P.R. A Logística Reversa No Retorno Do Óleo De Cozinha Usado. **Anais...** XXXV Encontro da ANPAD, Rio de Janeiro 4 a 7 de Setembro. p.1-17. 2011.

MIRCHANDANI, P.; FRANCIS, R. **Discrete location theory.** New york: John Wiley & Sons – USA. 1990.

MOTA, J. C.; ALMEIDA, M. M.; ALENCAR, V. C.; CURI, W. F. Características e impactos ambientais causados pelos resíduos sólidos: uma visão conceitual. **Anais...** I Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo. São Paulo. 2009.

MOUNIR B.; ABDELLATIF, B. A Multi-Product And Multi-Period Facility Location Model For Reverse Logistics. **Polish Journal Of Management Studies**, v. 2, 2010.

MOURA, C.M., FONTES, A.A., RIBEIRO, S.A.A.C. Determinação da melhor rota para coleta seletiva de lixo no campus da Universidade Federal de Viçosa utilizando os sistemas de informações geográficas. **Anais...** X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Foz do Iguaçu. PR. p. 1119-1125. 2001.

MPF. **MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL.** Disponível em <<http://pga.pgr.mpf.mp.br/pga/residuos>> acesso em 11/10/2015.

NOGUEIRA, T.A.F.M.P. **Localização de Unidades de Fornecimento de Gás Natural na Rede Primária de Gasodutos.** Tese de Doutorado. Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal. 2007.

OLIVEIRA, F. M.; ALOISE, D. J.; JUNIOR LIMA, F. C.; ALOISE, D.; NASCIMENTO, H. A. D. Problema de localização de seções eleitorais e alocação de eleitores. **Anais...** Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Natal/RN. Set 2013. A

OLIVEIRA, A. A.; SILVA, J. T. M. A **Logística Reversa no Processo de Revalorização dos Bens Manufaturados**. 2006. Disponível em: <[http://www.facef.br/rea/edicao07/ed07\\_art03.pdf](http://www.facef.br/rea/edicao07/ed07_art03.pdf)>, Acesso em: 23 jun 2014.

OIL WORLD. **Forecasting and Information Service for Oilseeds, Oils and Meals. Hamburg** – Germany. Disponível em: <<http://www.oilworld.biz/home>>. Acesso em: 25 de mai. 2014.

OWEN, S. H., DASKIN, M. S. Strategic facility location: A review. **European Journal of Operational Research**. v.111.n 3. p 423-447. 1998.

PAES, F.G. **Otimização de rotas para coleta do lixo domestico: um tratamento GRASP do problema do carteiro chinês misto (PCCM)**. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Ciências de Engenharia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos de Goytacazes. RJ. 2004.

PEREIRA, D. E. ; SALUM, M. I. S.; COELHO, A. S.; RODRIGUEZ, A. M. T. Localização de centros de coleta eps utilizando p-medianas: uma alternativa para logística reversa do setor. **Anais...** XXVII Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET, 4-8 Novembro 2013, Belém, AC. 206, p. 1-12, 2013.

PINTO, J. M. B., FALANI, S., GURGEL, A. M., FERREIRA, R. J. P. Localização de uma unidade de pré-tratamento de óleo e gordura residual de fritura para produção de biodiesel. **Anais...** ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO–ENEGERP. Salvador-BA, 2009.

PISHVAEE M. S.; FARHANI, R. Z.; DULLAERT, W. A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design. **Computers & Operations Research**. v.37, p. 1100-1112, 2010.

PITTA JUNIOR., O. S. R., NOGUEIRA NETO, M. S., SACOMANO, J. B., LIMA, J. L.A. Reciclagem do óleo de cozinha usado: uma contribuição para aumentar a produtividade do processo. **Anais...** II International Workshop Advances in Cleaner Production. São Paulo, 2009.

PIRKUL, H.; JAYARAMAN, V. A multi-commodity, multi-plant, capacitated facility location problem: formulation and efficient heuristic solution. **Computers & Operations Research**, v. 25, n. 10, p. 869-878, 1998.

PIZZOLATO, N. D., RAUPP, F. M. P., ALZAMORA, G. S. Revisão de desafios aplicados em localização com base em modelos da p-mediana e suas variantes. **Revista Eletrônica Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, v. 4, n.1, p. 13-42, 2012.

PIZZOLATO, N.D., BARROS, A. G., BARCELOS, F. B., CANEN, A. G. Localização de escolas públicas: síntese de algumas linhas de experiências no Brasil. **Pesquisa Operacional**, v. 24, n. 1, p. 111-131, 2014.

POHLEN, T.; FARRIS, M. Reverse Logistics in Plastics Recycling. **International Journal of Physical Distribution and Logistics Management**, v. 22, n. 7, p. 34-47, 1992.

**PREFEITURA DE PORTO ALEGRE**. Site Oficial da Prefeitura de Porto Alegre. [http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmlu/default.php?p\\_secao=126](http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmlu/default.php?p_secao=126). Acesso em 27/06/2014.

**PREFEITURA DE VILA VELHA**. Site oficial da Prefeitura de Vila Velha. Disponível em <http://vilavelha.es.gov.br>. Acesso em 02/02/2015.

**PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO**. Site Oficial da Prefeitura do Rio de Janeiro. <http://www.rj.gov.br/web/sea/exibeconteudo?article-id=180508>. Acesso em 27/06/2014.

**PROGRAMA DE GESTÃO AMBIENTAL – PGA**. Sabão feito com óleo de cozinha: uma forma de diminuir o efeito estufa e a contaminação das águas. 2012. Disponível em: <http://pga.pgr.mpf.gov.br/praticas-sustentaveis/sabao>. Acesso em 27.06.2014.

QUINTÃO V. P. **Modelo de localização de aeroportos em circuitos turísticos**. Dissertação de Mestrado. Pós graduação em Engenharia Ambiental. Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Brasília. 2012.

RAMKUMAR, N.; SUBRAMANIAN, P.; NARENDRAN, T. T.; GANESH, K. Erratum to A genetic algorithm approach for solving a closed loop supply chain model: A case of battery recycling. **Applied Mathematical Modelling**, v.35, n.12, p. 5921-5932, 2011.

RAMOS FILHO, L.S.N. **A Logística Reversa de Pneus Inservíveis: O Problema da Localização dos Pontos de Coleta**. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

RAMOS, L. P.; ZAGONEL, G. F.; NETO, P. R. C.; ROSSI, L. F. S. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. **Química Nova**, n. 23, v.4. 2000.

RAMU, N. V.; KENNEDY, W. J. Heuristic Algorithm to Locate Solid-Waste Disposal Site. **Journal of Urban Planning and Development**, vol 120, n1, p.1-8, 1994.

RAVI, V.; SHANKAR, R.; TIWARI, M. K. Analyzing alternatives in reverse logistics for end-of-life computers: ANP and balanced scorecard approach. **Computers & Industrial Engineering**, v. 48, n. 2, p. 327-356, 2005.

REALFF, M.; AMMONS, J.; NEWTON, D. Robust reverse production system design for carpet recycling. **IIE Transactions**, v. 36, p.767–776, 2004.

RIGO, C. L., ROSA, R. A. Proposta de Resolução do Problema de Logística Reversa da Coleta de Óleo Residual de Fritura para Produção de Biodiesel. **Anais...** Transporte em Transformação XIII. Trabalhos vencedores do Prêmio CNT. Produção acadêmica. P. 105-122. 2008.

ROCHA, M.D.S. Análise Da Cadeia Produtiva Dos Óleos De Gordura Residuais Com Foco Nos Agentes Coletadores De Resíduos Urbanos: Estudo De Caso De Fortaleza. 2010. 167 p. Dissertação (Mestrado em Logística e Pesquisa Operacional) - Universidade Federal Do Ceará, Fortaleza, 2010.

RODRIGUES, G.; PIZZOLATO, N. A logística reversa nos centros de distribuição de lojas de departamento. **Anais...** XXIII ENEGEP, Ouro Preto, 2003.

SALEMA, M. I. G., BARBOSA-POVOA, A. P., NOVAIS, A. Q. An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty. **European Journal of Operational Research**. v.179. p. 1063–1077. 2007.

SÁ-SILVA, J. R., ALMEIDA, C. D., GUINDANI, J. F. Pesquisa documental: pistas teóricas e metodológicas. **Revista Brasileira de História & Ciências Sociais**. A.v.1. n.1. p. 1-15. 2009.

SASIKUMAR, P.; KANNAN, G.; HAQ, A. N. A multi-echelon reverse logistics network design for product recovery—a case of truck tire remanufacturing, **Int. J. Adv. Manuf. Technol**. v.49. n912. p.1223-1234, 2010.

SILVA, B. G.; PUGET, F. P. **Sabão de sódio glicerinado: produção com óleo residual de fritura**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer. Goiânia, v.6, n.11, 2010.

SILVA, D. A. M.; PAULINO, M. S. M.; OLIVEIRA, C. A. L.; OLIVEIRA, F. P. F.; MEDEIROS, J. B. S.; AQUINO, G. V. S. O reuso sustentável: a produção de sabão através do óleo de frituras. **Anais...** VII CONNEPI – Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. Palmas/TO, 2012. B

SILVA FRIAS, A. D. **A configuração da cadeia logística inversa para o tratamento dos pneus usados – um problema de otimização de localização**. 2010. 53 p. Dissertação de Mestrado. Programa de pós graduação em Ciências Empresariais) - Universidade dos Açores, Portugal. 2010.

SISMAN, B. Supply Chain Network Design Considering Customer Service Level. Proceedings of the 2012. **Anais...** International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Istanbul, Turkey, July 3 – 6, 2012

STOCK, J. R. **Development and implementation of reverse logistics programs**. Oak Brook: Council of Logistics Management.1998.

SCHULTMANN, F.; ENGELS, B.; RENTZ, O. Closed-loop supply chains for spent batteries. **Interfaces**, v. 33, p. 57–71, 2003.

SCHWARTZ FILHO, A. J. **Localização de indústrias de reciclagem na cadeia logística reversa do coco verde**. Dissertação de Mestrado em Engenharia

Civil-Transportes. Localização de Indústrias de Reciclagem na Cadeia Logística Reversa do Coco Verde. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.

SOUZA, M. T. S; VASCONCELOS, M. W.; PEREIRA, R. S. A contribuição da Logística Reversa na adequação da Política Nacional de Resíduos Sólidos: Um Estudo de Caso no Setor de Embalagem. **Anais...** Simpósio de Gestão e Estratégia em Negócios. SIMAGEN, 4. Rio de Janeiro, 2006.

SPENGLER, T.; PÜCHERT, H.; PENKUHN, T.; RENTZ, O. Environmental integrated production and recycling management. **European Journal of Operation Research**, v. 97, p. 308 – 326, 1997.

**TERRA AMBIENTAL** – Blog Ambiental. <http://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/bid/270552/Aprenda-a-descartar-o-leo-de-cozinha-corretamente>. Acesso em 26/06/2014.

TIBBEN-LEMBKE, R. S.; ROGERS, D. S. Differences between forward and reverse logistics in a retail environment. Special Feature – Reverse Logistics. **Supply Chain Management: an International Journal**. v. 7, n 5, p. 271-282. 2002.

THIERRY, M., SALOMON, M., VAN NUNEN, J. A. E. E., VAN WASSENHOVE, L. N. Strategic issues in product recovery management. **California Management Review**. n. 37. v.2. p. 114–135. 1995

TRALHÃO, L.; RODRIGUES, J. C.; ALMEIDA, L. A. A multiobjective modeling approach to locate multi-compartment containers for urban-sorted waste. **Waste Management**, v. 30, p. 2418-2429, 2010.

TRAGANTALERNGSAK, S.; HOLT, J.; RÖNNQVIST, M. An exact method for the two-echelon, single-source, capacitated facility location problem. **European Journal of Operational Research**. n.123. v.3. p. 473-489, 2000.

TSAI W-T, LIN C-C, YEH C-W. An analysis of biodiesel fuel from waste edible oil in Taiwan. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 11.p. 838–57. 2007.

**Utah Biodiesel Supply. Titrating Waste Vegetable Oil (WVO) For Biodiesel** – Utah. Biodiesel Supply. Online vídeo clip. 13'52". 6 de Fevereiro de 2011. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=UNv9wdOA70Y>. Acessado em 18 de setembro de 2014.

VAN KASTEREN, J. M. N.; NISWORO, A. P. A process model to estimate the cost of industrial scale biodiesel production from waste cooking oil by supercritical transesterification. **Resources, Conservation and Recycling**. v. 50. p. 442–58. 2007.

YONG, Z., XIANGTAI, B., GANG, R., XIAOHUA, C. JIAN, L. Analysing the status, obstacles and recommendations for WCOs of restaurants as biodiesel feedstocks in Chima from supplu chain perspectives. **Bioresource Technology**. v. 60, p. 20–37. 2012.

YANG, J.; LEE, H. A AHP Decision Model for Facility Location Selection. **Facilities**, n.15, p.241-254, 1997.

YIN, Robert K. **Estudo De Caso – Planejamento E Métodos**. (2Ed.), Porto Alegre: Bookman, 2003.

YONGSHENG, Z.; SHOUYANG, W. Generic Model of Reverse Logistics Network Design. **Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology**. v 8, n. 3, p. 1-8, 2008.

ZHANG, Y.; DUBÉ, M.; MCLEAN, D.; KATES, M. Biodiesel production from waste cooking oil: 2. Economic assessment and sensitivity analysis. **Bioresource Technology**. v. 90, p. 229–240. 2003.

ZUCATTO, L. C., WELLE, I., SILVA, T. N. Cadeia reversa do óleo de cozinha: coordenação, estrutura e aspectos relacionais. **Revista de Administração de Empresas**. V 55. N 5. P. 442-453. Set-Out. 2013

WANG, L. **Life Cycle Assessment of Biodiesel Production from Waste Cooking Oil in Western Australia**. In: 3rd International Conference on Chemical, Ecology and Environmental Sciences (ICCEES'2013) January 4-5, 2013 Bali (Indonesia). Disponível em: <http://psrcentre.org/images/extraimages/113003.pdf>. Acessado em 25 de Maio 2014.

WELLE, F. Twenty years of PET bottle to bottle recycling-an overview. **Resources, Conservation and Recycling**, v.55. n.11, p. 865-875. 2011.

WENTGES, P. Accelerating Benders' decomposition for the capacitated facility location problem. **Mathematical Methods of Operations Research**, v. 44, n. 2, p. 267-290, 1996.

## APÊNDICES

Apêndice A – Estimativa da quantidade ORF gerado pelos pequenos geradores na cidade de Linhares

Estimativa da quantidade ORF gerado pelos pequenos geradores na cidade de Linhares  
(Continua)

Nº	SIGLA	Bairro	População (Pessoa)	Consumo de Óleo (Litro)	ORF Gerado Mês (kg)	ORF Gerado (Litros/ Mês)	ORF Gerado Ano (kg)	ORF Gerado (Litros/ Ano)
1	AR	Araçá	6824	226.558	3.549	3.944	42.593	47.325
2	AV	Aviso	12926	429.143	6.723	7.470	80.679	89.643
3	BV	Boa Vista	1167	38.753	607	675	7.286	8.095
4	CV	Canivete	5997	199.109	3.119	3.466	37.432	41.592
5	CN	Centro	6794	225.567	3.534	3.927	42.407	47.119
6	CL	Colina	1210	40.165	629	699	7.551	8.390
7	IN	Interlagos	30541	1.013.946	15.885	17.650	190.622	211.802
8	JL	Jardim Laguna	3521	116.907	1.832	2.035	21.979	24.421
9	JM	José Rodrigues Maciel	2896	96.137	1.506	1.674	18.074	20.082
10	JU	Juparanã	4099	136.074	2.132	2.369	25.582	28.424
11	LM	Lagoa de Meio	1723	57.194	896	996	10.752	11.947
12	LC	Linhares V	3004	99.726	1.562	1.736	18.749	20.832
13	MV	Movelar	3878	128.743	2.017	2.241	24.204	26.893
14	NC	Nossa Senhora de Conceição	4398	146.000	2.287	2.541	27.448	30.498
15	NB	Nova Betânia	829	27.528	431	479	5.175	5.750
16	NE	Nova Esperança	5065	168.145	2.634	2.927	31.611	35.124
17	NH	Novo	6297	209.074	3.275	3.639	39.306	43.673

## Horizonte

Estimativa da quantidade ORF gerado pelos pequenos geradores na cidade de Linhares  
(Continuação)

	<b>SIGLA</b>	<b>Bairro</b>	<b>População (Pessoa)</b>	<b>Consumo de Óleo (Litro)</b>	<b>ORF Gerado Mês (kg)</b>	<b>ORF Gerado (Litros/ Mês)</b>	<b>ORF Gerado Ano (kg)</b>	<b>ORF Gerado (Litros/ Ano)</b>
18	PT	Palmital	1701	56.468	885	983	10.616	11.796
19	PL	Planalto	5859	194.527	3.048	3.386	36.571	40.635
20	SC	Santa Cruz	4097	136.035	2.131	2.368	25.575	28.416
21	SJ	São José	3735	124.009	1.943	2.159	23.314	25.904
22	SH	Shell	6181	205.218	3.215	3.572	38.581	42.868
23	TB	Três Barras	1659	55.094	863	959	10.358	11.508
	<b>TT</b>	<b>Total Município</b>	<b>162502</b>	<b>5.393.076</b>	<b>44.942</b>	49.936	<b>539.308</b>	599.231

**Fonte:** Elaborada pelo autor baseado em Gunstone (2013)

## Apêndice B – Quantidade de óleo coletada em GGG na cidade de Linhares

Quantidade de óleo coletada em GGG na cidade de Linhares

(Continua)

Nº	PONTO DE COLETA	LOCALIZAÇÃO	QUANTIDADE COLETADA (Barril 50 L)	LITRO/ MÊS	LITRO/ ANO
1	AÇOUGUE ADMILSON	ARAÇA	1	50	600
2	AÇOUGUE PESCA	ARAÇA	6	300	3600
3	ESBALDADO	ARAÇA	1	50	600
4	ESFIRRARIA	ARAÇA	1	50	600
5	HOSPITAL GERAL DE LINHARES (HGL)	ARAÇA	2	100	1200
6	PADARIA MILANO	ARAÇA	1	50	600
7	SEC. MEIO AMBIENTE PREFEITURA	AVISO	4	200	2400
8	IASES	BEBEDOURO	1	50	600
9	ALGO MAIS LANCHES	BNH	1	50	600
10	BAR DO CEZINHA	BNH	1	50	600
11	MINI RESTAURANTE	BNH	3	150	1800
12	PIZZARIA FABRES	BNH	3	150	1800
13	RESTAURANTE E PIZZARIA LINDO AR	BNH	3	150	1800
14	RESTAURANTE E PIZZARIA ZILL	BNH	2	100	1200
15	RESTAURANTE FRANGO EXPRESSO	BNH	3	150	1800
16	RESTAURANTE TOCA DO CARANGUEJO	BNH	1	50	600
17	CALDO DA LAGOA	CANIVETE	1	50	600
18	HOTEL BHS	CANIVETE	2	100	1200
19	PARADA DO ARGEU BAR E RESTAURANTE	CANIVETE	3	150	1800
20	RESTAURANTE MINOTAURO	CANIVETE	2	100	1200
21	BAR DA MARIA	CENTRO	1	50	600
22	BAR DO JARDEL	CENTRO	1	50	600
23	BOTECO FILOMENA	CENTRO	1	50	600
24	CERIMONIAL DA PRAIA	CENTRO	1	50	600
25	DIDIMO BAR	CENTRO	1	50	600
26	HOTEL PARAISO GEOKINETIS	CENTRO	2	100	1200
27	LANCHONETE SKIPS	CENTRO	3	150	1800
28	LINDÃO CALDOS E PETISCOS	CENTRO	1	50	600
29	OPÇÃO LANCHES	CENTRO	4	200	2400
30	PADARIA PÃO QUENTE	CENTRO	1	50	600
31	PADARIA REAL GRANDEZA	CENTRO	1	50	600

## Quantidade de óleo coletada em GGG na cidade de Linhares

(Continuação)

<b>Nº</b>	<b>PONTO DE COLETA</b>	<b>LOCALIZAÇÃO</b>	<b>QUANTIDADE COLETADA (Barril 50 L)</b>	<b>LITRO/ MÊS</b>	<b>LITRO/ ANO</b>
32	PIZZARIA LANATI LANCHES	CENTRO	1	50	600
33	RESTAURANTE ALTA PRESSÃO	CENTRO	3	150	1800
34	RESTAURANTE BAR E PIZZARIA CALIMAN	CENTRO	1	50	600
35	RESTAURANTE BRASILEIRINHO	CENTRO	3	150	1800
36	RESTAURANTE LINHARES	CENTRO	1	50	600
37	RESTAURANTE RINCÃO	CENTRO	1	50	600
38	RESTAURANTE SABOR DA TERRA	CENTRO	1	50	600
39	RESTAURANTE SABOR REAL	CENTRO	2	100	1200
40	RESTAURANTE VITORIA	CENTRO	1	50	600
41	SOLIDUS SERVIÇOS E CONTRUÇÕES	CENTRO	1	50	600
42	VILLA ESPERANÇA PIZZARIA & CREPERIA	CENTRO	1	50	600
43	RESTAURANTE PARRILHA	COLINA	1	50	600
44	300 GRAUS PIZZARIA	INTERLAGOS	2	100	1200
45	GELSON LANCHES	INTERLAGOS	1	50	600
46	HELMER BURGUERS E PIZZAS	INTERLAGOS	3	150	1800
47	ISAIAS LANCHES	INTERLAGOS	1	50	600
48	PIZZARIA DENIS LANCHES	INTERLAGOS	4	200	2400
49	RICARDO BAR E LANCHONETE	INTERLAGOS	1	50	600
50	CONDOMINIO JARDIM LAGUNA	JARDIM LAGUNA	1	50	600
51	LAGUNAS BAR E RESTAURANTE	JARDIM LAGUNA	4	200	2400
52	PADARIA DINAMARCA	JOSE RODRIGUES MACIEL	2	100	1200
53	ALTAS HORAS	JUPARANÃ	1	50	600
54	PADARIA DELICIA	JUPARANÃ	2	100	1200
55	PIZZARIA CASTANHEIRA	JUPARANÃ	1	50	600
56	BOCAS II	LAGOA DO MEIO	1	50	600
57	MALACARNE REFEIÇÕES INDUSTRIAIS	LAGOA DO MEIO	16	800	9600
58	PADARIA DINAMARCA	LAGOA DO MEIO	2	100	1200

## Quantidade de óleo coletada em GGG na cidade de Linhares

(Continuação)

Nº	PONTO DE COLETA	LOCALIZAÇÃO	QUANTIDADE COLETADA (Barril 50 L)	LITRO/ MÊS	LITRO/ ANO
59	RESTAURANTE COLONNA	LAGOA DO MEIO	2	100	1200
60	ANTONIO BRONHOLI- ME	MOVELAR	1	50	600
61	ARCOS DOURADOS (MC DONALDS) SHOPPING	MOVELAR	4	200	2400
62	BISTRO ALIMENTAÇÃO SHOPPING	MOVELAR	1	50	600
63	COZINHA CULINARIA	MOVELAR	2	100	1200
64	LINHARES CHOPP - SHOPPING	MOVELAR	2	100	1200
65	BISI CHOPP	N. S. CONCEIÇÃO	1	50	600
66	COZIVIP	N. S. CONCEIÇÃO	4	200	2400
67	FRANGO BOM	N. S. CONCEIÇÃO	2	100	1200
68	MARILDA RESTAURANTE	N. S. CONCEIÇÃO	1	50	600
69	PADARIA CELESTRINI	N. S. CONCEIÇÃO	2	100	1200
70	PIZZARIA CASA NOSTRA	N. S. CONCEIÇÃO	1	50	600
71	RESTAURANTE CONCEIÇÃO	N. S. CONCEIÇÃO	7	350	4200
72	RESTAURANTE MOCAMBO	N. S. CONCEIÇÃO	2	100	1200
73	RESTAURANTE SESANA	N. S. CONCEIÇÃO	3	150	1800
74	BELO RECANTO	PALMITAL	2	100	1200
75	BAR DO OZIAS	PONTAL DO IPIRANGA	1	50	600
76	BAR E LANCHONETE ESTRELA DO MAR	PONTAL DO IPIRANGA	1	50	600
77	CABANA DO MENGO	PONTAL DO IPIRANGA	1	50	600
78	RESTAURANTE CARRETA	PONTAL DO IPIRANGA	1	50	600
79	JAÇA GALON	PRESÍDIO	3	150	1800
80	CERIMONIAL FAZENDA RECANTO	REGÊNCIA	1	50	600
81	RESTAURANTE JACINTO CEOLIN	REGÊNCIA	5	250	3000
82	CALDO & CIA	SHELL	3	150	1800
83	CERIMONIAL COLISEU	SHELL	4	200	2400
84	ESCOLA PROF. A. FERNANDES	SHELL	5	250	3000
85	JAQUES LANCHES	SHELL	3	150	1800
86	CERIMONIAL LE	TRÊS BARRAS	2	100	1200

	PALACE				
87	BAE E RESTAURANTE GAUCHO	ZONA RURAL	1	50	600
88	JAGOA JESUINA	ZONA RURAL	1	50	600
89	LAGOA HUMAITA	ZONA RURAL	1	50	600
90	LAGOA NOVA	ZONA RURAL	2	100	1200
91	LANCHONETE JAPA	ZONA RURAL	1	50	600
92	MISTER DIM LANCHES PIZZAS	ZONA RURAL	1	50	600
	TOTAL		191	9.550	114.600

---

Fonte: Elaborada pelo autor

### Apêndice C – Custo Fixo de Instalação de CT

Descrição	Custo Fixo de Instalação (R\$) – AV (Continua)			
	Faixa 1 Valor (R\$)	Faixa 2 Valor (R\$)	Faixa 3 Valor (R\$)	Faixa 4 Valor (R\$)
Aquisição de lote	R\$157.000,00	R\$157.000,00	R\$157.000,00	R\$157.000,00
Construção	R\$62.000,00	R\$62.000,00	R\$62.000,00	R\$75.000,00
Tanque 10.000L	R\$4.250,00	R\$4.250,00		
Tanque 20.000L			R\$6.820,00	R\$6.820,00
Tanque 30.000L	R\$9.100,00	R\$9.100,00	R\$9.100,00	R\$9.100,00
Recipiente de Contenção	R\$2.150,00	R\$2.150,00	R\$2.150,00	R\$2.150,00
Carro Tanque	R\$65.000,00	R\$65.000,00	R\$65.000,00	R\$65.000,00
Carreta Tanque	R\$132.000,00	R\$132.000,00	R\$132.000,00	R\$132.000,00
Recipientes GPG	R\$41.051,07	R\$55.432,61	R\$69.814,14	R\$75.566,76
Recipientes GGG	R\$3.800,00	R\$3.800,00	R\$3.800,00	R\$3.800,00
Carro Transportador	R\$1.430,00	R\$1.430,00	R\$2.860,00	R\$2.860,00
Bomba de Sucção	R\$1.150,00	R\$1.150,00	R\$1.150,00	R\$1.150,00
Kit de Filtragem	R\$645,00	R\$645,00	R\$645,00	R\$645,00
Custo Total	R\$479.576,07	R\$493.957,61	R\$512.339,14	R\$531.091,76

Descrição	Custo Fixo de Instalação (R\$) – SJ (Continua)			
	Faixa 1 Valor (R\$)	Faixa 2 Valor (R\$)	Faixa 3 Valor (R\$)	Faixa 4 Valor (R\$)
Aquisição de lote	-	-	-	-
Construção	R\$100.000,00	R\$100.000,00	R\$100.000,00	R\$100.000,00
Tanque 10.000L	R\$4.250,00	R\$4.250,00		
Tanque 20.000L			R\$6.820,00	R\$6.820,00
Tanque 30.000L	R\$9.100,00	R\$9.100,00	R\$9.100,00	R\$9.100,00
Recipiente de Contenção	R\$2.150,00	R\$2.150,00	R\$2.150,00	R\$2.150,00
Carro Tanque	R\$65.000,00	R\$65.000,00	R\$65.000,00	R\$65.000,00
Carreta Tanque	R\$132.000,00	R\$132.000,00	R\$132.000,00	R\$132.000,00
Recipientes GPG	R\$41.051,07	R\$55.432,61	R\$69.814,14	R\$75.566,76
Recipientes GGG	R\$3.800,00	R\$3.800,00	R\$3.800,00	R\$3.800,00
Carro Transportador	R\$1.430,00	R\$1.430,00	R\$2.860,00	R\$2.860,00
Bomba de Sucção	R\$1.150,00	R\$1.150,00	R\$1.150,00	R\$1.150,00
Kit de Filtragem	R\$645,00	R\$645,00	R\$645,00	R\$645,00
Custo Total	R\$479.576,07	R\$493.957,61	R\$512.339,14	R\$531.091,76

Descrição	Custo Fixo de Instalação (R\$) – ZR (Continuação)			
	Faixa 1 Valor (R\$)	Faixa 2 Valor (R\$)	Faixa 3 Valor (R\$)	Faixa 4 Valor (R\$)
Aquisição de lote	R\$157.000,00	R\$157.000,00	R\$157.000,00	R\$157.000,00
Construção	R\$62.000,00	R\$62.000,00	R\$62.000,00	R\$75.000,00
Tanque 10.000L	R\$4.250,00	R\$4.250,00		
Tanque 20.000L			R\$6.820,00	R\$6.820,00
Tanque 30.000L	R\$9.100,00	R\$9.100,00	R\$9.100,00	R\$9.100,00
Recipiente de Contenção	R\$2.150,00	R\$2.150,00	R\$2.150,00	R\$2.150,00
Carro Tanque	R\$65.000,00	R\$65.000,00	R\$65.000,00	R\$65.000,00
Carreta Tanque	R\$132.000,00	R\$132.000,00	R\$132.000,00	R\$132.000,00
Recipientes GPG	R\$41.051,07	R\$55.432,61	R\$69.814,14	R\$75.566,76
Recipientes GGG	R\$3.800,00	R\$3.800,00	R\$3.800,00	R\$3.800,00
Carro Transportador	R\$1.430,00	R\$1.430,00	R\$2.860,00	R\$2.860,00
Bomba de Sucção	R\$1.150,00	R\$1.150,00	R\$1.150,00	R\$1.150,00
Kit de Filtragem	R\$645,00	R\$645,00	R\$645,00	R\$645,00
Custo Total	R\$479.576,07	R\$493.957,61	R\$512.339,14	R\$531.091,76

Fonte: Elaborado pelo autor