

OTIMIZAÇÃO DA MALHA LOGÍSTICA DE RETORNO DE PALETES EM UMA EMPRESA ALIMENTÍCIA DE GRANDE PORTE OPTIMIZATION OF THE RETURNED PALETTES LOGISTIC NETWORK IN A LARGE SCALE FOOD COMPANY

Giovana Teotonio Lombardi
giovanalombardi@hotmail.com
Universidade Federal do Paraná, Curitiba
Prof. Dr. Marcos Augusto Mendes Marques
marquesammarcos@gmail.com
Universidade Federal do Paraná, Curitiba

Resumo: A logística está cada vez mais em foco dentro do planejamento estratégico das empresas, devido ao seu alto custo de operação e a grande gama de oportunidades de aumento da produtividade e redução de custos. Uma dessas oportunidades que tem ganhado relevância no âmbito empresarial é a logística reversa, que contempla o retorno dos materiais pós-consumo. Com essa questão em vista, este trabalho será realizado a partir de um estudo de caso da malha logística de retorno de paletes em uma empresa alimentícia de grande porte. Os paletes são enviados junto aos produtos para os clientes e precisam ser recuperados posteriormente. Com uma rede logística que conta com 18 centros de distribuição, 27 unidades produtoras e 15 reformadores de paletes o desafio é realizar a malha logística de menor custo para a operação. O trabalho terá como objetivo – por meio da Pesquisa Operacional - desenhar um modelo matemático que contemple todas as restrições e os objetivos deste cenário. O modelo será rodado no *software* Otimix (Linear), que trabalha por meio da Programação Inteira Linear, e trará como resultado uma malha logística com um custo 13% menor do que o realizado e que atende as restrições estipuladas para este cenário.

Palavras-chave: Logística reversa. Transporte. Pesquisa Operacional. Malha Logística. Pallet.

Abstract: Logistic is in focus in the strategic planning of companies due to it's high cost when compared to other processes and great opportunities of productivity increase and cost reduction. One of these gaps observed by the leadership is to use the reverse logistics to recover materials after customer using. This article is going to report a case study of pallets return and it's logistic network in a large scale food company. The pallets are sent with products to the clients and later they need to be returned to the producer, which logistics network functions with 18 distribution center, 27 production units and 18 pallets reformer. The purpose of this study is to draw a mathematical model, by operational research, that reflects the minimum cost possible for this operation. The model will be put into the solution software Otimix (Linear) and it will give a solution that has it's cost 13% less than the original operation.

Keywords: Reverse Logistics. Transport. Operational Research. Logistics Network. Pallet.

1 INTRODUÇÃO

A logística é parte integrante da cadeia de suprimentos de uma empresa e representa cerca de 7,6% da sua receita líquida para organizações brasileiras (ILOS, 2017). Segundo Ballou (2004), a logística tem como responsabilidade, planejar, implantar e controlar todo o fluxo - do fornecedor até o consumidor final - de materiais, produtos e informações para atender o nível de serviço esperado do cliente.

Atualmente, a logística está em foco dentro dos estudos e projetos empresariais: é uma área com importância na cadeia de valor e com oportunidades de melhorias e redução de gastos. A logística representa o segundo maior custo de uma empresa, perdendo somente para o custo do produto (BALLOU, 2004). Ela engloba as áreas relacionadas à embalagem, estoque, armazenagem, processamento de pedidos, transporte e distribuição. As áreas citadas, excluindo a de transporte, são de responsabilidade majoritária da empresa e de seus fornecedores, facilitando a mudança e a melhoria contínua de seus processos. Já o transporte se encontra num escopo maior e externo à organização. Embora seja um processo dependente da infraestrutura do país ou região de atuação, a empresa também tem responsabilidade em pontos chave para aumentar a sua eficiência.

No Brasil, a infraestrutura logística de transporte é precária: enquanto países desenvolvidos investem cerca de 5% do seu PIB, o Brasil investe apenas 2% nesta área (CNI, 2016). Esse cenário se agrava quando é levado em consideração que 63% do escoamento da produção no país é realizado através do modal rodoviário (ILOS, 2016). Segundo o IPEA (2016), o modal rodoviário tem como benefício a sua simplicidade e facilidade de atendimento, além da baixa necessidade de manuseio da carga e baixa exigência na embalagem, no entanto, as desvantagens apontadas reforçam aquilo que já foi exposto: a baixa capacidade de carregamento e a dependência da infraestrutura nacional.

Uma frente de atuação para mitigar as desvantagens deste modal no país, e que pode contribuir para a redução de custos e o aumento da produtividade no transporte de cargas, é a logística reversa. Esse recurso tem o seu foco em questões ambientais, mas dentro da logística empresarial está sendo utilizado

também como uma ação para agregar valor na cadeia de suprimentos a partir dos resíduos gerados pós-vendas. De acordo com Carelli *et al.* (2016), a logística reversa é um tema genérico, no entanto, o termo se refere às operações de reutilização de produtos e materiais. Já Amaral *et al.* (2018) adiciona a este conceito a operação de devolução de embalagens a seus produtores.

Para o bom funcionamento de toda a cadeia logística, englobando tanto a direta como a reversa, é necessário que a organização tenha um bom projeto de rede de suas instalações. Esse recurso está sob controle da organização e representa as localizações de suas fábricas, fornecedores, armazéns, centros de distribuição e clientes, como também os possíveis arcos que podem ser realizados entre eles.

A malha logística tem impacto direto no custo de transporte e de armazenagem e no tempo de atendimento ao cliente. A rede deveria ser revista periodicamente: fatores como novas tecnologias, mudanças no mercado e expansão das atividades impactam diretamente em seu desempenho (Blog Logística, 2014). Gomes *et al* (2019) reforça a importância da revisão da malha com o argumento de que o aumento na eficiência do transporte rodoviário, ocasionado pela otimização das rotas - com o objetivo de reduzir a distância ou o tempo de percurso – pode ocasionar redução nos custos da operação e aumentar o nível de serviço ao cliente.

Para isso, tem-se a Pesquisa Operacional (PO), segundo Bressan *et al* (2015), a pesquisa operacional auxilia na resolução de problemas através de técnicas e modelos matemáticos com o objetivo de otimizar processos, reduzir custos, melhorar o nível de serviço e entre outros. O campo de emprego da PO é extenso e pode ser exemplificado por aplicações na agricultura, dieta alimentar, manufatura, indústria moveleira e transporte, sendo este último um dos mais complexos e utilizados, como relatado por Passos (2008).

Segundo Gomes *et al* (2019) a otimização das rotas por meio da Pesquisa Operacional diminui o tempo de resposta ao cliente e a eficiência da operação, o que ocasiona o aumento da vantagem competitiva da empresa. Neste trabalho, será desenvolvido um estudo de caso em uma empresa alimentícia de grande porte com sede no Brasil com o objetivo de desenhar e otimizar a malha logística de retorno de paletes e evidenciar a afirmação feita por Gomes *et al* (2019). Esse estudo se iniciará com o relato de alguns trabalhos semelhantes, seguido do entendimento e

mapeamento desta cadeia reversa com seu respectivo modelo matemático utilizado para a etapa de otimização e suas conclusões obtidas com a nova malha. O método utilizado será a Programação Linear Inteira e para o processamento destes dados, será utilizado o *software* especializado em cálculo de malha logística, Otimix da Linear.

O presente estudo se justifica pela complexidade deste cenário e pela necessidade de redução de custos com essa operação, além de exemplificar o uso da Pesquisa Operacional em um problema de transporte de logística reversa. A empresa objeto de estudo conta com inúmeros clientes, 18 centros de distribuição, 15 reformadores de paletes e 27 unidades produtoras, por toda extensão do território brasileiro. Além disso, esta cadeia - que conta com aproximadamente 300 mil paletes - nunca foi tema de estudo dentro da empresa. Este estudo ressaltará a importância de também rever os fluxos de logística reversa na estratégia de redução de custos dentro de uma organização de grande porte no Brasil.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção, serão citados 5 trabalhos correlatos ao estudo em questão. O primeira se refere a logística reversa e sua aplicação no retorno de embalagens, os próximos trabalhos foram desenvolvidos na temática de problema de instalações múltiplas, com utilização da pesquisa operacional para a resolução do caso. Mesmo sendo estes da mesma temática, pode-se observar como o escopo da pesquisa operacional é variado entre os estudos.

A utilização da Pesquisa Operacional na área da logística é utilizada para aumentar a competitividade empresarial. Ela pode trazer benefícios como a redução de custos, o aumento do nível de serviço, redução do lead time, redução do raio médio percorrido, entre outros. Sua aplicação pode ser observada desde a previsão da demanda ao planejamento da produção, ao método de estocagem, ao problema de instalações múltiplas e a distribuição de produtos.

Os trabalhos são realizados desde um escopo de decisão da localização de novas instalações, a comparação de modelos de resolução dentro da PO e o redesenho da malha logística conforme mudanças no cenário empresarial. Os estudos também exemplificam que esta ferramenta pode ser utilizada para um

cenário de produtos acabados e/ou de logística reversa, além de poder avaliar diferentes tipos de modais de transporte.

Quadro 1 – Resumo de trabalhos correlatos

AUTORES	PUBICAÇÃO	RESUMO
Maiara Boza da Silva, Samuel Vinicius Bonato, Nathan Felipe Melo Abrita, Errol Fernando Zepka Pereira Junior.	Rev. Lat.-Am. Inov. Eng. Prod. V 7 n.11 p.68 -81, Julho, 2019.	O retorno de paletes e <i>chapatex</i> dos clientes para o produtor é o tema de estudo deste trabalho. Silva <i>et al</i> (2019) fazem um estudo de caso em uma empresa de bebidas e aplicam um método de retorno destas embalagens escolhido por meio de <i>benchmarking</i> externo. Os autores reforçam os benefícios da logística reversa durante o trabalho e concluem expondo os resultados da melhoria implantada, como, a melhor relação de parceria, o controle de inventário destes materiais e a economia gerada a partir do retorno das embalagens.
Everton da Silveira Farias, Denis Borenstein. Everton da Silveira Farias, Denis Borenstein.	Gest. Prod. (São Carlos, v. 24, n. 1, p. 148-160, 2017).	Farias <i>et al.</i> (2017), realizam um estudo de caso numa empresa <i>multi-commodity</i> . Neste trabalho, desenvolvem um estudo comparativo dos modelos de <i>single-source</i> e <i>arc-based</i> dentro da Programação Linear Inteira Mista para a otimização de seu projeto de rede. O trabalho tem como objetivo a decisão das localidades de seus Centros de Distribuição devido a abertura de uma nova instalação fabril.
Alessandra Andrade Pereira, Murilo Alvarenga Bressan, Ilton Curty Leal Júnior.	J. Transp. Lit. (Manaus, v. 10, n. 4, p. 5-9, Dec. 2016).	Neste trabalho Pereira <i>et al</i> (2016), utilizam o método de Programação Linear e de simulação para encontrar um cenário de menor custo de transporte devido a mudanças no projeto de rede em estudo. Em sua conclusão, os autores reforçam a importância da constante revisão da malha logística devido a mudanças no ambiente externo e interno da empresa.
Cauê Sauter Guazzelli, Claudio Barbieri da Cunha.	Gest. Prod. (São Carlos, v. 22, n. 3, p. 480-494, 2015).	Guazzelli <i>et al</i> (2015) fazem a construção de um modelo matemático para o problema de localização de armazéns. O estudo tem como objetivo a localidade dos centros de distribuição na região nordeste do Brasil a partir da única unidade produtora em Manaus. Neste trabalho, foi utilizado o método de Programação Linear Inteira Mista para simular cenários e tomar a decisão da localidade das instalações e do modal utilizado para transporte.
Giovane Lopes Ferria, Gisele de Lorena Diniz Chavesb, Glaydston Mattos	Production (v. 25, n. 1, p. 27-42, jan./mar. 2015).	Ferria <i>et al</i> (2015) realizou um estudo de caso para propor um modelo matemático de logística reversa de resíduos sólidos urbanos (RSU) num município do ES. Os autores não expõem o método utilizado para resolução deste problema, mas o trabalho tem como objetivo propor diferentes cenários de localidades de armazéns para

Ribeiro.		triagem e centralização dos RSU. Esse trabalho se assemelha com o estudo proposto pois se trata de um projeto de rede para logística reversa.
----------	--	---

Fonte: Autor (2019)

3 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão abordados os conceitos de Logística e Logística Reversa, além do histórico da embalagem Palete, suas dimensões padrão no Brasil e seu fluxo na cadeia de suprimentos. Por último, será exposto os conceitos de Pesquisa Operacional e Programação Linear, assim como as etapas para sua construção e implantação.

3.1 Logística

Para Novaes (2007), o foco da logística está em propor soluções que tenham como prioridade os custos empresariais. O autor divide a evolução da logística em quatro fases, desde as primeiras definições deste conceito até a atualidade:

1. Atuação Segmentada – se iniciou na Segunda Guerra Mundial e tinha como elemento chave o estoque. O enfoque era dimensionar lotes econômicos para a redução de custo com transporte, inventário e elaboração do pedido. Nesta fase, não havia sistemas sofisticados de comunicação e informática;
2. Atuação Rígida – Com início na década de 70, essa nova fase da logística se deve ao aumento da demanda dos produtos e aos primeiros sistemas de informação inseridos na cadeia, como a informática e a utilização do *Material Requirement Planning* (MRP), em português Planejamento da Necessidade de Material. Além disso, devido à crise de petróleo ocorrida nesta época, a utilização da multimodalidade também foi um marco;
3. Integração Flexível – A partir de 1980, o uso da informática se intensificou com o uso do EDI - *Electronic Data Interchange* (Intercâmbio Eletrônico de Dados), o qual proporcionou uma maior integração entre fornecedores e consumidores. Essa conexão foi essencial para a estratégia de redução de estoques e de custos;

4. Integração Estratégica – A fase atual da logística proposta por Novaes pode ser caracterizada pelo tratamento da logística como uma estratégia de competitividade, junto com o avanço da tecnologia e sistemas de informação e comunicação. O conceito de *Supply Chain Management* foi englobado por várias empresas e aumentou a integração de todas as etapas da cadeia, desde o fornecedor até o consumidor final. A definição de logística reversa também se iniciou nesta época como uma estratégia de preocupação ambiental e posteriormente de competitividade.

3.2 Logística Reversa

A preocupação crescente com as questões ambientais e as estratégias de redução de custo incentivam as organizações a investirem em sua logística reversa (LR). Como exposto por Melo *et al* (2009), há três justificativas para a logística reversa: aspectos econômicos, leis governamentais e pressão dos consumidores. Segundo Leite (2009), a logística reversa é uma operação que vem ganhando espaço na estratégia das organizações devido a conscientização ambiental e aos seus benefícios competitivos no escopo empresarial. A logística reversa no Brasil entrou em vigor a partir de 2010 e foi regulamentada em 2017 pelo Decreto Lei 9177:

Instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada. (PNRS, Política Nacional de Resíduos Sólidos, 2017).

Um dos benefícios desta operação é o tratamento adequado dos resíduos sólidos gerados pós-consumo ou pós-venda, mas não é o único. Pode-se citar também, a economia de materiais nos processos produtivos que reutilizam estes materiais, um meio de renda para cooperativas de reciclagem e um incentivo às empresas para a mudança de suas embalagens e de seus produtos. Mesmo antes do decreto da PNRS, alguns exemplos de logística reversa eram comuns na sociedade: o reuso de pneus, o descarte correto de pilhas e baterias, a destinação

apropriada de peças e equipamentos eletrônicos e o reuso da carcaça de vidro de bebidas.

Após o decreto de 2017 e a maior conscientização das empresas e da sociedade, o escopo da LR aumentou, não são apenas itens com risco de contaminação ou com grande valor agregado que são recuperados, mas qualquer material pós-consumo ou pós-venda que poderá ter seu valor restituído. Para Sellitto (2018), a logística reversa conta com valores ambientais e valores sociais, como também proporcionam á empresa uma imagem corporativa positiva.

3.3 Paletes

O exemplo de logística reversa que será estudado neste trabalho é a recuperação e a reutilização de paletes. Os primeiros registros de uso de paletes como é conhecido nos dias de hoje, indica que esta embalagem teve sua origem nos Estados Unidos ou no norte da Europa, por volta de 1925. O palete se difundiu como um suporte de produtos a partir da 2ª Guerra Mundial, pela *USA-FORCE*. Seu tamanho padrão foi definido por volta de 1952 pelas empresas ferroviárias que circulavam os Estados Unidos, assim, definiu-se como palete EUR 800 x 1.200 (padrão europeu com 800cm de comprimento e 1.200cm de profundidade). No Brasil, esta embalagem surgiu no final da década de 60, com a vinda das empresas automobilísticas americanas. Nesta época, o palete era utilizado para importação de matéria-prima e de suporte à produção. Já na década de 80, a Associação Brasileira de Supermercadistas (ABRAS), decidiu criar o Grupo de Palete de Distribuição, o qual revolucionou o uso desta embalagem e a fez circular como é atualmente. Foi então definido o palete PBR, o qual será o produto em questão neste trabalho.

A ABRAS afirma que a padronização do palete é necessária devido a qualidade assegurada, a durabilidade, a segurança, o meio ambiente e a prevenção de perdas. O palete PBR (palete padrão no Brasil definido pela ABRAS) tem suas dimensões externas 1,00m x 1,20m x 0,144 m. As madeiras utilizadas em sua fabricação são Pinus e Eucalipto (madeiras reflorestadas com certificação de origem pelo IBAMA) e seu peso é de aproximadamente 40 kg.

Figura 1 – Palete PBR



Fonte – ABRAS, 2019

A função global do palete é de suporte e unificação dos produtos, na etapa de produção, armazenagem e distribuição. É a embalagem mais usada para essa função, devido a sua praticidade e sua facilidade em movimentação (SILVA, 2019). Nos EUA, aproximadamente 80% das mercadorias são movimentadas a partir de paletes, um mercado que, em 2015, girou em torno de 2 bilhões de unidades (LEBLANC, 2018).

Caso a empresa opte por este tipo de embalagem, ela precisa escolher como será o funcionamento de sua cadeia e gestão de paletes da maneira que atenda a sua operação e esteja dentro dos requisitos propostos. As 3 opções mais populares no mercado brasileiro são:

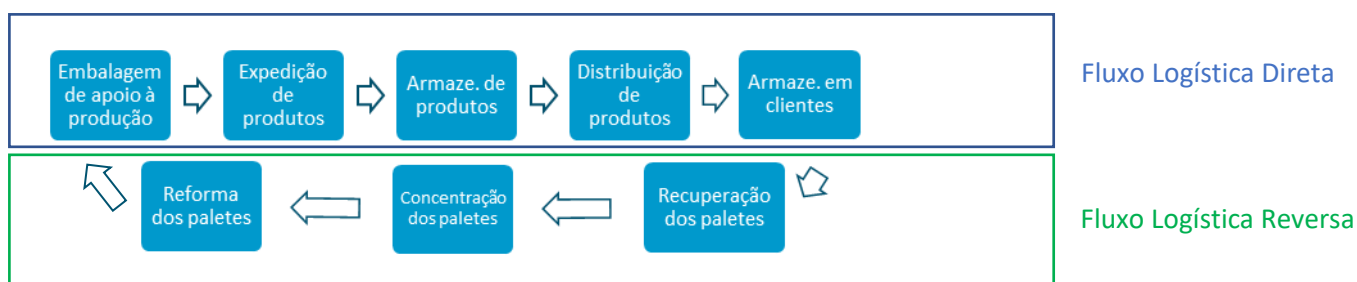
- Serviço terceiro de aluguel de paletes: a empresa contrata o serviço de gerenciamento e atendimento da sua cadeia de paletes. A empresa contratada é responsável por atender as unidades de sua demanda de paletes e fica por sua responsabilidade recolher os paletes nos clientes. Como benefício desta operação tem-se a garantia de atendimento da demanda. Como desvantagem, o custo de terceirizar a operação é mais alto do que realizar a gestão internamente, além disso, a empresa terceira pode ter restrições quanto à área de atendimento.
- Paletes *OneWay*: além do palete PBR e do palete EUR expostos acima, tem se também a opção do palete chamado *OneWay*. Este palete tem uma resistência menor do que o PBR, por ser uma embalagem com vida útil de apenas um giro e não é recuperado pós consumo. Este tipo de palete normalmente é utilizado em exportações, onde a recuperação da embalagem

é difícil. O paleta *OneWay* é um produto mais barato do que o paleta PBR, no entanto, sua vida útil é menor.

- Paletes PBR: como exposto acima, este é o paleta definido pela ABRAS como padrão no Brasil. A empresa pode optar por utilizar este paleta em sua cadeia logística e fazer a sua própria gestão, que é o caso da empresa em estudo. Na maioria dos casos onde este tipo de operação é escolhido, a própria empresa faz as compras dos paletes, distribui em sua cadeia, entrega junto aos produtos aos clientes, recupera estes paletes pós-consumo, higieniza e reforma eles e coloca novamente em sua cadeia, como explicado na Figura 2. O paleta PBR novo para a compra tem um custo de aproximadamente R\$ 23, tem sua vida útil em média de 7 giros e o custo de recuperação de cada paleta (custo frete + custo reforma) em torno de R\$5. O custo é o maior benefício desta opção, no entanto é necessário uma gestão específica para esta operação ser bem sucedida.

Na figura 2 segue o fluxo resumido da cadeia de paletes na empresa estudada em questão:

Figura 2 – Fluxo Cadeia de Paletes



Fonte – Autor (2019)

3.4 Pesquisa Operacional e Método De Programação Linear Inteira

A Pesquisa Operacional, como é conhecida hoje, teve seu avanço significativo em meio à Segunda Guerra Mundial, utilizada por cientistas para estudar as maneiras mais eficientes de utilização de radares, de abastecimentos das tropas, rotas mais seguras e entre outros (PEREIRA, 2009). Após a guerra, o

método de resolução Simplex foi desenvolvido por George Dantzig e a PO expandiu seu escopo de utilização além das academias militares.

Segundo Gomes *et al* (2019) a pesquisa operacional é um método científico que busca a solução ótima para um problema, auxiliando as empresas nas tomadas de decisões e garantindo a satisfação das partes interessadas. A definição de Passos (2008) é muito semelhante, para o autor: a pesquisa operacional tem como finalidade apresentar soluções ótimas de utilização de recursos disponíveis, tanto materiais como pessoais, para assessorar os administradores na tomada de decisões. Passos (2008) ainda divide o estudo de problemas da PO em 6 fases, são elas:

1. Identificação ou determinação do problema: determinar o que será o objeto do estudo e entender o cenário do problema;

2. Estudo do problema: realizar o levantamento e o tratamento dos dados que serão utilizados;

3. Construção do modelo: representar, por meio de equações e /ou inequações matemáticas, o cenário que será estudado;

4. Resolução do modelo: escolher um método de resolução adequado à modelagem feita na fase anterior e aplicá-lo;

5. Validação do modelo: Averiguar se os resultados obtidos pelo modelo se adequam à realidade proposta. A validação pode ser feita por simulações, mas só com a implementação tem-se a certeza do resultado;

6. Implementação do modelo: implementar o resultado obtido na prática, acompanhar a sua execução e fazer correções no modelo caso seja necessário.

Neste trabalho, será abordado até a fase de resolução do modelo e comparação dos resultados obtidos. Como, até a finalização deste estudo, não será implementado, sua validação não estará completa e a etapa 6 não será realizada.

A Pesquisa Operacional conta com diversas técnicas de resolução para o modelo matemático, cada uma com suas limitações e finalidades específicas, como Programação Linear, Programação Dinâmica, Teoria das Filas e Simulação. A técnica utilizada neste estudo será a de Programação Linear Inteira (PLI), a qual, segundo Prado (1999), procura maximizar ou minimizar a função objetivo sujeito às restrições definidas, utilizando-se de variáveis que tenham como resultado valores inteiros.

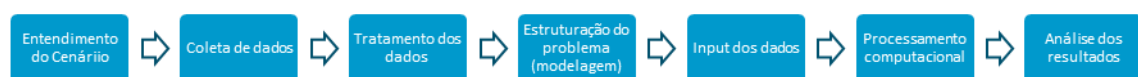
Para se construir um modelo matemático de PL, deve-se levar em consideração as variáveis de decisão, a função objetivo, as restrições e a condição de não-negatividade. Além disso, em sua forma padrão, o modelo ainda conta com os coeficientes das variáveis e os termos independentes, o qual representa os custos, ou outra forma de ponderação das variáveis e os recursos disponíveis, respectivamente. (PASSOS, 2008).

4 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho será realizada a partir de um estudo de caso, ou seja, será desenvolvido a partir dos dados reais de uma empresa específica com o objetivo de retorno dos resultados para esta empresa. Segundo Branski *et al* (2010) o estudo de caso pode ser definido como um método de pesquisa que utiliza dados qualitativos gerados a partir de eventos reais para explicar, explorar ou descrever fenômenos dentro do seu contexto.

Para o desenvolvimento de um estudo de caso, Branski *et al* (2010) sugerem o uso das etapas: delineamento da pesquisa, desenho da pesquisa, preparação e coleta de dados, análise dos casos e elaboração dos relatórios. Neste trabalho, estas etapas serão adaptadas segundo a Figura 3 a seguir. Esta adaptação foi necessária para as etapas se adequarem também ao modelo de resolução de problemas de Pesquisa Operacional.

Figura 3 – Metodologia do Trabalho



Fonte – Autor, 2019

O entendimento do cenário será feito a partir do acompanhamento da operação em estudo, por meio de fluxograma de processo e entrevistas com os responsáveis. As restrições e o objetivo serão definidos junto com a orientação dos especialistas da operação e posteriormente aprovados pela gerência. Os dados serão obtidos a partir do banco de dados histórico da empresa, que contempla todas

as informações necessárias para o desenho do modelo matemático. As informações a serem coletadas são:

- Custo de frete de cada arco;
- Custo de reforma de cada reformador;
- Quantidade de paletes em um lote para transferência;
- Capacidade de expedição de paletes de cada centro de distribuição (concentradores de paletes);
- Capacidade de armazenamento de cada reformador;
- Demanda necessária de paletes de cada unidade produtora;
- Capacidade de armazenagem de cada unidade produtora.

As informações citadas serão posteriormente utilizadas para os principais elementos de um modelo matemático, que segundo Moreira (2007) são: variáveis de decisão e parâmetros, restrições e função objetivo. Esses dados serão tratados para que reflitam o cenário mais próximo possível da realidade e serão adaptados aos *inputs* do *software*. Após a certeza da confiabilidade dos dados, as restrições do sistema serão listas e definidas, assim como a função objetivo. A partir de modelo matemático desenhado, esse modelo será inserido no *software*, que trabalha com Programação Linear Inteira, respeitando os parâmetros e restrições pré-definidas. Após a conclusão do processamento computacional, o cenário de *output* do *software* considerado como ótimo será analisado, avaliado e comparado com o cenário anterior para estimar os ganhos deste estudo.

Os resultados obtidos serão, então, apresentados para a empresa. A decisão de aplicar a malha logística proposta dependerá do ganho estimado, do cenário atual da gestão de paletes e da facilidade de mudança de processo interno, além da aprovação de todos os envolvidos nesta cadeia.

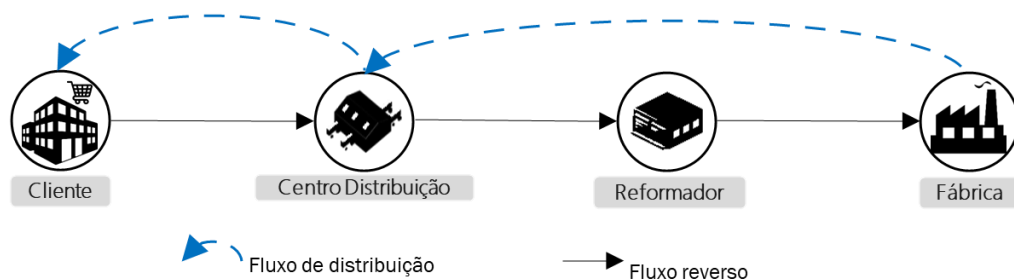
5 MODELO MATEMÁTICO

Conforme exposto no Capítulo 3, o problema de Pesquisa Operacional pode ser dividido em 6 etapas para a resolução segundo Passos (200), nesta seção serão abordadas as 5 primeiras. Para este estudo as etapas serão divididas em: Entendimento do Cenário, Coleta e Tratamento de Dados e Estruturação do Problema e Modelo Matemático.

5.1 Entendimento Do Cenário

A cadeia de paletes estudada neste trabalho se enquadra no fluxo reverso ao fluxo de distribuição de produtos, como exemplificado na Figura 4 a seguir. O palete é coletado nos clientes, retorna para o centro de distribuição mais perto, é direcionado para algum reformador de paletes e depois entregue à fábrica. A empresa, objeto de estudo, conta com 18 centros de distribuição, 15 reformadores, 27 unidades produtoras e um número de aproximadamente 300 mil paletes espalhados em todos os pontos da cadeia, sua maioria como pendência nos clientes ou estoque armazenado no reformador, em circulação ativa, cerca de 200 mil paletes.

Figura 4 – Fluxo de Distribuição e Fluxo Reverso (Autor, 2019)



Fonte – Autor, 2019

A definição de qual reformador receberá a carga de paletes ou qual reformador que atenderá a demanda da fábrica é definida pelo estoque posicionado em cada posto e uma avaliação do operador sobre qual é o menor custo para a operação. Não houve nenhum estudo prévio para tomada dessas decisões, ou seja, não há uma malha logística com a visão da cadeia inteira deste problema. O operador pode tomar a decisão correta do menor custo quando é avaliado apenas um dos arcos dessa operação, no entanto, o menor custo deste arco não necessariamente é o menor custo para toda a cadeia. O resultado deste trabalho será a obtenção do desenho da malha logística que englobe toda a operação e realize-a com o menor custo total. Este custo é composto pelo custo de frete do primeiro arco (centro de distribuição para reformador), custo de reforma de cada

reformador e o custo de frete do segundo arco (reformador para a unidade produtora).

5.2 Coleta e Tratamento Dos Dados

Os dados necessários para a resolução deste problema foram fornecidos pela empresa. O custo de frete de cada arco possível na operação, o custo da reforma unitário do palete e a quantidade de paletes que devem compor uma carga (passo ou lote) são dados que não necessitaram de tratamento. A capacidade de expedição de paletes de cada centro de distribuição, a capacidade de armazenamento de cada reformador, a capacidade de armazenagem da unidade produtora e sua demanda de paletes foram obtidos a partir dos dados históricos dos últimos seis meses.

As informações obtidas historicamente foram tratadas conforme os parâmetros de *input* do *software* de resolução utilizado. Para a capacidade de expedição dos centros de distribuição e para a demanda de paletes de cada fábrica, foi necessário definir uma quantidade máxima e mínima para gerar um intervalo de possibilidades. Já para a capacidade de armazenagem dos reformadores e das unidades produtoras, um valor fixo e o desvio padrão aceitável foi suficiente.

O tratamento dos dados foi inicialmente igual para os dois casos: avaliando os dados de todos os meses para cada unidade, os *outliers* foram retirados. Para os *inputs* de armazenagem uma média aritmética dos meses restantes foi realizada. Já para os dados de expedição e de demanda, foi necessário o *input* do desvio padrão aceitável para os dados e um intervalo com limite inferior e superior múltiplo de 550 (ocupação máxima do veículo utilizado na operação). Este intervalo – ao invés de um número fixo – proporciona uma maior possibilidade de um resultado ótimo para o cenário proposto.

Neste estudo, todos os estoques iniciais (centro de distribuição, reformador e unidade produtora) serão considerados como zero, pois como o estoque é um número muito variável de dia para dia, fixar o seu valor poderia distorcer o cenário real do problema em questão.

Em um problema de múltiplas instalações, para se calcular o custo de movimentação de produtos no Brasil é necessário levar em consideração o ICMS (Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços). No entanto, este imposto é

válido apenas para produtos acabados que estão sendo movimentados para a venda. A movimentação de paletes como logística reversa, considerando a sua reforma, não se classifica como tal, pois é considerado como movimentação de um ativo da empresa. Sendo assim, o ICMS neste estudo não será levado em consideração como um custo adicional no desenho da malha logística.

5.3 Estruturação Do Problema e Modelo Matemático

Para a construção do modelo matemático, será necessário definir a função objetivo do problema e as suas restrições. Neste estudo, o objetivo é chegar no valor mínimo possível de gasto com a movimentação e reforma dos paletes. Esse gasto é composto pelos fretes, sendo eles, o frete da perna do Centro de Distribuição (CD) até o Reformador (REF) e o frete do Reformador (REF) para a Unidade Produtora (UP) e o custo da reforma do palete que varia de reformador para reformador. Portanto, a função objetivo será minimizar a soma de custo de frete dos arcos CD para REF e REF para UP e do valor de reforma de cada REF. O passo, ou lote, será de 550 paletes (ocupação máxima do veículo utilizado nesta operação). Neste caso, as variáveis de decisão serão a quantidade de lotes que irão ser movimentados em cada possível arco das duas pernas da operação.

As restrições do problema foram definidas conforme as dificuldades encontradas no dia-a-dia desta operação e serão resumidas em três, todas contempladas pelos dados inseridos no programa de resolução:

1.A quantidade total de paletes enviada de um CD para os REFs tem que ser menor ou igual a capacidade de expedição deste CD;

2.A quantidade recebida de paletes em um REF tem que ser menor ou igual a capacidade de armazenagem deste REF;

3.A quantidade de paletes enviadas para uma UP tem que ser maior ou igual a sua demanda e menor do que a capacidade de armazenamento desta UP.

Optar pelo atendimento parcial das restrições definidas no modelo matemático possibilita a solução deste cenário de forma mais rápida e com um algoritmo de menor complexidade. Caso fosse necessário o atendimento total do cenário desenhado, o tempo de processamento seria mais elevado devido à grande quantidade de interações necessárias para se alcançar o resultado ótimo. Devido a

essa limitação, foi inserido no programa de resolução um desvio padrão aceitável para cada parâmetro de restrição definido no modelo matemático, o que gera um intervalo de possibilidades de solução maior para o *software*. Esta limitação não gerou impacto no cenário prático, pois a capacidade de expedição, armazenagem ou a demanda – dentro do desvio padrão definido - poderiam ser negociadas com as unidades, caso elas não fossem atendidas pelo cenário proposto.

Definição das Variáveis:

$i: CD \ i = 1, \dots, 18$

$j: REF \ j = 1, \dots, 15$

$k: UP \ k = 1, \dots, 27$

Q_{ij} : quantidade de lotes de 550 paletes do arco CD para REF; $Q_{ij} \in \mathbb{Z}$;

Q_{jk} : quantidade de lotes de 550 paletes do arco REF para UP; $Q_{jk} \in \mathbb{Z}$;

C_{ij} : custo do arco CD para REF;

C_j : custo da reforma de 550 paletes em cada REF;

C_{jk} : custo do arco REF para UP;

E_i : capacidade de expedição de cada CD; $E_i \in \mathbb{Z}$;

A_j : capacidade de armazenagem de cada REF; $A_j \in \mathbb{Z}$;

A_k : capacidade de armazenagem de cada UP; $A_k \in \mathbb{Z}$;

D_k : demanda de cada UP; $D_k \in \mathbb{Z}$

Função Objetivo:

$$\text{Min } \sum_{i=1}^{18} C_{ij} \cdot Q_{ij} + \sum_{k=1}^{27} (C_{jk} + C_j) \cdot Q_{jk} \quad j = 1, \dots, 15$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^{15} Q_{ij} \leq E_i \quad i = 1, \dots, 18$$

$$\sum_{i=1}^{18} Q_{ij} \leq A_j \quad j = 1, \dots, 15$$

$$D_k \leq \sum_{j=1}^{15} Q_{jk} < A_k \quad k = 1, \dots, 27$$

$$Q_{ij} \geq 0 \text{ e } Q_{jk} \geq 0$$

6 RESULTADOS

Como resultado do processamento de dados, o OTIMIX (*software* utilizado para a resolução do cenário), gerou uma malha logística de menor custo total para o atendimento da cadeia de paletes. Mesmo a demanda total sendo calculada em 210.100 paletes e a movimentação proposta ser de 207.900 paletes, todas as restrições (expedição dos centros de distribuição, armazenagem dos reformadores, capacidade e demanda das unidades produtoras) foram atendidas dentro do desvio padrão proposto e respeitando o lote de 550 unidades.

A malha proposta pelo programa de resolução considerou todas as unidades como parte da rede, os 18 centros de distribuição, os 15 reformadores e as 27 unidades produtoras, no entanto, dentro das 105 possibilidades de arcos (considerando a disponibilidade de frota da empresa em questão), esta malha realizaria apenas 57.

Em comparação com os três últimos meses dessa operação na data de coleta dos dados, a malha logística otimizada movimentaria 10% a mais de paletes com um custo total de 13% a menos. O que implicaria em R\$1,77 a menos por palete na operação e um nível de atendimento da demanda mensal de aproximadamente 10 pontos percentuais a mais. Isso representa um melhor atendimento da demanda de paletes das unidades produtoras com um custo mais reduzido do que o praticado.

O estudo e os resultados obtidos foram apresentados a empresa, porém, não foram aplicados. Outras movimentações internas na gestão de paletes estavam sendo realizadas paralelamente, e quando o estudo foi proposto, o cenário atual já não era o mesmo utilizado para a simulação. Com as outras ações realizadas pela empresa, o R\$/palete teve uma redução, mas nenhuma tão significativa quanto a proposta pelo redesenho da malha logística. Quando o cenário de gestão de paletes

se estabilizar novamente, a empresa possivelmente queira fazer um novo estudo da malha da operação vigente.

7 CONSIDERAÇÕES

A malha logística interfere diretamente no custo da operação de transportes, principalmente se o modal utilizado é o rodoviário. A primeira versão da malha deve ser desenhada na etapa de planejamento do projeto de rede, mas deve ser revista periodicamente para se adequar às mudanças internas e externas à empresa. Quanto mais complexa for a cadeia em questão, com mais frequência deveria ser feita a revisão da malha.

O redesenho da operação pode ser feito por meio da Pesquisa Operacional e pelo desenvolvimento do modelo matemático. Para obter os resultados corretos e adequados do cenário, as variáveis, a função objetivo e as restrições do modelo matemático devem estar de acordo com o cenário real. O tratamento dos dados que servirão como fonte para a resolução do problema também tem que ser adequado para que os *inputs* sejam o mais próximo possível da realidade. Além disso, a escolha do programa de resolução também é relevante: deve ser levado em consideração o tamanho do algoritmo gerado pelo modelo matemático para escolher um programa com capacidade o suficiente para seu processamento no tempo desejado.

Neste trabalho foi evidenciado como este redesenho da operação é relevante nos custos de transporte e como a pesquisa operacional pode trazer múltiplos benefícios à empresa, como a redução de custos, o aumento da eficiência do processo e em consequência, da competitividade empresarial. Vale ressaltar também os benefícios gerados pela logística reversa: o retorno de embalagens, o reuso de material e o *marketing* social atrelado à empresa devido a este processo.

REFERÊNCIAS

AMARAL, I.; BONATO, S. V.; PEREIRA JUNIOR, E. F. Z.; SCHROEDER, E. A.; ABRITA, N. O método MILK-RUN como estratégia para redução de custos logísticos: um estudo de caso. In: **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. 38., 2018, Anais eletrônicos. Maceió, 2018. p. 1-16.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**: Logística Empresarial. 5. Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.

BRANSKI R.M; FRANCO R.A.C.; LIMA JR O.F; Metodologia de Estudo de Casos Aplicada à Logística. **ANPET** (2010).

BRESSAN, M. B; OLIVEIRA T. F.A.; OLIVEIRA, W. S.; SAMPAIO, D. M.; BOTELHO, J. C. Utilização da pesquisa operacional para a maximização do rendimento de uma empresa de recapagem de pneus localizada em Marabá – PA. **ENEGEP**. Fortaleza, CE, Brasil 13 a 16 de outubro de 2015.

BLOG LOGÍSTICA, **O Redesenho da Malha Logística da Sua Empresa** .2014.

Não paginado. Disponível em: <<https://www.bloglogistica.com.br/mercado/o-redesenho-da-malha-logistica-da-sua-empresa/>>. Acesso em: 11 maio. 2019.

CARELLI, F. L.; FRAZZON, E. M.; TABOADA, C. M. Análise de opções de transporte para um Sistema de Logística Reversa de refrigeradores. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, v. 4, n. 5, p. 66-86, jul./dez. 2016.

CNI **Investimentos em Infraestrutura**. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/cni/canais/infraestrutura/>>. Acessado em: 27 abril. 2019.

FARIAS, E. S.; BORENSTEIN, D. Modelando o projeto logístico de uma indústria *multicommodity*. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 24, n. 1, p. 148-160, Apr. 2017.

FERRI, G. L.; CHAVES, G. L. D.; RIBEIRO, G. M. Análise e localização de centros de armazenamento e triagem de resíduos sólidos urbanos para a rede de logística reversa: um estudo de caso no município de São Mateus, ES. **Prod.**, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 27-42, mar. 2015.

GOMES J. A. C; SANTOS J. R.; BARBOSA, G. V. D.; CARVALHO, G.B. Aplicação de ferramenta computacional na otimização e mitigação de custos na roteirização da logística de transporte de cargas. **Brazilian Journal of Development**. Vol 5, No7 (2019).

GUAZZELLI, C. S.; CUNHA, C. B. Otimização multicritério para o problema de localização de centros de distribuição de uma empresa com unidade produtiva no Polo Industrial de Manaus. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 22, n. 3, p. 480-494, set. 2015.

ILOS **Custos Logísticos no Brasil**. Disponível em:

<<http://www.ilos.com.br/web/analise-de-mercado/relatorios-de-pesquisa/custos-logisticos-no-brasil/>>. Acesso em: 11 maio. 2019.

IPEA **Modal Rodoviário**. Disponível em:

<<http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/733>>. Acessado em: 16 nov. 2019.

LEBLANC, R. **Pallet Statistics**: Pallet Sizes Becoming More Standardized in the U.S. Market. [2018]. Disponível em: <<https://packagingrevolution.net/the-2-billion-pallet-man/>>. Acesso em: 16 nov. 2019.

LEITE, P. R. **Logística reversa**: meio ambiente e competitividade. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

MELO, M. T.; NICKEL, S.; SALDANHA-DA-GAMA, F. *Facility location and supply chain management: A review*. **European Journal of Operational Research**, 196(2), 2009.

MOREIRA, D. A. **Pesquisa operacional**: curso introdutório. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

NOVAES, A. G. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição**. 3. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

PASSOS, E. J. P. F. **Programação Linear Como Instrumento da Pesquisa Operacional**. 1. Ed. São Paulo: Atlas, 2008.

PEREIRA, A. A.; OLIVEIRA, M. A.; LEAL JR, I. C. Custo de transporte e alocação da demanda: análise da rede logística de uma produtora brasileira de fertilizantes nitrogenados. **J. Transp. Lit.**, Manaus, v. 10, n. 4, p. 5-9, Dec. 2016.

PEREIRA, W.I. **Pesquisa Operacional**: Ferramenta para a Competitividade. Revista Embanews. Out, 2009.

BRASIL. **Lei nº 12.305/10, de 2 de agosto 2010**, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Diário Oficial da União - Seção 1 - 3/8/2010, Página 3 (Publicação Original).

PRADO, D. S. **Programação Linear**. 1. Ed. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999.

SELLITTO, M. A. *Reverse logistics activities in three companies of the process industry*. **Journal of Cleaner Production**, v. 187, p. 923-931, jun. 2018.

SILVA, M. B; BONATO, S.V; ABRITA N. F. M; PEREIRA JUNIOR, E. F. Z. Análise do Retorno de Paletes e Chapatex em Empresas de Bebidas. **Rev. Lat.-Am. Inov. Eng. Prod.** V 7 n.11 p.68 -81, Julho, 2019.