



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ISABELA MARIA SEVERO DO NASCIMENTO

**MODELO DE OTIMIZAÇÃO PARA ALOCAÇÃO DE
CARGAS PORTUÁRIAS: Um estudo em uma empresa de
acumuladores elétricos**

Caruaru

2019

ISABELA MARIA SEVERO DO NASCIMENTO

**MODELO DE OTIMIZAÇÃO PARA ALOCAÇÃO DE
CARGAS PORTUÁRIAS: Um estudo em uma empresa de
acumuladores elétricos**

Trabalho de conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de produção.

Área de concentração: Pesquisa Operacional

Orientador: Prof^o. Dr. José Leão e Silva Filho

Coorientador: Prof^{fa}. Dra. Maisa Mendonça Silva

Caruaru
2019

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Paula Silva - CRB/4 - 1223

N244m Nascimento, Isabela Maria Severo do.
Modelo de otimização para alocação de cargas portuárias: um estudo em uma empresa de acumuladores elétricos. / Isabela Maria Severo do Nascimento. - 2019. 51 f.; il.: 30 cm.

Orientador: José Leão e Silva Filho
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia de Produção, 2019.
Inclui Referências.

1. Logística. 2. Pesquisa operacional. 3. Transporte em containers. 4. Algoritmos genéticos. I. Silva Filho, José Leão e (Orientador). II. Título.

CDD 658.5 (23. ed.) UFPE (CAA 2019-291)

ISABELA MARIA SEVERO DO NASCIMENTO

**MODELO DE OTIMIZAÇÃO PARA ALOCAÇÃO DE
CARGAS PORTUÁRIAS: Um estudo em uma empresa de
acumuladores elétricos**

Trabalho de conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de produção.

Aprovada em: 10/12/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr José Leão e Silva Filho (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^ª. Dra. Marina Dantas de Oliveira Duarte (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Thyago Celso Cavalcante Nepomuceno (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

RESUMO

A pesquisa operacional é amplamente utilizada para solução de problemas reais de otimização que por sua vez geram para as organizações, redução de custos e/ou aumento de lucro. Neste sentido, a programação matemática de situações reais permite analisar quais principais objetivos do problema e quais restrições geram maior impacto nesses resultados. Este trabalho foi desenvolvido no setor de transportes e operações logística de uma indústria de acumuladores elétricos e tem como objetivo desenvolver um modelo de programação matemática, capaz de suportar a tomada de decisão de quantos e quais containers carregar e em qual dia realizar esta operação, visando redução de custos logísticos. O trabalho incorporou conceitos clássicos da logística, gestão de estoques, gestão de transportes, pesquisa operacional, e algoritmos genéticos a fim de utilizar tais conceitos na otimização dos resultados. Selecionou-se uma unidade de recebimento padrão para validar o modelo e em seguida houve a expansão para as demais unidades de recebimento da organização estudada. Com a definição e expansão do modelo estudado validados, espera-se que o presente trabalho possa ser uma ferramenta no planejamento do carregamento objetivando reduzir os custos de armazenagem e atendendo às prioridades das cargas.

Palavras-chave: Logística. Pesquisa operacional. Transporte de containers. Algoritmos genéticos.

ABSTRACT

Operational research is widely used to solve real optimization problems that in turn generate for organizations, cost reduction and or profit increase. In this sense, the mathematical programming of real situations allows us to analyze what the main objectives of the problem are and which constraints have the greatest impact on these results. This work was developed in the transportation and logistics operations sector of an electric accumulator industry and aims to develop a mathematical programming model, able to support the decision of how many and which containers to load and which day to perform this operation, aiming at reducing logistics costs. The work incorporates classic concepts of logistics, inventory management, transportation management, operational research, and genetic algorithms in order to use these concepts to optimize results. A standard receiving unit was selected to validate the model and then expanded to the other receiving units of the organization studied. With the definition and Expansion of the studied model validated, it is expected that the present work can be a tool in the planning of loading, aiming to reduce storage costs and meeting the priorities of the loads.

Keywords: Logistics. Operational research. Shipping containers. Genetic algorithms.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1- Triângulo do planejamento atividades de logística | 16 |
| Figura 2- Cadeia de suprimentos | 19 |
| Figura 3- Gestão da cadeia de suprimentos | 20 |
| Figura 4- Algoritmo simplex | 22 |
| Figura 5- Exemplo de rede | 23 |
| Figura 6- Problema de transporte | 24 |
| Figura 7- Algoritmo genético | 25 |
| Figura 8- Etapas da pesquisa | 29 |
| Figura 9- O processo de construção de modelos | 29 |
| Figura 10-Fluxo logístico | 31 |
| Figura 11- Modelo de planilha de alimentação de dados | 32 |
| Figura 12- Nova interface de acesso aos dados | 37 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1- Exemplo programação semanal..... | 38 |
| Tabela 2- Resultado para exemplo de programação semanal..... | 39 |
| Tabela 3- Resultado diminuindo uma data de liberação..... | 40 |
| Tabela 4- Resultao nova função objetivo | 42 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 10 |
| 1.1 | JUSTIFICATIVA | 13 |
| 1.2 | OBJETIVOS..... | 13 |
| 1.2.1 | <i>Objetivo geral</i> | 13 |
| 1.2.2 | <i>Objetivos específicos</i> | 13 |
| 1.3 | ESTRUTURA DO TRABALHO | 14 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 15 |
| 2.1 | LOGÍSTICA..... | 15 |
| 2.1.1 | <i>Estratégia de estoque</i> | 16 |
| 2.1.2 | <i>Estratégia de transporte</i> | 17 |
| 2.2 | CADEIA DE SUPRIMENTOS..... | 18 |
| 2.2.1 | <i>Gestão da cadeia de suprimentos</i> | 19 |
| 2.3 | PESQUISA OPERACIONAL | 20 |
| 2.3.1 | <i>Tipos de programação</i> | 21 |
| 2.3.2 | <i>Algoritmos evolucionários ou genéticos</i> | 25 |
| 2.4 | COSIDERAÇÕES FINAIS | 26 |
| 3 | METODOLOGIA | 28 |
| 3.1 | CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA | 28 |
| 3.2 | COLETA DE DADOS | 28 |
| 3.3 | ETAPAS DA PESQUISA..... | 28 |
| 4 | ESTUDO DE CASO | 30 |
| 4.1 | DESCRIÇÃO DA EMPRESA | 30 |
| 4.2 | DESCRIÇÃO DO PROBLEMA | 30 |
| 4.3 | FORMULAÇÃO MATEMÁTICA GENÉRICA DO PROBLEMA..... | 33 |
| 5 | SIMULAÇÃO NUMÉRICA | 37 |
| 5.1 | SIMULAÇÃO FUNÇÃO OBJETIVO DE MINIMIZAÇÃO | 38 |
| 5.2 | SIMULAÇÃO FUNÇÃO OBJETIVO DE MAXIMIZAÇÃO | 40 |
| 5.3 | DISCUSSÕES..... | 42 |
| 6 | CONCLUSÃO | 44 |
| 7 | TRABALHOS FUTUROS | 45 |
| | REFERÊNCIAS | 46 |
| | APÊNDICE A – FLUXOGRAMA RESUMIDO DO PROCESSO DE IMPORTAÇÃO | 49 |

APÊNDICE B – FLUXOGRAMA DA PROGRAMAÇÃO DIÁRIA/SEMANTAL DE TRANSPORTE50

APÊNDICE C – FLUXOGRAMA REVISADO DA PROGRAMAÇÃO DIÁRIA/SEMANTAL DE TRANSPORTE51

1 INTRODUÇÃO

A logística mundial, ano após ano vem crescendo vertiginosamente. A alta demanda de estruturas, velocidade e segurança na realização das demandas do consumidor, fez com que o ritmo mudasse rapidamente de passos, para passadas largas em uma direção em que grande parte das organizações objetivam a total satisfação do cliente. Infelizmente o Brasil não tem acompanhado esse ritmo: estudos realizados pela Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2015), mostram que apenas 2,27% do PIB brasileiro, foram gastos com infraestrutura entre 2011 e 2014, inviabilizando o Brasil acompanhar o desenvolvimento logístico frente a países que investem mais em tal área.

No entanto, não apenas a falta de investimento em infraestrutura logística é fonte de preocupação. Um levantamento realizado pelo *The Global Competitiveness Report 2011-2012* mostra o Brasil em 83º lugar dentre 142 países quando comparado entre os pilares: qualidade e envolvimento dentro das instituições, infraestrutura, ambiente macroeconômico, saúde e educação primária. Tais dados ratificam a condição atual da logística nacional, onde há grandes lacunas a serem superadas e um vasto caminho de oportunidades na busca da excelência das operações logísticas. Tudo isso se agrava quando trata-se de um país com dimensões tão extensas como o Brasil, e a excelência na logística se torna um alvo cada vez mais distante, pois não há uma único foco de movimentação da economia, mas sim cada região contribui com uma atividade diferente.

Historicamente, o Brasil é conhecido por ser um país agropecuário, mas há tempos que a visão de homem do campo que produz apenas para si e sua família caiu por terra. Atualmente grande parte da economia nacional é movimentada pela exportação de produtos agropecuários, a saber: soja, minérios de ferro e relacionados, óleo bruto de petróleo ou de minerais betuminosos, cana de açúcar e seus derivados. Dados da Divisão de Estatística das Nações Unidas (banco de dados COMTRADE, 2014-2017) mostram que o Brasil tem a 22º maior economia de exportação do mundo e ocupa o 37º lugar na economia mais complexa de acordo com o Índice de Complexidade Econômico (ICE). Em 2017, o Brasil exportou cerca de US\$ 219 Bilhões; no entanto, desde 2012 este número vem decrescendo, o que impacta diretamente na economia nacional, uma vez que os itens mais exportados são os que compõe a base da economia nacional.

Mesmo sendo considerado um país exportador, o Brasil também tem um grande potencial na importação, já que em 2017 assumiu a posição de 31º maior importador do mundo com importações de cerca de US \$ 140 Bilhões, dado que quando relacionado com os

valores exportados neste mesmo ano, resultam em um saldo comercial positivo de US \$ 78,3 Bilhões. Apesar dos valores apresentados serem positivos, também na importação é notada uma queda desde 2012. Dentre os produtos mais importados estão: Óleos não brutos de petróleo e minerais betuminosos, partes e acessórios de veículos, circuitos integrados e micro conjuntos eletrônicos, medicamentos, entre outros (Dados da Divisão de Estatística das Nações Unidas (banco de dados COMTRADE, 2014-2017).

Segundo informações do MDIC (ministério da indústria, comércio exterior e serviços) (alicesweb), realizando a análise de dados brasileiros dos anos de 2005 a 2010, as exportações via transporte marítimo representaram cerca de 82% do volume total de exportação nacional. Entre 2009 e 2010 as exportações nacionais aumentaram 32%, e as exportações via modal marítimo cresceram a uma taxa de 34%. Dados sobre a importação analisados no período de 2005 a 2010, mostram que o modal marítimo também possui uma considerável importância das importações por transporte marítimo sendo estas representadas por aproximadamente 70% das importações totais. Entre 2009 e 2010 nota-se um crescimento de 42% nas importações totais e cerca de 48% nas importâncias via marítima.

Diante dos dados apresentados, é notório portanto que o modal de transporte mais utilizado para importações e exportações é o marítimo; entretanto, em um país com dimensões continentais como o Brasil, o transporte marítimo não acontece isolado dos demais mas sim trabalha em conjunto com o transporte ferroviário e rodoviário para escoar a produção nacional e introduzir na economia os insumos trazidos de fontes externas ao país. Sendo assim a manutenção das condições básicas para atuação desses modais de transporte é fundamental para que a logística e conseqüentemente a balança comercial esteja sempre positiva. Entende-se por condições básicas desses modais a estrutura física de ferrovias e rodovias, bem como a segurança nas mesmas e a eficiência nos portos diretamente relacionado ao número de berços, ou seja, posições de atracação do navio.

É importante destacar que apesar do transporte marítimo ser o ponto focal nas importações e exportações, o transporte rodoviário tem um papel fundamental nas operações logísticas que envolvem o ambiente portuário. Dados da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT, 2006) mostram que o transporte rodoviário absorve cerca de 61% de todas as movimentações de carga no Brasil, por possuir uma alta abrangência, ou seja, alcançar diversos pontos no mapa, por mais extremos que sejam. No entanto, de uma forma geral, o transporte rodoviário tem diversos pontos de melhoria a serem atacados como: otimização de ocupação de veículos, otimização de rotas, análise de custos, planejamento de manutenção, entre outros.

De uma forma geral, uma logística de qualidade é representada por entregar o produto correto, na qualidade esperada e dentro do prazo pretendido, estes sendo os principais pontos de atenção de um operador logístico e ao mesmo tempo são grandes desafios quando estão atrelados ao transporte rodoviário e suas incertezas. Para que o transporte atenda as exigências citadas, dentre vários requisitos, o gerenciamento do fluxo de informações é crítico uma vez que é através de um fluxo de comunicação de informações procedimentado e claro, que as informações são assertivas para uma melhor tomada de decisão.

Segundo Audy et al. (2005), a informação deve ser: Precisa, completa, econômica, flexível, confiável, relevante, clara, veloz, verificável, acessível e segura. Garantido a existência dessas características assegura-se ter uma informação de qualidade. A transmissão de informações dentre os diversos setores que envolvem a importação/exportação é de fundamental importância para que o processo seja embarcado, nacionalizado, transportando e armazenado de maneira eficiente. Com isso, quão maior a qualidade da informação melhor será a performance de toda a cadeia responsável pelo processo. Um caminho para assegurar que a informação será de qualidade, é a redução da intervenção humana quanto a alimentação dessas informações, pois quanto maior o envolvimento humano em operações que tratam de dados e informações, maior o leque de oportunidades de interpretações diferentes, erros de digitação/alimentação, entre outros.

Neste contexto, percebe-se que para se obter uma operação logística portuária de excelência, não basta apenas colocar a carga dentro do navio ou retirar a carga do navio, pois existem diversos fatores entre importador e exportador citados anteriormente que impactam diretamente no fluxo e conseqüentemente, diversas fontes de oportunidade de melhoria, redução de tempo e custo.

O presente trabalho voltar-se-á para a automatização do processo decisório do transporte de cargas portuárias de importação visando a minimização de custos através da implementação de modelos matemáticos para essa automatização. Como consequência da automatização e a minimização da interferência humana no processo decisório, o trabalho visa obter uma padronização no fluxo de informações, garantindo assim que as informações sejam repassadas de forma mais assertiva possível.

1.1 JUSTIFICATIVA

Atualmente no ambiente corporativo existem diversas ferramentas para armazenagem, tratamento, gerenciamento e divulgação de informações, dentre elas, as planilhas são as mais utilizadas, por possuírem acesso fácil e uma interface amigável para grande parte dos usuários, porém esta ferramenta, quando utilizada apenas como um banco de dados, está subutilizada e possui limitações quando a atividade a qual está relacionada possui um grande volume de dados a serem tratados exclusivamente através da ação humana e especialmente quando esses dados são *inputs* para informações que auxiliam em tomadas de decisão envolvendo prazos e custo.

O presente tem como proposta construir e simular através da programação matemática um modelo de sequenciamento no transporte de cargas, que garanta que o sequenciamento considerará as restrições pré-dispostas: capacidade de recebimento, prioridade no carregamento, prazo de carregamento, entre outras. Sendo a programação matemática comumente utilizada em problemas onde possui um objetivo a ser atendido e recursos limitados para atendê-lo, este foi o método utilizado no presente trabalho para formular o modelo teórico para o sequenciamento das cargas. O modelo teórico por sua vez foi aplicado e validado em Microsoft Excel®, escolheu-se este software por já ser utilizado na rotina de programação de carregamento sendo portanto mais fácil a implementação do modelo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Propor um modelo que realize o sequenciamento de cargas a serem transportadas garantindo que o transporte de containers atenda as restrições de capacidade, demanda, prazo a fim de minimizar os custos portuários.

1.2.2 Objetivos específicos

- Construir uma interface que permita o fácil acesso aos dados atualizados sobre as cargas que estão no porto.
- Construir um modelo matemático que forneça o sequenciamento de cargas que atenda tanto ao objetivo de minimizar custo quanto as restrições do ambiente estudado.
- Simular numericamente o modelo proposto utilizando cenários reais avaliando a implementação em uma unidade de recebimento.
- Desenhar o fluxo de informações entre os setores responsáveis pelo processo, envolvendo cliente e fornecedores, internos e externos.

- Melhorar o fluxo de informações na programação de carregamento.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho possui a seguinte estrutura:

Capítulo 1- Onde é apresentado o contexto geral em que a problemática do estudo está inserida bem como a principal motivação e os objetivos, geral e específicos;

Capítulo 2- É realizada uma revisão da literatura destacando autores sobre os principais temas abordados no estudo estabelecendo assim a fundamentação teórica do trabalho;

Capítulo 3-É apresentada a metodologia de pesquisa utilizada, onde são definidas as etapas do trabalho e os métodos utilizados;

Capítulo 4-É feita descrição da empresa a qual o estudo será aplicado, assim como é realizado o detalhamento acerca da atividade atual seus impactos e suas restrições bem como a construção do modelo teórico a ser implementado;

Capítulo 5- São demonstrados os resultados da aplicação do modelo teórico e levantadas discussões acerca de quais tomadas de decisões são possíveis a partir das informações obtidas do modelo;

Capítulo 6- São apresentadas as considerações finais sobre o estudo, são expostas suas limitações e sugestões de trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 LOGÍSTICA

A prática da logística é dada desde que o homem deixou de consumir apenas os produtos produzidos em sua região para consumir produtos originários de outras diversas regiões, surgindo assim a necessidade de transporte, movimentação e armazenagem de diversos tipos de produtos para que os mesmos estivessem disponíveis para troca.

Uma definição formal, dicionarizada de logística é: “O ramo da ciência militar que lida com a obtenção, manutenção e transporte de material, pessoal e instalações.” (New York: Black Dog & Leventhal Publishers, 1993), pág 590.

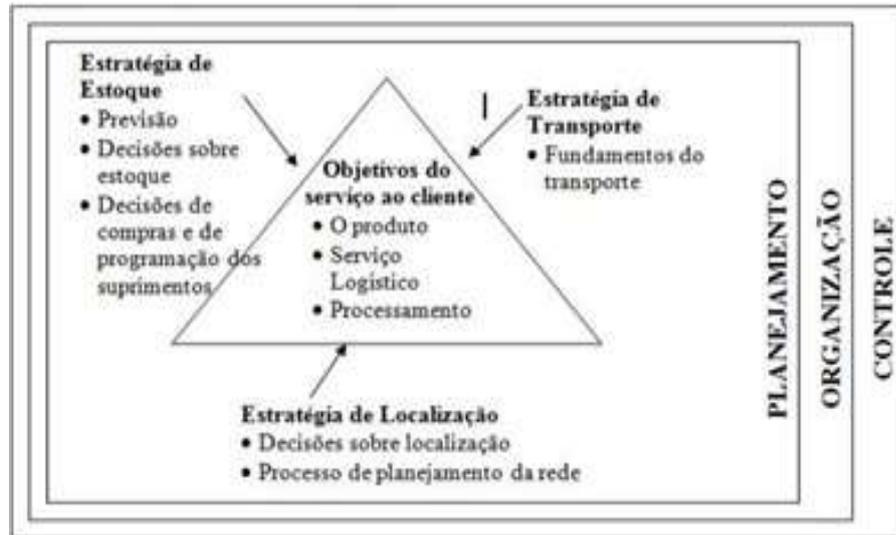
Esta é uma definição militar para o termo onde no tempo em que a mesma foi criada a logística era aplicada com o foco em manter os suprimentos necessários para as tropas durante as batalhas. Atualmente a logística não possui objetivos tão diferentes da “logística militar”, o foco continua sendo em obter, transportar e manter porém as definições de logística foram atualizadas devido as diversas áreas envolvidas no conceito que deixa de ser apenas logística para denominar-se como logística empresarial.

Segundo o Council of Logistics Management(2013) a definição de logística passa a ser:

Logística é o processo de planejamento, implantação e controle do fluxo eficiente e eficaz de mercadorias, serviços e das informações relativas desde o ponto de origem até o ponto de consumo com o propósito de atender às exigências dos clientes[...]. Supply Chain Management Terms and Glossary,2013, pág, 177.

Tal definição explicita que a logística vai além de transporte de cargas e armazenamento das mesmas, envolve muitos outros fatores como fluxo de informações, planejamento das operações e o principal quesito adicionado a esta definição, diferentemente da definição militar, é o foco em atender as exigências dos clientes que vai além de apenas receber o bem ou serviço, mas sim recebe-lo na qualidade certa, dentro do prazo estabelecido. Esta definição pode ser representada pela Figura 1, que indica que a logística trabalha em três grandes estratégias ambas convergindo em serviço ao cliente. Para o presente trabalho no tocante às estratégias da logística, abordar-se-á as frentes de estratégia de estoque e estratégia de transporte.

Figura 1- Triângulo do planejamento atividades de logística



Fonte: Ballou, 2006

2.1.1 Estratégia de estoque

A estratégia de estoque ou gestão de estoque tem como desafio disponibilizar o produto quando necessário sem que os custos para obter e manter esses estoques sejam elevados ao ponto de não se obter uma relação custo benefício favorável. Segundo Ballou, 2006 existem razões a favor e contra estoques:

A favor:

- Melhoria do nível de serviço ao cliente, ou seja, garantir a disponibilidade do produto final ao cliente ou matéria prima aos processos produtivos.
- Redução de custos em larga escala, uma vez que através dos estoques que consegue-se economias por compras em volume, compras antecipadas.

Contra:

- Estoques em excesso são ativos da organização que estão parados, logo, um desperdício.
- Estoques elevados muitas vezes escondem ineficiências dos processos produtivos que impactam diretamente no nível de serviço do atendimento à demanda, sendo assim como forma de prevenir as incertezas dos processos manter estoques a mais do que o necessário.
- Estoques não geram valor agregado aos produtos.

Neste sentido, estoques são considerados um “mal necessário” nas organizações, pois apesar de garantir um elevado nível de serviço, a manutenção de estoques imobiliza capital da

organização e não geram valor agregado ao produto, sendo assim uma oportunidade de redução de custos nas indústrias. No presente estudo, falar-se-á de um tipo de estoque conhecido como estoque em trânsito, segundo Vieira (2009) São estoques que estão no canal, ou seja, em trânsito entre os elos do canal de suprimentos. No ambiente estudado estoque em trânsito são as cargas que estão armazenadas no porto ou ainda embarcadas em navios que são “contabilizadas” no cálculo de disponibilidade de estoque para a produção.

O estoque em trânsito apesar de não representar fisicamente um estoque parado aguardando para entrar na linha de produção ou aguardando venda, é um estoque que consome capital e que absorve custo de manutenção. No tocante aos custos de cargas portuárias, cargas que utilizam o modal marítimo e precisam passar por atividades portuárias, são custos elevados que não geram diretamente valor algum do ponto de vista do consumidor. Logo, quanto menor o custo com tais estoques melhor será para a organização.

Dentre os custos da operação portuária os mais impactantes para a organização em questão são os baseados no tempo em que a carga passa armazenada no terminal, podendo serem denominados de custo de manutenção de estoque. Seja ele o custo de armazenagem, que é uma despesa calculada com base na quantidade de dias que cada carga passou armazenada no terminal marítimo, ou o custo de demurrage, que é o custo por utilização do container além da quantidade de dias contratada junto ao armador. Tais custos são considerados custos extras para a operação logística, uma vez que os mesmos são diretamente relacionados a eficiência da operação de liberação frente a receita federal e retirada das cargas do porto. Esta eficiência está atrelada a dois principais fatores: disponibilidade de recebimento da fábrica e fluxo de informações entre as áreas envolvidas no processo compra, importação, planejamento, almoxarifado, venda e transporte destas cargas.

2.1.2 Estratégia de transporte

Assim como a gestão de estoque, a gestão do transporte é responsável por administrar os custos de uma atividade que não gera valor ao consumidor e além disso em Ballou 2006, pode-se observar a seguinte afirmação: “A movimentação de cargas absorve de um a dois terços dos custos logísticos totais” considerando tais perspectivas quanto menor o custo com esta operação mais rentável é para a organização.

Existem diversos modais de transporte de cargas na logística, são eles: Marítimo, ferroviário, rodoviário, aéreo e dutoviário. No Brasil o mais utilizado é o modal rodoviário, apesar de ser conhecido pelo modal mais caro por quilômetro rodado, é o modal com maior abrangência no território nacional conseguindo realizar entregas em pontos extremos do país.

Apesar do modal rodoviário ser o mais utilizado, o mesmo não atua isoladamente em diversas situações, sendo necessário uma atuação intermodal para que a logística de transporte seja completada, uma das molas propulsoras para que as operações intermodais aconteça é o comércio internacional, que estimula o transporte de entradas e saídas de matérias primas e produtos acabados no país. Tal operação necessita dos modais marítimos, rodoviário e por vezes aéreo para escoar a produção ou introduzir insumos no país.

Na empresa estudada a operação de transportes mais utilizada é a operação intermodal marítimo-rodoviário.

O modal marítimo, é utilizado para realizar o transporte interestadual e internacional de cargas.

- Interestadual: Para escoamento de vendas nacionais e logística reversa de acumuladores inservíveis.
- Internacional: Para escoamento de compras importação e vendas de exportação.

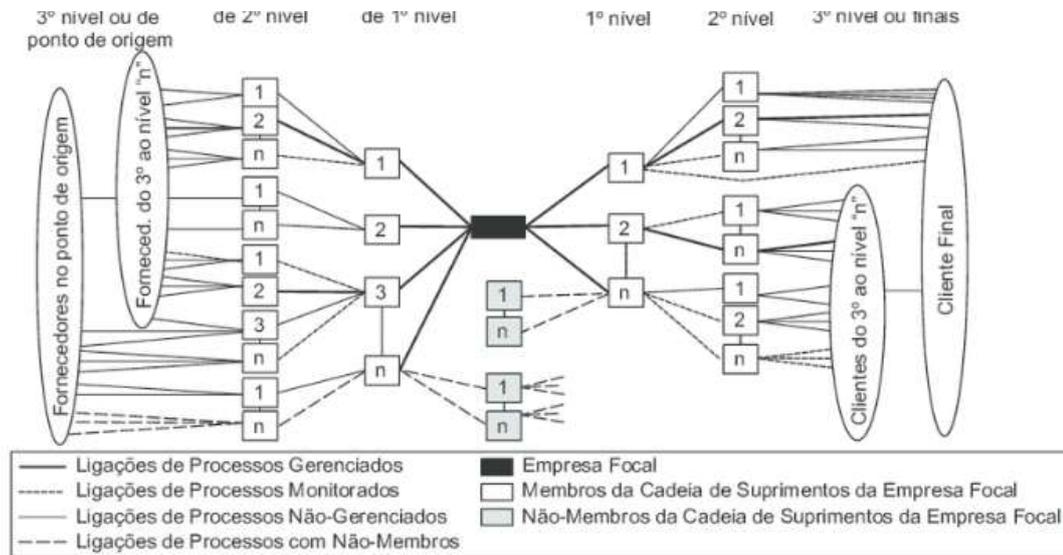
O modal rodoviário é utilizado para realizar o transporte das cargas entre o porto de origem/destino e as plantas fabris. Mediante o descrito sobre logística, gestão de estoques e gestão de transportes, não há como considerar tais pontos como isolados, ambos estão correlacionados impactando assim a performance uns dos outros, o que direciona ao contexto de gestão da cadeia de suprimentos.

2.2 CADEIA DE SUPRIMENTOS

Uma cadeia de suprimentos consiste em todas as partes envolvidas, direta ou indiretamente, na realização do pedido de um cliente. Ela inclui não apenas o fabricante e os fornecedores, mas também transportadoras, armazéns, varejistas e até mesmo os próprios clientes. CHOPRA, 2011, pág.3.

A principal característica que diferencia logística e cadeia de suprimentos é a interação extra organizacional onde a cadeia de suprimentos vai além do gerenciamento da movimentação de materiais da organização até o “cliente primário”, a cadeia de suprimentos enxerga cada elo da cadeia como um colaborador em termos de manutenção do fluxo de materiais, financeiro e de informações. A figura 3 traz uma representação da diferença entre o fluxo da logística e o fluxo da cadeia de suprimentos, mostrando os elos da cadeia, bem como suas ligações e responsabilidades de cada elo.

Figura 2- Cadeia de suprimentos



Fonte: Lambert et al., 1998

2.2.1 Gestão da cadeia de suprimentos

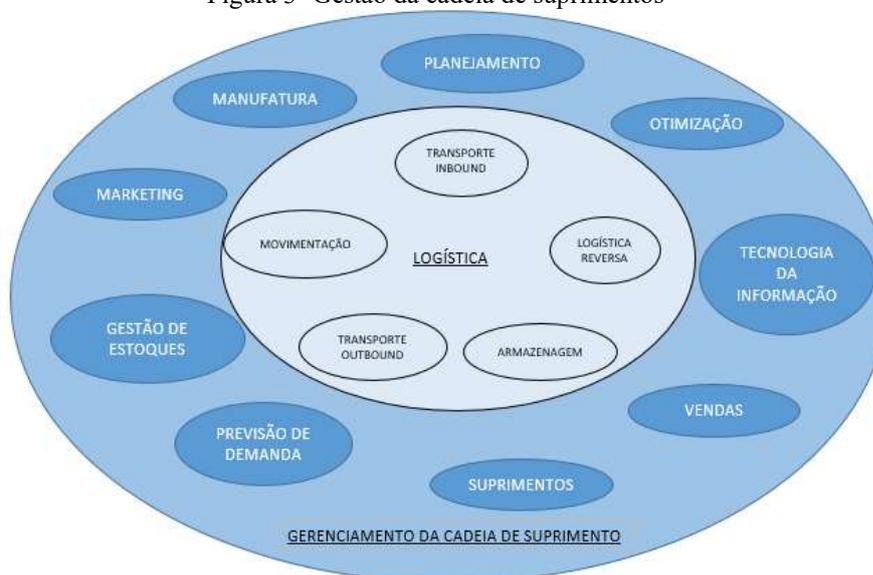
SCM é a integração dos processos de negócios desde o usuário final até os fornecedores originais (primários) que providenciam produtos, serviços e informações, que adicionam valor para os clientes e stakeholders". (Global Supply Chain Forum, citado por Pires, 2004).

Apesar de alguns autores considerarem logística e cadeia de suprimento como sinônimos, o conceito de gestão cadeia de suprimentos vai além do conceito de logística, que consiste em gerenciar o fluxo de materiais e informações dentro de um negócio, o conceito de cadeia de suprimentos, abrange os processos de entidades extra organizacionais, o que representa uma complexidade maior em termos de gerenciamento a figura 3 representa essa diferença de complexidade e áreas envolvidas na logística e na gestão da cadeia de suprimentos. Apesar do aumento da complexidade no gerenciamento, uma boa gestão representa ganhos em escala a medida que toda a cadeia está focada em construir e manter um fluxo virtuoso.

De maneira geral, a gestão da cadeia de suprimentos é responsável por coordenar todas as ações necessárias para que as necessidades dos clientes sejam atendidas, como muitas vezes as necessidades dos clientes são conflitantes com o objetivo das organizações que é de aumentar a sua taxa de lucratividade, se faz necessário que custos e despesas que não agregam valor ao cliente sejam eliminados ou amenizados para que a empresa consiga se manter competitiva no mercado, então é através do planejamento e gerenciamento de todos os elos envolvidos na

cadeia que se é capaz de atingir os melhores resultados em termos de eliminação de atividades não agregadoras de valor. Bons exemplos de gerenciamento da cadeia de suprimentos são empresas em que estruturam desde sua localização até a imagem que quer transmitir ao seu cliente final, pensando estrategicamente em cada elo de sua cadeia, seja, fornecedores, distribuidores, clientes intermediários e clientes finais. Em Chopra, 1960, existem diversos exemplos de redes de suprimentos em que o planejamento e o gerenciamento do fluxo de informações e materias entre os elos foram fundamentais para que as empresas conseguissem reduzir seus custos operacionais e elevar sua performance geral gerando assim valor agregado ao cliente.

Figura 3- Gestão da cadeia de suprimentos



Fonte: O autor

2.3 PESQUISA OPERACIONAL

Como ferramenta para auxiliar decisões logísticas, a Pesquisa Operacional, assim como a logística teve início de sua prática no contexto militar de alocação de recursos para guerra logo em seguida houve sua aplicação para melhorar a produtividade no setor civil, onde com a mudança do modelo produtivo de um modelo artesanal para produção em massa, onde quanto maior o grau de especialização em uma atividade maior a produtividade atingida na mesma, a mão de obra por exemplo deixou de ser multifuncional tornando assim o recurso limitado para a produção como um todo, para esses e outros casos de restrições de capacidade, disponibilidade, custo, tempo a Pesquisa Operacional vem sendo utilizada em problemas organizacionais com o objetivo maximizar ou minimizar uma função que possua restrições que limitem a obtenção do melhor resultado. Sendo assim, na pesquisa operacional existem dois

tipos de solução, as viáveis, que atendem a todas as restrições do problema e as ótimas, que além de atender a todas as restrições, possui o melhor valor, seja de máximo ou mínimo da função objetivo.

Para construir e solucionar um problema através da pesquisa operacional é necessário entender que todo problema possuirá um modelo associado ao mesmo, sendo “Modelo-Representação simplificada da realidade” (Zadoks, 1971), tem-se que nem todas as restrições e variáveis envolvidas em um problema no mundo real podem ser consideradas na resolução de um problema em estudo de pesquisa operacional, pois o problema real é repleto de características específicas que podem até ser conflitantes onde muitas vezes é necessário relaxar algumas das restrições para que se consiga uma solução viável. A resolução de um problema através da PO possui algumas fases explicitadas por Taha(2007) são elas:

1. Definição do problema- Considerada a fase mais importante do estudo, pois é onde serão definidas as alternativas de decisão, determinado o objetivo do estudo e definidas as limitações para funcionamento do estudo, onde se decidirá quais restrições do mundo real serão ou não incluídas no modelo.
2. Construção do modelo- Onde ocorre a tradução das relações do problema em relações matemáticas podendo o mesmo se adequar a métodos matemáticos padrão ou utilizar-se de combinações de métodos distintos para construir um modelo mais adequado.
3. Solução do modelo- Aplicação do modelo desenhado em algoritmos definidos a fim de se obter uma solução ótima.
4. Validação do modelo-verificação das soluções do modelo, onde será verificado se o modelo está atendendo aos requisitos propostos.
5. Implementação do modelo- é onde ocorre a implementação do modelo, para que mais pessoas possam utilizá-lo e obter o mesmo resultado.

2.3.1 Tipos de programação

2.3.1.1 Programação linear

A programação linear é caracterizada por objetivar solucionar problemas de maximização ou minimização de uma função objetivo, que seja uma função linear respeitando as restrições de igualdade ou desigualdade do modelo sendo essas restrições também funções lineares. Problemas de programação linear possuem dois tipos de soluções conhecidas como soluções viáveis e soluções ótimas. As soluções viáveis são aquelas que atendem à todas as restrições, porém não assumem o melhor valor possível da função objetivo, já as soluções

ótimas são aquelas que atende a todas as restrições e maximizam ou minimizam completamente o valor da função objetivo.

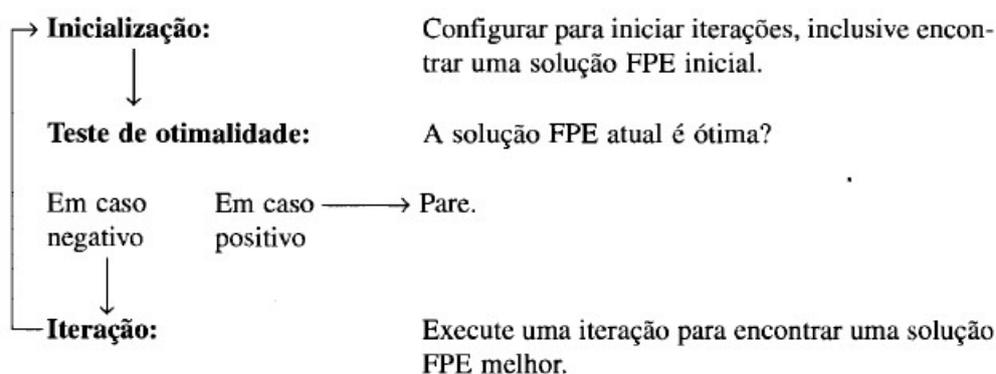
Para Hillier(2006) para solucionar um modelo de programação linear é necessário que se o modelo satisfaça as seguintes hipóteses:

- Proporcionalidade- A contribuição de cada atividade à função objetivo é proporcional ao nível de atividade, ou seja, o consumo de recursos de uma determinada atividade deve ser proporcional à contribuição que a mesma gera à função objetivo.
- Aditividade- Toda função é a soma das contribuições individuais das atividades.
- Divisibilidade ou não-negatividade- as variáveis de decisão de um modelo podem assumir qualquer valor, inclusive não inteiros desde que satisfaçam as restrições do modelo incluindo as de não negatividade.
- Certeza- Os valores dados às constantes incluídas no modelo são considerados como constantes conhecidas.

Tais hipóteses citadas acima são necessárias para que um problema de programação linear forneça soluções assertivas, porém a violação de algumas dessas hipóteses leva a programação para outros modelos de solução como: programação linear inteira, programação linear inteira mista, programação não linear, entre outros.

Dentre os métodos de solução de problemas de programação linear, o método mais utilizado é o método SIMPLEX que consiste em um método algébrico para solução de problemas, este método é representado por um algoritmo que se baseia na seguinte estrutura:

Figura 4- Algoritmo simplex



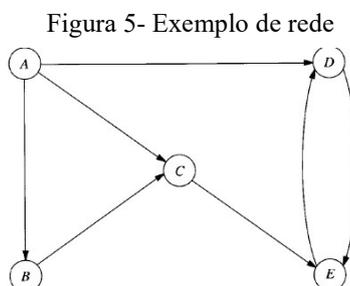
Fonte:HILIER,2006, pág. 105.

Como mostrado na figura acima, o método SIMPLEX funciona através da repetição de iterações comparando os resultados obtidos das soluções FPE (soluções viáveis em pontos extremos) até que o resultado ótimo seja encontrado.

Dentre os problemas de programação linear existem diversos tipos de modelos especiais, em Taha (2008) são demonstrados alguns desses tipos de modelos-padrão conhecidos como:

- Otimização em redes

Os problemas de otimização em redes são caracterizados por poderem ser representados através do desenho de redes, estas redes possuem: pontos e retas, os pontos são denominados de nós, e as retas de arco. A rede se dá através da conexão dos nós vide figura 5:



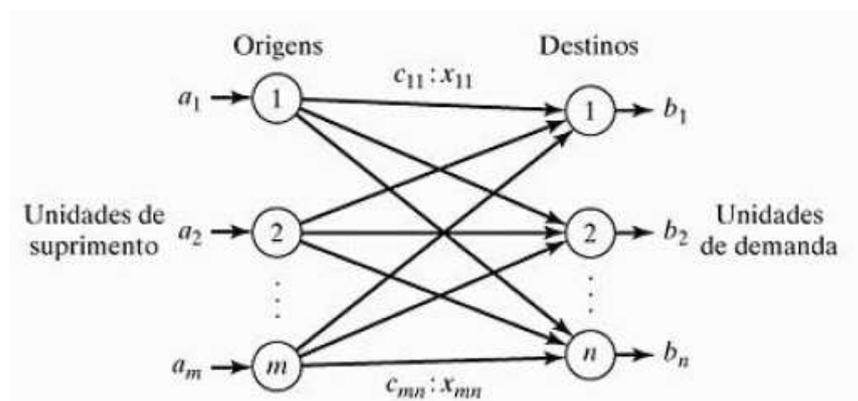
HILLIER,2006, pág. 364

- Problema do caminho mínimo- problema que objetiva encontrar qual a rota mínima entre dois pontos distintos comumente denominados como origem e destino.
- Problema de fluxo máximo- problema que objetiva seguir da origem ao destino pelos arcos direcionados que possuem maior valor, visando maximizar a quantidade total do fluxo
- Problema de fluxo de custo mínimo - problema que objetiva percorrer um caminho entre origem e destino que gere o menor custo.

- O problema de transporte

Este tipo de problema é um caso especial de otimização em rede onde em resumo, objetiva enviar objetos de origens a destinos, atendendo a restrição de capacidade de envio e demanda ao menor custo de rota possível. Tais problemas possuem a seguinte estrutura genérica (figura 6):

Figura 6- Problema de transporte



Taha,2008, pág. 85.

2.3.1.2 Programação inteira

O modelo matemático para programação inteira é o modelo programação linear com uma restrição adicional de que as variáveis devem ser valores inteiros. Se apenas *algumas* variáveis tiverem de ter valores inteiros (de modo que a hipótese da divisibilidade permaneça válida para as demais), esse modelo é denominado **programação inteira mista (PIM)**. Ao fazer a distinção entre problema todo-inteiro e este caso misto, acabamos chamando o anterior programação inteira *pura*. (Hillier,2006 pág. 462.).

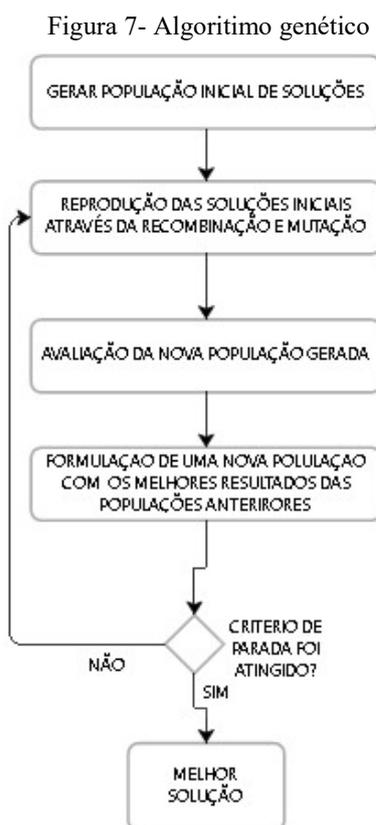
Apesar da programação inteira parecer uma simplificação da programação linear, onde apenas é incluída a restrição de que as variáveis de decisão precisam ser números inteiros, existem diversos tipos de programação inteira: segundo Hillier (2006) podemos classificá-las como programação inteira, programação inteira mista e programação inteira binária. Podendo ainda as mesmas serem lineares ou não lineares. A solução de problemas de programação inteira não são meros arredondamentos das soluções do problema de programação linear. Pelo contrário, por limitar o campo de soluções ótimas para o conjunto de números inteiros exige um esforço computacional muito maior para este tipo de problema pois no problema de programação linear a quantidade de restrições, influencia diretamente o esforço computacional, no problema de programação inteira a quantidade de restrições fica em segundo plano, atrás dos seguintes pontos:

1. O número de variáveis inteiras,
2. Se essas variáveis inteiras são variáveis binárias ou variáveis inteiras genéricas
3. Qualquer estrutura especial no problema.

Portanto, para solucionar problemas de programação inteira, são comumente utilizados algoritmos heurísticos dentre estes os mais conhecidos são: busca de tabus, maleabilização simulada e algoritmos genéricos. Tais algoritmos raramente encontram as soluções ótimas, mas eles convergem pra um campo de soluções viáveis com resultados significativamente bons.

2.3.2 Algoritmos evolucionários ou genéticos

São algoritmos baseados em estudos da teoria da evolução biológica formulada por Charles Darwin em meados do século XIX, onde foi observada a evolução es espécies sexuadas e notada que a cada nova geração haviam alterações genéticas no tocante a adaptação ao ambiente em que viviam, sendo tais mudanças relacionadas à sobrevivência das espécies onde os indivíduos da população que fossem mais adaptados viveriam mais tempo. Tal algoritmo, segundo Hillier(2006) segue basicamente o modelo baixo Figura 7:



Fonte: O autor

1. Inicialização

Onde é gerada uma população inicial, através de dados históricos ou geradas aleatoriamente, nesta fase é calculado o valor da função objetivo de cada membro da população inicial para servirem de parâmetro para as próximas gerações.

2. Iteração

Os membros da população atual são agrupados aleatoriamente em pares para gerar uma população de filhos estes filhos devem “herdar” característica dos pais, mas assim como na natureza cada indivíduo deve possuir genes herdados e pode possuir genes de mutação, que são genes que surgem aleatoriamente. A cada geração de indivíduos, estes são avaliados e se, a mistura dos genes de “pais” junto com suas mutações gerar um solução inviável estes serão desconsiderados para o modelo, fazendo na analogia ao aborto espontâneo. Desta forma o modelo realiza gerações de indivíduos até que haja uma população de filhos que sejam considerados viáveis pra o modelo, então os “filhos viáveis” junto com os melhores membros geração de pais (melhores valores da função objetivo, mostrados no processo de inicialização) são “guardados” para formação de uma nova população de mesmo tamanho e os demais membros da população atual são descartados. Os novos membros devem ter seus valores da função objetivo calculados para avaliação após a próxima iteração. Desta forma é garantido que a cada nova iteração restaram apenas os melhores indivíduos

3. Regra de parada

Deve ser estabelecida uma regra de parada para a simulação, seja o número iterações, tempo máximo de processamento sobre uma mesma solução sem que haja qualquer alteração no resultado, o que garante que o modelo atingiu todos os melhores indivíduos viáveis para o problema.

4. Finalização

A melhor de todas as soluções encontradas ao longo das iterações é a que deve ser considerada como ótima para o modelo.

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após apresentação de diversos conceitos conforme citados nas seções anteriores, para o estudo em questão, no contexto da logística na operação de transportes, foi utilizada a programação matemática, mais especificamente a programação inteira não-linear como apresentado no modelo teórico ilustrado na seção 4.3. O modelo foi simulado utilizando o algoritmo evolucionário (*Evolutionary*) presente no suplemento Solver do software Microsoft

Excel®, onde foram incluídas restrições do problema real de transporte e simulados diversos cenários, que retratam a realidade do carregamento de containers a fim de encontrar soluções viáveis o mais próximo da solução ótima possível.

3 METODOLOGIA

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A empresa do estudo de caso em questão é uma indústria do setor de acumuladores elétricos do estado de Pernambuco. Segundo o proposto por Miguel et al. (2012), A pesquisa é de caráter empírico quantitativo, ou seja, trata da resolução de um problema real apoiando-se em um levantamento bibliográfico. A pesquisa trata da aplicação de um modelo matemático para solução da problemática tendo a mesma o objetivo de oferecer um modelo que otimize a função objetivo respeitando as restrições a ele impostas. Podendo ser classificada como uma pesquisa “quali-quantitativa”, com resultados tanto qualitativos quanto quantitativos, ou seja, através da solução quantitativa oferecida pelo modelo matemático pode-se inferir soluções qualitativas no sentido da tomada de decisão.

3.2 COLETA DE DADOS

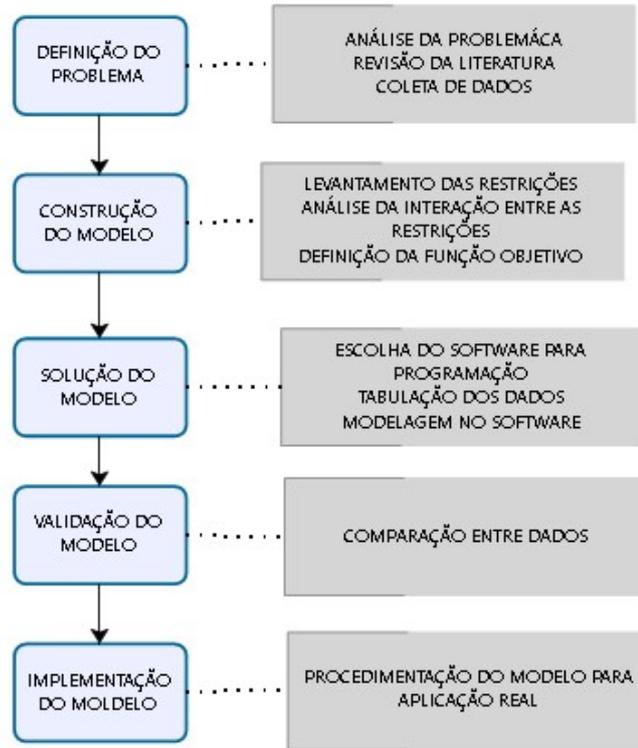
Os dados utilizados no estudo foram coletados no sistema da empresa assim como das planilhas de controle do setor de transportes, sendo portanto dados atualizados e reais sobre a chegada, liberação e tempo limite para transporte de cargas dentro do horizonte de tempo estudado. Permitindo assim a validação do modelo.

3.3 ETAPAS DA PESQUISA

Assim como proposto por Taha(2007), pelo fato da pesquisa em suma ser a resolução de um problema de pesquisa operacional, as etapas de desenvolvimento da mesma podem ser representadas como visto na seção 2.3.

Tais etapas de desenvolvimento estão representadas na figura 8:

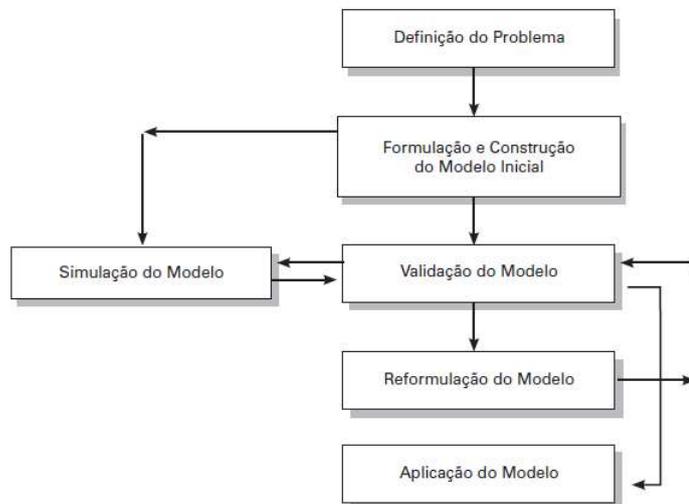
Figura 8- Etapas da pesquisa



Fonte: O autor

Todas as etapas descritas acima são essenciais para a solução de um problema de pesquisa operacional, entretanto é importante ratificar que elas não são isoladas, pois a medida que o desenvolvimento da pesquisa avança, revisitas em etapas iniciais são necessárias tornando assim o modelo cada vez mais robusto e mais próximo da realidade. Tal recursividade na atividade de reformulação do problema é representada pela figura 9:

Figura 9- O processo de construção de modelos



Fonte: Goldbarg,

Marco Cesar,

4 ESTUDO DE CASO

4.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA

O estudo foi conduzido em uma indústria do segmento de acumuladores elétricos localizada no interior do estado de Pernambuco. De grande porte, conta com o apoio de cerca de cinco mil colaboradores. Em Pernambuco as unidades são distribuídas entre cinco unidades produtivas, um centro de distribuição, e três prédios administrativos.

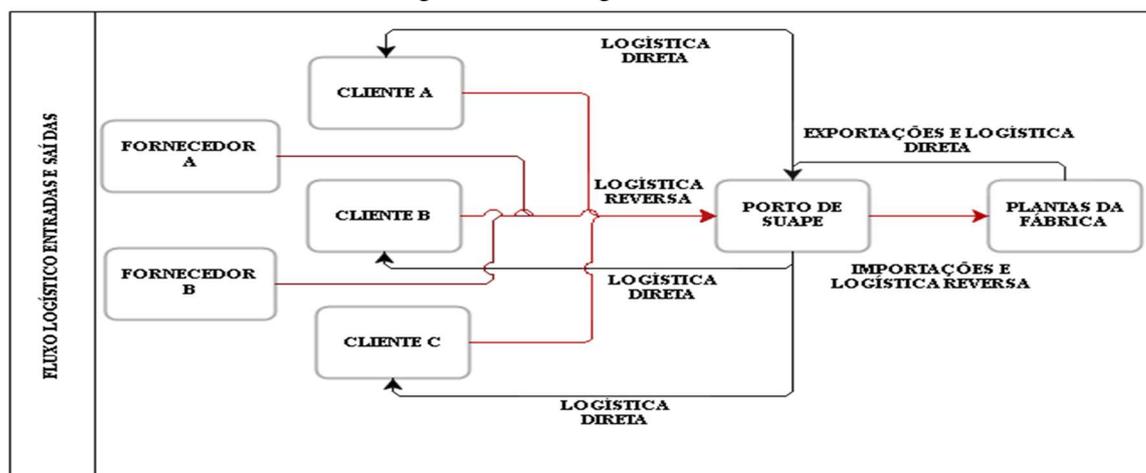
A indústria estudada é conhecida por produzir baterias para os mercados: automotivo, náutico, logístico, telecomunicações, sistemas nobreak e energia alternativa. Desde a sua fundação em 1957, a empresa vem se desenvolvendo em diversas áreas seja na melhoria da qualidade de seus produtos e diversificação dos mercados seja do aprimoramento de sua cultura voltada à pessoas ou ainda no investimento em estudos de novas tecnologias não esquecendo da sua responsabilidade com projetos sociais e meio ambiente todas essas ações são parte do que tem garantido sua permanência e posteridade no mercado.

Dentre os diversos setores da organização o de operações logísticas é o responsável por gerenciar todas as operações de entrada e saída de insumos e produtos semiacabados e acabados entre as fábricas e externas a empresa como importações, exportações e a logística de atendimento aos clientes. Dos tipos de transporte realizados pela empresa estudada, a saber, rodoviário, cabotagem, importações e exportações (aéreas e marítimas), o presente estudo terá como foco as operações de escoamento das importações de transporte marítimo via modal rodoviário, no trecho entre o porto de Suape e às plantas fabris no interior do estado. Visando garantir o atendimento das demandas da fábrica bem como as metas de redução de custo do setor de logística.

4.2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A empresa em questão apresenta diversos fluxos dentro da sua cadeia logística, variando entre os modais de transporte, dentre estes fluxos o que mais agrega valor é o fluxo de entradas de insumos e saídas de produtos semiacabados ou acabados através da operação intermodal, rodoviário-marítimo através do porto de Suape, o porto mais próximo das plantas fabris, O fluxo de entradas e saídas de mercadoria se encontra abaixo:

Figura 10-Fluxo logístico



Fonte: o autor

O fluxo demonstrado na figura 10 acontece tanto a logística direta como a logística reversa, onde na logística direta, tanto nacional com o exportação, os produtos acabados seguem via modal rodoviário para o porto de Suape e de lá seguem via cabotagem, modal marítimo, para os clientes finais. Já o fluxo de entradas acontece dos fornecedores de matérias-primas, importação, pelo modal marítimo para o porto de Suape e de lá seguem para a indústria pelas rodovias do estado, o fluxo de baterias inservíveis ou de sucata, acontece reversamente ao fluxo da logística direta, onde os clientes enviam via cabotagem as baterias que são tocadas na hora da venda, esta carga chega ao porto de Suape e é escoada para a planta da fábrica pelo modal rodoviário.

O presente trabalho terá como objeto de estudo apenas as operações de entrada de insumos e produtos importados. O atual gerenciamento de transportes de cargas importadas da organização consiste em uma planilha onde são alimentados todos os containers de processos de importação que encontram-se em trânsito para a indústria, os status desses containers variam entre:

- Pré-embarque, quando os mesmos ainda estão sob posse do exportador
- Embarcados, quando os mesmos foram coletados na base do exportador e estão a bordo do navio.
- Pendentes, quando os mesmos estão no porto nacional pendentes de alguma ação para liberação frente a receita federal
- Liberados, quando os mesmos estão liberados para carregamento mas ainda não possuem programação de carregamento confirmada.

- Em trânsito, quando os mesmos estão liberados, já foram coletados no terminal marítimo e estão à caminho da planta da fábrica
- Concluídos, quando os mesmos já foram descarregados na planta da fábrica e deram entrada física e fiscal.

Esses containers e todas as informações pertinentes sobre o processo de importação são atualizadas no sistema de importação e posteriormente migrados para a planilha de gestão que é gerenciada diariamente. Tal planilha é acessada e alimentada através da seguinte configuração:

Figura 11- Modelo de planilha de alimentação de dados

| Nº CNTR | CHEGADA | DIAS PORTO | FREETIME | STATUS | DATA DE CARREGAMENTO | UND DESTINO |
|------------|----------|------------|----------|-------------|----------------------|-------------|
| MMMM555555 | 05-06-19 | 29 | 20 | CONCLUÍDO | 04-07-19 | CD |
| MMMM555556 | 06-06-19 | 29 | 21 | EMBARCADO | 05-07-19 | CD |
| MMMM555557 | 07-06-19 | 29 | 22 | EM TRÂNSITO | 06-07-19 | CD |
| MMMM555558 | 08-06-19 | 29 | 23 | CONCLUÍDO | 07-07-19 | UN004 |
| MMMM555559 | 09-06-19 | 29 | 24 | EMBARCADO | 08-07-19 | UN004 |
| MMMM555560 | 10-06-19 | 29 | 25 | EM TRÂNSITO | 09-07-19 | UN004 |
| MMMM555561 | 11-06-19 | 29 | 26 | PENDENTE | 10-07-19 | UN004 |
| MMMM555562 | 12-06-19 | 29 | 27 | PENDENTE | 11-07-19 | UN001 |
| MMMM555563 | 13-06-19 | 29 | 28 | CONCLUÍDO | 12-07-19 | UN008 |

Fonte: O autor

Onde cada coluna é alimentada manualmente com as informações de cada container.

O presente estudo teve a finalidade de oferecer agilidade de na tomada de decisão de quantos e quais containers carregar do porto de Suape às plantas da fábrica visto que existem no banco de dados, uma diversidade de características a serem consideradas na tomada de decisão, o banco de dados possui informações de cada carga como: status de liberação; unidade de destino; quantidade de dias no porto; *freetime* (o limite de dias, após atracação do navio que o importador tem para devolver o container ao armador, este é considerado o limite teórico de dias que as cargas podem ficar no porto dentro dos containers). Existem outras características que estão envolvidas na rotina de tomada de decisão; Frequentemente o estoque de alguns materiais fica abaixo do necessário para a produção e esse tipo de carga são consideradas urgentes possuindo assim prioridade no carregamento e recebimento; cada unidade de destino possui uma capacidade de recebimento de containers; cada container possui um custo associado a cada dia que não é liberado e/ou carregado, chamado de custo de armazenagem do container, gerencialmente esta quantidade de dias não deve passar de 6 dias sendo esta quantidade de dias considerada meta do setor.

A atividade de programação de carregamento incluía as tarefas de análise de tempo no porto bem como do freetime, comparação entre os valores de cada container, avaliação do status de cada container e tomada de decisão de quais containers carregar de acordo com a capacidade de recebimento. Tal atividade despendia bastante tempo para que a programação de carregamento fosse concluída e corriqueiramente ocorriam falhas humanas no sentido de não considerar todas as variáveis e restrições envolvidas para tomar uma decisão assertiva.. Diante deste cenário, o presente estudo visou automatizar o processo de análise e decisão de carregamento objetivando garantir a minimização de custos de carregamento uma vez que as cargas, urgentes, independentemente da quantidade de dias que estejam no porto tem prioridade de carregamento, assim que liberadas, e as cargas não urgentes, que estão a mais dias no porto e/ou que estão mais perto do vencimento de seu freetime serão aquelas que serão carregadas prioritariamente, desta forma, o tempo despendido para analisar a grande quantidade de dados envolvidos no processo foi reduzida assim como a interferência humana no processo consequentemente obtendo como resultado a redução de erros por falha humana.

No APÊNDICE I, está esboçado uma visão resumida do macro fluxo do processo de importação, com todos os elos envolvidos desde a requisição de compras à chegada do material na planta. O APÊNDICE II mostra o fluxo de informações dentro da operação de programação de transporte. Ambos os diagramas demonstram o quanto a transmissão de uma informação assertiva mantém o fluxo contínuo ao passo que uma informação distorcida é capaz de gerar atrasos que acarretam em custos extras ao processo, podendo gerar indisponibilidade do insumo/produto ocasionando a parada de uma linha de produção ou o não atendimento à um cliente o que são consideradas perdas elevadas para toda a organização.

4.3 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA GENÉRICA DO PROBLEMA

Para solução do problema proposto foi utilizada a programação não linear inteira, considerando as restrições citadas anteriormente, a saber, data de chegada, freetime, data de urgência, capacidade de recebimento. Como modelo teórico têm-se o modelo abaixo que pode ser simulado considerando duas funções objetivos distintas, a primeira, de minimização que visa minimizar a quantidade de dias que o container passa no porto, a segunda de maximização que visa aumentar a distância entre o dia de carregamento e o freetime, abaixo segue o modelo descrito matematicamente:

Função objetivo de minimização $MIN \sum_{j=1}^n (DP_j - DC_j) \times TX_j$
 Função objetiv de maximização: $MAX \sum_{j=1}^n (F_j - DP_j)$

Onde:

F_j - Freetime do container j

DP_j - Dia de processamento (carregamento) do container j.

TX_j - Taxa diária paga por cada container.

Sujeita às restrições:

- (1) $DP_j \leq DC_j + F_j$
- (2) $DP_j \geq DL_j$
- (3) $\sum_{j=1}^{n-1} \sum_{x=2}^n (|DP_j - DP_x|) \leq CR_w \forall j \neq x$
- (4) $DP_j \leq DU_j$
- (5) $1 \leq DP_j \leq N$
- (6) $DP_j \neq d$
- (7) $DP_j \in Z$
- (8) $DP_j \geq 0$

Onde:

DP_j - Data de processamento (carregamento) do container j.

DC_j - Data de chegada no porto do container j.

TX_j – Taxa paga por dia que o container j fica no porto.

$j = \{1, \dots, n\}$ – índice que representa cada container.

F_j - Quantidade de dias de *freetime* do container j no período i

DL_{ji} – Dia da liberação do container j no período i

DP_x - Dia de carregamento do container x; sendo $x = j+1, \dots, n$

CR_w -Capacidade de recebimento da unidade w, para $w = 1, 4, 5, 8, 10, 11, 12, 21$.

DU_j - Dia da urgência do container j.

d- Dia do período em que não pode haver carregamento

Detalhamento do modelo teórico:

Função objetivo: Minimizar a quantidade de dias em que os containers passam no porto, pois cada dia, cada container paga uma taxa de armazenagem no terminal marítimo.

$$\text{Min } \sum_{j=1}^n (DP_j - DC_j) \times TX_j$$

Onde:

DP_j - Data de processamento (carregamento) do container j .

DC_j - Data de chegada no porto do container j .

TX_j - Taxa paga por dia que o container j fica no porto.

$j = \{1, \dots, n\}$ - índice que representa cada container.

Restrições:

$$(1) \quad DP_j \leq DC_j + F_j$$

Restrição que garante que o dia do carregamento do container j seja menor que o dia do prazo máximo para carregamento, conhecido como *freetime*.

$$(2) \quad DP_j \geq DL_j$$

Restrição que garante que o container j só será carregado após sua nacionalização e liberação.

$$(3) \quad \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{x=2}^n (|DP_j - DP_x|) \leq CR_w \quad \forall j \neq x$$

Restrição que garante que o número máximo de containers carregados em um único dia seja menor ou igual a capacidade de recebimento da unidade receptora analisada.

$$(4) \quad DP_j \leq DU_j$$

Restrição que prioriza o carregamento de containers alertados previamente como urgentes para o carregamento e chegada em fábrica.

$$(5) \quad N \geq DP_j \geq 1$$

Restrição que garante que apenas as cargas liberadas no período estipulados serão carregadas.

$$(6) \quad DP_j \neq d$$

Restrição que limita o carregamento a dias do período analisado que não sejam domingos ou feriados

$$(7) \quad DP_j \in Z$$

Restrição que avalia que todos os dias de carregamento devem ser números inteiros

$$(8) \quad DP_j \geq 0$$

Restrição de não negatividade do dia de carregamento.

Onde:

DP_j - Dia de processamento (carregamento) do container j .

DC_j - Dia de chegada no porto do container j

F_j - Quantidade de dias de *freetime* do container j no período i

DL_{ji} – Dia da liberação do container j no período i

DP_x - Dia de carregamento do container x ; sendo $x = j+1, \dots, n$

CR_w -Capacidade de recebimento da unidade w , para $w = 1, 4, 5, 8, 10, 11, 12, 21$.

DU_j - Dia da urgência do container j .

d - Dia do período em que não pode haver carregamento

5 SIMULAÇÃO NUMÉRICA

Para atingir os resultados obtidos neste trabalho, foi utilizado o software EXCEL® e seu suplemento Solver bem como o algoritmo *Evolutionary* como ferramentas, tal software foi escolhido devido a sua fácil implementação na rotina operacional já estabelecida e para fins de análise o modelo foi avaliado em um notebook de processador Intel core i7- geração 3517u, memória 4GB, sistema operacional Windows 10 64 bits.

Para a melhoria da forma como a planilha é apresentada, foi aplicada a ferramenta macro, onde foram gravadas macros de atividades repetitivas, de aplicação de filtros e preenchimento dos dados. Tendo como resultado desta implementação a seguinte interface:

Figura 12- Nova interface de acesso aos dados



Fonte: O autor

Onde as consultas são de fácil acesso, mitigando assim erros humanos oriundo da utilização e filtros de dados. Cada botão acima está relacionado a uma carteira de material de importação, e o botão "LIBERADOS" classifica todos os containers ou cargas aéreas que estão liberadas frente a receita federal para carregamento.

Para o modelo expresso na seção 4.3, foi utilizado o software Solver® para se obter o mix de dias de carregamento aos quais as restrições fossem atendidas e o custo fosse minimizado. A unidade de recebimento escolhida como modelo para o estudo foi a unidade que tem capacidade de recebimento de no máximo 3 containers por dia. Para validação do modelo foi escolhida a quantidade de 20 containers uma quantidade maior do que a capacidade semanal de recebimento de containers, onde a capacidade máxima de recebimento semanal seria de 18 e como tempo limite das cargas no porto foi considerado o freetime das cargas por possuir um valor mais elevado de multa quando comparado com a meta gerencial.

São inputs necessários para que o modelo ofereça uma resposta assertiva: data de chegada, data de liberação, freetime do container, data de urgência de entrega, dia em que começa o período a ser analisado, taxa paga por dia por container, esta taxa no momento em que o trabalho foi elaborado era constante e fixa.

5.1 SIMULAÇÃO FUNÇÃO OBJETIVO DE MINIMIZAÇÃO

Abaixo seguirá a demonstração de um dos cenários simulados no software com informação acerca dos dados alimentados no software bem como os seus respectivos resultados.

Tabela 1- Exemplo programação semanal

| TAXA DIÁRIA | | COMEÇO PERÍODO | | CUSTO MÍNIMO | | | | | | |
|-------------|----------------|----------------|------------------------|---------------|----------------------------|--------------|-------------|------------------|-----------------|-----------------|
| 35 | | 03-Nov | | -R\$ 1,400.00 | | | | | | |
| DADOS | | | | | | | | | | |
| CNTRS (j) | DATA DE CHEGAD | DC i | DATA DE LIBERAÇÃO (DL) | DL i | FREETIME (F _i) | DATA FREETIM | FREETIME NO | DATA DE URGÊNCIA | DU _j | DP _i |
| 1 | 04-Nov | 1 | 05-Nov | 2 | 20 | 24-Nov | 21 | 07-11-19 | 4 | |
| 2 | 04-Nov | 1 | 05-Nov | 2 | 20 | 24-Nov | 21 | 01/11 | 21 | |
| 3 | 04-Nov | 1 | 05-Nov | 2 | 21 | 25-Nov | 22 | 01/11 | 22 | |
| 4 | 04-Nov | 1 | 05-Nov | 2 | 21 | 25-Nov | 22 | 01/11 | 22 | |
| 5 | 05-Nov | 2 | 06-Nov | 3 | 21 | 26-Nov | 23 | 01/11 | 23 | |
| 6 | 05-Nov | 2 | 06-Nov | 3 | 20 | 25-Nov | 22 | 01/11 | 22 | |
| 7 | 05-Nov | 2 | 06-Nov | 3 | 20 | 25-Nov | 22 | 01/11 | 22 | |
| 8 | 06-Nov | 3 | 06-Nov | 3 | 15 | 21-Nov | 18 | 01/11 | 18 | |
| 9 | 04-Nov | 1 | 07-Nov | 4 | 15 | 19-Nov | 16 | 01/11 | 16 | |
| 10 | 04-Nov | 1 | 07-Nov | 4 | 15 | 19-Nov | 16 | 01/11 | 16 | |
| 11 | 04-Nov | 1 | 07-Nov | 4 | 20 | 24-Nov | 21 | 01/11 | 21 | |
| 12 | 04-Nov | 1 | 07-Nov | 4 | 20 | 24-Nov | 21 | 01/11 | 21 | |
| 13 | 07-Nov | 4 | 10-Nov | 7 | 21 | 28-Nov | 25 | 01/11 | 25 | |
| 14 | 07-Nov | 4 | 10-Nov | 7 | 20 | 27-Nov | 24 | 01/11 | 24 | |
| 15 | 07-Nov | 4 | 10-Nov | 7 | 21 | 28-Nov | 25 | 01/11 | 25 | |
| 16 | 07-Nov | 4 | 10-Nov | 7 | 21 | 28-Nov | 25 | 01/11 | 25 | |
| 17 | 07-Nov | 4 | 10-Nov | 7 | 21 | 28-Nov | 25 | 01/11 | 25 | |
| 18 | 04-Nov | 1 | 05-Nov | 2 | 20 | 24-Nov | 21 | 01/11 | 21 | |
| 19 | 04-Nov | 1 | 06-Nov | 3 | 20 | 24-Nov | 21 | 01/11 | 21 | |
| 20 | 04-Nov | 1 | 09-Nov | 6 | 20 | 24-Nov | 21 | 01/11 | 21 | |

Legenda: **INPUTS** **CALCULADOS** **RESULTADOS**

Fonte: O autor

Para o período analisado que inicia em 03/11(dia 0) foram coletadas todas as informações acerca das chegadas de containers neste período bem como suas datas previstas de liberação, urgência e freetime. Considerando o modelo e as suas restrições pré estabelecidas

foi aplicado o algoritmo *Evolutionary* que após cerca de 28 minutos, gerou o resultado demonstrado na Tabela 2:

Tabela 2- Resultado para exemplo de programação semanal

| TAXA DIÁRIA | | COMEÇO PERÍODO | | CUSTO MÍNIMO | | | | | | |
|-------------|----------------|----------------|------------------------|--------------|---------------|--------------|-------------|------------------|-----|-----|
| 35 | | 03-Nov | | R\$ 2,170.00 | | | | | | |
| DADOS | | | | | | | | | | |
| CNTRS (j) | DATA DE CHEGAD | DC j | DATA DE LIBERAÇÃO (DL) | DL j | FREETIME (Fj) | DATA FREETIM | FREETIME NO | DATA DE URGÊNCIA | DUj | DPj |
| 1 | 04-Nov | 1 | 05-Nov | 2 | 20 | 24-Nov | 21 | 07-11-19 | 4 | 2 |
| 2 | 04-Nov | 1 | 05-Nov | 2 | 20 | 24-Nov | 21 | 0/11 | 21 | 5 |
| 3 | 04-Nov | 1 | 05-Nov | 2 | 21 | 25-Nov | 22 | 0/11 | 22 | 3 |
| 4 | 04-Nov | 1 | 05-Nov | 2 | 21 | 25-Nov | 22 | 0/11 | 22 | 2 |
| 5 | 05-Nov | 2 | 06-Nov | 3 | 21 | 26-Nov | 23 | 0/11 | 23 | 6 |
| 6 | 05-Nov | 2 | 06-Nov | 3 | 20 | 25-Nov | 22 | 0/11 | 22 | 4 |
| 7 | 05-Nov | 2 | 06-Nov | 3 | 20 | 25-Nov | 22 | 0/11 | 22 | 4 |
| 8 | 06-Nov | 3 | 06-Nov | 3 | 15 | 21-Nov | 18 | 0/11 | 18 | 3 |
| 9 | 04-Nov | 1 | 07-Nov | 4 | 15 | 19-Nov | 16 | 0/11 | 16 | 4 |
| 10 | 04-Nov | 1 | 07-Nov | 4 | 15 | 19-Nov | 16 | 0/11 | 16 | 6 |
| 11 | 04-Nov | 1 | 07-Nov | 4 | 20 | 24-Nov | 21 | 0/11 | 21 | 5 |
| 12 | 04-Nov | 1 | 07-Nov | 4 | 20 | 24-Nov | 21 | 0/11 | 21 | 5 |
| 13 | 07-Nov | 4 | 10-Nov | 7 | 21 | 28-Nov | 25 | 0/11 | 25 | 9 |
| 14 | 07-Nov | 4 | 10-Nov | 7 | 20 | 27-Nov | 24 | 0/11 | 24 | 8 |
| 15 | 07-Nov | 4 | 10-Nov | 7 | 21 | 28-Nov | 25 | 0/11 | 25 | 8 |
| 16 | 07-Nov | 4 | 10-Nov | 7 | 21 | 28-Nov | 25 | 0/11 | 25 | 8 |
| 17 | 07-Nov | 4 | 10-Nov | 7 | 21 | 28-Nov | 25 | 0/11 | 25 | 9 |
| 18 | 04-Nov | 1 | 05-Nov | 2 | 20 | 24-Nov | 21 | 0/11 | 21 | 2 |
| 19 | 04-Nov | 1 | 06-Nov | 3 | 20 | 24-Nov | 21 | 0/11 | 21 | 3 |
| 20 | 04-Nov | 1 | 09-Nov | 6 | 20 | 24-Nov | 21 | 0/11 | 21 | 6 |

Legenda: **INPUTS** **CALCULADOS** **RESULTADOS**

Fonte: O autor

Visto que as datas de liberação são estimadas, como exemplo, podemos inferi-las a maior ou a menor, na tabela 3, vemos que através da alteração de uma das datas de liberação há a redução do custo de armazenagem em R\$ 175,00, este tipo de informação demonstra que alterada a data de liberação de um container em um dia, gera um ganho em cadeia de 5 dias de armazenagem, isto se dá pela natureza da restrição da capacidade de recebimento. Tal resultado demonstrado na tabela 3 indica que visando a redução de custos com armazenagem, quanto mais esforços forem empreendidos em reduzir o tempo de liberação melhor será a performance em termos de custo.

Tabela 3- Resultado diminuindo uma data de liberação

| TAXA DIÁRIA | | COMEÇO PERÍODO | | CUSTO MÍNIMO | | | | | | |
|-------------|----------------|----------------|------------------------|--------------|---------------|---------------|-------------|------------------|-----|-----|
| 35 | | 03-Nov | | R\$ | 1,995.00 | | | | | |
| DADOS | | | | | | | | | | |
| CNTRS (j) | DATA DE CHEGAD | DC i | DATA DE LIBERAÇÃO (DL) | DL i | FREETIME (Fj) | DATA FREETIME | FREETIME NO | DATA DE URGÊNCIA | DUj | DPj |
| 1 | 04-Nov | 1 | 05-Nov | 2 | 20 | 24-Nov | 21 | 07-11-19 | 4 | 1 |
| 2 | 04-Nov | 1 | 05-Nov | 2 | 20 | 24-Nov | 21 | 0/11 | 21 | 5 |
| 3 | 04-Nov | 1 | 05-Nov | 2 | 21 | 25-Nov | 22 | 0/11 | 22 | 2 |
| 4 | 04-Nov | 1 | 05-Nov | 2 | 21 | 25-Nov | 22 | 0/11 | 22 | 2 |
| 5 | 05-Nov | 2 | 06-Nov | 3 | 21 | 26-Nov | 23 | 0/11 | 23 | 4 |
| 6 | 05-Nov | 2 | 06-Nov | 3 | 20 | 25-Nov | 22 | 0/11 | 22 | 3 |
| 7 | 05-Nov | 2 | 06-Nov | 3 | 20 | 25-Nov | 22 | 0/11 | 22 | 6 |
| 8 | 06-Nov | 3 | 06-Nov | 3 | 15 | 21-Nov | 18 | 0/11 | 18 | 3 |
| 9 | 04-Nov | 1 | 07-Nov | 4 | 15 | 19-Nov | 16 | 0/11 | 16 | 5 |
| 10 | 04-Nov | 1 | 07-Nov | 4 | 15 | 19-Nov | 16 | 0/11 | 16 | 4 |
| 11 | 04-Nov | 1 | 07-Nov | 4 | 20 | 24-Nov | 21 | 0/11 | 21 | 4 |
| 12 | 04-Nov | 1 | 07-Nov | 4 | 20 | 24-Nov | 21 | 0/11 | 21 | 6 |
| 13 | 07-Nov | 4 | 10-Nov | 7 | 21 | 28-Nov | 25 | 0/11 | 25 | 9 |
| 14 | 07-Nov | 4 | 10-Nov | 7 | 20 | 27-Nov | 24 | 0/11 | 24 | 8 |
| 15 | 07-Nov | 4 | 10-Nov | 7 | 21 | 28-Nov | 25 | 0/11 | 25 | 8 |
| 16 | 07-Nov | 4 | 10-Nov | 7 | 21 | 28-Nov | 25 | 0/11 | 25 | 9 |
| 17 | 07-Nov | 4 | 10-Nov | 7 | 21 | 28-Nov | 25 | 0/11 | 25 | 7 |
| 18 | 04-Nov | 1 | 05-Nov | 2 | 20 | 24-Nov | 21 | 0/11 | 21 | 2 |
| 19 | 04-Nov | 1 | 06-Nov | 3 | 20 | 24-Nov | 21 | 0/11 | 21 | 3 |
| 20 | 04-Nov | 1 | 09-Nov | 6 | 20 | 24-Nov | 21 | 0/11 | 21 | 6 |

Legenda: INPUTS CALCULADOS RESULTADOS

Fonte: O autor

5.2 SIMULAÇÃO FUNÇÃO OBJETIVO DE MAXIMIZAÇÃO

Outra visão para o problema é enxergá-lo como um problema de maximização, onde a função objetivo de minimizar o custo será atendida porém não diretamente como proposto na seção 4.3 A nova proposta é maximizar os dias entre o freetime e o dia do carregamento, sendo assim quanto mais longe do freetime, menos dias a carga passará no porto, e conseqüentemente pagará menos taxas diárias.

A nova função objetivo passar a ser:

$$MAX \sum_{j=1}^n (F_j - DP_j)$$

Onde:

F_j - Freetime do container j

DP_j - Dia de processamento (carregamento) do container j.

Sujeito a:

- (1) $DP_j \leq DC_j + F_j$
- (2) $DP_j \geq DL_j$
- (3) $\sum_{j=1}^{n-1} \sum_{x=2}^n (|DP_j - DP_x|) \leq CR_w \forall j \neq x$
- (4) $DP_j \leq DU_j$
- (5) $1 \leq DP_j \leq N$
- (6) $DP_j \neq d$
- (7) $DP_j \in Z$
- (8) $DP_j \geq 0$

Onde:

DP_j - Dia de processamento (carregamento) do container j.

DC_j - Dia de chegada no porto do container j

F_j - Quantidade de dias de *freetime* do container j no período i

DL_{ji} – Dia da liberação do container j no período i

DP_x - Dia de carregamento do container x; sendo $x = j+1, \dots, n$

CR_w -Capacidade de recebimento da unidade w, para $w = 1,4,5,8,10,11,12,21$.

DU_j - Dia da urgência do container j.

d- Dia do período em que não pode haver carregamento

Para o exemplo expresso na tabela 1 com a nova função objetivo temos o resultado demonstrado na tabela 4:

Tabela 4- Resultao nova função objetivo

| 35 | | 03-Nov | | 330 | | R\$ 2,170.00 | | | | |
|-----------|----------------|--------|------------------------|------|---------------|---------------|-------------|------------------|-----|-----|
| DADOS | | | | | | | | | | |
| CNTRS (j) | DATA DE CHEGAD | DC i | DATA DE LIBERAÇÃO (DL) | DL i | FREETIME (Fj) | DATA FREETIME | FREETIME NO | DATA DE URGÊNCIA | DUj | DPi |
| 1 | 04-Nov | 1 | 05-Nov | 2 | 20 | 24-Nov | 21 | 07-11-19 | 4 | 2 |
| 2 | 04-Nov | 1 | 05-Nov | 2 | 20 | 24-Nov | 21 | 07-11 | 21 | 2 |
| 3 | 04-Nov | 1 | 05-Nov | 2 | 21 | 25-Nov | 22 | 07-11 | 22 | 3 |
| 4 | 04-Nov | 1 | 05-Nov | 2 | 21 | 25-Nov | 22 | 07-11 | 22 | 2 |
| 5 | 05-Nov | 2 | 06-Nov | 3 | 21 | 26-Nov | 23 | 07-11 | 23 | 3 |
| 6 | 05-Nov | 2 | 06-Nov | 3 | 20 | 25-Nov | 22 | 07-11 | 22 | 6 |
| 7 | 05-Nov | 2 | 06-Nov | 3 | 20 | 25-Nov | 22 | 07-11 | 22 | 6 |
| 8 | 06-Nov | 3 | 06-Nov | 3 | 15 | 21-Nov | 18 | 07-11 | 18 | 5 |
| 9 | 04-Nov | 1 | 07-Nov | 4 | 15 | 19-Nov | 16 | 07-11 | 16 | 4 |
| 10 | 04-Nov | 1 | 07-Nov | 4 | 15 | 19-Nov | 16 | 07-11 | 16 | 4 |
| 11 | 04-Nov | 1 | 07-Nov | 4 | 20 | 24-Nov | 21 | 07-11 | 21 | 5 |
| 12 | 04-Nov | 1 | 07-Nov | 4 | 20 | 24-Nov | 21 | 07-11 | 21 | 4 |
| 13 | 07-Nov | 4 | 10-Nov | 7 | 21 | 28-Nov | 25 | 07-11 | 25 | 8 |
| 14 | 07-Nov | 4 | 10-Nov | 7 | 20 | 27-Nov | 24 | 07-11 | 24 | 9 |
| 15 | 07-Nov | 4 | 10-Nov | 7 | 21 | 28-Nov | 25 | 07-11 | 25 | 9 |
| 16 | 07-Nov | 4 | 10-Nov | 7 | 21 | 28-Nov | 25 | 07-11 | 25 | 8 |
| 17 | 07-Nov | 4 | 10-Nov | 7 | 21 | 28-Nov | 25 | 07-11 | 25 | 8 |
| 18 | 04-Nov | 1 | 05-Nov | 2 | 20 | 24-Nov | 21 | 07-11 | 21 | 3 |
| 19 | 04-Nov | 1 | 06-Nov | 3 | 20 | 24-Nov | 21 | 07-11 | 21 | 5 |
| 20 | 04-Nov | 1 | 09-Nov | 6 | 20 | 24-Nov | 21 | 07-11 | 21 | 6 |

Legenda: INPUTS CALCULADOS RESULTADOS

Fonte: O autor

5.3 DISCUSSÕES

Importante salientar que o modelo proposto foi construído progressivamente, onde primeiro foi simulado o modelo geral aplicado à três containers, foi então avaliada a eficácia ou não da função objetivo bem como suas restrições, em um segundo momento, o modelo foi avaliado expandindo a quantidade de containers para seis containers, onde novamente o modelo foi ajustado, em uma terceira fase de avaliação a quantidade de containers foi expandida para dez containers, validando assim a eficácia do modelo, para então gerar a simulação final com vinte containers, que é a menor simulação possível na realidade do problema.

Nesta última simulação, foi detectado que os parâmetros do algoritmo deveriam ser ajustados para que o mesmo oferecesse um resultado de qualidade pois o tempo de processamento padrão do algoritmo não estava sendo suficiente para que o mesmo fizesse as análises necessárias. Portanto, constata-se que para quantidade de containers maiores o indicado seria utilizar ferramentas mais robustas a fim de minimizar o tempo de processamento e tornar a aplicação do modelo viável no dia-a-dia.

A simulação do modelo como um problema de pesquisa operacional ofereceu diversas vantagens em termos de análise de dados para tomada de decisão que antes não eram utilizadas.

Algumas dessas vantagens são:

- O modelo informa qual o melhor cenário para carregamento baseado a função objetivo e nas restrições.
- O modelo avalia da cada restrição e compara os valores de cada container evitando assim erros humanos de análise
- O modelo informa com antecedência o quão perto do freamo o container será carregado podendo então o tomador de decisão avaliar previamente o cenário de carregamento e custos associados e tomar decisões a cerca de capacidade de recebimento, dia de liberação, entre outros.

A pesquisa operacional foi de suma importância para a resolução do problema, pois através da mesma foi possível em um único modelo incluir diversos tipos de restrições que tornaram o problema robusto com soluções viáveis o mais próximo da ótima, o que foi de grande impacto na redução de tempos de carga no porto e consequentemente redução dos custos de armazenagem.

6 CONCLUSÃO

Através da validação do modelo pôde-se concluir que o mesmo é útil para auxiliar na tomada de decisão acerca de quantos, quais containers e quando carrega-los. Garantindo o menor custo possível no período estimado, garantindo também que só será carregada a quantidade limite de recebimento e as cargas que estão mais próximas do vencimento do freetime são consideradas prioritárias.

Neste sentido, o modelo resume a interação humana apenas a alimentar os dados necessários para que o modelo assuma tais valores nas restrições e função objetivo, a atividade de avaliação de restrições, comparação de resultados e escolha da melhor alternativa fica a cargo do modelo, sendo portanto um ponto de redução de falhas por erro humano. Partindo desta premissa de que toda a parte de análise de dados ficará a cargo do modelo, o colaborador responsável pelas atividades de nacionalização das cargas e programação de carregamento das mesmas, terá mais tempo disponível para desprender e focar em liberar as cargas e assim reduzir ainda mais o tempo das cargas no porto.

7 TRABALHOS FUTUROS

Para o trabalho proposto houveram limitações do problema no sentido de simular em apenas uma unidade de recebimento devido a quantidade de containers e o tempo elevado de simulação do modelo, bem como estimação de datas de liberação baseadas em conhecimentos empíricos do carregamento de containers. Tais informações podem ser tratadas em trabalhos futuros assim como a aplicação do modelo em outros softwares a fim de reduzir o tempo de simulação para uma tomada de decisão mais rápida. Outra proposta para trabalhos futuros é aplicar a programação multiobjetivo para que as duas versões do modelo possam ser simuladas em conjunto.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Transporte Terrestre – Números do Setor, 5 de julho de 2006** (disponível em www.antt.gov.br). Acesso em: 01, Dezembro de 2019.

AUDY, Jorge Luis Nicolas, ANDRADE, Gilberto Keller de, CIDRAL, Alexandre. **Fundamentos de Sistemas de Informação**. Porto alegre Bookman, 2005.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: Planejamento, organização e logística empresarial**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BNDES, **A indústria de implementos rodoviários e sua importância para o aumento da eficiência do transporte de cargas no Brasil**. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/?locale=pt_BR>. Acesso em: 01, Dezembro de 2019.

BNDES, **Situação atual e perspectivas da infraestrutura de transportes e da logística no Brasil**. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/?locale=pt_BR>. Acesso em: 01, Dezembro de 2019.

BNDES. **Arranjos institucionais e investimento em infraestrutura no Brasil**. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/?locale=pt_BR>. Acesso em: 01, Dezembro de 2019.

CALABREZI, Sandro Roberto da Silva **A multimodalidade para o transporte de cargas: identificação de problemas em terminais visando à integração dos modais aéreo e rodoviário** / Sandro Roberto da Silva Calabrezi.--Campinas, SP: [s.n.], 2007.

CHOPRA, Sunil. **Gestão da cadeia de suprimentos: estratégia, planejamento e operações** / Sunil Chopra, Peter Meindl; tradução Daniel Vieira; revisão técnica Marilson Alves Gonçalves. – 4ed. – São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

CHRISTOPHER, Martin. **Logistics and supply chain management: creating value-adding networks** / Martin Christopher. – 2011, 4th Ed.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, **Por que o Brasil investe pouco em infraestrutura?** / Confederação Nacional da Indústria. – Brasília : CNI, 2015.

FALCÃO, V. A. AND CORREIA, A. R. (2012) **Eficiência portuária: análise das principais metodologias para o caso dos portos brasileiros**. Journal of Transport Literature, vol. 6, n. 4, pp. 133-146.

GOLDBARG, M. C.; GOLDBARG, E. G.; LUNA, H. P. L. **Otimização combinatória e Meta-heurísticas: algoritmos e aplicações**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

HILLIER, Frederick S. **Introdução à pesquisa operacional**/ Frederick S. Hillier, Gerald J. Lieberman; tradução Ariovaldo Griesi; revisão técnica João Chang Junior. - São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

J. C. Zadoks (1971). **System analysis and the dynamics of epidemics**. Phytopathology 61, 441-598

LACHTERMACHER, Gerson. 1956- **Pesquisa operacional na tomada de decisões : modelagem em Excel / Gerson Lachtermacher**. - Rio de Janeiro : Elsevier, 2007 - 4-Reimpressão.

MDIC, **Dados importação e exportação**. Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>>. Acesso em : 01 Dezembro de 2019.

MIGUEL, P. A. C. et al. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012.

PIRES, S. R. **Gestão da cadeia de suprimentos (Supply Chain Management): Conceitos, estratégias, práticas e casos**. São Paulo: Atlas, 2004.

ROSA, Adriano. **Gestão do Transporte na Logística de Distribuição Física: uma análise da minimização do custo operacional** / Adriano Rosa – Taubaté: 2007 90p.

TAHA, H. A. **Pesquisa Operacional: uma visão geral**. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

TEIXEIRA, Vinicius Garcia. **Aplicação de programação linear na alocação de vagões gôndola no transporte de ferro gusa na MRS Logística S.A.** / Vinicius Garcia Teixeira. – 2011. 56 f.

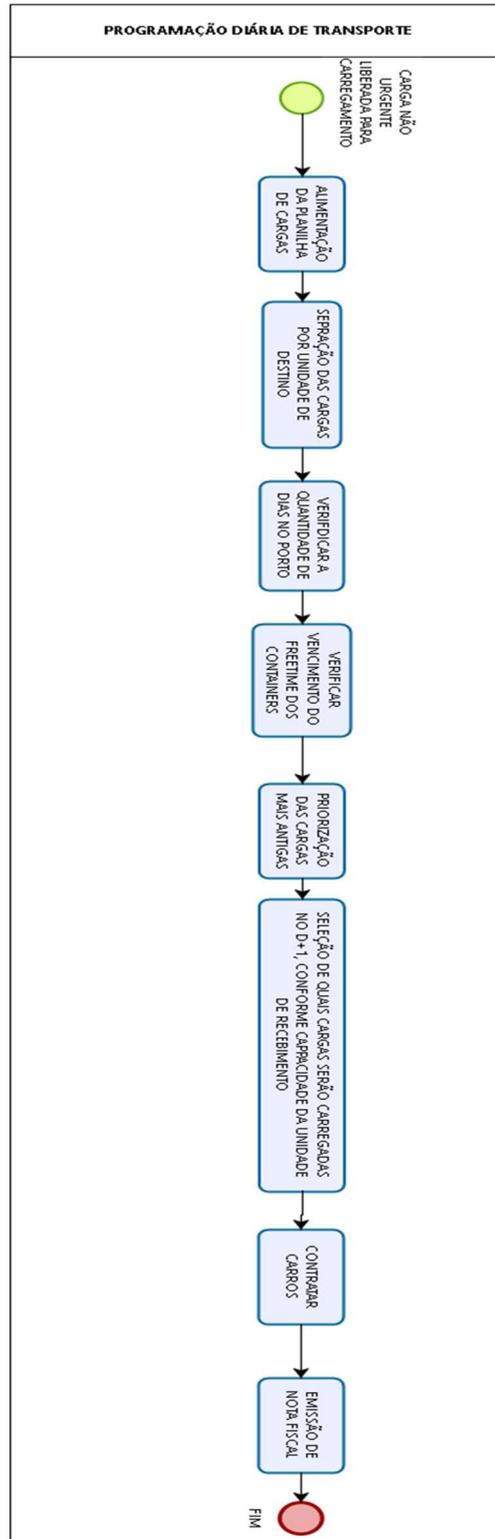
THE GLOBAL COMPETITIVENESS REPORT 2011–2012, World Economic Forum Geneva, Switzerland 2011.

WEBSTER'S NEW ENCYCLOPEDIA DICTIONARY. New York: Black Dog & Leventhal Publishers, 1993. p.590.

ZHI-HUA ZHOU, YANG YU, CHAO QIAN. **Evolutionary Learning: Advances in Theories and Algorithms**, Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2019.

ZOCHE, Lidiana. **Fluxo de Informações em uma Indústria Moveleira: Um estudo de Caso** / Lidiana Zocche. - Medianeira,PR. UTFPR, 2011.

APÊNDICE B – FLUXOGRAMA DA PROGRAMAÇÃO DIÁRIA/SEMANAL DE TRANSPORTE



APÊNDICE C – FLUXOGRAMA REVISADO DA PROGRAMAÇÃO DIÁRIA/SEMANAL DE TRANSPORTE

