



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS – REGIONAL CATALÃO
UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE MATEMÁTICA E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM E OTIMIZAÇÃO



Tiago dos Santos Almeida

Modelo Matemático para a Definição de Embalagens Industriais:
Estudo de Caso em uma Empresa Automobilística

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CATALÃO – GO, 2016

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS (TEDE) NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: **Dissertação** **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação

Autor (a):	TIAGO DOS SANTOS ALMEIDA		
E-mail:	tiago_dosalmeida@hotmail.com		
Seu e-mail pode ser disponibilizado na página?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	
Vínculo empregatício do autor	Mitsubishi Motors do Brasil		
Agência de fomento:	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás	Sigla:	FAPEG
País:	BRASIL	UF:	GO
		CNPJ:	03.438.169/0001-16
Título:	Modelo Matemático para a Definição de Embalagens Industriais: Estudo de Caso em uma Empresa Automobilística		
Palavras-chave:	Embalagem, Custo de Movimentação, Programação Inteira, Setor Automobilístico		
Título em outra língua:	Mathematical model for the Definition of Industrial Packaging: A Case Study in a Company Automotive		
Palavras-chave em outra língua:	Package, Internal Handling Cost, Integer Programming, Automotive Industry.		
Área de concentração:	Modelagem e Otimização		
Data defesa: (dd/mm/aaaa)	15/02/2016		
Programa de Pós-Graduação:	Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Otimização.		
Orientador (a):	Prof. Dr. Hélio Yochihiro Fuchigami		
E-mail:	heliofuchigami@yahoo.com.br		
Co-orientador (a):*	Prof. Dr. Thiago Alves de Queiroz		
E-mail:	th.al.gz@gmail.com		

*Necessita do CPF quando não constar no SisPG

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF ou DOC da tese ou dissertação.

O sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.


Assinatura do (a) autor (a)

Data: 15 / 03 / 2016

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

TIAGO DOS SANTOS ALMEIDA

Modelo Matemático para a Definição de Embalagens Industriais:
Estudo de Caso em uma Empresa Automobilística

Dissertação apresentada como requisito parcial
para a obtenção do título de Mestre em
Modelagem e Otimização pela Universidade
Federal de Goiás – Regional Catalão.

Orientador:

Prof. Dr. Hélio Yochihiro Fuchigami

Coorientador:

Prof. Dr. Thiago Alves de Queiroz

CATALÃO – GO
2016

Ficha catalográfica elaborada automaticamente
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a), sob orientação do Sibi/UFG.

dos Santos Almeida, Tiago

Modelo Matemático para a Definição de Embalagens Industriais
[manuscrito] : Estudo de Caso em uma Empresa Automobilística /
Tiago dos Santos Almeida. - 2016.

CII, 102 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Hélio Yochihiro Fuchigami; co-orientador Dr.
Thiago Alves de Queiroz.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Regional
Catalão, Catalão, Programa de Pós-Graduação em Modelagem e
Otimização, Catalão, 2016.

Bibliografia.

1. Embalagem. 2. Custo de Movimentação. 3. Programação Inteira. 4.
Setor Automobilístico. I. Yochihiro Fuchigami, Hélio, orient. II. Alves
de Queiroz, Thiago, co-orient. III. Título.

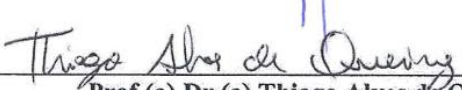
TIAGO DOS SANTOS ALMEIDA

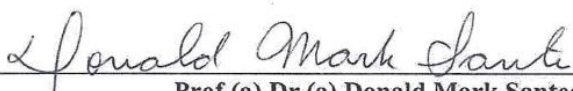
Modelo Matemático para a Definição de Embalagens Industriais: Estudo de Caso em uma Empresa Automobilística

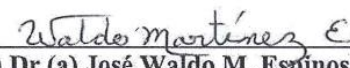
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Modelagem e Otimização da
Universidade Federal de Goiás – Regional
Catalão.

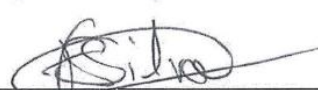
Trabalho aprovado em 15 de Fevereiro de 20 16.


Prof.(a) Dr.(a) Hélio Yochihiro Fuchigami
Orientador


Prof.(a) Dr.(a) Thiago Alves de Queiroz
Coorientador


Prof.(a) Dr.(a) Donald Mark Santee
Unidade Acadêmica Especial de Matemática e Tecnologia/UFG - RC


Prof.(a) Dr.(a) José Waldo M. Espinosa
Unidade Acadêmica Especial de Engenharia e Administração/UFG - RC


Prof.(a) Dr.(a) Sérgio Francisco da Silva
Unidade Acadêmica Especial de Biotecnologia/UFG – RC

Catalão – GO
2016

Aos meus pais, irmão e esposa, com amor e gratidão pela compreensão, carinho, ao longo do período de elaboração deste trabalho.

Agradecimentos

À Deus, por ter me concedido a oportunidade e força para a minha caminhada durante a minha formação e pesquisa. Agradeço por me fazer acreditar no grande propósito e resultado que este trabalho dará para minha vida. Por ter me amparado nos momentos de dificuldade.

Aos meus pais, Messias e Cláudia, pelo carinho, amor e incentivo durante a elaboração deste trabalho.

Ao meu irmão, Messias Júnio, por ser um exemplo de persistência e determinação.

À Sueyde Géssika por ter sido meu suporte emocional e me encorajado para este desafio em minha vida.

Ao Prof. Dr. Hélio Fuchigami por toda sua paciência durante a execução da pesquisa, de ter me incentivado nos momentos mais difíceis durante a realização das atividades e pelas palavras de encorajamento. Agradeço pelo tempo dedicado.

Ao Prof. Dr. Thiago Queiroz pela colaboração, dedicação e disponibilidade no decorrer da pesquisa.

Aos amigos e colegas de trabalho que contribuíram e incentivaram a minha formação. Agradeço aos amigos Fred Salomão e Ângelo Guglielmo por ter me concedido a oportunidade de me ausentar do meu expediente de trabalho e ter acreditado no meu potencial e na pesquisa realizada com a Universidade.

Agradeço aos colegas e amigos de classe pelo apoio durante a realização desta pesquisa.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás, pela concessão da bolsa de mestrado e pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

RESUMO

ALMEIDA, T. S. *Modelo Matemático para a Definição de Embalagens Industriais: Estudo de Caso em uma Empresa Automobilística*. 2016. 102 f. Dissertação (Mestrado) – Unidade Acadêmica Especial de Matemática e Tecnologia, Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão, Catalão – GO.

O processo de determinação do uso da embalagem industrial para uma determinada peça é cada vez mais constante em empresas que buscam se adequar as condições e necessidades do mercado consumidor, ou seja, os produtos que são comercializados têm que, de tempos em tempos, serem atualizados e/ou substituídos por novos conceitos. No ramo automobilístico, o lançamento de novos veículos tem, de uma maneira geral, se atualizado pelo menos uma vez ao ano, isto é, para os responsáveis em determinar o tipo de embalagem a ser utilizado no fluxo logístico há sempre a necessidade de analisar, definir e implementar novos conceitos de embalagens. O objetivo deste trabalho é propor um modelo matemático que permita definir o tipo de embalagem a ser utilizada, considerando as especificações da peça, montagem e toda a sua movimentação ao longo da cadeia de abastecimento, minimizando os custos de movimentação interna. A justificativa para este trabalho está ligada à necessidade constante de processos de definição de embalagens, ocasionados pela modernização dos produtos e otimização de processos. A dificuldade encontrada para esse processo de definição aumenta na medida em que se tem projetos com maior complexidade, com alto número de peças e influências nos processos de abastecimento e montagem. Este trabalho visa realizar uma pesquisa aplicada, ou seja, estudar um problema prático e fornecer conhecimentos aplicáveis. Desta forma, a abordagem da pesquisa será quantitativa, devido ao fato de utilizar informações que podem ser traduzidas em números, no intuito de analisar e realizar as devidas conclusões. Com isso, a pesquisa terá caráter exploratório, pois irá envolver um levantamento bibliográfico sobre o tema proposto, buscando referenciar autores que fizeram estudos correlacionados ou semelhantes. O modelo matemático desenvolvido neste trabalho foi implementado em uma montadora de veículos, sendo que foi possível verificar reduções de 50,27% nos custos de movimentação interna dada as soluções encontradas pelo modelo de programação inteira proposto.

Palavras-chaves: Embalagem, Custo de Movimentação, Programação Inteira, Setor Automobilístico.

ABSTRACT

ALMEIDA, T. S. *Modelo Matemático para a Definição de Embalagens Industriais: Estudo de Caso em uma Empresa Automobilística*. 2016. 102 f. Master Thesis – Unidade Acadêmica Especial de Matemática e Tecnologia, Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão, Catalão – GO.

The procedure for determining the use of industrial packaging to a particular item is becoming more common in companies seeking to suit the conditions and needs of the customer market, i.e., products that are marketed must from time to time be updated and / or replaced by new concepts. In the automotive industry, the launch of new vehicles has, in general, updated at least once a year, that is, for those responsible in determining the type of packaging to be used in the logistics flow there is always the need to analyze, define and implement new concepts in packaging. The objective of this paper is to propose a mathematical model that allows one to define the type of packaging to be used, considering the specifications of the part, assembly, and all its movement along the supply chain, minimizing the internal handling cost. The rationale for this work is linked to the constant need for packaging process definition, caused by the upgrading of products and process optimization. The difficulty is encountered when the process increases due to design of greater complexity with a high number of pieces and it influences the supply and assembly. This paper aims to conduct applied research, to study a practical problem and provide relevant expertise. Thus, the approach of quantitative research is due to the fact that it uses information that can be translated into numbers, in order to analyze and make the right conclusions. Thus, the research is exploratory as it involves a literature review on the theme, seeking authors that made related or similar studies. The mathematical model developed in this study was implemented in a vehicle assembler, and it was possible to verify the 50.27% reductions on internal handling costs given the solutions proposed by the integer programming model.

Keywords: Package, Internal Handling Cost, Integer Programming, Automotive Industry.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	EMBALAGENS	18
2.1	Histórico	18
2.2	Embalagens Industriais	25
2.2.1	Saco Plástico	30
2.2.2	Caixa de Madeira	32
2.2.3	Caixa de Papelão.....	33
2.2.4	Caixa Plástica.....	36
2.2.5	Cestos Metálicos	40
2.2.6	Caçambas Metálicas	41
2.2.7	Racks Metálicos	42
3	ANÁLISE DO PROCESSO DE ABASTECIMENTO	46
3.1	Histórico da Empresa.....	46
3.2	Sistema de Abastecimento	47
3.3	Rotas de Abastecimento	49
3.4	Operações de Abastecimento.....	52
3.5	Construção da Planilha	54
4	MODELAGEM MATEMÁTICA	58
4.1	Aplicações de modelos matemáticos	61
4.2	Modelagem Inicial	64
4.2.1	Formulação do problema	64
4.2.2	Definição do modelo conceitual	66
4.2.3	Validação do modelo conceitual.....	71
4.3	Modelo Proposto	75
5.	APLICAÇÃO E TESTES COMPUTACIONAIS	79
5.1	Cenários Analisados	79
5.2	Dados das Experimentações	81
5.3	Resultados para o cenário 1	82
5.4	Resultados para o cenário 2	86
5.5	Implementação da solução do modelo proposto.....	93

6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	97
	REFERÊNCIAS	99

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

Embalagem: “Conjunto de artes, ciências e técnicas utilizadas na preparação das mercadorias, com o objetivo de criar as melhores condições para seu transporte, armazenagem, distribuição, venda e consumo, ou alternativamente, um meio de assegurar a entrega de um produto numa condição razoável ao menor custo global” (MOURA; BANZATO, 1997, p.11).

Segundo Silva e Leite (2010), ao pensar na logística, conseqüentemente se pensa em produtos em movimentos e transportados. Entretanto, quaisquer produtos podem ser transportados, movimentado ou armazenado, com a garantia da sua integridade, sem que haja a utilização da embalagem. A embalagem pode ser identificada como um equipamento, ou em diversos casos, como uma extensão do produto. Não se tem uma compra, venda ou fabricação sem que se tenha passado por algum tipo de processo de embalagem. A embalagem em si não se aplica apenas ao produto final, aquele em que chega ao consumidor, mas está presente nos processos de montagem e fabricação dos bens ou produtos.

O processo de determinação do uso da embalagem industrial, para uma determinada peça, é cada vez mais constante em empresas que buscam se adequar as condições e necessidades do mercado consumidor, ou seja, os produtos que são comercializados têm que, de tempos em tempos, serem atualizados e/ou substituídos por novos conceitos.

Na atualidade, as empresas automobilísticas têm encontrado um cenário bastante diferente do mercado americano, iniciado no século passado, e do europeu, da década de 1940 e 1950. O mercado consumidor tem se mostrado cada vez mais seletivo e exigente, desta maneira a indústria automotiva têm passado por um período de grandes fusões e aquisições, e as montadoras têm passado a atuar na grande maioria dos principais segmentos de mercado. Nesse contexto, as montadoras têm buscado segmentar e diversificar os modelos de automóveis e seus *desing* das carrocerias, reduzindo o ciclo de vida no mercado, oferecendo um grande pacote de combinações de atributos aos consumidores (SCAVARDA; BARBOZA; HAMACHER, 2005).

No ramo automobilístico, os lançamentos de novos veículos têm, de uma maneira geral, se atualizado pelo menos uma vez ao ano, ou seja, para os responsáveis em determinar o tipo de embalagem a ser utilizado no fluxo logístico há sempre a necessidade de analisar, definir e implementar novos conceitos de embalagens. Os projetos automobilísticos podem ser, desde pequenas modificações de peças específicas de um veículo, até um projeto completo de um tipo de veículo (SCAVARDA; BARBOZA; HAMACHER, 2005).

Ao comparar o mercado brasileiro com o europeu, os autores Scavarda, Barbosa e Hamacher (2005) verificaram que ao analisar o tempo de ciclo de vida dos modelos automotivos, que havia uma significativa redução em ambos mercados. Em tal análise foi possível constatar que na Europa a redução se deu no final dos anos 1970, enquanto que no mercado brasileiro, apenas na década de 1990.

A cada modificação identificada nos documentos de alteração/estrutura de peças nos novos projetos, faz-se uma análise detalhada da peça a fim de verificar as suas particularidades e, por fim, definir as necessidades de recursos para realizar a movimentação de cada peça até o destino final de montagem. Dessa maneira, o processo decisório que se relaciona com a definição de embalagem tem um papel fundamental nos investimentos logísticos, uma vez que quando mal definidos, há uma série de impactos na cadeia de suprimentos, com potenciais de danificar peças, aumentar os fluxos logísticos de abastecimentos, despesas com manutenção, além de investimentos desnecessários.

A alteração nas dimensões de uma peça pode fazer com que o projeto de embalagem inicial sofra uma alteração na taxa de ocupação volumétrica, fazendo com que haja novos estudos de adequação da embalagem. Este ciclo de estudo deve acompanhar a modernização das indústrias automobilísticas, com isso se faz necessário a existência de profissionais dedicados no desenvolvimento de embalagens e análises dos impactos na cadeia de abastecimento (BIANCHI, 2007).

Frequentemente, as empresas automobilísticas passam por processos de modernização, justificados pelos lançamentos de novos modelos de automóveis, consequentemente, afetando quase toda a cadeia de abastecimento de componentes, inseridas às novas exigências de transportes e embalagens (BIANCHI, 2007).

Segundo Bianchi (2007), para os componentes automotivos, a garantia da qualidade está ligada ao acondicionamento seguro, garantindo que a peça não se danifique no decorrer do transporte. As consequências das avarias podem gerar paradas de linhas de produção,

caso houver dependência exclusiva da carga rejeitada pelo departamento de qualidade. Com isso, resultaram em um departamento da engenharia automotiva com especialidade no desenvolvimento de protótipo de embalagens duráveis, com o foco em atender as condições de manuseio, armazenagem e o seu transporte.

O objetivo geral deste trabalho é propor um modelo matemático que permita definir o tipo de embalagem a ser utilizada e a quantidade de peças, buscando minimizar os custos de movimentação interna da empresa. Para isso, devem ser considerados os custos de utilização do rebocador, da manutenção, da mão de obra e da embalagem utilizada no processo logístico de abastecimento.

Os objetivos específicos deste trabalho podem ser listados de acordo com os pontos abaixo:

- Estudo de caso em uma empresa automobilística;
- Conhecer e calcular os custos logísticos de movimentação interna da empresa;
- Construir um modelo matemático do custo de movimentação interna da empresa, considerando as informações de definição utilizadas para o processo de abastecimento;
- Elaborar uma planilha eletrônica para custear a movimentação interna da empresa, considerando as definições proposta pelo setor responsável pelas embalagens. Neste caso, os custos envolvidos no processo de abastecimento da empresa, que levam em consideração a mão de obra, embalagem, utilização e manutenção do rebocador, as informações do modelo de embalagem e quantidade de peças são conhecidas e praticadas pela montadora;
- Construir um modelo matemático que minimize os custos de movimentação interna, buscando otimizar as definições de embalagens e quantidade de peças por recipiente;
- Comparar o modelo matemático proposto com as definições praticadas pela empresa em diferentes cenários para uma implementação do modelo em um ambiente computacional e depois no chão de fábrica.

A justificativa para este trabalho está ligada à necessidade constante de processos de definição de embalagens, ocasionados pela modernização dos produtos e otimização de processos. A dificuldade encontrada para esse processo de definição aumenta na medida em que há projetos com maior complexidade, com alto número de peças (como uma nova

plataforma de um automóvel, por exemplo) e influências nos processos de abastecimento e montagem.

A motivação da pesquisa se deu pela necessidade de melhorar um processo de definição de embalagens de uma empresa automobilística, em que se tem um processo longo de análises de planilhas, de folhas de processos, da peça física e sequências de montagem. Desta forma, a proposta de criação de um modelo matemático para o processo decisório não irá excluir por total os procedimentos de análise física da peça, com base nas informações de dimensão e aplicação do mesmo.

Outra motivação para este estudo está ligada às poucas publicações referentes ao processo de definição de embalagens, com o uso de modelos matemáticos com o foco em embalagens industriais, ou seja, dispositivos de movimentação de peças de fornecedores e/ou estoque para a montagem final. Em grande parte dos estudos encontrados, verifica-se que o foco maior do desenvolvimento da embalagem está na sua ligação com o processo de vendas, ou seja, conceitos de *design*, cores e informações técnicas.

Nos estudos com o foco em embalagens industriais, na grande maioria, são abordados os conceitos técnicos dos protótipos, cubagem nos veículos de transporte, ergonomia, entre outros. Entretanto, dificilmente são informados como se deu o processo de definição de qual tipo de embalagem a ser utilizado, como: modelos simples (caixa de papelão, caixa plástica de dimensões padrões, madeira, etc.) e modelos complexos (*racks* metálicos específicos às dimensões das peças, embalagens retornáveis, etc.).

Neste trabalho realizou-se uma pesquisa aplicada, ou seja, o estudo de um problema prático, buscando fornecer conhecimentos aplicáveis. Para isso, foi feito um estudo de caso em uma empresa automobilística, através de uma análise aprofundada sobre o sistema de abastecimento, com ênfase na utilização das embalagens industriais. Desta maneira, procurou-se o entendimento das variáveis que são levadas em consideração para a escolha de uma embalagem no sistema logístico. Entretanto, este trabalho foi restringido a estudos voltados para movimentações internas de uma empresa, ou seja, fluxo de abastecimento entre um local de armazenagem e linha de montagem. Portanto, não foram consideradas as movimentações externas (Fornecedor versus Cliente) para o estudo sobre embalagens.

Araújo *et al.* (2008) reforçam que o estudo de caso se refere a uma abordagem sistemática de investigação notadamente propícia quando se procura assimilar, conhecer ou expor acontecimentos e contextos substanciais, nos quais estão concomitantemente

envolvidos diversos elementos. Pontes (2006) reforça que o estudo de caso é uma investigação que se caracteriza como restrita, ou seja, se desenvolve sobre um cenário específico que é suposto ser especial ou único, ao menos em alguns aspectos, procurando a descoberta do que há de mais característico e especial, de tal maneira a contribuir para o entendimento global de um fenômeno importante.

A abordagem da pesquisa é quantitativa, devido ao fato de utilizar informações que podem ser traduzidas em números, no intuito de analisar e realizar as devidas conclusões. Franceschini *et al.* (2012) afirmam que a pesquisa quantitativa aborda números, medições, quantidades, fatos, comportamentos do cliente e do mundo racional.

A abordagem quantitativa é caracterizada por uma formulação de hipóteses, definições funcionais das variáveis, quantificação das peculiaridades de informações e coletas de dados, empregando tratamentos estatísticos. Extensivamente utilizada, a abordagem quantitativa dispõe, em teoria, do intuito de garantir a precisão dos resultados, evitando distorções de interpretação e análise. Esta abordagem estipula hipóteses que determinam, usualmente, uma associação entre causa e efeito, apoiando as conclusões em dados estatísticos, testes e comprovações. O real é obtido através de fatos que podem ser notados (GRESSLER, 2004).

A pesquisa tem caráter exploratório, pois envolve um levantamento bibliográfico sobre o tema proposto, buscando referenciar autores que fizeram estudos correlacionados ou semelhantes. Este trabalho é delineado por uma pesquisa bibliográfica, em que se tem acervos publicados, tais como: livros, revistas e artigos científicos. Segundo Gil (2002), a pesquisa bibliográfica é construída através de estudos já realizados, como de artigos científicos e livros.

Além disso, trata-se de uma pesquisa experimental, que tem como principal foco o processo de implementação do modelo computacional, a fim de verificar as suas principais características e resultados.

A pesquisa experimental constitui o delineamento mais prestigiado nos meios científicos. Consiste essencialmente em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis capazes de influenciá-lo e definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto. Trata-se, portanto, de uma pesquisa em que o pesquisador é um agente ativo, e não um observador passivo (Gil, 2002, p.48).

A implementação computacional do modelo matemático, que é de programação inteira, é feita utilizando o pacote *Gurobi Optimizer* na versão 6.0. Neste sentido, com a implementação do modelo, espera-se ter uma solução que otimize o processo de definição de embalagens, buscando minimizar os custos envolvidos com a movimentação interna das empresas.

O trabalho está estruturado da seguinte maneira: o segundo capítulo apresenta os tipos de embalagens, com o foco principal de embalagens industriais, demonstrando os principais conceitos utilizados e a importância na cadeia de suprimentos. No terceiro capítulo estão expostos os custos logísticos envolvidos no processo de determinação de embalagens, obtidos através de um estudo de caso aplicado em uma empresa automobilística. O quarto capítulo traz uma revisão bibliográfica de modelos matemáticos, com ênfase em logística de movimentação, e diversos casos de implementação e concepção. Além disso, apresenta o processo de estruturação do modelo matemático, buscando detalhar os seus principais parâmetros. O quinto capítulo detalha a fase de experimentação do modelo matemático desenvolvido neste trabalho, com a utilização de dados coletados no decorrer do estudo de caso elaborado.

Capítulo 2

EMBALAGENS

2.1 Histórico

Figura 1 - Primórdios da utilização da embalagem.



Fonte: o autor.

Moura e Banzato (1997) atribuem o desenvolvimento da embalagem com a origem do homem, conforme a Figura 1, destaque em azul, pois os antigos artefatos trazem uma ideia de quando certas embalagens foram utilizadas pela primeira vez. Os inventores do primeiro formato não são conhecidos, mas é muito provável que a utilização da embalagem foi no intuito de facilitar o transporte.

Moura (2012) reforça que desde o princípio, o ser humano vem na tentativa de solucionar o problema de se transportar os materiais que fazem parte da sua necessidade. Com o passar do tempo, o homem desenvolveu a aplicação dos princípios da roda, alavanca, polias, plano inclinado, no intuito de facilitar o ato de movimentar e carregar de maneira veloz e segura.

Mestriner (2007) reforça que a utilização da embalagem na vida humana está presente desde tempos longínquos, com a serventia as crescentes necessidades das pessoas, evoluindo nas técnicas e conceitos em uma dinâmica cada vez mais rápida. A sua utilização inicial era destinada a agrupar e acomodar os alimentos, possibilitando o armazenamento e transporte. Com o passar do tempo, as cidades cresceram e a vida se tornou mais complexa, consequentemente, a embalagem foi ganhando mais importância e novas funções.

Para Negrão e Camargo (2008), a embalagem tem uma origem sociológica e antropológica no princípio da civilização humana, pois é justificada pela necessidade do ato

de alimentar e do meio de acondicionar e transportar os alimentos por longos períodos. Desta forma, com o crescimento da comunidade tribal, a característica de nômades vai se conduzindo ao sedentarismo e o estabelecimento dos grupos em um determinado local. Com isso, não é suficiente que o homem apenas caçasse ou colhesse seu alimento, pois os fatores climáticos nem sempre permitem essa condição, criando a necessidade de armazenar e transportar os alimentos. A Figura 2 mostra um exemplo de embalagem feita de palha.

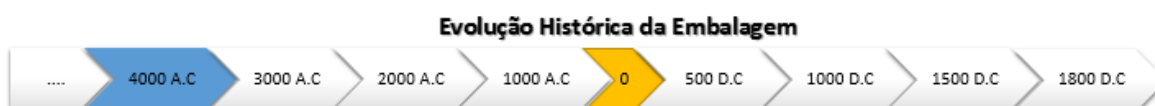
Figura 2 - Exemplo de embalagem de palha.



Fonte: Caixas Organizadoras PP (2014).

O uso da embalagem vem acompanhando a humanidade desde o princípio em que foi verificada a necessidade de proteger e transportar mercadorias. Em um significado amplo, ânforas, caixas, cestos, odres, potes, tonéis, barris, jacás, barricas, tambores, baús, balaios, garrafas, sacolas, bolsas e bujões são considerados embalagens. Além desses, há quem cita a natureza como uma das inventoras das embalagens, como a vagem de proteção do grão de feijão e ervilha, a palha para proteger o milho, a casca de noz e ovo (CAVALCANTI; CHAGAS, 2006).

Figura 3 - Utilização da embalagem entre 3000 A.C à 4000 A.C.



Fonte: o autor.

Ainda que se tenham informações de utilização de cântaros e diferentes tipos de vasilhames nos primórdios orientais e demais civilizações, o surgimento da embalagem provavelmente tomou lugar em meados do ano 4000 A.C., de acordo com a linha do tempo da Figura 3, no processo de intercâmbio de produtos da Mesopotâmia e Egito (MOURA; BANZATO, 1997).

Silveira *et al.* (2010) salientam que com o advento da escrita, aproximadamente à 4000 A.C., sucede o intercâmbio de diversas mercadorias entre a Mesopotâmia e Egito. Nessa época, a conceituação da embalagem estava ligada a fins de transporte, comerciais e armazenagem. Com isso, a evolução dos meios de transportes criou a necessidade de ter um recipiente que pudesse assegurar o produto, a exemplo disso, o barril cumpriria essa função.

Figura 4 - Utilização da embalagem entre 2000 A.C à 3000 A.C.



Fonte: o autor.

Uma das utilizações mais antigas que se tem conhecimento, sobre o uso de embalagens, sem contar com o uso de granel em transportes de mercadorias, tem provável ocorrência em meados do ano 3000 A.C., ilustrado na Figura 4. Recipientes confeccionados de alabastros eram utilizados para armazenar quantidades pequenas de cosméticos destinados às damas da Mesopotâmia. Além disso, os egípcios confeccionavam garrafas de vidros rústicas e jarras, com o uso de areia moldada. Mesmo que o processo fosse lento e em pequenas quantidades, grande parte dos recipientes produzidos era utilizada para armazenar óleos, cosméticos e perfumes. Acredita-se que esses recipientes podem ter sido os pioneiros das embalagens de consumo (MOURA; BANZATO, 1997).

A evolução do uso de embalagens pelo homem, segundo Cavalcanti e Chagas (2006), é:

O homem começou por lançar mão de folhas de plantas, do couro, do chifre e da bexiga dos animais, passou para cerâmica e o vidro, para os tecidos e a madeira, chegou ao papel, ao papelão e à folha-de-flandres, até atingir a atualidade do alumínio e do plástico nas suas várias modalidades.

Figura 5 - Utilização da embalagem entre 1000 A.C à 2000 A.C.



Fonte: o autor.

No ano de 1100 A.C., surgiram duas grandes civilizações: a Grega e a Romana, que contribuíram em muito para o desenvolvimento do comércio. Naquela época, foi desenvolvido o conceito de recipiente fechado ou lacrado (SALVADO, 2013). Moura e Banzato (1997) reforçam que as práticas de identificação de produtos e fabricantes parecem ter sido iniciadas com o crescente uso de embalagens de vidros. Com isso, as primeiras embalagens com tampas utilizadas pelos romanos eram confeccionadas com chumbo ou argilas, onde em grande número eram grafados o fabricante e a identificação do produto.

Segundo Negrão e Camargo (2008) existem registros arqueológicos de embalagens de cerca 2200 A.C., conforme especifica a Figura 5. Os materiais que constituíam as primeiras “embalagens” disponíveis na época, eram entranhas e couros de animais, folhas, frutos e diferentes tipos de fibras vegetais. Desta forma, possibilitou ao homem prolongar a duração das caçadas, sem ficar sedento e faminto, entre outras vantagens proporcionadas.

Ainda, Negrão e Camargo (2008) relatam que, por volta de 2000 A.C., os fenícios fizeram a descoberta do vidro. Dentre os benefícios encontrado com esta matéria prima, pode-se destacar aqueles ligados a conservação das propriedades químicas de certas substâncias, tanto que até nos dias atuais são utilizados em embalagens alimentícias (sólidos e líquidos), medicamentos, cosméticos e no ramo de perfumaria.

Figura 6 - Utilização da embalagem entre 1000 A.C ao marco 0.



Fonte: o autor.

O uso da embalagem está presente na vida do homem desde o período histórico, quando havia os primitivos utilizando a casca de coco e conchas oriundas do mar, em seu

estado natural, como um recipiente utilizado para estocar e beber alimentos. Além disso, eram utilizadas peles, chifres, pedaços de árvores e entranhas de animais, mas por volta de 1000 A.C., como indica a Figura 6, as embalagens foram utilizadas para o armazenamento de medicamentos pelos médicos egípcios (SANTOS *et al.*, 2007).

Figura 7 - Utilização da embalagem entre o marco 0 a 500 D.C.



Fonte: o autor.

A comercialização e toda a arte de preparação das mercadorias para o processo de embarque tiveram grande destaque no decorrer do império Romano, ao longo dos mil anos seguintes, conforme a Figura 7. Desta forma, os Romanos desenvolveram o processo de fabricação de embalagens de vidro, passando a utilizá-las extensivamente. A utilização do barril de madeira também ocorreu durante este período. Além disso, desenvolveram um sistema de estrados, motivados por sua política de livre comércio, introduzindo diversas inovações de embalagens para a sociedade civilizada (MOURA; BANZATO, 1997).

Salvado (2009) reforça que após a queda do império Romano, houve uma série de retrocessos na evolução da embalagem. Moura e Banzato (1997) afirmam que foram realizadas poucas mudanças nos formatos básicos das embalagens até o período da renascença.

Figura 8 - Utilização da embalagem entre 500 D.C à 1000 D.C.



Fonte: o autor.

Em meados de 1200 D.C, observando a Figura 8, os principais materiais utilizados em embalagens eram o couro de animais, tecido, madeira, relva ou lascas de madeira, pedra, louça de barro, metal e vidro. O Quadro 1 exemplifica os seus respectivos formatos.

Quadro 1 - Tipos de materiais e os formatos da embalagem.

Material	Formatos da Embalagem
Couro	Amarrado, sacola, garrafas
Tecido	Amarrados, sacos
Madeira	Barris, caixas, tonéis, baús
Relva ou Lascas de madeira	Cestos e esteiras
Pedra	Pequenos potes ou jarras
Louça de barro	Potes, jarras, urnas, tigelas, vasos etc.
Metal	Potes, xícaras, tigelas etc.
Vidro	Jarras, garrafas, xícaras, tigelas etc.

Fonte: Moura e Banzato (1997).

Figura 9 - Utilização da embalagem entre 1000 D.C à 1500 D.C.



Fonte: o autor.

Segundo Moura e Banzato (1997), a revolução industrial veio para fazer a substituição do homem por máquinas e cestas de carga, como resultado do aumento na produtividade. Gradativamente, levou-se a necessidade de novas embalagens e formatos mais apropriados, em específico, de lata, caixa de papel/papelão e saco plástico, dado o período indicado na Figura 9.

Negrão e Camargo (2008) ressaltam que a fabricação de embalagens no decorrer de séculos teve caráter artesanal. Com a revolução industrial, houve um avanço no comportamento no processo produtivo, com produção em série e crescimento elevado da oferta de produtos.

Com a revolução industrial, século XVIII, e o aumento na produção de bens em conjunto com crescimento do grupo de assalariados nos meios urbanos, teve-se como consequência a exigência por melhores e maiores quantidades de embalagens. Novos tipos de materiais, como papel cartão e folha de flandres, propiciaram o surgimento de novas embalagens (MESTRINER, 2007).

Com o avanço industrial, os fornecedores de embalagens tiveram que desenvolver seus equipamentos, automatizando, buscando adequar os diversos tipos de embalagens ao

contínuo aumento dos artigos de consumo. Foram criados novos tipos de tampas, o processo de embalagem a vácuo e melhorias nos equipamentos de fabricação de garrafas (MOURA; BANZATO, 1997).

Para Germinio (1985), com a invenção da máquina a vapor, em particular com a revolução industrial, a embalagem foi adquirindo maior complexidade. Além das distâncias a serem percorridas, a necessidade de velocidade de movimentação de mercadorias resultou em uma maior necessidade de proteção e o cuidado na distribuição e transporte dos bens de consumo, alimentos, tecidos e máquinas.

Figura 10 - Utilização da embalagem de 1800 D.C em diante.



Fonte: o autor.

Conforme Moura e Banzato (1997), no decorrer da década de 1890 e no princípio de 1900, indicado na Figura 10, houve uma alteração nos Estados Unidos e Inglaterra. A constante melhoria nos sistemas produtivos e o crescente aumento da concorrência resultou em um grande aumento de produção. Conseqüentemente, isto ocasionou uma superprodução, ou seja, os produtos deixaram de ser automaticamente consumidos, pois as pessoas tinham mais opções e faziam as suas próprias seleções. Neste sentido, o mercado passou a ser um comprador ao invés de vendedor, tendo como resultado diversas inovações em embalagens, com maior origem nos Estados Unidos.

Negrão e Camargo (2008) salientam que houve a necessidade de elevar o *shelf life* (duração na prateleira e sua validade) dos produtos. Demonstrando que a proteção tem uma grande importância, além da atenção as necessidades e anseios do consumidor, que no decorrer do tempo se tornou cada vez mais exigente nos processos de aquisição.

Segundo Castro (2005), os sistemas de produção em série, resultado da revolução industrial, podem ser caracterizados como um marco inicial para a evolução das embalagens. Desta forma, o crescente aumento na complexidade dos ambientes produtivos trouxe a necessidade de embalagens de diferentes formas e materiais. Com o passar do tempo, as embalagens passaram a ser utilizadas não somente para acondicionar o produto final, mas

também nos processos de fabricação e transportes de materiais primas e produtos semiacabados.

Neste contexto, a embalagem vai ganhando diversas funções na vida do homem. Gurgel (2007) busca classificar as embalagens em cinco tipos:

- **Contenção:** embalagens que estão em contato com o produto, exigindo a compatibilidade com os componentes do mesmo, com os materiais provenientes da embalagem e a atmosfera do seu interior. Elas ainda podem ter a função de apresentação por meio de uma impressão ou rótulo.
- **Apresentação:** embalagem que possui a função de apresentar ao consumidor, de maneira expressiva e decorativa, no seu local de venda, no qual envolve a embalagem do tipo de contenção.
- **Comercialização:** caracterizada por um múltiplo de embalagens de apresentação, representando a unidade a ser extraída em um pedido.
- **Movimentação:** caracteriza por um múltiplo de embalagens de movimentação, com enfoque em movimentar racionalmente por meio de equipamentos mecânicos.
- **Transporte:** englobam embalagens de comercialização de diferentes produtos, com enfoque para realizar a entrega racionalizada de um pedido ao cliente.

2.2 Embalagens Industriais

Castro (2005) faz um comparativo entre embalagens de consumo final e embalagens de uso industrial, como mostra o Quadro 2. A embalagem industrial engloba o processo de fabricação de uma determinada peça que, de maneira geral, é um componente ou um produto semipronto. Com isso, são apresentadas em etapas o fluxo de uma embalagem industrial, que é diferente da embalagem de consumo final, quais sejam:

- Fabricação da embalagem;
- Movimentação da embalagem até o fornecedor de peças/componentes;
- Armazenamento do componente e trancamento da embalagem;
- Processo de estocagem do produto em sua embalagem de transporte ou não;
- Envio do produto para a empresa solicitante;
- Processo de recebimento, movimentações e estocagem;
- Uso dos componentes até o esvaziamento da embalagem;

- Liberação, reaproveitamento ou processo de reciclagem da embalagem.

Quadro 2 - Comparativo entre embalagens de consumo final e industrial.

Tipo	Consumo Final	Consumo Industrial
Acondicionamento	Produto Final	Diversos componentes
Processo	Comercialização	Fabricação
Finalidade	Consumo e exposição	Transporte, movimentação, distribuição física e armazenagem
Objetivo	Aspectos estéticos	Aspecto de proteção e contenção
Função	Mercadológica	Tecnológica

Fonte: Castro (2005).

Na logística industrial, a utilização da embalagem possui três funções. A tecnológica representa a proteção física, química e mecânica. A mercadológica serve para a comunicação do pensamento mercadológico, ou seja, correlaciona-se com a comercialização. A função econômica está relacionada ao custo da embalagem em relação ao produto manufaturado, que em muitos casos são superiores ao que acomoda (FRANCISCHINI; GURGEL, 2013).

Segundo Moura e Banzato (1997), a embalagem na empresa possui um papel muito maior de que simplesmente fazer parte do sistema de distribuição. Seu projeto e utilização possui consequências sobre outras funções, como controle de qualidade, produção, *marketing* e todo o sistema em geral. Os departamentos de uma organização possuem interesses distintos quanto ao uso de uma embalagem. Por exemplo, o *marketing* exige uma preocupação com a apresentação. Do lado técnico, o foco é na proteção do produto. O departamento de distribuição dedica maior atenção à identificação e a facilidade em manipular a embalagem. Já o departamento de finanças está preocupado com o seu custo.

Robeson e Copacino (1994) definem três funções para as embalagens, que são: proteção, utilidade e comunicação. A quantidade de proteção que uma embalagem proporciona deve estar ligada ao produto e as condições do sistema logístico. A utilidade que uma embalagem possui está ligada tanto ao seu impacto quanto a produtividade e eficiência das operações logísticas. A função da comunicação é ser cada vez mais importante

dentro da logística, como um sistema de gerenciamento da informação mais abrangente. Para todos os efeitos práticos, a embalagem simboliza o produto ao longo de canais logísticos.

Em um sistema logístico, a embalagem possui um papel muito maior que apenas promover a proteção do material no decorrer da cadeia logística. A embalagem industrial, que possui o foco em transportar as peças com maior eficiência e em um menor custo total, tem um papel fundamental no bom funcionamento de uma empresa. Uma embalagem bem desenvolvida, deve considerar os seguintes quesitos:

- **Ergonomia:** questionamentos quanto ao manuseio da peça, peso e dimensão devem ser bem avaliados para que não resulte em uma embalagem desfavorável ao sistema que a utiliza. Uma embalagem com condições desfavoráveis em uma cadeia de suprimento possibilita perdas no tempo de execução dos transbordos de peças, possibilitando até ser prejudicial à saúde do colaborador.
- **Segurança:** além da embalagem ter que fornecer a segurança de uma peça que transporta, a mesma deve ser desenvolvida buscando analisar todos os possíveis acidentes de trabalho que possam ocorrer no processo de manuseio da embalagem, ou seja, os riscos que uma pessoa possui ao utilizar a referida embalagem.
- **Otimização de *layout*:** busca-se propor uma embalagem para reduzir o espaço ocupado pela mesma, mantendo sua eficiência. Uma embalagem desenvolvida sem que leve em consideração os seus pontos de transbordo na cadeia de suprimento, torna-se dispendiosa no sentido de ocupação física.
- **Otimização de abastecimento:** é possível distinguir duas vertentes operacionais. A primeira se refere a utilização da embalagem como meio para transportar objetos no decorrer da cadeia de suprimento. Neste caso, espera-se que seja desenvolvida uma embalagem que explore a máxima utilização dos espaços de tal maneira a movimentar a maior quantidade possível de peças. Entretanto, se relacionar o seu uso atrelado a um processo de manufatura, possivelmente será compreendido que não há a necessidade ou até mesmo é inviável que se tenha embalagens com grande número de peças. Em sistemas enxutos, buscam-se embalagens que movimentem peças nas quantidades necessárias e no tempo correto, de tal maneira que seja possível otimizar os abastecimentos. Em processos produtivos, por muitas vezes, são identificadas

embalagens com excesso de peças, resultando em sujeira, posto de trabalho saturado e de difícil movimentação, dificuldade de realizar o abastecimento, entre outros.

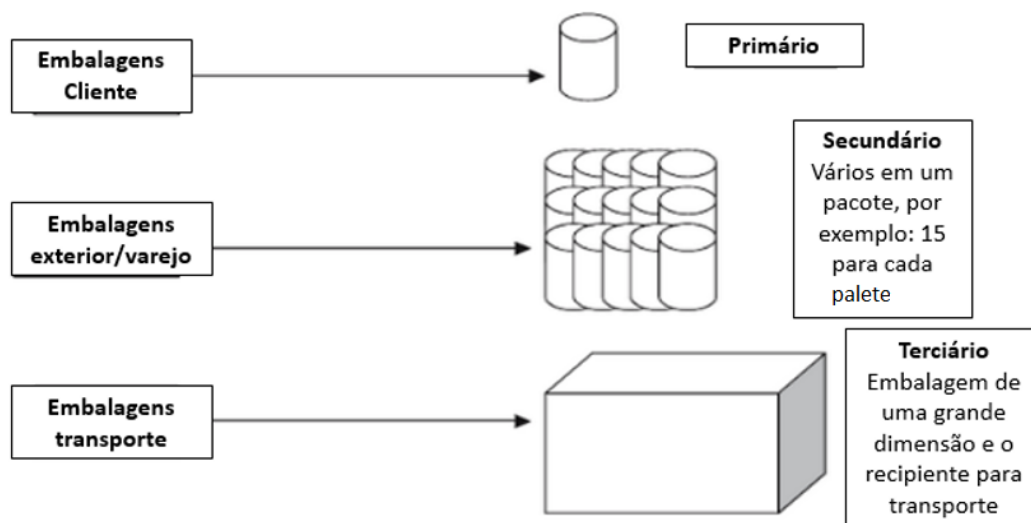
- Otimização de manuseio: deve-se analisar as principais características de uma peça, em que são verificados os seus pontos de apoio e o seu posicionamento de montagem. Este último requisito faz parte do processo de eliminação de desperdício encontrado no interior das fábricas. Por exemplo, o montador retira a peça da embalagem, já na condição ideal para montagem, assim ele elimina movimentos de reposicionar manualmente a peça final.

Segundo Marques (2009), ao relacionar o uso da embalagem com o uso industrial, surgem dois níveis: o primeiro nível relaciona-se com a embalagem de utilizador e segundo com a embalagem de distribuição. Em linhas gerais, o primeiro nível diz que a maneira que é enxergado o consumo de peças em um ambiente convencional não pode ser visualizada de maneira convencional, pois a sua utilização tem o papel de produção ou como subcomponente do produto final. Neste tipo de embalagem, elementos como *marketing* não possui grande importância, ao contrário, são considerados mais importantes o manuseamento, a ergonomia, a compatibilidade com o local de trabalho, a dimensão e a adaptação à sua utilização. Caixas de pequenas dimensões, sejam elas de papelão ou de plásticos, são exemplos de embalagens industriais de primeiro nível, pois são suficientes para abastecer internamente uma fábrica, com ciclos frequentes.

O segundo nível aponta para as embalagens utilizadas na distribuição, ou seja, com foco em atender o transporte, manuseio, proteção e armazenamento. De maneira geral, essas embalagens são de grandes dimensões, uma vez que contêm diversas outras embalagens de primeiro nível. Para exemplificar os componentes de embalagens do segundo nível existem os paletes, caixas de madeira ou cartão de dimensionamento maior.

Alguns autores subdividem em mais níveis sobre a utilização da embalagem. Moura e Banzato (1997) descrevem cinco tipos de níveis (unitária, cliente, varejo, transporte local, transporte de longas distâncias) detalhando cada uma das influências da embalagem ao longo da cadeia de suprimentos. Já Chan, Chan e Choy (2006) subdividem em três níveis (cliente, varejo e transporte), conforme ilustra a Figura 11.

Figura 11 – Os três níveis de embalagem.



Fonte: Traduzido de Chan, Chan e Choy (2006).

Ao analisar os níveis que a embalagem possui ao longo da cadeia de distribuição, verifica-se que aspectos relacionados com a sua utilidade em cada elo podem resultar em diferentes composições para que atenda às necessidades e expectativas. Chan, Chan e Choy (2006) ressaltam que a composição de uma embalagem varia ao longo de seu canal de distribuição. Hallberg e Uhrbom (2008) reforçam que a embalagem tem a possibilidade de ser de diversos tipos, tais como paletes e recipientes, e de diferentes materiais, tais como papelão, alumínio, plástico, madeira e aço.

As embalagens com o foco industrial podem ser resumidas basicamente em dois tipos: o primeiro, onde é considerado apenas um uso, ou seja, descartável. Hallberg e Uhrbom (2008) salientam que embalagens descartáveis podem ser de papelão ou fabricadas de madeira, em que a justificativa de ser descartável é em função de ter sido utilizada uma única vez. A Figura 12 apresenta alguns tipos de embalagens descartáveis.

Figura 12 - Tipos de embalagens descartáveis.



Saco Plástico



Caixa de Madeira



Caixa de Papelão



Pacote de Papel

Fonte: o autor.

O segundo tipo especifica embalagens que podem ser reutilizadas diversas vezes antes do seu descarte, o que a torna a embalagem retornável. Hallberg e Uhrbom (2008) definem que embalagens retornáveis podem ser de vários tipos, tais como caixas plásticas, colmeias, paletes, entre outros. Na Figura 13 estão alguns exemplos de embalagens do tipo retornável.

Figura 13 - Tipos de embalagens retornáveis.



Caixa Plástica



Cestos Metálicos



Caçambas metálicas



Metálicos

Fonte: o autor.

2.2.1 Saco Plástico

O uso do saco plástico na indústria possui duas perspectivas, quando a mesma é utilizada como embalagem principal de movimentação da peça, em que é representada pela embalagem de parafusos, ou quando é uma embalagem auxiliar, por exemplo, quando o saco plástico é apenas uma proteção para evitar possíveis atritos, sendo inserido no interior de uma caixa de papelão, exemplo do volante de um veículo, conforme Figura 14. Neste caso,

não são consideradas as embalagens que servem para consolidar as cargas em movimentações externas, assim, resumindo-se em embalagens unitárias, com o custo agregado ao seu produto.

Figura 14 - Tipos de embalagens de saco Plástico.



Embalagem Principal



Embalagem Auxiliar

Fonte: o autor.

A utilização do plástico na cadeia logística é de fundamental importância, em função da sua grande aplicabilidade, devido a maleabilidade e seu baixo custo, na proteção e transporte de peça, como unidade, ou grupo de peças, quando é permitido ter peças sobrepostas, tais como porcas, parafusos, presilhas, entre outros componentes que são mais resistentes e sofrem menos ao atrito. Moura e Banzato (1997) detalham sobre o material de Polietileno de Baixa Densidade, os chamados PEBD. São caracterizados assim por terem flexibilidade, custo baixo, pouco peso e proteção a umidade, além de serem parafínicos e translúcidos.

Gurgel (2007), ao abordar sobre as vantagens que a embalagem de plástico possui, as descreve em:

- Empilhamento: a propensão que a embalagem possui para quando a forma é arranjada para essa finalidade.
- Reciclagem: pode ser 100% reciclada.
- Resíduos: a parte do acabamento interno previne a concentração de resíduos.
- Praticidade: tampa com sistema de fechamento automatizado (lacre), com fácil abertura.

- Estabilização: possibilidade de aplicação como forma de estabilizar a formação de carga em paletes.
- Queda: quando a embalagem está cheia de produto e é submetido a uma queda, possui boa resistência.
- *Just in Time*: possibilidade de fabricar a embalagem em curto prazo antes de sua utilização, tais como em envasamento.
- Rotulação: oportunidade de executar a rotulação e enchimento na mesma máquina de fabricação da embalagem plástica.

2.2.2 Caixa de Madeira

As embalagens de madeira podem ser aplicadas com a embalagem principal ou de transporte. A aplicação como principal surge quando ela é aplicada como a parte principal de proteção das peças internamente inseridas. No ramo automobilístico, sua aplicação é bastante variável, tais como: amortecedores, escapamentos, motores e transmissões. Quando aplicada para o transporte (de peças), a mais comum são os paletes de madeira. Elas são combinadas com a embalagem principal no intuito de permitir movimentação ao longo da cadeia logística. Na Figura 15 está apresentado alguns tipos de aplicações do material de madeira para as embalagens.

Figura 15 - Tipos de embalagens de madeira.



Fonte: Comercial e Distribuidora de Pallets Castro Ltda (2015).

As embalagens de madeira quando aplicadas como principais, ou seja, aquelas que fornecem condições de proteção principal para as peças a serem movimentadas, são menos utilizadas ou possuem tendências em não serem utilizadas. A justificativa para a diminuição do seu uso ao longo do tempo é em função dos desmatamentos e também pelo surgimento de novos materiais para aplicação em embalagens. Outro fator é que uma embalagem de madeira não pode ser utilizada por longo tempo e/ou em várias viagens, sendo considerada como embalagem descartável. Conseqüentemente, há uma geração de resíduos ao longo da cadeia de suprimentos, fazendo com que se tenha um investimento muito alto em função da necessidade de confecção de novas embalagens.

Existem algumas situações que conduzem para a prática de se utilizar a embalagem de madeira como principal, tais como:

- Embalagem alternativa: quando não se tem a embalagem definitiva aprovada pela cadeia de suprimento. Nesta situação, faz com que a empresa necessite utilizar uma alternativa para garantir a entrega do produto ao cliente final.
- Embalagem reaproveitada: Ao invés de descartar os componentes de madeiras, empresas as utilizam para o desenvolvimento de novas embalagens. A prática é bastante comum para paletes.
- Embalagem de pouca utilização: quando se tem um item que já se sabe que terá baixo período de utilização, ou seja, um investimento em uma embalagem definitiva, tais como metálicas, plásticas, entre outros, não é viável.

2.2.3 Caixa de Papelão

Ao analisar os índices de utilização de materiais aplicados em embalagens, o papel e o papelão são os que possuem maiores médias de utilização no período compreendido entre 2002 e 2014, baseado nos Índices Especiais de Produção Física de Embalagens (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2014). Uma das justificativas para se utilizar o papel nas embalagens é em função de ser um item de baixo custo e com diversas possibilidades de aplicação, ou seja, é um material fácil de modelar para as necessidades da cadeia de suprimentos.

Moura e Banzato (1997) trazem relatos da primeira utilização da caixa de papelão no mercado, nos anos de 1903, ganhando mais força ao final da 2ª guerra mundial, em que sua utilização representava uma taxa de 80% nos transportes. Alguns exemplos de embalagens de papelão são dados na Figura 16.

Figura 16 - Tipos de embalagens de papelão.

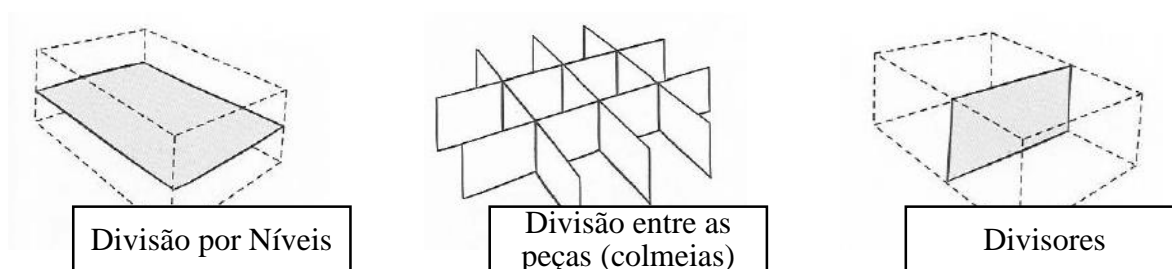


Fonte: Associação Brasileira do Papelão Ondulado (2014).

A utilização de caixas de papelão em uma logística está diretamente ligada à sua versatilidade. Para o acondicionamento de peças é possível criar a estrutura de colmeias, ou seja, partes que reduzem o contato entre as peças, garantindo a integridade e qualidade das peças ao longo de suas movimentações. Algumas aplicações surgem na acomodação de sensores, autofalantes e conectores.

A facilidade em utilizar as caixas de papelão para o armazenamento de peças traz, por outro lado, uma grande geração de resíduos na empresa em que são utilizadas. Com isso, podem surgir gastos na operação de descarte desse tipo material. Algumas das aplicações das embalagens de papelão estão ilustradas na Figura 17.

Figura 17 – Diferentes usos para as embalagens de papelão.

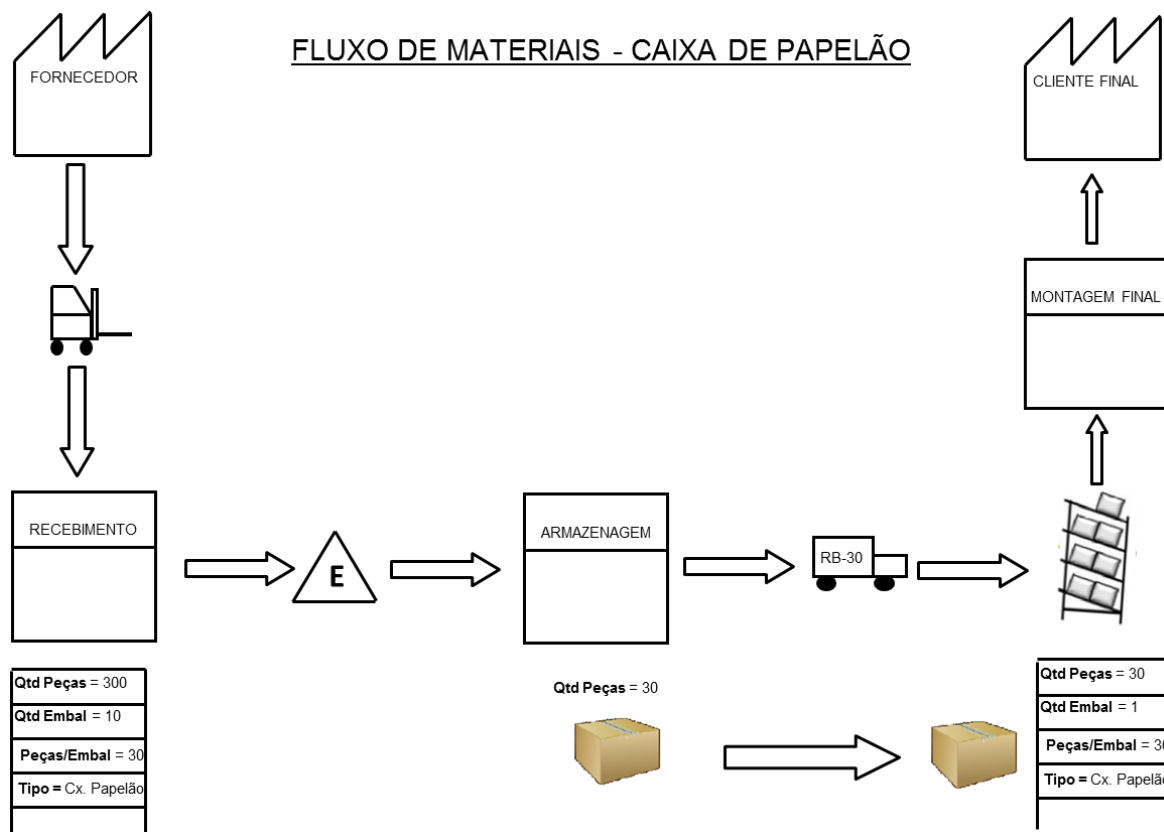


Fonte: Negrão e Camargo (2008).

Utilizar caixas de papelão no fluxo logístico traz alguns benefícios, como a eliminação do processo de *repack*, ou seja, realizar um transbordo para uma outra embalagem em quantidades menores ou iguais a da caixa de papelão, e evitar a necessidade de se realizar um investimento em outras embalagens. Entretanto, existem alguns aspectos nos quais é indispensável realizar uma avaliação, pois utilizar uma caixa de papelão obriga que o fluxo logístico seja movimentado com as quantidades de cada uma das caixas. Outro fator a ser avaliado é a questão de geração de resíduos, como comentado anteriormente.

Na Figura 18 está ilustrado um fluxo logístico interno de uma caixa de papelão para o abastecimento de uma linha de montagem. Observa-se que há embalagens de papelão em quantidade de 30 peças, tal que, havendo o recebimento de 10 embalagens, totaliza-se 300 peças. Feito o recebimento, o material é enviado para o armazenamento. De acordo com a necessidade da linha, o processo de abastecimento é realizado, utilizando a própria caixa de papelão recebida do fornecedor (com 30 peças). Por fim, feito o consumo de cada uma das caixas, os resíduos gerados precisam retornar para algum ponto de descarte da fábrica. De maneira geral, as caixas de papelão, ao serem descartadas, precisam ser desmontadas para que não prejudique a cubagem dos recipientes de descarte (cestos de resíduos).

Figura 18 - Fluxo interno de uma embalagem de caixa de papelão de uma montadora.



Fonte: o autor.

2.2.4 Caixa Plástica

Nos tópicos anteriores foram expostos os principais tipos de materiais utilizados nas embalagens descartáveis. A partir de agora são expostas as principais embalagens retornáveis, ou seja, aquelas que possuem maior tempo, frequência de utilização e existe um fluxo de retorno das embalagens vazias. O retorno das caixas plásticas pode ser internamente, quando são realizados o transbordo de uma embalagem do fornecedor para uma caixa plástica interna da empresa, ou externamente, quando um fornecedor se utiliza de caixas plásticas para enviar as peças até o seu cliente. Quando há um fluxo externo torna-se necessário definir o retorno destas embalagens para o fornecedor, no intuito de garantir o fluxo contínuo de entregas.

As caixas plásticas utilizadas na logística, de modo geral, possuem um material rígido obtido de processos de injeção, sopro, *vacuum forming*, entre outros. Assim como nas caixas

de papelão, as caixas plásticas também podem ter estrutura com divisórias (colmeias). Na Figura 19 estão representados alguns modelos de caixas plásticas utilizados em fluxos logísticos.

Figura 19 - Tipos de embalagens plásticas.



Caixa Plástica
(580x920x550)mm

Caixa Plástica
(705x920x1120)mm

Caixa com
Divisores

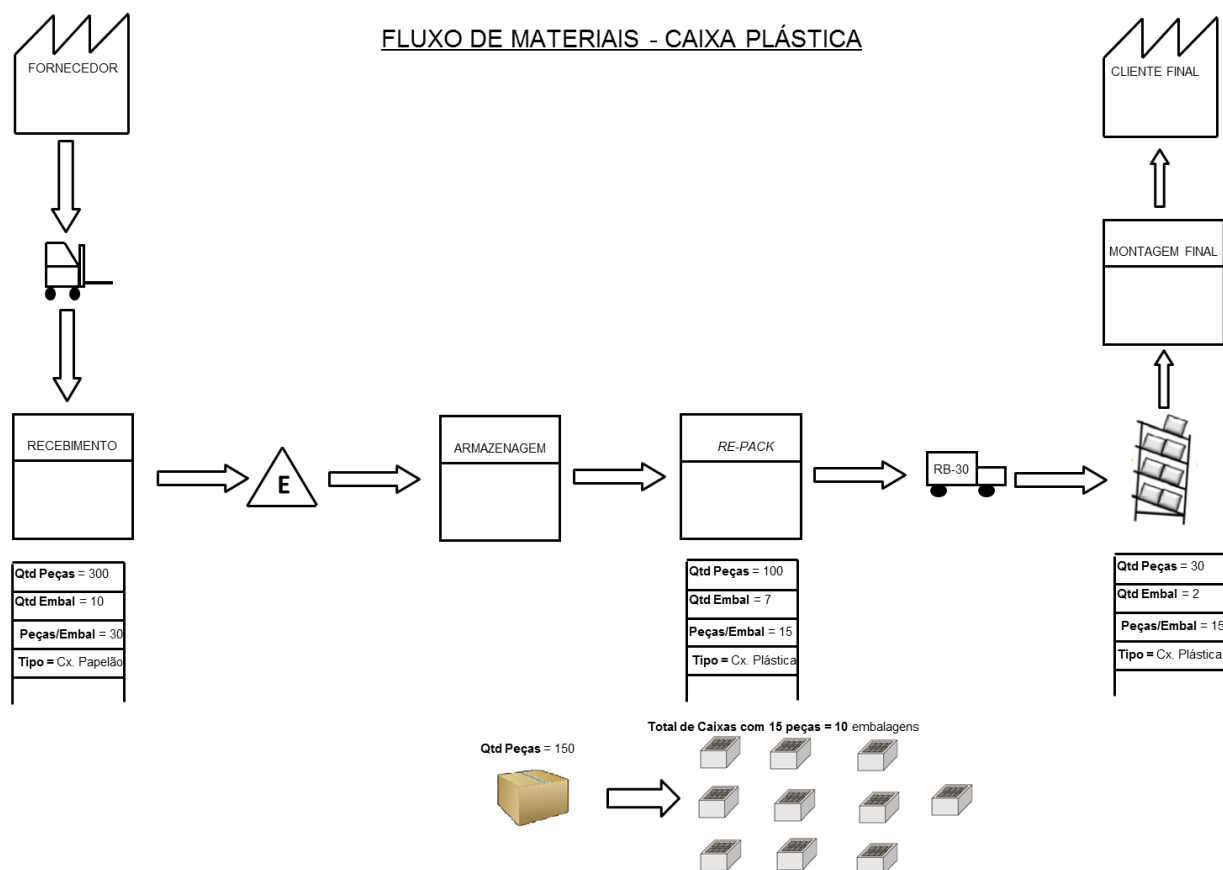
Fonte: Marfinite (2014).

Dentre os benefícios da utilização da caixa plástica em um sistema logístico, tem-se a redução de resíduos, uma vez que se evita o envio das caixas de papelão para a fase de montagem final. Outro ponto importante é que a utilização de caixas plásticas permite uma padronização dos processos de abastecimento. A consequência principal é que o processo de reabastecimento pode ser estruturado para utilizar as quantidades necessárias de peças do processo de montagem, ou seja, evitando o excesso de peças no ambiente de montagem, o que reduz riscos em danificar ou de sujidade nestas peças.

Realizando uma comparação de uma caixa de papelão e as caixas plásticas no fluxo interno de uma empresa: no caso da primeira, o processo de abastecimento requer o envio da carga completa da caixa de papelão, por exemplo, para uma caixa de papelão com 30 peças de sensor de estacionamento. No caso das caixas plásticas, é possível dividir as cargas em diferentes quantidades, conforme ilustra a Figura 20.

No fluxo de materiais das caixas plásticas, representado na Figura 20, têm-se o recebimento de 300 peças (10 caixas de papelão) que são enviadas para a área de armazenagem. De acordo com a necessidade, elas são enviadas para a área de *repack* nas quantidades de 150 peças (5 caixas), sendo realizado o processo de transbordo em menores quantidades (15 peças) em 10 caixas plásticas.

Figura 20 - Fluxo interno de uma caixa plástica de uma montadora.



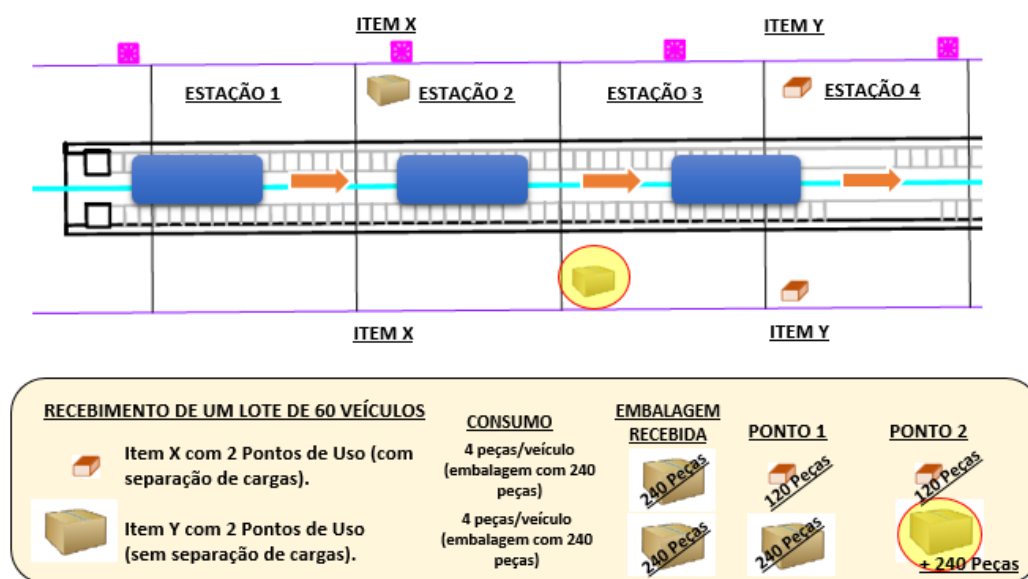
Fonte: o autor.

Uma das justificativas para utilizar caixas plásticas em um fluxo interno é que quando se tem mais de um local de abastecimento que utiliza a mesma peça, torna-se possível fazer o abastecimento em todos os pontos utilizando pouco estoque de peças. A Figura 20 exemplifica este benefício de separação das cargas. Vale comentar que não são todas as peças que são viáveis à separação de cargas, pois é preciso uma análise de item a item, verificando o tipo de recebimento, consumo, estoque, local de montagem, entre outras variáveis que influenciam no abastecimento na montagem final.

Na Figura 21 estão listados alguns exemplos possíveis que podem ocorrer dentro de um fluxo interno de abastecimento. Assim, considerando o recebimento de um lote de 60 veículos, tem-se:

- **Peça X:** item com dois pontos de abastecimento e consumo de quatro peças por veículo. A quantidade recebida para um lote de 60 veículos é de 240 peças. Levando em conta que esta peça possui uma pequena dimensão, todas são recebidas em uma única embalagem. Com base nisso e tomando dois pontos de abastecimento, em que não é permitido fazer a separação entre as cargas, têm-se a necessidade de dobrar a quantidade recebida para um lote de 60 peças.
- **Peça Y:** item com as mesmas características da peça X, entretanto, a empresa decidiu reduzir os lotes de peças no seu armazém. Com isso, propõem-se a separação de cargas para atender todos os pontos de uso. Com o recebimento de um lote de 60 veículos, com o consumo de quatro peças por veículo, têm-se um total de 240 peças. Desta forma, separando as cargas para os dois pontos de abastecimento, pode-se atribuir 120 peças por embalagem.

Figura 21 - Benefícios da divisão entre as cargas.



Fonte: o autor.

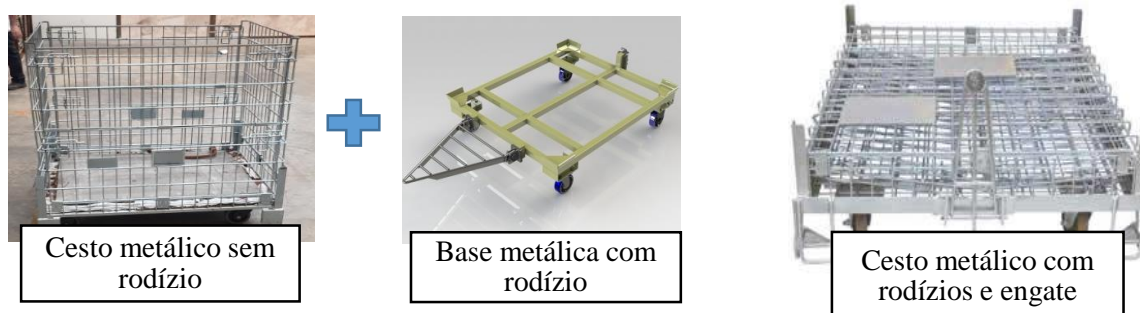
Os principais benefícios com a separação de cargas estão ligados às quantidades de peças que um sistema de abastecimento necessita ter para o atendimento de todos os pontos de abastecimento. No caso da peça Y, observa-se que há um acréscimo de uma operação de separação das cargas, entretanto, evita-se o aumento de peças do lote de recebimento.

2.2.5 Cestos Metálicos

Este tipo de embalagem pode ser utilizado para a movimentação interna em uma planta industrial, como também nos fluxos externos entre um fornecedor e o cliente final. De maneira geral, a utilização de cestos metálicos é mais frequente em peças menos frágeis, ou seja, com pouco risco de danificar caso entrem em contato com a estrutura da embalagem.

Para a utilização em um fluxo interno de abastecimento, o cesto metálico precisa ser alinhado a uma estrutura com rodízios, para que seja movimentado juntamente com outras cargas e embalagens. Com isso, os cestos metálicos ou são colocados sob uma estrutura de rodízios (base metálica e rodízios) ou são acoplados rodízios em sua estrutura metálica, como representado na Figura 22.

Figura 22 - Exemplos da utilização de cestos metálicos.



Fonte: o autor.

Dentre os benefícios em utilizar um cesto metálico, está a possibilidade em criar estruturas articuladas, em que existem partes que podem ser estruturadas para que tenham menor ocupação quando não estão sendo movimentadas com peças. Essa característica pode ser observada na Figura 22, em que na última foto (à direita) o cesto metálico vazio está com as suas laterais desmontadas. Este fator de desmontagem contribui para uma redução dos custos de transporte, pois torna possível o empilhamento de diversas embalagens deste tipo.

A estrutura de um cesto metálico pode ser de chapas metálicas ou ser de estrutura aramada, com diferentes dimensões. Este tipo de embalagem pode ser combinado com outras embalagens, como, caixas plásticas com colmeias, quando utilizado para itens de alto risco

de danos, tais como: farol e lanternas. Quando não combinados com outra embalagem, esta embalagem pode ser usada para itens que possuem menos riscos aos danos de contato, tais como: sobre tapete, estruturas e chapas metálicas de não aparência.

2.2.6 Caçambas Metálicas

As embalagens do tipo caçamba metálicas possuem características de uso semelhantes aos cestos metálicos, sendo a utilização mais comum para itens com menos risco de danos, amassados ou riscos. De maneira geral, essas peças são de não aparência, ou seja, partes que não são de fácil visualização para um consumidor final. Na Figura 23 estão alguns exemplos de caçambas metálicas utilizadas em um fluxo logístico. Certas embalagens, quando não usadas na separação de carga e/ou transbordo, são movimentadas sobre bases metálicas com rodízios. Vale ressaltar que, para um fluxo interno de abastecimento, não é considerado o uso de empilhadeiras para realizar o abastecimento de uma linha de montagem. Ao usar um conceito *lean* de abastecimento, sendo dada preferência para um sistema rápido de trocas, usam-se veículos industriais, como rebocadores para tal movimentação.

Figura 23 - Exemplos da utilização de cestos metálicos.



Fonte: o autor.

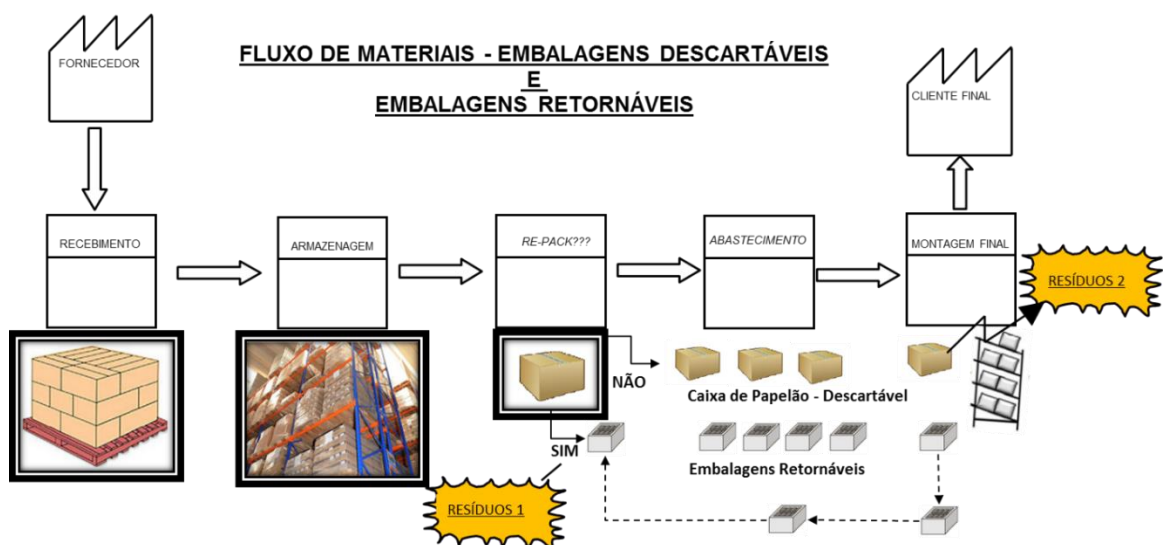
As caçambas metálicas são normalmente utilizadas para movimentar peças de peso elevado e que permitem menores estruturas de proteção entre as peças. Exemplos de utilização deste tipo de embalagem surgem na movimentação de molas de automóveis.

2.2.7 Racks Metálicos

As embalagens metálicas utilizadas em ambientes industriais, nos fluxos externos e internos, são importantes no aspecto de redução do impacto ambiental que uma embalagem descartável traz para o processo. Ao utilizar embalagens metálicas, há a possibilidade de reutilização da mesma embalagem até o final do seu ciclo de vida. Conseqüentemente, faz-se necessário ter um fluxo de retorno de embalagens.

A Figura 24 apresenta um fluxo interno de embalagens, com a representação de dois tipos de fluxo. O primeiro fluxo traz a utilização da embalagem descartável no processo de abastecimento de uma linha de montagem. Neste caso, não é realizada a operação de *repack*, conseqüentemente, haverá a geração de resíduos após a operação da montagem final, representado pelo balão “resíduos 2”. Após o consumo de todas as peças da embalagem descartável, os resíduos necessitam ser encaminhados para uma área de descarte. O segundo fluxo representa a utilização de uma embalagem retornável na operação de *repack*, sendo possível observar que também são gerados resíduos, representado pelo balão “resíduos 1”. Entretanto, os resíduos não são gerados na linha de montagem, o que permite melhor organização do ambiente e das estações de trabalho.

Figura 24 - Fluxo interno de embalagens descartáveis e retornáveis.



Fonte: o autor.

Os *racks* metálicos se encaixam no contexto de embalagens retornáveis, ora no fluxo interno de uma empresa, conforme detalhados na Figura 24, ora em um fluxo externo de embalagens, quando existe a utilização de embalagens metálicas na cadeia de suprimento entre fornecedor e clientes. A Figura 25 mostra alguns *racks* metálicos que são utilizados no fluxo logístico. Estas embalagens são desenvolvidas para atender a um tipo de peça específica, ou um grupo de peças específicas. Para a confecção de *racks* metálicos é necessário realizar uma análise profunda da peça a ser transportada, levando em consideração a dimensão, peso, posições de apoio, pontos críticos, ergonomia, local de montagem, entre outros fatores que impactam no uso final desta embalagem.

Figura 25 – Tipos de *racks* metálicos.



Rack Metálico

Rack Metálico com rodízios e engates

Rack Metálico

Fonte: o autor.

Existem ao menos seis etapas para o processo de desenvolvimento de um *rack* metálico, com base na experiência do autor desta pesquisa na área de embalagens:

- **Análise de peça a peça:** a partir da análise realizada sobre novos componentes que fazem parte de um projeto ou da atualização de uma peça podem ser identificados itens que necessitam de uma definição de qual tipo de embalagem é a mais apropriada para o seu transporte/acondicionamento. Neste ponto são definidos quais itens podem ser utilizados com embalagens padrões, como dispositivos prontos à venda (caixas plásticas, cestos metálicos, entre outros) que não dependem de um projeto, ou com embalagens específicas que necessariamente precisam de um novo desenvolvimento. O processo de definição requer uma análise de todas as informações sobre a peça, tais

como local de montagem, se é uma peça de aparência, peso da peça, dimensão, pontos de apoio, posições de montagem, quantidade de peças a serem consumidas por produto montado, entre outros fatores.

- **Definição de conceito:** com base nas informações levantadas na análise de peça, analisam-se os possíveis conceitos a serem aplicados no projeto da nova embalagem. Nesta fase decide-se qual é a melhor condição para a peça ficar na nova embalagem. Com isso, verifica-se o direcionamento, se a peça irá na posição vertical, horizontal, ou a embalagem terá partes articuladas com materiais de proteção, tais como Espuma Vinílica Acetinada (EVA), Policloreto de Polivinila (PVC) injetado, peças técnicas em Poliuretano (PU), colmeias, etc.

- **Projeto do protótipo:** É executado em *softwares* de desenho assistido por computador (CAD). Esta etapa permite visualizar todas as definições preliminares para identificar a viabilidade do projeto. Nos ambientes de simulação virtual é possível realizar o teste da embalagem com a peça ou conjunto de peças a transportar, verificando os pontos de travamento da embalagem e contato da peça com a estrutura metálica. A Figura 26 apresenta um exemplo de protótipo de uma embalagem de transporte de peças.

Figura 26 – Projeto de um protótipo feito em *software* CAD.



Fonte: o autor.

• **Confeção do protótipo:** os protótipos construídos têm como parâmetros principais os projetos em CAD, porém, podem ser alterados caso seja identificada alguma falha no desenho. Em alguns casos, os protótipos podem não estar nas condições finais do projeto, ou seja, não terem passado pelo processo de pintura ou elaboração de estruturas de borrachas em todos os níveis da embalagem. Entretanto, sugere-se que os protótipos estejam nas condições finais para a fase de teste. A Figura 27 representa a etapa de confecção do protótipo de embalagem.

Figura 27 - Confeção de um protótipo de embalagem.



Fonte: o autor.

• **Teste dos protótipos:** nesta etapa são verificadas as condições impostas para utilização do novo protótipo, tais como: transportes externos, movimentação interna na fábrica, manuseio com empilhadeira, rebocador e pessoas, empilhamento, trepidações, entre outros fatores. Se o protótipo for reprovado, retorna-se a etapa de definição do conceito.

• **Confeção das embalagens definitivas:** com a aprovação dos protótipos, são replicados os *racks* metálicos nas quantidades para atender cada fluxo logístico. Desta maneira, considera-se que a condição final aprovada atende a entrega do produto no seu cliente final, com qualidade, segurança, ergonomia e durabilidade.

Capítulo 3

ANÁLISE DO PROCESSO DE ABASTECIMENTO

3.1 Histórico da Empresa

Para a realização da análise e aplicação do modelo matemático, desenvolvido no decorrer deste trabalho, utiliza-se no estudo de caso uma empresa do ramo automobilístico, situado em uma região fora do eixo Rio de Janeiro/São Paulo. A empresa em questão possui um quadro de colaboradores com mais de 3 mil funcionários diretos e cerca de 9 mil indiretos. A filosofia da empresa está embasada em três princípios corporativos, divididos em:

- Responsabilidade corporativa para com a sociedade: dirigir esforços para a melhoria social, tanto material quanto espiritual e, ao mesmo tempo, contribuir para a preservação do meio ambiente global.
- Integridade e imparcialidade: manter os princípios de transparência e franqueza, e executar negócios com integridade e imparcialidade.
- Entendimento global através dos negócios: expandir os negócios com base em uma perspectiva global abrangente.

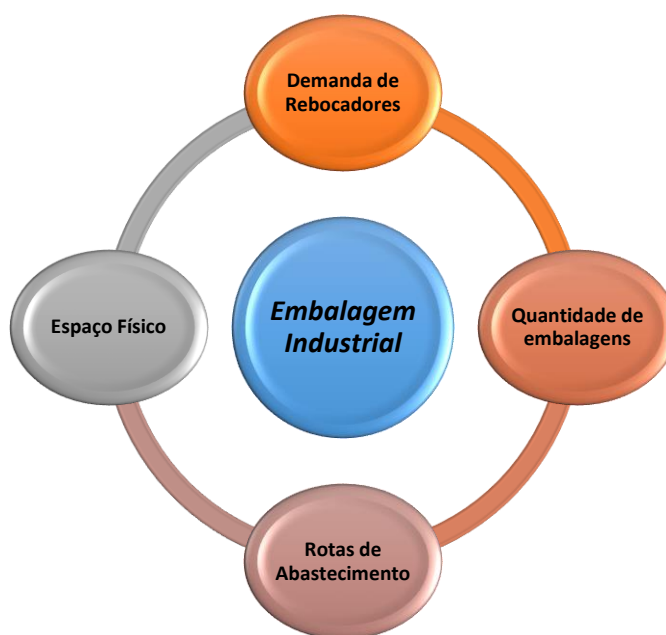
Os clientes que são atendidos pela empresa estão divididos em atacadistas e frotistas, que podem ser entendidos como os fornecidos para as concessionárias e os que são destinados para veículos de empresas, respectivamente. Sendo assim, os clientes possuem o perfil de comprar produtos de alto grau de acabamento, qualidade e conforto, pelos quais os carros desta empresa correspondem e atendem as necessidades dos compradores. Desta forma, a empresa já ultrapassou mais 100 mil clientes em todo o Brasil.

3.2 Sistema de Abastecimento

Antes de aplicar o modelo matemático, deve-se compreender quais são os impactos que uma embalagem possui para um sistema de abastecimento, bem como qual a relação que esta possui com os custos logísticos envolvidos no ambiente industrial.

Neste sentido, a embalagem industrial analisada neste estudo possui uma série de relações, dentre as quais: quantidade de embalagens no circuito, quantidade de peças por embalagem, demanda de rebocadores, consumo de peças, variações de modelos produzidos, rotas de abastecimentos, capacidade de formação de cargas, consumo da bateria do rebocador. Na Figura 28 estão representadas as principais correlações de um sistema de abastecimento com a embalagem industrial.

Figura 28 - Principais correlações com as embalagens industriais.



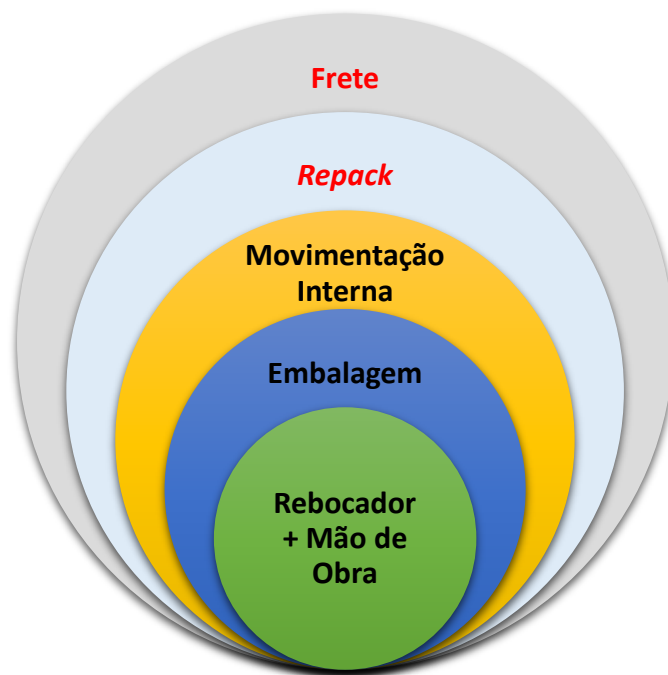
Fonte: o autor.

Para compreender a influência que uma embalagem industrial possui para um sistema logístico, buscar-se detalhar cada uma das correlações apresentadas na Figura 28, com intuito de facilitar o entendimento do processo de análise do sistema de abastecimento da empresa automobilística tomada no estudo. Vale ressaltar que as análises deste estudo estão considerando o fluxo interno de abastecimento, ou seja, não estão sendo consideradas as embalagens utilizadas para a movimentação entre fornecedores e clientes.

Ao ser realizado o processo de definição de embalagem para um determinado item, entende-se que o mesmo tem um custo específico para a sua utilização. Assim, caso haja uma definição incorreta ou que não seja realizada uma análise detalhada sobre os impactos gerados na cadeia interna de abastecimento, haverá uma elevação do custo logístico, resultando em perdas financeiras. Portanto, a realização da análise do sistema de abastecimento busca levantar as principais variáveis que impactam na definição de uma embalagem. Posteriormente, o estudo irá se delinear no sentido de formular um modelo matemático para o auxílio da definição da embalagem, proporcionando minimizar os custos logísticos envolvidos, que neste estudo, são os de movimentação.

Com o objetivo de limitar a área de atuação deste estudo, o foco principal é nos custos ligados à movimentação de materiais, assim, entende-se que para ter algum tipo de transporte, primeiramente se precisa de uma embalagem industrial, a qual é movimentada por um rebocador, operado por uma mão de obra, em um trajeto já especificado. Os custos envolvidos no processo de *repack* e frete não são avaliados, como ilustra a Figura 29 nas cores em vermelho.

Figura 29 - Delimitação do estudo sobre o sistema de abastecimento.

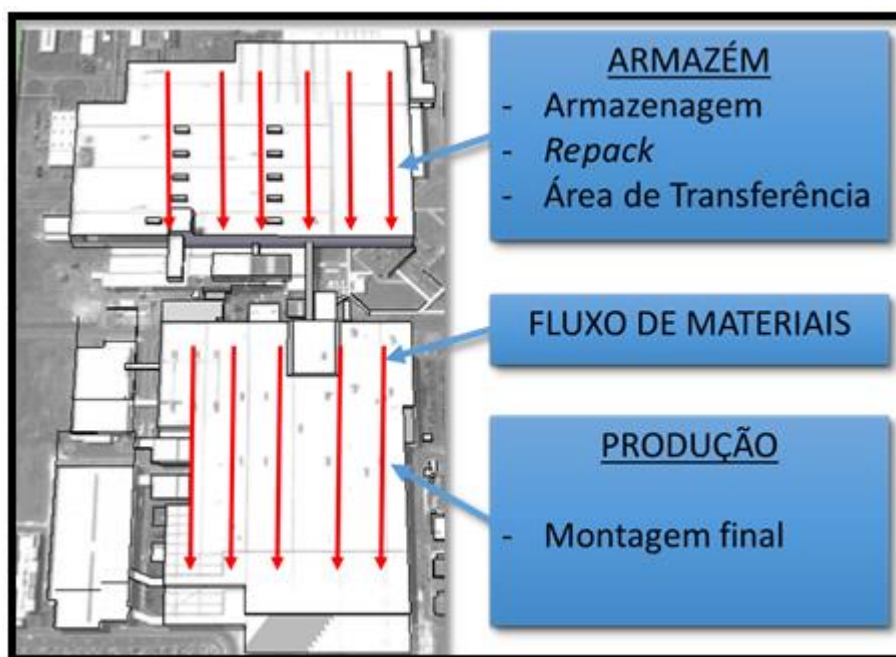


Fonte: o autor.

3.3 Rotas de Abastecimento

Na empresa estudada, a rota de abastecimento representa o percurso compreendido a partir da área de transferência, que é aquela em que a embalagem já possui todas as peças no seu interior na condição de ser movimentada, de acordo com o estabelecido pelo departamento de embalagem da empresa, até a montagem final nas linhas de produção. Todas as movimentações internas são realizadas por rebocadores elétricos. A Figura 30 mostra o funcionamento do sistema de abastecimento.

Figura 30 - Representação do fluxo de materiais.



Fonte: o autor.

O presente estudo foi desenvolvido no prédio de acabamento interno e externo dos veículos, onde está presente grande parte dos itens a serem montados no produto final. Desta maneira, para cada uma das linhas de montagem, há ruas destinadas para a movimentação de materiais, com zonas de abastecimento. Para cada uma das zonas de abastecimentos existe um tipo de rota pré-estabelecida, que irá variar entre embalagens do tipo pequena, como embalagens plásticas, de papelão ou outros materiais, que são apoiadas em estantes ao lado da estação de montagem, e embalagens do tipo grande, que são aquelas destinadas aos itens

com maiores dimensões e peso, no qual são movimentadas com o uso de bases metálicas e sistemas com rodízios.

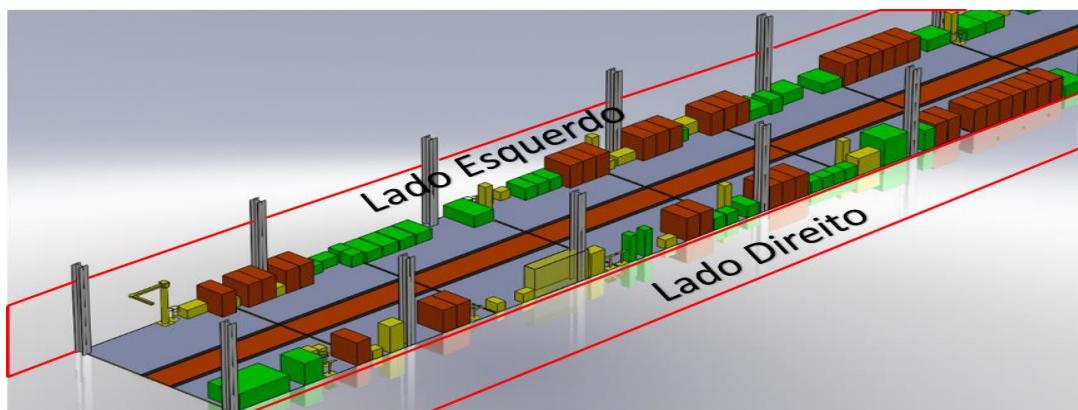
Desta forma, foi avaliado um total de 15 rotas de abastecimento. A avaliação destas rotas tem como foco identificar o tempo gasto para realizar a operação de abastecimento, que consiste no tempo de movimentação para cada estação de trabalho somado com o tempo da operação de abastecimento. Com isso, foi realizada uma série de coletas de dados para se ter o entendimento dos tempos específicos para cada rota de abastecimento. O procedimento para coleta foi iniciado desde o tempo de movimentação interna do prédio do armazém até o circuito de abastecimento e volta para o ponto inicial, que foi considerado a saída do prédio do armazém.

O tempo de movimentação interna do prédio do armazém foi coletado a partir das diversas ruas de armazenagem. Com isso, foi determinado que a movimentação no prédio tem uma média de 84,18 segundos, até a área de saída do prédio. A partir deste ponto, toda a coleta dos tempos foi realizada pontualmente para cada estação de trabalho. O somatório dos tempos, baseados no sentido das rotas de abastecimento, resultou no tempo de movimentação para cada rota de abastecimento.

É importante salientar que algumas das rotas de abastecimento possuíam situações que impactavam no tempo final de movimentação, tais como: paradas obrigatórias em intervalos de tempos pré-determinados, para transportadores aéreos (30 segundos) e movimentação de carroceria e caçamba. Além disso, foi visualizado que as rotas de abastecimento, dependendo do momento do dia, para picos de abastecimento que, conseqüentemente, geravam congestionamento nos corredores de abastecimento. Com isso, verificou-se a necessidade de um fator de congestionamento acrescido nos tempos de movimentação.

O procedimento de coletas de dados foi executado a partir da divisão do *layout* do prédio de acabamentos. Com isso, cada uma das zonas de abastecimentos foi dividida por estação em lado direito e esquerdo, conforme a representação parcial na Figura 31.

Figura 31 - Representação parcial das estações de trabalho.



Fonte: o autor.

O objetivo de se ter a divisão por lado direito e esquerdo é em função do percurso que o abastecedor percorre ao executar o abastecimento. Assim, as coletas foram executadas pontualmente para cada estação e, dependendo do lado, poderia resultar em um tempo de movimentação distinto. O resultado das análises compõe o tempo total médio de movimentação para cada rota de abastecimento, por meio do somatório de tempos pelo espaço percorrido pelo operador de abastecimento. A Tabela 1 apresenta os resultados de movimentação para cada um dos corredores.

Tabela 1 - Tempo parcial médio de movimentação das estações de trabalho.

Corredor	Descrição	Tempo (segundos)
1	Linha A – Lado Esquerdo	482,03
2	Linha A – Lado Direito	507,81
3	Linha B – Lado Esquerdo	839,11
4	Linha B – Lado Direito	581,66
5	Linha C – Lado Esquerdo	605,01
6	Linha C – Lado Direito	719,92

Fonte: o autor.

Com o tempo de movimentação médio coletado para cada um dos corredores de abastecimento, foi iniciada a análise específica do tempo gasto nas operações de abastecimento. Este tempo, para embalagens pequenas e grandes, começa a contar a partir

do momento que o abastecedor estaciona em frente à estação de trabalho, inicia o procedimento de troca da embalagem vazia pela cheia e retorna ao rebocador.

3.4 Operações de Abastecimento

Ao analisar a operação de abastecimento foi necessário realizar o acompanhamento, listando todas as atividades desempenhadas durante o ato de reposição das embalagens com peças, quais sejam:

- Saída do rebocador: o tempo da operação de abastecimento é iniciado a partir do momento em que o operador estaciona o veículo industrial e posiciona-se na área em frente ao local de abastecimento.
- Leitura do pedido: cada operador possui uma lista de pedidos gerados a partir da necessidade de ressuprimentos. Nesta etapa, o abastecedor faz a conferência do pedido para garantir que seja entregue a peça no local exato do pedido solicitado.
- Movimentação da embalagem com peças: após a conferência do pedido, o operador localiza a embalagem no dispositivo de embalagens pequenas ou comboio de embalagens grandes e realiza a troca pela embalagem vazia.
- Transbordo de peças: para o caso das embalagens do tipo grande existe um ponto mínimo de chamada, que representa o valor mínimo para realizar o pedido de ressuprimento até a entrega da embalagem com peças. Este tempo mínimo deverá ser maior ou igual ao tempo de rota da zona de abastecimento, senão haverá o desabastecimento podendo gerar paradas de linhas ou veículos sem peças. Quando estipulado uma quantidade de peças superior ao tempo de rota, o abastecedor realiza o transbordo para a nova embalagem ao invés de retornar para o estoque de peças.
- Movimentação da embalagem vazia: para os casos em que há a necessidade de movimentar embalagens do tipo pequena, há um compartimento nas estantes reservado para embalagens vazias, que são agrupadas e retornadas nos dispositivos de abastecimento. Já para as embalagens do tipo grande há a necessidade de realizar a manobra da embalagem com o procedimento para engatar nos comboios formados com as embalagens.

- Retorno ao rebocador: o abastecedor retorna para o veículo industrial para percorrer até a outra estação de montagem, iniciando outra operação.

Na Figura 32 há uma representação de uma operação de ressuprimento para embalagens do tipo pequena, em que há um dispositivo engatado no rebocador industrial com embalagens de diversos tamanhos, estacionado em frente ao local de abastecimento. Ao realizar o acompanhamento das operações de abastecimento foi constatado que é gasto, em média, 16,19 segundos por embalagem, lembrando que em cada uma das paradas podem ser realizados mais de 5 ressuprimentos por estante. Em média, foi constatado que há cerca de 100 embalagens em cada uma das viagens de ressuprimento das linhas de montagem.

Figura 32 - Operação de ressuprimento de embalagens do tipo pequena.

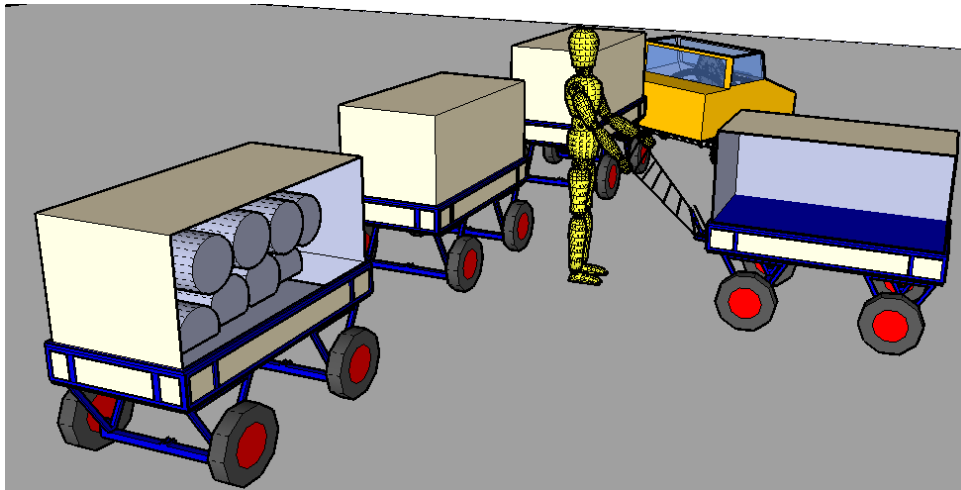


Fonte: o autor.

Na Figura 33 há uma representação de uma operação destinada a troca de embalagens do tipo grande, sendo primeiramente identificada a presença de embalagens com dimensões maiores, que são destinados as peças que possuem maiores dimensões, ou seja, aquelas que não possuem condições de serem alocadas em embalagens menores e nas estantes de abastecimento, ou aquelas que possuem um peso superior ao permitido para as condições ergonômicas da operação. Desta forma, são realizadas apenas pequenas movimentações de empurrar/puxar a embalagem industrial. Através da coleta do tempo das operações de ressuprimento de embalagens do tipo grande, foi verificado que são gastos em média 100,73

segundos por embalagem. Em média, tem-se cerca de 6 embalagens/comboio em cada uma das viagens destinada ao abastecimento das embalagens do tipo grande.

Figura 33 - Operação de ressuprimento de embalagens do tipo grande.



Fonte: o autor.

Por fim, o tempo de cada uma das rotas de abastecimentos consiste no somatório dos tempos de movimentação com os tempos de abastecimento, com isso foi possível mapear as condições das rotas de abastecimento, sendo possível verificar qual delas gasta maior tempo de movimentação.

3.5 Construção da Planilha

O estudo inicial deste trabalho partiu da proposta de entender o funcionamento das variáveis que influenciam na escolha da melhor embalagem para uma determinada peça, a um menor custo logístico. Com isso, inicialmente se buscou entender as características de movimentação de materiais e abastecimento. A planilha eletrônica vai ser responsável para simular as variáveis que impactam na demanda de movimentação, quais sejam:

- Volume de produção: a quantidade de veículos produzidos em cada uma das linhas de montagem influencia diretamente na demanda de movimentação da fábrica, pois

quanto maior o volume de veículos, mais peças são consumidas a cada hora de produção.

- **Mix de montagem:** a variação dos modelos de veículos produzidos influencia na construção da planilha eletrônica, pois se pode ter diferentes tipos de veículos, que possuem diferentes quantidades de peças requisitadas na montagem. Desta maneira, são identificados quais veículos possuem grande impacto na montagem e no fluxo de movimentação de peças.
- **Quantidade padrão:** o conhecimento sobre a quantidade de peças definidas para cada uma das embalagens permite saber quanto tempo as peças estão disponíveis na linha de produção, ou seja, quanto é a média de estoque em horas. Esta variável é uma das principais para uma logística de movimentação, pois quanto menor é a quantidade de peças por embalagem, maior é a necessidade de movimentação.
- **Locais de abastecimento:** A identificação do número de peças por zona de abastecimento é essencial para conhecer a demanda de ressuprimentos, pois quanto maior for esta demanda mais recursos devem ser destinados para o abastecimento. Além disso, é necessário saber para cada rota de abastecimento qual é o tempo médio gasto nas movimentações.
- **Horas trabalhadas no chão de fábrica:** são identificados e eliminados dos cálculos, os tempos em que não há, efetivamente, operações na empresa, tal como tempo destinado para a ginástica laboral (15 minutos por dia).
- **Consumo de itens por veículo:** o conhecimento do número de peças por zona de abastecimento é usado para calcular o consumo diário ou por hora, em que é necessário ter a informação do consumo por veículo. Para tanto, foi utilizada a lista da estrutura do produto.

Na Figura 34 está a representação de parte da planilha eletrônica, que foi construída no decorrer do estudo, considerando as variáveis que influenciam na decisão de uma embalagem. Com ela é possível identificar a demanda de rebocadores e o número de ressuprimentos por cada uma das zonas de abastecimento. Esta planilha serve de base para o desenvolvimento do modelo matemático discute no próximo capítulo.

Figura 34 - Planilha Eletrônica de simulação das variáveis do problema.



Fonte: o autor.

A partir da planilha eletrônica foi possível verificar as situações de cada um dos corredores de abastecimento. Isto permitiu elaborar uma tabela para apresentar as condições de abastecimento para uma produção de 196 veículos por dia. Na Tabela 2 estão representadas as condições de cada um dos 6 corredores de abastecimento. Além disso, foi elaborado uma classificação relacionada a criticidade de cada um dos corredores de abastecimento para identificar aqueles que possuem maior demanda por recursos, para a garantia do fluxo contínuo de materiais nas linhas de montagem. Assim, fica estipulado que demandas de até 500 ressuprimentos são classificados como “baixo”, já para ressuprimentos entre 500 e 900, tem-se a classificação “média” e os superiores a 900 são considerados “alto”.

Tabela 2 - Condições de cada um dos corredores de abastecimentos

Corredores	Nº de peças	Nº de ressuprimentos	Criticidade
1	228	234,37	Baixo
2	547	456,97	Baixo
3	753	1636,68	Alto
4	1056	1615,68	Alto
5	567	869,99	Médio
6	417	294,75	Baixo
Total	3568	5108,44	

Fonte: o autor.

No capítulo seguinte é apresentado como se deu o processo de modelagem matemática, que tomou como ponto de partida o estudo relacionado a identificação das variáveis que impactam na decisão da melhor embalagem para um processo de movimentação. Os cálculos presentes no estudo foram feitos com base nas análises do sistema real do chão de fábrica.

É importante ressaltar que a elaboração do modelo matemático partiu da consideração sobre as peças que já possuem uma definição de embalagem. Porém, o foco principal é utilizar o modelo para auxiliar na determinação da embalagem certa a ser utilizada antes de iniciar o fluxo de abastecimento. O objetivo principal é reduzir os custos envolvidos na definição de embalagens e acelerar o processo de tomada de decisões envolvido.

Capítulo 4

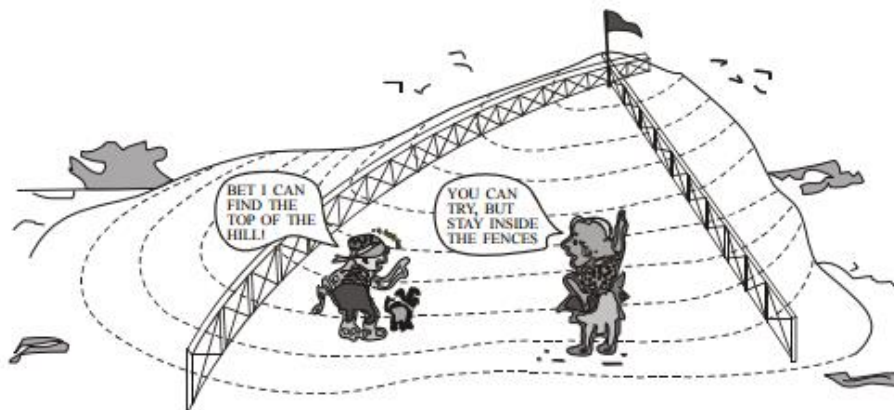
MODELAGEM MATEMÁTICA

“...Um modelo é, assim, uma abstração da realidade, que se aproxima do verdadeiro comportamento do sistema, mas sempre mais simples do que o sistema real. Por outro lado, se o modelo construído apresenta uma complexidade maior do que a do próprio sistema, não temos um modelo, mas, sim, um problema. Isso porque a intenção principal da modelagem é capturar o que realmente é importante no sistema para a finalidade em questão. Se o modelo for tão ou mais complicado do que a realidade, para que um modelo? Por exemplo, em um sistema formado por uma linha de montagem de automóveis, com máquinas e operadores, é irrelevante saber a cor do sapato do operário se estamos preocupados com a quantidade de automóveis produzida no mês.” (CHIWIF; MEDINA, 2010, p. 5)

Segundo Zill e Cullen (2006), o processo de construção de um modelo matemático é iniciado com o diagnóstico das variáveis responsáveis pelas alterações de tal sistema. Conforme a definição de modelagem como uma simplificação de um problema real, é preferível que não se inclua todas as possíveis decisões no modelo. É importante discernir quais relações e hipóteses devem ser consideradas e representadas.

O processo da modelagem de um sistema real não deve conter todas as possíveis decisões, pois algumas delas não influenciem nos resultados do problema e a sua consideração apenas acarretaria um modelo desnecessariamente mais complexo e, em muitos casos, difícil de ser resolvido. Eis a importância da delimitação do estudo, ou seja, definir claramente quais as decisões são indispensáveis para o alcance dos objetivos propostos ou, pelo menos, que mais se aproximam deles. A Figura 35 é uma representação de uma delimitação de um espaço de busca, ou seja, as restrições de algum problema específico.

Figura 35 - Restrições de um espaço de busca.



Fonte: Vanderplaats (1999).

Na modelagem e otimização há uma procura pela construção de modelos matemáticos com o poder de simulação de situações reais dentro de uma empresa. A formulação de modelos matemáticos objetiva a resolução de questões de tomada de decisão. Um modelo é a reprodução de algo ou algum padrão a ser feito. A representação da realidade só é possível com o modelo por meio de alguma simplificação. O modelo é, então utilizado como simulador de situações futuras (CHIAVENATO, 2004).

Para Audy, Andrade e Cidral (2005), os modelos matemáticos podem ser classificados em probabilísticos (também chamados estocásticos) ou determinísticos. Os modelos determinísticos são aqueles em que há uma relação contínua entre as variáveis, ou seja, sempre que estas variáveis independentes adquirirem valores, as dependentes terão um desempenho bem definido. As equações algébricas e programação matemática linear e não linear são exemplos de modelos determinísticos.

Os modelos probabilísticos relacionam probabilidade às funções de ordenamento e estão associados a variáveis aleatórias. Problemas como a determinação do número de caixas em um supermercado, tempo de mudança de estágios de um semáforo e simuladores de jogos empregam estes tipos de modelos (AUDY; ANDRADE; CIDRAL, 2005).

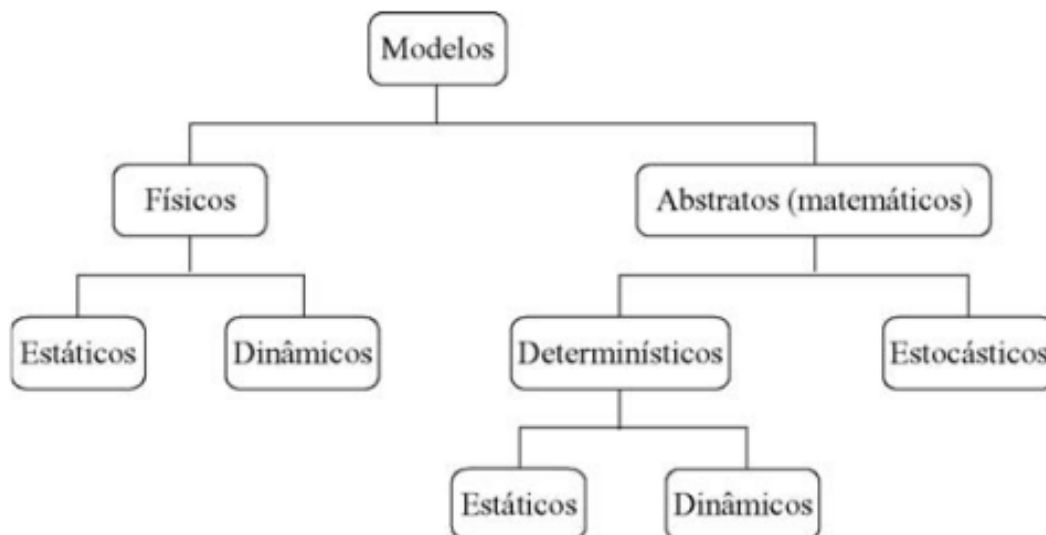
Nos modelos determinísticos, quando fornecido todos os saberes, o resultado pode ser determinado exatamente. Por exemplo: dada a variável P do preço de uma refeição e Q o número de refeições servidas, a equação $Q = 20 - 2P$ descreve a quantidade de refeições

Q demandadas em função do preço P . Com base nessa equação (ou modelo), se o preço P é dado, a variável Q pode ser calculada de forma exata (BRADLEY, 2011).

Conforme Belfiore e Fávero (2012), os modelos estocásticos fazem uso de uma ou mais variáveis aleatórias, em que pelo menos um de seus aspectos operacionais é estabelecido através de funções de probabilidade. Assim, estes de modelos geram mais de uma solução, buscando analisar diferentes cenários, não tendo como certeza a solução ótima global.

Os modelos estocásticos têm os resultados baseados em distribuição de probabilidade. Por exemplo, em um lançamento de um dado não viciado, os valores resultantes são 1, 2, 3, 4, 5 ou 6. A probabilidade de ocorrência de cada um destes números é de $1/6$. Assim, a face resultante do lançamento do dado é descrita como uma variável aleatória. As equações utilizadas têm como base a probabilidade, no intuito de encontrar a probabilidade de ocorrência de um resultado, tais como a ocorrência do número 6 duas vezes em dois lançamentos seguidos (BRADLEY, 2011). A Figura 36 ilustra uma classificação para os modelos e seus subtipos.

Figura 36 – Classificação dos modelos.

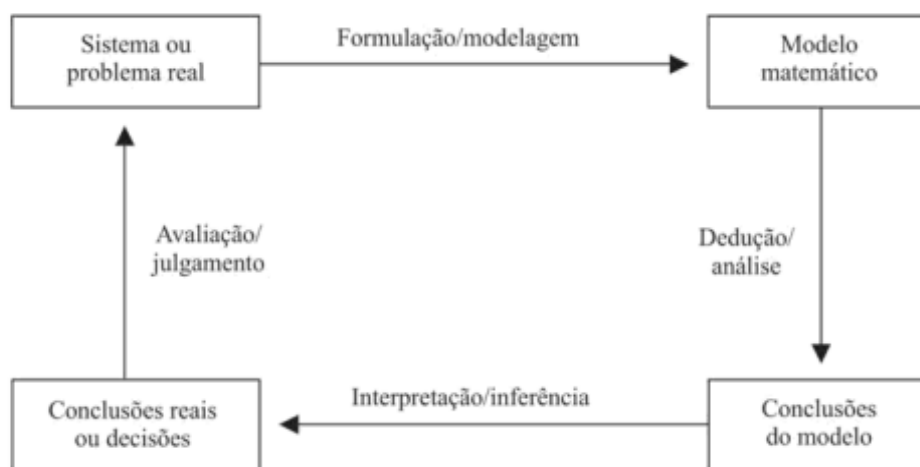


Fonte: Bradley (2011).

Segundo Arenales *et al.* (2007), a modelagem define as relações numéricas e as variáveis matemáticas no intuito de representar uma situação relevante ou um problema real.

A Figura 37 ilustra os passos em um processo de modelagem. Na etapa de análise são aplicados métodos matemáticos para a resolução do modelo. A interpretação dos resultados obtidos busca verificar se eles possuem significado suficiente para a interferência das decisões no problema real. No processo de modelagem há ainda a necessidade de realizar um julgamento das conclusões obtidas e, frequentemente, o modelo necessita de alterações, tal que o ciclo é reiniciado.

Figura 37 - Processo de Modelagem.



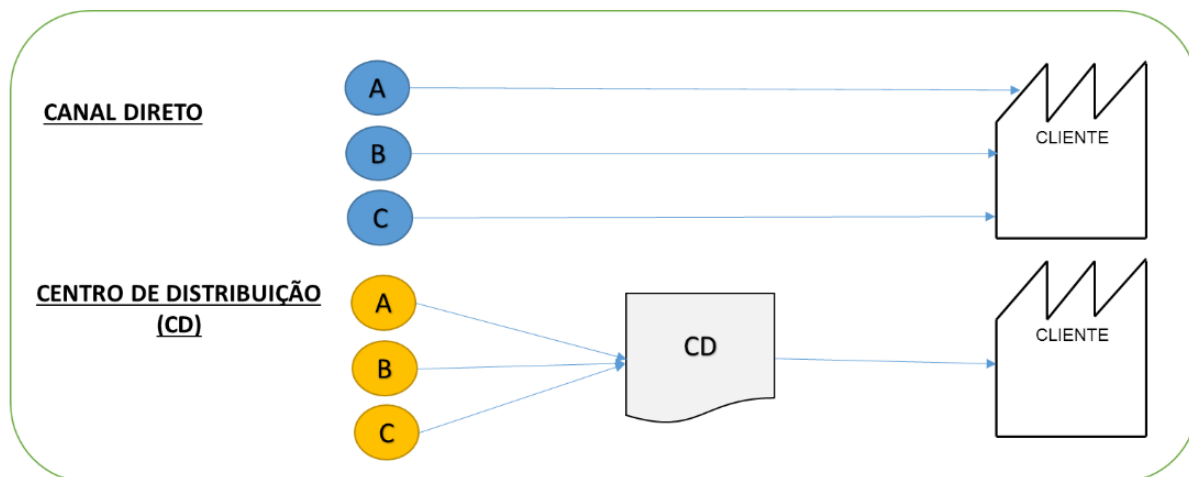
Fonte: Arenales *et al.* (2007).

4.1 Aplicações de Modelos Matemáticos

Esta seção apresenta alguns trabalhos que propuseram modelagem matemática em problemas industriais aplicados, com o foco na cadeia logística.

Filho e Kurihara (2000) elaboraram um estudo sobre o uso de um canal de distribuição direto versus um canal de distribuição por meio de um centro de distribuição (CD). Desta forma, buscou-se o desenvolvimento de uma metodologia levando em consideração os aspectos relevantes de um sistema logístico industrial, por meio de um modelo matemático. A modelagem considerou três principais pontos: estimativa do custo global logístico, previsão do *trade-off* de custos logísticos e encontro do ponto de equilíbrio para a viabilização dos CDs. A Figura 38 possui um comparativo entre um canal direto e canal indireto.

Figura 38 - Comparativo entre um Canal Direto versus Centro de Distribuição.

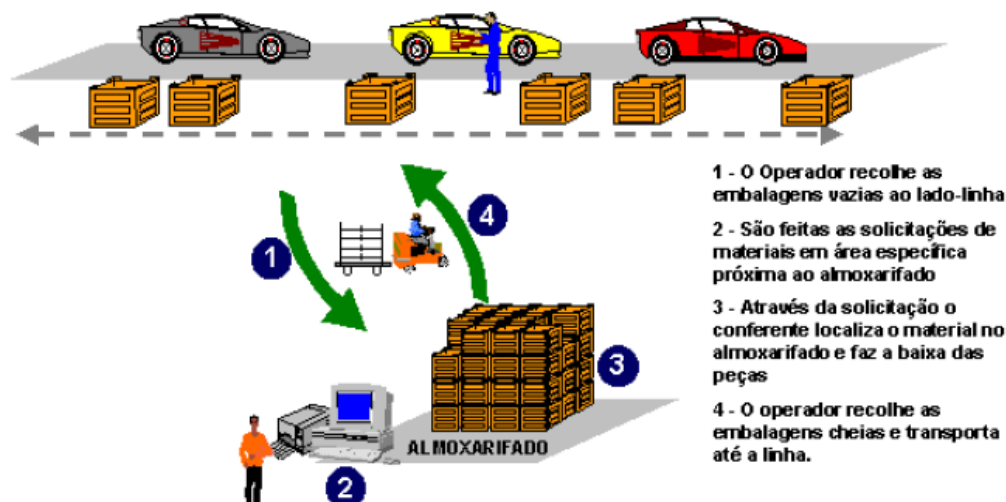


Fonte: o autor.

Souza, Carvalho e Brizon (2004) fizeram um estudo sobre a aplicação de modelos matemáticos para a alocação de peças em diferentes tipos de embalagens usadas no abastecimento de peças de uma linha de montagem, de tal maneira a reduzir o custo total de estocagem e movimentação. As restrições para o modelo foram: o atendimento da demanda de cada peça, respeitar o tamanho da embalagem para cada tipo de peça e o limite sobre o número de embalagens disponíveis para a movimentação interna. A Figura 39 traz uma representação de um fluxo interno de abastecimento.

Souza e Fernandes (2005) propuseram diferentes abordagens na modelagem matemática, para a alocação de pedidos aplicados em aglomerados industriais atacadistas. Os autores combinaram dois fatores importantes: a organização de uma produção por meio de aglomerados industriais (*Industrial Cluster*) e a alocação de pedidos. Os critérios adotados para a alocação de pedidos estão relacionados à capacidade produtiva de cada empresa do *cluster*, prazo de término das operações produtivas relacionados à dimensão do lote produzido, qualidade das operações e produtos e, por fim, o cumprimento dos prazos dados aos clientes.

Figura 39 - Fluxo interno de abastecimento.



Fonte: Souza, Carvalho e Brizon (2004).

Bandeira (2005) realizou um estudo sobre a alocação de contêineres vazios associados à distribuição de contêineres cheios, buscando minimizar os custos envolvidos e para um pronto atendimento dos clientes. Desta forma, foram elaborados dois tipos de modelos, um para lidar com os contêineres vazios, que podem ser movimentados a partir de qualquer ponto e com destino variado, pois dependem da demanda de cada ponto, e o segundo para contêineres cheios, que possuem destinos já especificados. Ambos os modelos buscam minimizar os custos de armazenagem, processamento e transporte entre os elos da cadeia logística.

Molina, Morabito e Araújo (2013) realizaram um estudo sobre problemas de dimensionamento de lotes, sendo levado em consideração o custo de produção, a estocagem, a preparação, as horas extras e os custos de transporte dos produtos. O processo de modelagem se pautou em: modelo com itens diferentes, em que os diversos tipos de peças podem ser alocados sobre um palete; modelo considerando o transporte de paletes em um mesmo tipo de caminhão e modelo considerando o transporte de paletes em diferentes tipos de caminhões.

Um estudo sobre o problema de formação de cargas para o transporte de veículos novos foi feito por Bonassa, Cunha e Isler (2013), com o foco principal nos valores relacionados ao frete. Conforme os autores, estudos neste ramo estão relacionados com o

custo de mão de obra e remonte dos veículos. Para a solução do problema, os autores desenvolveram uma heurística de alocação e um modelo de programação inteira mista.

4.2 Modelagem Inicial

Os passos para a modelagem matemática deste trabalho partiu da Figura 37, em que estão representadas as quatro etapas do processo de modelagem, que são:

- Sistema ou problema real: consiste na escolha de qual é o tipo de problema a ser estudado, real ou hipotético, e quais fatores nortearão todo o processo de modelagem. O presente trabalho utiliza um problema real relacionado com a definição de embalagens em uma empresa automobilística.
- Modelo matemático: o modelo matemático proposto precisa atender aos requisitos do sistema real estudado, pois os valores resultantes precisam ser compatíveis com a realidade. Desta maneira, o modelo precisa utilizar as definições e configurações das embalagens que sejam possíveis de serem implementadas na prática.
- Conclusão do modelo: o modelo matemático resultante precisa fornecer resultados necessários para sua avaliação e interpretação.
- Conclusões reais e decisões: os resultados obtidos na etapa anterior são comparados em uma avaliação em relação ao problema real, buscando identificar a fidelidade do modelo. Nos casos em que os resultados obtidos não sejam coerentes com o problema real, retorna-se para a etapa de modelagem, buscando acrescentar as informações que ocasionaram tais resultados. Desta maneira, são adicionadas, retiradas e ajustadas variáveis e equações no modelo até que se tenha uma condição suficientemente aceitável para as conclusões finais.

4.2.1 Formulação do Problema

A justificativa de aplicar um modelo matemático no processo de definição de embalagens surge a partir de uma demanda encontrada no departamento de Engenharia do Manuseio de Material e Embalagens, em uma empresa do ramo automobilístico. O

departamento é responsável por determinar para cada tipo de peça qual é a embalagem ideal para acondicioná-la e transportá-la para a montagem final em uma linha de produção.

A decisão do tipo de embalagem a ser utilizada para cada peça é feita por meio de uma análise, peça à peça, considerando a experiência do profissional responsável e as características de processos internos. As definições de embalagens, quantidades de peças por recipiente e método de abastecimento são executados com o apoio de planilhas eletrônicas, que facilitam a organização das informações levantadas nas análises físicas de cada peça. Assim, a definição não possui um padrão e/ou consenso entre os responsáveis pelas execuções das análises, tal que, as embalagens escolhidas, a quantidade de peças e os métodos de abastecimento não são eficientes, mas sim dispendiosos.

A partir da análise sobre a decisão do tipo de embalagem por peça, foram observados aspectos que colaboraram para os resultados incorretos nas definições de embalagens, quantidades de peças e métodos de abastecimento, além dos atrasos nas entregas e finalização dos projetos logísticos da empresa. O principal fator está ligado com a falta de um padrão na execução das atividades, ou seja, cada um dos responsáveis executa as definições conforme metodologias individuais, desenvolvidas com o decorrer do tempo nas participações dos projetos.

Outro fator que influencia nas definições incorretas do processo logístico de abastecimento, é que as atividades são executadas com o auxílio de planilhas eletrônicas, porém analisadas individualmente, ou seja, linha por linha. Com isso, para projetos automotivos que possuem mais de 500 peças para serem analisadas, há um esgotamento por parte do responsável, que conseqüentemente resulta em definições erradas.

Portanto, o desenvolvimento de um modelo matemático para um processo decisório de embalagens industriais, com foco em uma logística interna, pode garantir que a embalagem escolhida atenda aos requisitos básicos da demanda e as demais restrições impostas. Neste sentido, o modelo matemático busca determinar embalagens que minimize o custo interno de movimentação, ou seja, para cada tipo de peça, qual é a embalagem que melhor atende as condições de demanda da linha, qualidade e segurança a um menor custo interno de movimentação.

4.2.2 Definição do Modelo Conceitual

O planejamento do estudo é voltado inicialmente para a modelagem de fórmulas a serem utilizadas para calcular o custo de movimentação na referida empresa do setor automobilístico. A partir das conclusões anteriores, o custo de movimentação interna é definido pela eq. (1). A variável C_{mov} é o custo de movimentação interna, enquanto C_{abast} é o custo de abastecimento, e C_{emb} o custo da embalagem.

$$C_{mov} = C_{abast} + C_{emb} \quad (1)$$

O custo de movimentação interna é calculado com o somatório do custo do abastecimento com o custo da embalagem escolhida para a movimentação interna. Após a representação matemática do custo de abastecimento, que é considerado na função objetivo (1), realiza-se a validação com dados reais para avaliar os custos em relação ao praticado atualmente na empresa.

O cálculo do custo de abastecimento envolve o custo da utilização do rebocador C_r somado com o custo da mão de obra do operador de abastecimento C_{moreb} . Desta forma, tem-se o custo de abastecimento descrito na eq. (2).

$$C_{abast} = C_r + C_{moreb} \quad (2)$$

O custo de utilização do rebocador é calculado por uma expressão que associa a demanda operacional deste recurso com base na demanda de abastecimento. Além disso, tal custo precisa considerar os custos médios de manutenção e de consumo para recarga do rebocador. A eq. (3) traz a fórmula do custo de utilização do rebocador, onde C_i é o consumo da peça i por dia, T_r é o tempo de rota, Q_{ij} é a quantidade de peças i na embalagem j , n é o número de embalagens por viagem, T_t é o tempo da jornada do trabalho, C_{mo} é o custo médio do consumo pelo preço da energia (em quilovolts), C_{mm} é o custo mensal de manutenção e, por fim, $\%_{utilização\ do\ rebocador}$ é em média 85%.

$$C_r = \frac{C_i \cdot T_r}{Q_{ij} \cdot n \cdot T_i \cdot \% \text{utilização do rebocador}} (C_{mo} + C_{mm}) \quad (3)$$

A variável C_r representa o custo gerado a partir da demanda operacional do rebocador multiplicado pela soma de seu custo médio de manutenção e de recarga. Entende-se neste trabalho que o custo ligado ao abastecimento de uma peça está relacionado ao seu custo de utilização do rebocador somado posteriormente com o custo da mão de obra para a empresa.

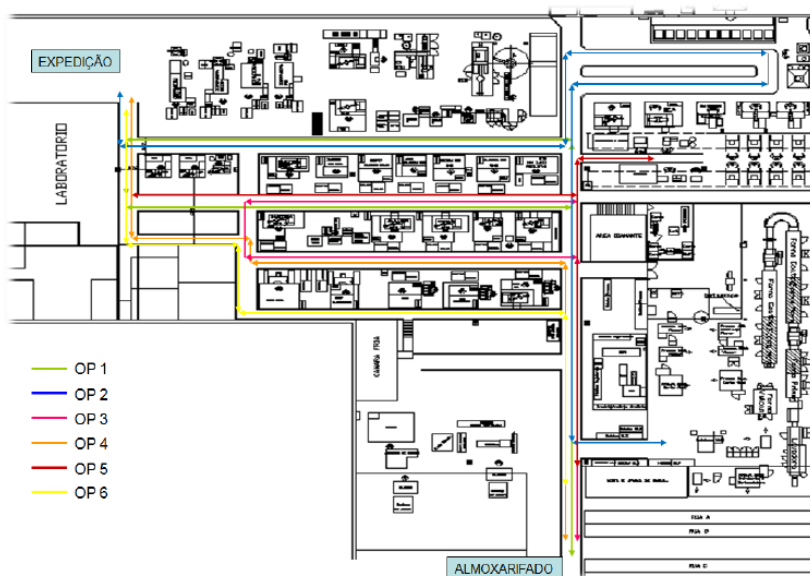
O consumo de peças i por dia, representado pela variável C_i , é um fator extremamente importante para o cálculo da demanda operacional de um rebocador, pois quanto maior for o consumo de peças por dia, maior é a necessidade de movimentação ou de ser ter grande quantidade de peças por embalagem. É importante reforçar que existem diversos fatores que limitam o aumento de peças por embalagem, tais como nos casos em que se tem um item de grandes dimensões e há uma limitação de espaço físico para o seu abastecimento, ou quando as grandes quantidades de peças expostas estão sujeitas a problemas de sujeidade, riscos e danos oriundos de outros processos do fluxo.

Cada peça deve ser avaliada criteriosamente para que se tenha uma definição de embalagens e quantidades de peças adequadas ao sistema de montagem. Portanto, o consumo de peças está relacionado com a quantidade de peças definidas por embalagem, ou seja, se há um consumo alto com quantidade de peças nas embalagens baixo, tem-se uma grande frequência de abastecimentos. Para o cálculo de consumo de peças foi utilizado as informações disponíveis na estrutura de produtos, pois há informações específicas de consumo para cada código de peça utilizado.

O tempo de rota T_r é também um fator importante a ser considerado dentro de um cenário de abastecimento, pois existem diferentes locais destinados para o abastecimento. Assim, a linha de produção pode ter um item que esteja localizado em uma rota de abastecimento, mais curta ou mais longa. De qualquer forma, deve-se analisar os cenários de abastecimento de cada empresa, pois se a empresa fez o abastecimento percorrendo todo o circuito para todos os itens tem-se um padrão de movimentação pela rota. O fator que diferencia o tempo gasto total com a operação de abastecimento é a quantidade de embalagens que está disponível. Com isso, quanto mais peças o abastecedor tiver para realizar o ressurgimento, maior será o tempo dispendido na operação. A Figura 40 representa

um cenário de abastecimento analisado pelos autores Carrara e Treter (2012), com rotas de abastecimento especificado por diferentes cores e operadores (OP).

Figura 40 - Rotas logísticas para diferentes operadores.



Fonte: Carrara e Treter (2012).

A quantidade padrão, representada pela variável Q_{ij} é o número de peças i que uma embalagem j tem capacidade para acondicionar. Esse valor especificado para cada peça i é obtido a partir da verificação se a peça pode ser colocada em contato com outras sem que haja danos ou riscos e de suas dimensões e peso, que são fatores importantes para a escolha da embalagem mais adequada. Deve-se observar também se as peças estão dentro dos limites da embalagem, para não fornecer risco de queda e contato com outros elementos, como outras embalagens, estantes, rebocadores e ferramentas.

O peso de cada peça é um fator que visa garantir que não seja colocada em risco a saúde do operador, pois dependendo da embalagem escolhida haverá a necessidade de se fazer o esforço de levantar a embalagem e realizar a troca nos pontos de abastecimento. Nestes casos, é especificado um limite máximo de 27 quilos para os casos em que há a necessidade de se realizar o movimento de carregar a embalagem. Por fim, vale ressaltar que a definição da quantidade padrão Q_{ij} também leva em consideração seu local de

abastecimento, pois em alguns casos é possível somente utilizar embalagens de dimensões menores.

O número de embalagens por viagem n (ou “comboio”) foi citado no tempo de rota, que no caso é o tempo de movimentação do percurso somado com o número de operações de abastecimentos, o qual é calculado pela quantidade de embalagens por viagens. A Figura 41 ilustra um rebocador com quatro embalagens formando a carga de abastecimento, que neste caso é destinada para o transporte de peças de dimensões maiores (CARRARA; TRETER, 2012).

Figura 41 - Representação de um “comboio” de embalagens.



Fonte: Carrara e Treter (2012).

O tempo total da jornada de trabalho, representado pela variável T_t representa o período em que o rebocador estará sujeito ao uso. Para que a condição de trabalho seja adequada ao operador, foi considerado que o recurso estará em uso a uma taxa de 85%, ou seja, os 15% restantes são o tempo para o operador descansar.

Todos os fatores detalhados anteriormente vão determinar a demanda de rebocadores. A seguir são apresentados os custos relacionados a manutenção e a recarga das baterias dos rebocadores elétricos considerados neste estudo. A Figura 42 ilustra os modelos de rebocadores que foram tomados como base para o cálculo do custo de utilização.

Figura 42 - Rebocadores elétricos industriais considerados neste estudo.



Fonte: Veículos Jacto (2015).

O cálculo do custo médio destinado a recarga do rebocador, representado pela variável C_{mo} foi feito a partir da análise dos equipamentos utilizados para a recarga das baterias presente nos rebocadores. Para isso, fez-se a consulta ao manual de instrução de cada modelo, tomando as informações de consumo e tempo de recarga. Assim, o tempo médio de recarga é de aproximadamente 8 horas. O cálculo do custo de recarga de cada uma das baterias, tomou como base nos os valores indicados pelo fabricante do equipamento de recarga (36 Volts – 40 Amperes). Logo, foi obtido um custo médio diário de R\$ 32,00 por recarga de bateria.

O custo de manutenção diário do rebocador, C_{mm} foi obtido do departamento responsável em realizar o controle de gastos relacionados a manutenção do referido equipamento. Assim, foram analisadas as médias mensais dispendidas com esta manutenção, resultando em um valor médio diário de R\$ 54,00 por rebocador.

O custo da mão de obra do rebocador C_{moreb} é feito a partir do cálculo da demanda de rebocadores. Assim, ele envolve o custo da operação de abastecimento relacionado com o custo da mão de obra, sendo T_r o tempo que é gasto para executar as operações de ressuprimentos. Desta forma, tem-se a eq. (4) que representa o custo da mão de obra para o abastecimento. Em que o C_i é o consumo de peças por dia, T_r é o tempo de rota, Q_{ij} é a quantidade padrão da peça i na embalagem j , n é o número de embalagens por viagem, T_t é o tempo da jornada de trabalho e o C_{op} é o custo em reais (R\$) de cada mão de obra.

$$C_{moreb} = \frac{C_i \cdot T_r}{Q_{ij} \cdot n \cdot T_t \cdot \% \text{utilização do rebocador}} C_{op} \quad (4)$$

Ao observar a eq. (4), nota-se que a sua diferença com relação ao custo de utilização do rebocador na eq. (3) é a variável C_{op} , que representa o custo da mão de obra para a empresa. O valor de C_{op} corresponde ao salário médio somado com os encargos trabalhistas. Desta maneira, resultou-se em um valor médio diário de R\$ 70,00. Agrupando as eq. (3) e (4) que fazem parte do custo de abastecimento, chega-se em:

$$C_{abast} = \frac{C_i \cdot T_r}{Q_{ij} \cdot n \cdot T_t \cdot \% \text{utilização do rebocador}} (C_{mo} + C_{mm} + C_{op}) \quad (5)$$

O cálculo do custo da embalagem C_{emb} da eq. (1) toma como base os valores pré-estabelecidos pelo mercado, variando de acordo com cada tipo de embalagem. A Tabela 3 representa os tipos de embalagens utilizadas versus os seus custos unitários.

Tabela 3 – Custo unitário das embalagens usadas.

Tipo de Embalagem	Custo Unitário (R\$)
Caixa plástica P	9,00
Caixa Plástica M	12,00
Caixa Plástica G	24,00
Caixa Plástica EG	32,00
Base + Caixa Plástica GG	1200,00
Base ½ GG	1100,00
Rack Específico	3500,00

Fonte: o autor.

Segue que o custo da embalagem envolve diretamente a quantidade de embalagens W_j que é utilizada pelo seu respectivo custo C_j , conforme a eq. (6).

$$C_{emb} = W_j \cdot C_j \quad (6)$$

Ao realizar a apresentação dos custos que envolve o custo total de movimentação interna da logística, tem-se como resultado a eq. (7):

$$C_{mov} = \frac{C_i \cdot T_r}{Q_{ij} \cdot n \cdot T_t \cdot \%utilização \text{ do rebocador}} (C_{mo} + C_{mm} + C_{op}) + W_j \cdot C_j \quad (7)$$

4.2.3 Validação do Modelo Conceitual

O processo de validação do modelo matemático é fundamental para que a sua aplicação seja feita de forma a não desviar dos objetivos de estudo e para a credibilidade do

projeto. Segundo Harrel (2002), a realização de testes com o foco na validação deve ter um empenho cooperador entre os envolvidos, tais como: equipe, programador, futuros usuários e pessoas que são familiarizadas com a real operação do sistema.

Nesta etapa de validação do modelo conceitual, sugere-se que seja realizada uma estruturação do possível modelo a ser projetado, demonstrando os seus horizontes de atuação, bem como uma análise prévia de sua importância e viabilidade. Assim, para se ter um estudo que alcance resultados possíveis de serem colocados em práticas.

A partir do modelo conceitual definido na eq. (7), realiza-se uma simulação para calcular o custo interno de movimentação. Para isso, faz-se separação de um grupo de itens para a real validação deste modelo.

Com o objetivo de verificar se o modelo na eq. (7) é válido para aplicações, fez-se a comparação entre a demanda de rebocadores R_{abast} , definido na eq. (8) versus a quantidade real utilizada para cada área de abastecimento. A justificativa de se utilizar a demanda para realizar a validação envolve o uso da variável Q_{ij} , uma vez que as demais variáveis possuem valores conhecidos, oriundos de estimativas do sistema real.

$$R_{abast} = \frac{C_i \cdot T_r}{Q_{ij} \cdot n \cdot T_t \cdot \% \text{utilização do rebocador}} \quad (8)$$

Neste sentido, desenvolveu-se uma planilha eletrônica para realizar o cálculo do R_{abast} . Cada uma das variáveis é detalhada nos próximos parágrafos. O entendimento deste cálculo da demanda presente na eq. (8) é detalhado para o entendimento do cálculo da demanda de rebocadores destinados para o abastecimento. Assim, a validação do modelo conceitual, tomando apenas a parte dada pela eq. (3) tem como base a comparação da demanda de rebocadores por peças versus o praticado pela empresa.

O valor atribuído para o consumo de peças por veículo parte de simulações diárias. A informação obtida para C_i está contida na lista de estrutura de produtos do veículo. Com isso, sabendo o volume de veículos a ser produzido durante um dia de produção, obtém-se o consumo diário de peças. A Tabela 4 representa o consumo de peças por modelos de veículo, sendo tomado como base para o cálculo do consumo diário.

Tabela 4 - Estrutura de produtos de seis peças, para cada modelo de veículo M.

Peça i	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
P1	0	1	1	2	0	1	1	1
P2	1	1	1	1	1	1	1	1
P3	2	2	2	2	2	2	2	2
P4	1	1	1	1	2	2	2	2
P5	3	3	1	1	1	1	1	1
P6	0	0	0	0	1	1	2	2

Fonte: o autor.

O cálculo do tempo de rota T_r , requer valores coletados a partir do sistema real em operação. As rotas de abastecimento foram divididas em seis tipos e dependem da zona em que o abastecedor se movimenta e o tamanho da embalagem. Assim, tem-se seis diferentes tempos de rota, que é o tempo total da operação de abastecimento, ou seja, é o somatório do tempo gasto na movimentação interna no armazém com o tempo de movimentação do rebocador, o tempo da operação de troca de embalagens e a penalidade associada ao congestionamento da rota.

Tabela 5 - Tempo das rotas de abastecimento de acordo com o tamanho da embalagem.

Zona de abastecimento	Tempo médio de abastecimento para embalagens pequenas (segundos)	Tempo médio de abastecimento para embalagens grandes (segundos)
1	2116,15	1101,53
2	2146,23	1131,61
3	2241,35	1226,73
4	2571,2	1556,58
5	2571,2	1556,58
6	2415,84	1401,22

Fonte: o autor.

A quantidade de peças i por embalagem j , representada na variável Q_{ij} , utiliza as informações cadastradas no sistema de abastecimento. Neste caso, a decisão da embalagem e a quantidade a ser utilizada já foi determinada por meio de uma análise física para cada

tipo de peça. O cadastro da informação da quantidade de peças faz parte do chamado do plano para cada peça, cujo objetivo é ter o máximo de informações ligados à uma peça *i*.

A validação do modelo conceitual considera apenas uma zona de abastecimento, descrita na Tabela 6, para realizar o comparativo entre os valores calculados versus o praticado. É importante salientar que cada uma das zonas de abastecimento possui uma rota padrão, ou seja, o abastecedor sempre percorre um único caminho para realizar os ressuprimentos. Desta maneira, escolheu-se a zona 6, que envolve um total de 539 peças, e o período calculado tomou por base um dia de produção com 127 veículos que resultou em uma demanda de 507,12 ressuprimentos.

Tabela 6 - Análise da zona 6 de abastecimento

Tipo de embalagem	Quantidade de veículos por dia	Quantidade de peças <i>i</i>	Somatório do número de ressuprimentos	Demanda de peças <i>i</i>	Demanda de rebocadores por dia
Grande	127	275	167,26	4117,00	1,57
Pequena	127	264	339,86	13449,68	0,34

Fonte: o autor.

Ao analisar os valores na Tabela 6, observa-se que a demanda de rebocadores calculada para este dia, dado um volume de produção de 127 veículos, foi de 1,57 rebocadores para embalagens do tipo grande e de 0,34 para embalagens do tipo pequena.

Ao relacionar a quantidade de 1,57 rebocadores necessários para o abastecimento de um grupo de 275 peças (do tipo grande), para uma produção de 127 veículos, verifica-se que a empresa usa 2 rebocadores para atender a este volume de produção.

Agora, relacionando a quantidade de 0,3445 rebocadores necessários para o abastecimento de um grupo de 264 peças (do tipo pequena), na mesma produção de veículos, tem-se que a empresa usa apenas 1 rebocador. Nota-se que tal rebocador possui uma carga operacional baixa, com a possibilidade de utilizar este recurso no abastecimento de itens críticos de outras rotas. Na prática é utilizada apenas uma mão de obra para o abastecimento das embalagens do tipo pequena.

Por fim, a validação deste modelo tornou possível além de verificar as demandas diárias dos rebocadores para cada zona de abastecimento, como também auxiliou na identificação das cargas operacionais dos recursos de rebocadores, que são dedicados ou para embalagens grandes ou para embalagens pequenas. Sendo possível a utilização como uma ferramenta para o balanceamento das cargas entre as mãos de obra.

Outros testes também foram feitos comparando o valor de R_{abast} com o valor de demanda de rebocadores utilizados na prática pela empresa, obtendo resultados similares ao reportado acima. Além disso, esta validação permitiu identificar como é a real carga dos rebocadores. Assim, tornou-se possível usar o modelo conceitual para balanceamento das cargas com relação ao uso da mão de obra.

4.3 Modelo Proposto

O modelo proposto para o problema é de programação linear inteira, sendo composto por variáveis de decisões que possuem domínio inteiro, uma função objetivo e restrições, as quais limitam o uso dos recursos disponíveis, além de relacionar as variáveis entre si.

Modelos de programação linear inteira conseguem representar problemas nos mais diferentes ambientes, incluindo o estudo desenvolvido neste trabalho. Apesar disso, são modelos computacionalmente difíceis de serem resolvidos com as ferramentas disponíveis hoje em dia. Em outras palavras, o tempo de computação requerido para resolver um problema de programação linear inteira cresce substancialmente com o tamanho do modelo (número de variáveis e restrições) (ARENALLES *et al.*, 2007).

O objetivo deste modelo é minimizar o custo de movimentação interna para o sistema logístico envolvendo o uso de embalagens para o abastecimento de linhas de produção. Assim, o modelo proposto busca decidir qual a melhor atribuição de peças para embalagens de acordo com o consumo de peças e os outros valores definidos no modelo conceitual.

Inicialmente, apresentam-se os parâmetros do modelo, para em seguida, descrever o modelo propriamente dito.

Parâmetros de Entrada:

- I : Quantidade total de peças.
- J : Quantidade total de embalagens.
- K_j : Quantidade total de cópias para cada embalagem j (cada k identifica o número da cópia da embalagem j usada).
- C_m : Custo diário de manutenção para cada rebocador.
- C_u : Custo diário de utilização do rebocador.
- C_{mo} : Custo diário de utilização da mão de obra.
- C_j : Custo de utilização da embalagem j .
- T_i : Tempo gasto com o processo de abastecimento da peça i .
- T_{jt} : Tempo da jornada de trabalho.
- E : Porcentagem de eficiência do rebocador, tomado como 85%.
- V_i : Volume da peça i .
- V_j : Volume da embalagem j .
- D_i : Consumo diário de peças do tipo i .
- M : Número inteiro grande.

Para a formulação do modelo, tem-se as variáveis de decisão:

- $X_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{se a embalagem } j \text{ cópia } k \text{ está sendo utilizada pela peça } i \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$
- $Y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se a peça } i \text{ usa a embalagem } j \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$
- $N_{ijk} =$ Quantidade de peças i alocada na embalagem j cópia k

$$\text{Minimizar} \quad \sum_{j=1}^J \left[\frac{\sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^{K_j} X_{ijk} \cdot T_i}{n \cdot T_{jt} \cdot E} (C_m + C_u + C_{mo}) \right] + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^{K_j} C_j \cdot X_{ijk} \quad (9)$$

Sujeito à:

$$N_{ijk} \cdot V_i \leq V_j \quad \text{Para todo } i = 1, \dots, I, j = 1, \dots, J, k = 1, \dots, K_j \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^{K_j} N_{ijk} \geq D_i \quad \text{Para todo } i = 1, \dots, I \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^J Y_{ij} = 1 \quad \text{Para todo } i = 1, \dots, I; \quad (12)$$

$$\sum_{\substack{r=1 \\ r \neq j}}^J \sum_{k=1}^{K_r} N_{irk} \leq (1 - Y_{ij}) \cdot M \quad \text{Para todo } i = 1, \dots, I; j = 1, \dots, J \quad (13)$$

$$N_{ijk} \leq X_{ijk} \cdot D_i \quad \text{Para todo } i = 1, \dots, I; j = 1, \dots, J; k = 1, \dots, K_j \quad (14)$$

$$\sum_{\substack{l=1 \\ l \neq i}}^I X_{ljk} \leq (1 - X_{ijk}) \cdot I \quad \text{Para todo } i = 1, \dots, I; j = 1, \dots, J; k = 1, \dots, K_j \quad (15)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\} \quad \text{Para todo } i = 1, \dots, I; j = 1, \dots, J; k = 1, \dots, K_j \quad (16)$$

$$Y_{ij} \in \{0,1\} \quad \text{Para todo } i = 1, \dots, I; j = 1, \dots, J \quad (17)$$

$$N_{ijk} \in Z_+ \quad \text{Para todo } i = 1, \dots, I; j = 1, \dots, J; k = 1, \dots, K_j \quad (18)$$

A função objetivo minimiza o custo de movimentação interna das embalagens definidas para cada tipo de peça somado ao custo das embalagens que são usadas. A expressão foi obtida com base no modelo conceitual anterior, sendo adaptada para a formulação matemática proposta. Assim, se a variável de decisão X_{ijk} assume o valor 1, então a embalagem j cópia k é escolhida para a peça i , tal que os demais custos relacionados com a demanda de abastecimento, o custo logístico e o custo da embalagem são considerados.

A restrição (10) garante que a quantidade de peças definidas não ultrapasse a capacidade (volume) da embalagem escolhida. Dessa maneira, tal restrição de volume descreve que o número de peças i multiplicado pelo seu volume deve ser menor ou igual ao volume da embalagem j . Com isso, restringe-se a possibilidade de definir quantidades de peças superior à capacidade da embalagem.

A restrição (11) garante que a demanda, representada pelo consumo de peças ao dia, seja atendida de acordo com o tipo de embalagem e o número de cópias k escolhidas. Dessa

forma, o somatório de peças i que ocupam as cópias k da embalagem j , deve ser maior ou igual a demanda diária para aquelas peças.

A restrição (12) impõe que cada tipo de peça tem apenas um tipo de embalagem j . Isso possibilita ter um padrão de embalagens para cada tipo de peça, que em caso de necessidade são adicionadas em cópias da embalagem escolhida para atender à demanda daquelas peças. A restrição (13) relaciona a variável Y_{ij} com N_{ijk} , no propósito de complementar a restrição de escolha de apenas um único tipo de embalagem para cada peça i . Quando a embalagem for escolhida, a variável Y_{ij} assume valor 1, obrigando o lado esquerdo da relação ser igual a zero, ou seja, que nenhuma outra embalagem r , com $r \neq j$, seja usada para atender a peça i .

A restrição (14) associa as variáveis X_{ijk} e N_{ijk} no intuito de contabilizar o número de embalagens utilizadas para cada tipo de peça de acordo com a variável X_{ijk} . Assim, a quantidade N_{ijk} de peças i , na embalagem j , cópia k , for maior que zero, então de fato a embalagem j cópia k será utilizada para acondicionar a peça i .

A restrição (15) impõe que se a cópia k da embalagem j for utilizada por alguma peça i , então nenhuma outra peça l diferente de i pode ser alocada nesta mesma cópia da embalagem. Isso garante que a cópia da embalagem seja utilizada exclusivamente por uma peça. As restrições (16), (17) e (18) estão relacionadas com o domínio das variáveis.

Capítulo 5

APLICAÇÃO E TESTES COMPUTACIONAIS

A solução do modelo de programação linear inteiro proposto no capítulo anterior foi resolvido pelo o pacote *Gurobi Optimizer* na versão 6.0, dado uma implementação na linguagem C++. O computador usado nos testes tem processador Intel® Core™ i7-4790k 4 Ghz, 32GB de memória RAM e sistema operacional Ubuntu 14.04 LTS.

O *Gurobi Optimizer* é um conjunto de bibliotecas de alto desempenho para resolver modelos de programação linear, inteira mista e quadrática. Atualmente, o Gurobi tem conseguido ser superior aos seus concorrentes na maioria dos *benchmarks* publicados (GUROBI OPTIMIZATION, 2015), por isso foi escolhido para a realização dos testes.

O processo de implementação do modelo matemático usando *Gurobi* requer que as seguintes etapas sejam cumpridas, a saber: declarar as variáveis do problema, inicializar as variáveis, neste caso foi feita a leitura de dados de arquivo externo, declaração das variáveis do modelo de otimização, declaração da função objetivo, declaração das restrições do modelo e, por fim, retorno do resultado, ou seja, valor das variáveis e da função objetivo.

5.1 Cenários Analisados

A realização das experimentações computacionais ocorreu sobre os dados levantados a partir do estudo de caso realizado na empresa do ramo automobilístico. Dessa maneira, foi considerado um grupo de peças que fazem parte de um modelo de veículo recentemente nacionalizado pela empresa.

O cenário 1 consiste em utilizar pequenas quantidades de dados para que seja possível verificar se o resultado obtido com o modelo proposto está respeitando as restrições impostas para a escolha das embalagens que minimizem o custo de movimentação. Os parâmetros analisados estão descritos no Quadro 3.

Quadro 3 - Parâmetros utilizados para a análise do cenário 1 do modelo proposto.

Tipo do experimento	Restrição	Objetivo
Quantidade de peças na embalagem	$N_{ijk} \cdot V_i \leq V_j$	Verificar se o modelo proposto está respeitando a restrição de quantidade de peças por embalagem, ou seja, não alocando quantidades de peças superiores a capacidade da embalagem escolhida.
Demanda de peças por dia	$\sum_j \sum_k N_{ijk} \geq D_i$	Verificar se a quantidade de peças estabelecida na escolha das embalagens está respeitando a demanda diária das peças.
Padrão na escolha da embalagem	$\sum_j Y_{ij} = 1$	Verificar se existe um padrão na escolha das embalagens, ou seja, se para cada tipo de peça existe apenas um modelo de embalagem a ser utilizado no abastecimento.

Fonte: o autor.

O cenário 2 possui o objetivo de selecionar um grupo de peças de um projeto de nacionalização de um veículo, com diferentes dimensões e consumo, buscando verificar se a solução fornecida pelo modelo proposto está relacionando com as definições executadas pelo profissional da área, com base nas experiências vivenciadas na empresa. Os parâmetros definidos para a análise estão descritos no Quadro 4.

Quadro 4 - Parâmetros utilizados para a análise do cenário 2

Tipo do experimento	Objetivo
Tipo de embalagem escolhida	Comparar a solução obtida pelo modelo proposto, com as definições praticadas pelos responsáveis da área de Engenharia de Embalagens da empresa automobilística.
Quantidade de peças	Comparar as quantidades de peças que foram atribuídas pelo modelo proposto, com o valor definido pelos responsáveis da área de embalagens.

Fonte: o autor.

5.2 Dados das Experimentações

Para a experimentação computacional deste trabalho, utilizaram-se dados reais, levantados por meio do estudo de caso realizado na empresa do ramo automobilístico. O objetivo é verificar a viabilidade de utilizar este tipo de modelo matemático no processo de escolha da embalagem e da quantidade padrão de peças.

As variáveis que são constantes no decorrer das experimentações são os custos de processo e a jornada de trabalho praticada pela empresa. Além disso, atribui-se uma relação de eficiência para cada um dos rebocadores utilizados no processo de abastecimento, no intuito de garantir que o limite máximo de utilização do rebocador permaneça com 85% do tempo total trabalhado. Os parâmetros de entrada para o modelo estão na Tabela 7.

Tabela 7 – Parâmetros de entrada para o modelo.

Variável	Descrição	Valor adotado
C_m	Custo diário de manutenção por rebocador	R\$ 54,00
C_u	Custo diário de utilização do rebocador	R\$ 32,00
C_{op}	Custo diário de utilização da mão de obra	R\$ 70,00
T_{jt}	Tempo da jornada de trabalho	8 horas
E	Porcentagem de eficiência do rebocador	85%

Fonte: o autor.

O custo associado às embalagens utilizadas na fase de experimentações está descrito na Tabela 8. Esta tabela também traz as informações de dimensão e valor unitário de cada uma das embalagens consideradas.

Tabela 8 - Custo e dimensões das embalagens testadas.

Tipo da embalagem	Dimensão	Valor unitário (R\$)
P	250 mm x 120 mm x 160 mm	9,00
M	340 mm x 180 mm x 220 mm	12,00
G	550 mm x 280 mm x 370 mm	24,00

Fonte: o autor.

Os dados relacionados às dimensões das peças, consumo unitário e tempo de abastecimento são variáveis conforme se altera o tipo de peça utilizada para a análise. A Tabela 9 exemplifica as informações para oito tipos diferentes de peças.

Tabela 9 – Informação das peças consideradas.

Descrição	C (mm)	L (mm)	A (mm)	Consumo de Peça (dia)	Tempo de abastecimento (dia)
Rebite, para-choque dianteiro	58	7	7	138	0,04
Presilha, fixação	160	15	20	46	0,05
Porca aço baixo carbono	25	12	7	115	0,05
Suporte, para-choque	210	65	40	23	0,04
Sensor, temperatura interna	295	35	20	22	0,04
Tampa, painel dianteiro	230	50	35	23	0,04
Guarnição, capo	380	25	20	23	0,04
Duto, saída ar	370	145	60	23	0,01

Fonte: o autor.

5.3 Resultados para o Cenário 1

Os testes realizados no cenário 1 objetivaram validar algumas das restrições impostas no modelo proposto. Assim, para verificar se estão sendo gerados valores conforme previsto com a modelagem das restrições matemáticas e a situação real.

A realização destes testes considera 10 peças de uma plataforma de veículo, que são montadas no prédio de acabamento, referente à empresa onde o estudo de caso foi executado. Dessa maneira, os dados fornecidos são valores reais, coletados fisicamente no decorrer da análise. Os itens selecionados, em sua maioria, são itens de fixação, tais como: presilhas, parafusos e suportes.

As peças que possuem pequenas dimensões são alocadas em embalagens de caixa plástica e enviadas para estantes, presentes na linha de produção, com o uso de rebocadores elétricos, conforme ilustra a Figura 43. Desta maneira, os montadores da linha de produção

coletam as peças conforme as informações contidas nas folhas de processo, como a quantidade de peças por modelo de veículo.

Figura 43 - Estantes de linha de produção com as caixas plásticas contendo peças de pequena dimensão.



Fonte: o autor.

As quantidades de peças nas embalagens servem para guiar o operador logístico, nas operações de transbordo das embalagens importadas, em sua maioria, caixas de papelão e saco plástico. As embalagens recebidas de fornecedores nacionais são enviadas para a linha de montagem, em sua grande maioria, sem a operação de transbordo interno. Para os casos em que não é possível, justificado pelas dimensões superiores ao suportado na linha de montagem ou a quantidade de peças superiores ao necessário, o operador faz o transbordo conforme a embalagem que vai receber as peças e na quantidade padrão definida.

A definição da quantidade padrão para cada tipo de peça também é importante para nivelar as distribuições de peças no decorrer dos pontos de utilização. Esta informação permite melhor controle de peças abastecidas, uma vez que padroniza as quantidades de peças por evento de abastecimento. Quando não há um padrão nas quantidades definidas para os itens produzidos, aumenta-se o risco de se ter um excesso de peças em alguns pontos de utilização e falta de peças em outro.

A entrada de dados para o modelo proposto é feita por meio de um arquivo de texto (.txt). Na Figura 44 está representado um exemplo de arquivo de texto para um total de 3 peças e 3 embalagens de diferentes tamanhos, com 3 cópias para cada tipo. Na medida em que se aumenta o número de peças, a quantidade de informações de demanda da peça,

volume da peça, tempo de abastecimento e a quantidade de modelos de embalagem utilizadas, são acrescidas proporcionalmente no arquivo.

Figura 44 - Exemplo de arquivo de texto com os dados de entrada.

```

3 → Quantidade de Peças i
360   60   150 → Demanda do peça 1, 2, 3, ..., n
0.043 0.047 0.047 → Tempo de abastecimento da peça 1, 2, 3, ..., n
2842  4800  2100 → Volume da peça 1, 2, 3, ..., n

3 → Quantidade de embalagens j
3     3     3 → Quantidade de cópias k disponíveis
9     12    24 → Custo da embalagem j
4800000 13464000 56980000 → Volume da embalagem j

54 → Custo da manutenção
32 → Custo de utilização do rebocador
70 → Custo da mão de obra
0.35 → Jornada de trabalho
0.85 → Eficiência do rebocador
100 → Número de embalagens por viagem

```

Fonte: o autor.

O resultado para o cenário 1 está representado na Tabela 10. O experimento consistiu em selecionar diferentes tipos de peças, com dimensões, demanda e tempos de abastecimento variados, verificando se a demanda diária de peças solicitadas está sendo atendido no decorrer dos eventos de abastecimentos executados no dia, respeitando o volume máximo da embalagem escolhida. Assim, deseja-se garantir que não seja atribuído um número de peças superior a capacidade da embalagem escolhida e que exista um padrão na escolha das quantidades de peças por embalagem.

O resultado esperado com o teste para o cenário 1 é que o modelo verifique no universo de embalagens possíveis de serem alocadas, qual minimiza os custos ligados à movimentação das peças. O universo de embalagens disponíveis foi tomado como sendo: 10 caixas plásticas P, 10 caixas plásticas M e 10 caixas plásticas G.

Tabela 10 – Resultado para o teste de quantidade de peças na embalagem.

Peça	Demanda da Peça i	C (mm)	L (mm)	A (mm)	Quantidade Peças i	Volume Peça i (Total)	Volume da Embalagem Escolhida pelo Modelo	Resultado para $Q_{ijk} \cdot V_i \leq V_j$
1	500	58	7	7	500	1421000	13464000	Verdadeiro
2	600	16	15	20	600	2880000	4800000	Verdadeiro
3	650	25	12	7	650	1365000	4800000	Verdadeiro
4	550	12	15	15	550	1485000	4800000	Verdadeiro
5	3000	20	15	15	3000	13500000	56980000	Verdadeiro
6	100	210	65	40	100	54600000	56980000	Verdadeiro
7	850	75	40	40	474	56880000	56980000	Verdadeiro
8	50	50	45	35	50	3937500	13464000	Verdadeiro
9	35	100	55	50	35	9625000	4800000	Verdadeiro
10	56000	115	40	40	Inviável	Inviável	Inviável	Verdadeiro

Fonte: o autor.

Com base nos resultados obtidos é possível afirmar que a restrição imposta sobre o modelo funcionou conforme o esperado. Observa-se que para os casos com disponibilidade de embalagens para a alocação de peças, a demanda diária foi atendida (peça 1 à peça 9) e o volume de peças definido pelo modelo ficou dentro da capacidade da embalagem.

As peças de 1 até 9 foram alocadas em um total de 10 embalagens, significando que uma delas precisou de dois abastecimentos, ou seja, de duas embalagens para atender a sua demanda diária. Neste caso, a peça 7 possui uma demanda de 850 peças ao dia, tal que é abastecida em uma quantidade de 474 peças por caixa plástica G, totalizando 948 peças. Como o objetivo do modelo é minimizar o custo de movimentação interna da empresa, a quantidade de peças definidas busca utilizar ao máximo da capacidade da embalagem, sem prejudicar o custo de movimentação.

A relação entre a quantidade padrão e os custos de movimentação são inversamente proporcionais, uma vez que quanto maior a quantidade de peças alocadas em uma embalagem, estima-se que menor é o custo de movimentação interna da empresa. Se a quantidade especificada para a embalagem for inferior a demanda diária, significa que há mais de um abastecimento nos locais de montagem, aumentando a carga de abastecimento e os custos relacionados ao uso de embalagens e movimentação interna.

No caso específico da peça 10, que tem uma demanda de 56000 peças ao dia, o modelo retornou que não há embalagens em quantidade para atender sua demanda diária. Com isso, o modelo foi dado como inviável pelo *Gurobi*. Este teste foi executado com o

objetivo de certificar que o modelo proposto está utilizando apenas um tipo de embalagem para cada tipo de peça.

5.4 Resultados para o Cenário 2

Neste cenário o objetivo é realizar uma comparação entre a solução fornecida pelo modelo matemático, em relação ao que foi atribuído pelos responsáveis da área de embalagens da empresa. Para isso, considerou-se um total de 20 peças de diferentes dimensões, tempo de abastecimento e com um total de 60 embalagens disponíveis. As quantidades são de 20 caixas plásticas P, 20 caixas plásticas M e 20 caixas plásticas G. As informações das peças utilizadas para a análise estão na Tabela 11.

Tabela 11 - Peças consideradas no cenário 2.

Descrição	C (mm)	L (mm)	A (mm)	Tempo de abastecimento (dia)	Volume da peça i (mm ³)
Parafuso, com flange - 14x63 mm	75	27	27	0,04	54675
Trava, fechadura tampa porta	125	80	35	0,04	350000
Mangueira, dreno	200	38	60	0,04	456000
Sensor, temperatura interna	295	35	20	0,04	206500
Suporte, console assoalho	200	45	10	0,04	90000
Tampão, carroceria	160	30	5	0,04	24000
Presilha, fixação	45	40	15	0,04	27000
Luz, teto, dianteiro	225	95	40	0,04	855000
Chicote, ar condicionado	300	90	30	0,04	810000
Filme, protetor entrada água	580	720	1	0,04	417600
Presilha, fixação	40	30	25	0,04	30000
Presilha, fixação	40	20	20	0,04	16000
Presilha, fixação	30	30	10	0,04	9000
Adesivo, cuidado não fume	80	60	1	0,04	4800
Presilha, fixação	30	15	20	0,04	9000
Fita, adesiva fixação elétrica	90	60	5	0,04	27000
Parafuso, com arruela - 6x12 mm	15	12	12	0,05	2160
Parafuso, com arruela	32	20	20	0,04	12800
Sensor, air bag	55	30	10	0,04	16500
Suporte, sensor air bag	30	30	30	0,04	27000

Fonte: o autor.

O custo de movimentação interna real foi simulado com base na planilha eletrônica desenvolvida, utilizando as definições de embalagens, e quantidades padrões atribuídas pelos responsáveis da área de embalagens da empresa. É importante ressaltar que a planilha eletrônica é utilizada para os casos em que são conhecidas as embalagens e as quantidades

de peças por caixa plástica. Por outro lado, o modelo proposto permite definir quais embalagens e quantas peças alocar por embalagem de forma a minimizar o custo de movimentação.

A quantidade padrão de peças e do tipo de embalagem são definidas de acordo com a prática do dia a dia e as análises físicas de cada peça, como já comentando anteriormente. Nos casos das características de recebimento, que influenciam na quantidade padrão, tem-se que observar como o fornecedor condiciona as peças e em quais quantidades são enviadas. Neste sentido, o recebimento de peças importadas ocorre em lotes de 60 carros, ou seja, são enviados um total de peças que completem a montagem de 60 veículos.

Como forma de otimizar os abastecimentos, que correspondem ao número de vezes que as embalagens com peças são conduzidas até a linha de montagem, os responsáveis da área definem a quantidade padrão buscando garantir o abastecimento de 60 veículos ao dia. A justificativa é que balanceando o sistema de abastecimento para um lote de 60 veículos, tem-se que o sistema logístico pode operar nas situações quando há um número alto de veículos estocados e também para quando se trabalha com baixas quantidades de lotes.

O impacto da quantidade padrão de peças e de embalagens é percebido nas fases iniciais da montagem dos veículos, pois, geralmente, se inicia com um lote de 60 veículos e as definições de embalagens e quantidade padrão precisam atender aos diversos pontos da linha de montagem. Outro momento em que se visualiza este impacto é na produção dos últimos veículos, sendo possível verificar os casos quando há o desbalanceamento na distribuição de peças.

Para o dimensionamento dos custos ligados à movimentação interna, com base nas informações praticadas na empresa, foram selecionadas 20 peças listadas na Tabela 11. Assim, foram coletadas as informações de tipo de embalagem utilizada para cada peça e a quantidade de peças por embalagem. Além disso, a demanda da peça foi levantada para compreender a quantidade de abastecimentos necessários, considerando um lote de 60 veículos.

Para as informações praticadas pela empresa, utilizou-se a planilha eletrônica para obter o custo total de movimentação interna. A Tabela 12 traz as informações específicas para cada peça e o custo total de movimentação interna para cada tipo de peça, de acordo com os parâmetros definidos para o cenário 2.

Tabela 12 – Custo total de movimentação interna com base nas definições praticadas pela empresa

Sequência	Peça	Embalagem**	Demanda (dia)*	Quantidade de peças por embalagem	Quantidade de abastecimentos (dia)**	Custo total de movimentação interna (R\$)
1	Parafuso, com flange - 14x63 mm	Cx. Plástica M	240	90	2,67	32,62
2	Trava, fechadura tampa porta	Cx. Plástica M	60	30	2,00	48,46
3	Mangueira, dreno	Cx. Plástica M	60	40	1,50	36,35
4	Sensor, temperatura interna	Cx. Plástica M	60	30	2,00	24,46
5	Suporte, console assoalho	Cx. Plástica M	60	30	2,00	24,46
6	Tampão, carroceria	Cx. Plástica M	60	30	2,00	18,46
7	Presilha, fixação	Cx. Plástica M	180	120	1,50	18,35
8	Luz, teto, dianteiro	Cx. Plástica G	60	30	2,00	48,46
9	Chicote, ar condicionado	Cx. Plástica G	60	30	2,00	48,46
10	Filme, protetor entrada água	Cx. Plástica G	120	30	4,00	96,93
11	Presilha, fixação	Cx. Plástica P	120	90	1,33	12,31
12	Presilha, fixação	Cx. Plástica P	60	150	0,40	3,69
13	Presilha, fixação	Cx. Plástica P	60	150	0,40	3,69
14	Adesivo, cuidado não fume	Cx. Plástica P	60	60	1,00	9,23
15	Presilha, fixação	Cx. Plástica P	60	210	0,29	2,64
16	Fita, adesiva fixação elétrica	Cx. Plástica P	180	150	1,20	14,68
17	Parafuso, com arruela - 6x12 mm	Cx. Plástica P	60	120	0,50	4,62
18	Parafuso, com arruela	Cx. Plástica P	540	90	6,00	73,39
19	Sensor, air bag	Cx. Plástica M	120	60	2,00	18,46
20	Suporte, sensor air bag	Cx. Plástica P	120	60	2,00	18,46
			2340	1600	36,79	558,22

* Demanda com base no lote de 60 carros/dia.

** Valores coletados do estudo de caso realizado na empresa automobilística.

Fonte: o autor.

O custo total de movimentação calculado para as 20 peças, na Tabela 12, representa o valor de R\$ 558,22 por dia. Vale lembrar que, neste custo total, está sendo considerado o custo da mão de obra, de utilização e manutenção do rebocador e da embalagem. Considerando os valores definidos pela empresa, para a quantidade de peças e embalagens, tem-se um total de 36,79 abastecimentos por dia.

Ao analisar a quantidade de abastecimentos com base nas 20 peças verifica-se que há um desbalanceamento nos eventos de abastecimento, devido as seguintes situações:

- Número de abastecimentos (dia) maior do que um: há um total de 15 peças que necessitam de mais de um abastecimento por dia, que representa que a quantidade de peças está inferior a demanda, com a capacidade máxima não utilizada.
- Número de abastecimentos (dia) igual a um: há um total de 1 peça que está com apenas um abastecimento ao dia, que mostra ter a demanda nivelada com a quantidade de peças por embalagem.
- Número de abastecimentos (dia) menor do que um: há um total de 4 peças com número de abastecimentos inferior a um, indicando que não é preciso abastecer todos os dias. Esta situação surge quando há um abastecimento de peças superior ao necessário.

Por outro lado, a Tabela 13 traz a solução retirada pelo modelo proposto considerando as peças da Tabela 11 e os valores adotados para os parâmetros, conforme o cenário 2. A ideia é comparar a solução do modelo com aquela apresentada anteriormente quando se executa a planilha eletrônica, em conformidade com a prática atual da empresa.

Tabela 13 – Custo total de movimentação interna com base na solução do modelo proposto.

Sequência	Peça	Embalagem (otimizada)*	Demanda da peça i	Quantidade padrão (otimizada)**	Quantidade de abastecimentos (dia)	Custo total de movimentação interna (R\$)
1	Parafuso, com flange - 14x63 mm	Cx. Plástica M	240	240	1	12,23
2	Trava, fechadura tampa porta	Cx. Plástica G	60	60	1	24,23
3	Mangueira, dreno	Cx. Plástica G	60	60	1	24,23
4	Sensor, temperatura interna	Cx. Plástica M	60	60	1	12,23
5	Suporte, console assoalho	Cx. Plástica M	60	60	1	12,23
6	Tampão, carroceria	Cx. Plástica P	60	60	1	9,23
7	Presilha, fixação	Cx. Plástica M	180	180	1	12,23
8	Luz, teto, dianteiro	Cx. Plástica G	60	60	1	24,23
9	Chicote, ar condicionado	Cx. Plástica G	60	60	1	24,23
10	Filme, protetor entrada água	Cx. Plástica G	120	120	1	24,23
11	Presilha, fixação	Cx. Plástica P	120	120	1	9,23
12	Presilha, fixação	Cx. Plástica P	60	60	1	9,23
13	Presilha, fixação	Cx. Plástica P	60	60	1	9,23
14	Adesivo, cuidado não fume	Cx. Plástica P	60	60	1	9,23
15	Presilha, fixação	Cx. Plástica P	60	60	1	9,23
16	Fita, adesiva fixação elétrica	Cx. Plástica M	180	180	1	12,23
17	Parafuso, com arruela - 6x12 mm	Cx. Plástica P	60	60	1	9,24
18	Parafuso, com arruela	Cx. Plástica M	540	540	1	12,23
19	Sensor, air bag	Cx. Plástica P	120	120	1	9,23
20	Suporte, sensor air bag	Cx. Plástica P	120	120	1	9,23
			2340	2340	20	277,63

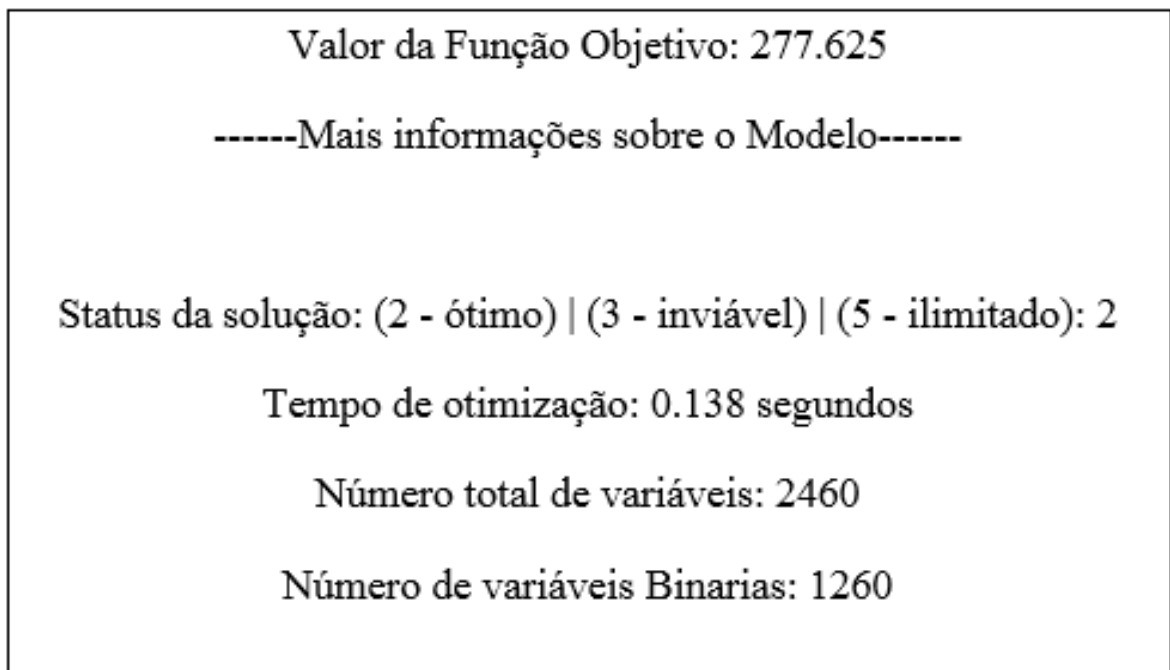
* Solução fornecida pelo modelo matemático proposto.

** Quantidade de peças fornecidas pelo modelo proposto.

Fonte: o autor.

O custo total de movimentação calculado para as 20 peças é de R\$ 277,63 por dia. Com base nas informações geradas pelo *Gurobi*, para a resolução do modelo, conforme os parâmetros do cenário 2, observou-se que o status da solução apresentada é o ótimo, com um tempo de processamento de 0,138 segundos. O modelo teve um total de 2460 variáveis, com 1260 binárias. A Figura 45 traz os resultados apresentados após a otimização.

Figura 45 - Resultados do modelo proposto para o Cenário 2.



Fonte: o autor.

Ao comparar o resultado fornecido pelo modelo com o resultado praticado pela empresa teve-se benefícios, pois os custos ligados a escolha da embalagem e movimentação foram reduzidos. Além disso, a quantidade de abastecimentos por dia, que na prática é de 36,79, caiu para 20. Nesta configuração, pode-se realizar apenas 1 abastecimento para atender a demanda diária. A comparação de antes (Tabela 12) com o depois (Tabela 13) é apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 – Custo total de movimentação interna com base na solução do modelo proposto.

Sequência	Tipo de embalagem	Quantidade de peças por embalagem	Relação entre o custo real e a solução do modelo (R\$)
1	Não alterar embalagem	Adicionar 150 peças	20,39
2	Trocar para cx. plástica G	Adicionar 30 peças	24,23
3	Trocar para cx. plástica G	Adicionar 20 peças	12,12
4	Não alterar embalagem	Adicionar 30 peças	12,23
5	Não alterar embalagem	Adicionar 30 peças	12,23
6	Trocar para cx. plástica P	Adicionar 30 peças	9,23
7	Não alterar embalagem	Adicionar 60 peças	6,12
8	Não alterar embalagem	Adicionar 30 peças	24,23
9	Não alterar embalagem	Adicionar 30 peças	24,23
10	Não alterar embalagem	Adicionar 90 peças	72,70
11	Não alterar embalagem	Adicionar 30 peças	3,07
12	Não alterar embalagem	Reduzir 90 peças	5,52-
13	Não alterar embalagem	Reduzir 90 peças	5,54-
14	Não alterar embalagem	Não alterar quantidade	0,00
15	Não alterar embalagem	Reduzir 150 peças	6,60-
16	Trocar para cx. plástica M	Adicionar 30 peças	2,45
17	Não alterar embalagem	Reduzir 60 peças	4,62-
18	Trocar para cx. Plástica M	Adicionar 450 peças	61,16
19	Trocar para cx. plástica P	Adicionar 60 peças	9,23
20	Não alterar embalagem	Adicionar 60 peças	9,23
			280,60

Fonte: o autor.

A explicação dos resultados apresentados na Tabela 14 segue:

- “Não Alterar Embalagem”: um total de 14 peças não necessita alterar o modelo de embalagem já definida pela empresa.
- “Trocar para Cx. Plástica...”: um total de 6 peças necessitam alterar o modelo de embalagem para melhorar o custo de movimentação interna.
- “Adicionar X Peças”: um Total de 14 peças podem ter suas quantidades ajustadas por embalagem.
- “Não alterar a quantidade”: Um total de 1 peça não necessita ter a sua quantidade alterada por embalagem.
- “Reduzir Y Peças”: um total de 4 peças precisam ter as suas quantidades reduzidas por embalagem. Vale comentar que a redução de peças, por embalagem, implica em aumentar o custo de movimentação da peça, entretanto, notou-se que a quantidade de peças definida pela empresa por embalagem, torna o sistema de abastecimento desbalanceado. Assim, em situações de baixo estoque é comum ter a falta de peças para

completar a quantidade padrão das embalagens. Além disso, o excesso de peças na embalagem aumenta o risco de danos e sujeidade.

Através do comparativo financeiro entre o valor praticado pela empresa, com o valor otimizado, verifica-se uma redução de R\$ 280,60, caso seja adotado a solução do modelo proposto ao cenário analisado. Esta redução financeira representa um impacto de 50,27% do custo total de movimentação interna. É importante destacar que o investimento para a aquisição de embalagens ocorre no início do projeto, ou seja, conhecendo o tipo de embalagem a ser utilizada para cada peça, faz-se a compra da quantidade que irá suportar o fluxo. Assim, o fluxo só tem influência financeira do custo de movimentação, caso as embalagens já estejam disponíveis (ou foram compradas).

5.5 Implementação da Solução do Modelo Proposto

Com base na solução fornecida pelo *Gurobi*, após a resolução do modelo proposto, fez-se a aplicação das 20 peças conforme as definições do cenário 2 na empresa.

A primeira observação ocorre para os casos em que não há a necessidade de alterar o modelo de embalagem utilizado para uma determinada peça, porém com a necessidade de ajustar a quantidade de peças por embalagem. Desta maneira, a Peça 7 (Presilha, Fixação) foi analisada em sua condição atual, representada na Figura 46, sendo possível perceber que a embalagem não está cheia. Assim, existe espaço para atender, em apenas um abastecimento, a demanda do dia para esta peça, conforme indicou a solução do modelo.

Figura 46 - Definições utilizadas para a peça 7 (antes da otimização).



Fonte: autor.

A solução do modelo para a peça 7 não indica mudança de embalagem, apenas aponta para aumentar a quantidade de peças de 120 para 180. Portanto, foram adicionadas as 60 peças restantes para completar o atendimento do consumo. O resultado desta ação pode ser visualizado na Figura 47. A embalagem da esquerda representa a condição atual da empresa enquanto a do lado direito representa a ação resultante do modelo proposto.

Figura 47 – Mudança na quantidade de peças do tipo 7 (embalagem da esquerda com 120 peças e a da direita com 180 peças).



Fonte: autor.

A segunda observação foi para a peça 6, em que o modelo resultou em reduzir o tamanho da embalagem, do tipo caixa plástica M para a caixa plástica P (250 mm x 120 mm x 160 mm), além de adicionar mais 60 peças na embalagem para completar o atendimento da demanda. A Figura 48 representa, no lado esquerdo, a embalagem resultante da aplicação do modelo proposto, enquanto o lado direito traz a embalagem com a quantidade de peças definida pela empresa.

Figura 48 – Solução proposta pelo modelo para a peça do tipo 6 (embalagem da esquerda com 60 peças e a da direita com 30 peças).



Fonte: autor.

Nota-se que os resultados obtidos com o modelo proposto, para minimização dos custos de movimentação interna, são satisfatórios, uma vez que foi possível colocar em prática, respeitando as premissas da empresa estudada, além de trazer redução nos custos envolvidos com a operação de abastecimento. Outro ponto importante é que o resultado do modelo permitiu reduzir drasticamente o tempo dispendido na análise física das peças, ou seja, fazer os testes de peças por embalagem para determinar a quantidade padrão.

No decorrer da aplicação dos resultados do modelo foi possível identificar uma limitação quanto ao tipo de peça aplicada. Existem casos em que a montagem da peça ocorre em um único ponto da linha de produção, com a premissa de atender o lote de 60 carros, assim sem ocasionar a retirada de peças do lote subsequente, garantindo que em todos os eventos de abastecimento sejam respeitadas as quantidades propostas. Por outro lado, para as peças que possuem mais de um ponto de uso na linha (um total de 651 itens, ou 13% do universo de peças da empresa), o modelo, na prática, não atendeu a premissa de nivelamento da linha para o lote de 60 carros.

O não atendimento da premissa para as peças com mais de um ponto de uso é justificado pela necessidade de se trabalhar com as demandas de cada ponto da linha individualmente, pois há variações do consumo de peças por veículo. Logo, é necessário conhecer, primeiramente, o consumo de peças para cada sequência de montagem e assim distribuir a quantidade de peças conforme a necessidade de cada ponto da linha. O modelo proposto apenas fornece a quantidade total de peças a ser colocada na embalagem, considerando que se tenha disponível a quantidade

solicitada. Entretanto, quando se aumenta o número de pontos a abastecer, torna-se necessário reduzir a quantidade de peças para atender os diferentes pontos da linha.

Apesar disso, o modelo proposto pode ser aplicado para um conjunto de 3363 peças (de um total de 5103 peças), ou seja, 66% das peças utilizadas pela empresa possuem apenas um ponto de uso na linha de produção. Desta maneira, os benefícios com o uso do modelo proposto serão fundamentais para a empresa otimizar seus gastos no que tange ao custo de movimentação interna.

Portanto, o modelo proposto é indicado para situações que envolvem peças com apenas um ponto de abastecimento na linha de montagem. Para peças que possuem mais de um ponto, há a necessidade de avaliar e adicionar restrições que busquem distribuir as peças conforme a necessidade, atendendo as premissas da empresa. Para as empresas que desejam nivelar o sistema logístico, que sofrem com um alto volume de estoque, é possível utilizar o modelo proposto, sem, para isto, prejudicar os pontos de abastecimento. Entretanto, ao final do ciclo de montagem do veículo, possivelmente haverá pontos com mais peças do que o necessário, ocasionando retrabalho manual de distribuição de peças.

Capítulo 6

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho foi desenvolvido um modelo matemático para definir embalagens e quantidades de peças, buscando minimizar os custos de movimentação interna, que englobam a utilização do rebocador, custo de manutenção, mão de obra e embalagem, utilizada no transporte de peças do estoque para a linha de montagem de uma empresa automobilística. Experimentos computacionais foram feitos no modelo de programação linear inteira usando o pacote *Gurobi Optimizer*, sobre dados reais coletados no estudo de caso da referida empresa.

O objetivo do trabalho foi atingido com sucesso, pois foi possível propor e aplicar o modelo proposto para otimizar o tempo de definição de embalagens e quantidade de peças, além de contribuir como uma nova ferramenta de redução de custos para a empresa estudada. Neste sentido, com a aplicação do modelo proposto foi possível utilizá-lo no campo prático, testando sua viabilidade física e financeira na empresa. O benefício financeiro resultante do uso do modelo foi de 50,27% de redução nos custos de movimentação interna na empresa.

Os ganhos financeiros apresentados neste trabalho refletem em benefícios operacionais para empresa, uma vez que quando se tem um processo de definição melhor praticado, resulta-se em eliminação de perdas operacionais para a logística. Assim, o processo de transbordo de peças é executado em menor frequência durante o dia e os eventos de abastecimentos são realizados em menor quantidade.

Os resultados obtidos mostraram que o modelo desenvolvido é coerente e representa adequadamente as peças indicadas para o uso nas embalagens testadas. Apesar da proposta considerar apenas um ponto de uso na linha de montagem, torna-se interessante no futuro analisar quando há mais de um ponto de abastecimento na linha de montagem, pois há necessidade de adicionar restrições relacionados a demanda específica de cada ponto da linha de montagem. Para isso, seria necessário um maior detalhamento dos consumos de peças em

cada local de abastecimento, com o objetivo de certificar que todas as etapas de montagens sejam atendidas, com a proposta de otimização do processo.

Para empresas que possuem alto volume de peças em estoque é possível utilizar o modelo matemático proposto, entretanto, deve-se avaliar os custos possíveis de retrabalho executados ao final do ciclo de vida do produto. No ramo automobilístico, as empresas possuem a tendência de reduzir ao máximo os níveis de peças estocadas.

Trabalhos futuros pretendem incluir outras restrições no modelo proposto para que o mesmo atenda às peças que possuem mais de um ponto de abastecimento na linha de produção. Com isso, o resultado final é utilizar o modelo assumindo qualquer tipo de peça, independentemente do número de pontos de uso definido para o abastecimento.

Por fim, este trabalho contribui para disseminar estudos voltados para a área de embalagens industriais, com o benefício de melhorar as definições aplicadas nas empresas, reduzindo os custos ligados a movimentação e otimizando o tempo de análise das áreas responsáveis em realizar o planejamento de abastecimento das peças.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, C. *et al. Estudo de Caso*. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Minho - Instituto de Educação e Psicologia. Braga, Portugal, 2008. Citado na página 14.

ARENALES, *et al. Pesquisa operacional para cursos de Engenharia*. São Paulo: Elsevier Editora Ltda, 2007. Citado 3 vezes nas páginas 59, 60 e 74.

ASSOCIAÇÃO Brasileira do Papelão Ondulado. ABPO, 2014. Disponível em: <http://www.abpo.org.br/?page_id=1159>. Acesso em: 24 Dezembro 2014. Citado na página 33.

AUDY, J. L. N.; ANDRADE. CIDRAL, A. *Fundamentos de Sistemas de Informação*. São Paulo: Artmed Editora S.A, 2005. Citado 2 vezes na página 58.

BANDEIRA, D. *Alocação e movimentação de contêineres vazios e cheios - um modelo integrado e sua aplicação*. 124 f. Tese (Doutorado em Administração) - Escola de Administração - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005. Citado na página 62.

BELFIORE, P.; FAVERO L. P. *Pesquisa Operacional: para cursos de administração, contabilidade e economia*. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2012. Citado na página 59.

BIANCHI, K. *Uma contribuição para a melhoria de desempenho no intercâmbio de embalagens duráveis na indústria automobilística*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Rio de Janeiro, 2007. Citado 3 vezes na página 12.

BONASSA, A. C.; CUNHA, C. B.; ISLER, C. Modelagem de um problema de formação de cargas para o transporte de automóveis zero quilômetro. In: ANPET - CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 17. Belém/PA, 2013. Citado na página 63.

BRADLEY, T. *Matemática Aplicada à Administração*, 3ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier – Campus, 2011. Citado 3 vezes nas páginas 58 e 59.

CAIXAS ORGANIZADORAS PP, 2014. Disponível em: <<http://www.caixasorganizadoraspp.com.br/>>. Acesso em: 14 Dezembro 2014. Citado na página 18.

CARARA, B.; TRETER, F. M. Implementação de Rota Logística Lean para o abastecimento interno de materiais: estudo empírico em uma empresa do setor metal mecânico. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 32. Bento Gonçalves/RS, 2012. Citado 4 vezes nas páginas 67 e 68.

CASTRO, M. A. S. *Prevenção da poluição aplicada à embalagens de uso industrial: estudo de caso*. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2005. Citado 3 vezes nas páginas 23, 24 e 25.

CAVALCANTI, P.; CHAGAS, C. *História da embalagem no Brasil*. São Paulo/SP: Grifos Projetos Históricos e Editoriais, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 19.

CHAN, F. T. S.; CHAN, H. K.; CHOY, K. L. A systematic approach to manufacturing packaging logistics. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 19, n. 9, p. 1088-1101, 2006. Citado 3 vezes nas páginas 27 e 28.

CHIAVENATO, I. *Introdução à Teoria Geral da Administração*. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2004. Citado na página 58.

CHIWIF, L.; MEDINA, A. C. *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teorias e Aplicações*. São Paulo: do Autor, 2010. Citado na página 57.

COMERCIAL E DISTRIBUIDORA DE PALLETS CASTRO LTDA, 2015. Disponível em: <<http://www.decastropallets.com/>>. Acesso em: 8 de Janeiro de 2015. Citado na página 31.

FILHO, A. R. A. V.; KURIHARA, T. Um modelo matemático de decisões estratégicas para a logística de distribuição de produtos. *Revista Mackenzie de Engenharia e Computação*, v. 2, p. 65-82, 2000. Citado na página 60.

FRANCESCHINI, A. *et al. Teoria e Prática da pesquisa aplicada*. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2012. Citado na página 15.

FRANCISCHINI, P. G.; GURGEL, F. D. A. *Administração de Materiais e do Patrimônio*. São Paulo: Cengage Learning, 2013. Citado na página 25.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4ª ed. São Paulo/SP: Atlas S.A., 2002. p. 48. Citado 2 vezes na página 15.

GRESSLER, L. A. *Introdução à pesquisa: projetos e relatórios*. 2ª ed. São Paulo/SP: Loyola, 2004. p. 43. Citado na página 15.

GURGEL, F. A. *Administração da embalagem*. São Paulo/SP: Thomson Learning, v.I, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 31.

GUROBI OPTIMIZATION. Gurobi 6.5 Performance Benchmarks. Disponível em:<<http://www.gurobi.com/pdfs/benchmarks.pdf>>. Acesso em 08 de janeiro de 2016. Citado na página 78.

HALLBERG, J. B.; UHRBOM, P. *Volvo Logistics Corporation Returnable Packaging System: a model for analysing cost savings when switching packaging system*. Relatório técnico. Estocolmo. 2008. Citado 3 vezes na página 28 e 29.

HARREL, C. R. *et al. Simulação: Otimizando os Sistemas*. São Paulo: Belge Simulação e IMAM, 2005. Citado na página 70.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2014. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/industria/pimpfbr_embalagem/default_tab_embalagem.shtm>. Acesso em 31/01/2016. Citado na página 32.

MARFINITE, 2014. Disponível em: <<http://www.marfinite.com.br/>>. Acesso em: 23 Dezembro 2014. Citado na página 36.

MARQUES, C. E. C. *A importância das embalagens na gestão da cadeia de abastecimento: caso prático*. Dissertação (mestrado) - Universidade de Aveiro - Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial, Aveiro, 2009. Citado na página 27.

MESTRINER, F. *Gestão estratégica de embalagem*. 1ª. ed. São Paulo/SP: Pearson Prentice Hall, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 22.

MOLINA, F.; MORABITO, R.; ARAÚJO, S. A. Modelos matemáticos para problemas de dimensionamento de lotes com restrições de capacidade e custos de transporte. *Gestão e Produção*, v. 20, p. 573-586, 2013. Citado na página 61

MOURA, A. *Sistema e técnica de movimentação e armazenagem de materiais*. 8ª ed. São Paulo/SP: IMAM, v. I, 2012. Citado na página 17.

MOURA, R. A.; BANZATO, J. M. *Embalagem: acondicionamento, unitização e containerização*. São Paulo: IMAM, 1997. Citado 14 vezes nas páginas 11, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 27, 30, 33.

NAZÁRIO, GERMINIO. *Embalagem e saúde pública; embalagem, arte e técnica de um povo: um estudo da embalagem brasileira*. São Paulo/SP: Toga, 1985. Citado na página 23.

NEGRÃO, C.; CAMARGO, E. *Design de embalagem de marketing à produção*. São Paulo: Novatec, 2008. Citado 6 vezes nas páginas 17, 20, 22, 23 e 33.

PONTES, J. P. Estudos de caso em educação matemática. *Revista do Programa de Pós-Graduação em Educação Matemática do IGCE*, v. 25, p. 105-132, 2006. Citado na página 14.

ROBESON, J. F.; COPACINO, C. *The Logistics Handbook*. Nova Iorque: Associado R. Edwin Howe, 1994. Citado na página 25.

SALVADO, A. *A Influência da Embalagem na decisão de compra do consumidor: perspectiva infantil*. Dissertação (Mestrado) - Instituto Politécnico da Guarda, Guarda, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.

SANTOS, C. G. *et al. Desenho de embalagem: produto, imagem e sedução*. Curitiba: Graphica, 2007. Citado na página 21.

SCAVARDA, F.; BARBOSA, P. W.; HAMACHER, S. Comparação entre as tendências e estratégias da indústria automotiva no Brasil e na Europa. *Gestão e Produção*, v. 12, p. 361-375, 2005. Citado 3 vezes nas páginas 11 e 12.

SILVA, D.; LEITE, V. C. A importância da embalagem como vantagem logística: um estudo de caso. *Tékhne e Lógos*, v. 1, n. 3, 2010. Citado na página 11.

SILVEIRA, R. M. *et al.* O ensino de geometria a partir do enfoque CTS: mudanças nas embalagens, preocupação ambiental ou custo benefício? In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2. Ponta Grossa/PR, 2010. Citado na página 19.

SOUZA, G. B.; FERNANDES, F. C. F. Alocação de pedidos em aglomerados industriais calçadistas: modelos e estudo de caso. *Produção*, v. 15, n. 2, p. 142-157, 2005. Citado na página 62.

SOUZA, M. C.; CARVALHO, C. R. V.; BRIZON, W. B. Modelos matemáticos para a alocação de peças a embalagens no abastecimento de linhas de montagem. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 36. São João Del Rei/MG, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 61 e 62.

VANDERPLAATS, G. N. *Numerical Optimization Techniques for engineering design*. 3ª. ed. Colorado Spring/Co: Vanderplaats Research & Development, 1999. Citado na página 58.

VEÍCULOS JACTO, 2015. Disponível em: <<http://www.veiculosjacto.com.br/>>. Acesso em: 23 Maio 2015. Citado na página 68.

ZILL, D. G.; CULLEN, M. R. *Matemática Avançada para Engenharia: Equações diferenciais elementares e transformada de laplace*. São Paulo: Bookman Companhia Editora, 2006. Citado na página 57.