

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE  
ENGENHARIA DE TRANSPORTES E LOGÍSTICA

**DIOGO VICTOR GUGLIELMONI BOGADO**

**APLICAÇÃO DE UM MODELO PARA CONTROLE DE ESTOQUE**

Joinville

2017

DIOGO VICTOR GUGLIELMONI BOGADO

APLICAÇÃO DE UM MODELO PARA CONTROLE DE ESTOQUE

Trabalho de conclusão de curso submetido à Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito necessário para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Transportes e Logística.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Christiane Wenck Nogueira Fernandes.

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Janaina Renata Garcia.

Joinville

2017

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por dar saúde aos meu pais e também a mim.

Aos meus pais Victor e Neuza, por me educarem, por me proporcionarem a oportunidade de estudo, por sempre me apoiarem e lutarem comigo em busca dos meus sonhos.

À minha namorada Kátia, por estar sempre ao meu lado, me entendendo e apoiando nas horas difíceis.

À minha avó Miriam e toda minha família de Mauá e Ribeirão Preto, que mesmo à distância me deram suporte e força para me manter longe de casa.

Ao Zika SC e todos os envolvidos, por serem minha família em Joinville e me proporcionarem momentos de alegria, que indiretamente me deram força ao longo dos anos de estudo.

Aos demais amigos de Joinville, principalmente aos que moraram comigo, pelo companheirismo.

Aos amigos de São João da Boa Vista, que mesmo à distância se mostraram fiéis.

À minha orientadora Christiane W. Nogueira Fernandes e coorientadora Janaína Renata Garcia, pela dedicação, confiança e direcionamentos essenciais na elaboração deste trabalho.

Aos professores Marcos Alves Rabelo, Elisete S. da Silva Zagheni, Renata Cavion, Sílvia L. de Sena Taglialha, Christiane W. Nogueira Fernandes e Janaína Renata Garcia, que mesmo sem ciência, contribuíram positivamente para minha formação acadêmica e principalmente como pessoa.

Aos amigos da OTM, pelo apoio e companheirismo no período de elaboração deste trabalho.

*“Não existe nenhum manual de instrução em como lidar com o sucesso, então você deve fiar-se apenas em ter bons amigos e uma boa equipe.”*

*Bryan Adams*

## RESUMO

Devido à alta competitividade do mercado atual, se faz necessária a busca por melhoria contínua tanto nos processos produtivos, quanto logísticos. O controle de estoque é indispensável para a empresa reduzir custos e satisfazer seus clientes. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo analisar os custos de armazenagem e pedido aplicando um modelo que minimize os custos totais com estoques de uma empresa de cabos elétricos situada em São João da Boa Vista. Para isso, foram aplicados modelos de lote econômico de compra encontrados na literatura de pesquisa operacional e logística, para as principais matérias-primas da empresa de codinome K. Os modelos foram implementados no Microsoft Excel e geraram resultados que oferecem uma economia total de R\$ 25.149,21 por mês, o que corresponde à 1,06% de redução dos custos atuais com estoques da empresa K.

**Palavras-chave:** Controle de Estoque; Logística; Lote Econômico de Compra.

## **ABSTRACT**

Due to the high competitiveness of the current market, it is necessary to search for continuous improvement in both production and logistics processes. Inventory planning and control is indispensable for the company to reduce costs and satisfy its customers. Taking that in consideration, the present work has the objective of analyzing storage costs and requests applying a model that minimizes the total costs with inventories of an electric cable company located in São João da Boa Vista. For this, we applied economic order quantity models found in the literature of operational and logistic research for the main raw materials of the company code-named K. The models were implemented in Microsoft Excel and generated results that offer a total savings of R\$ 25,149.21 per month, which corresponds to the 1.06% reduction of the current costs with inventories of company K.

**Keywords:** Inventory Control; Logistics; Economic Order Quantity.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	10
1.1	JUSTIFICATIVA .....	11
1.2	OBJETIVOS .....	11
1.2.1	Objetivo geral.....	12
1.2.2	Objetivos específicos.....	12
1.3	METODOLOGIA.....	12
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1	DEFINIÇÃO DE ESTOQUE .....	15
2.1.1	Tipos de estoque.....	15
2.2	A IMPORTÂNCIA DO GERENCIAMENTO DE ESTOQUE .....	16
2.2.1	Quanto pedir.....	17
2.2.2	Quando pedir .....	18
2.3	CUSTOS DE ESTOQUE .....	19
2.3.1	Custo de armazenagem.....	20
2.3.2	Custo de pedido.....	21
2.4	ANÁLISE DE ESTOQUE .....	23
2.4.1	Revisão contínua .....	23
2.4.2	Revisão periódica .....	24
2.5	IMPORTÂNCIA DA PREVISÃO DE DEMANDA NA APLICAÇÃO DOS MODELOS DE ESTOQUE..	25
2.5.1	Modelos determinísticos .....	26
2.5.2	Modelos estocásticos.....	27
2.6	MODELOS DO TAMANHO DO LOTE ECONÔMICO.....	27
2.6.1	Modelo EOQ básico (sem falta).....	28
2.6.2	Modelo EOQ com falta planejada de produto.....	29
2.6.2.1	A modelagem matemática .....	29
2.6.2.2	O custo de escassez .....	31
2.6.3	Modelo EOQ com desconto por quantidade .....	32
2.6.4	Modelo EOQ ‘probabilizado’ .....	33
2.6.5	Modelo EOQ probabilístico .....	34
3	ESTUDO DE CASO .....	36
3.1	A EMPRESA K.....	36
3.2	CONTEXTUALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA .....	42
3.3	COLETA DE DADOS .....	43

3.3.1	Dados do cobre.....	43
3.3.1.1	Demanda.....	43
3.3.1.2	Custo de armazenagem.....	43
3.3.1.3	Dados específicos do vergalhão.....	44
3.3.1.3.1	<i>Custo de pedido</i> .....	45
3.3.1.4	Dados específicos da sucata.....	46
3.3.1.4.1	<i>Custo de pedido</i> .....	47
3.3.2	Dados do PVC.....	47
3.3.2.1	Demanda.....	49
3.3.2.2	Custo de armazenagem.....	49
3.3.2.3	Custo de pedido.....	49
3.4	TRATAMENTO DOS DADOS.....	49
3.4.1	O cobre.....	50
3.4.1.1	Demanda atendida por vergalhão.....	50
3.4.1.2	Demanda atendida por sucata.....	53
3.4.2	O PVC.....	54
3.4.2.1	Demanda.....	54
3.5	IDENTIFICAÇÃO E APLICAÇÃO DO MODELO.....	55
3.5.1	O cobre.....	56
3.5.1.1	Vergalhão.....	56
3.5.1.1.1	<i>Escolha do modelo de lote econômico</i> .....	56
3.5.1.1.2	<i>Aplicação do modelo escolhido</i> .....	56
3.5.1.2	Sucata.....	60
3.5.1.2.1	<i>Escolha do modelo de lote econômico</i> .....	60
3.5.1.2.2	<i>Aplicação do modelo escolhido</i> .....	60
3.5.2	O PVC.....	62
3.5.2.1	Escolha do modelo de lote econômico.....	62
3.5.2.2	Aplicação do modelo escolhido.....	63
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	65
4.1	CENÁRIO ATUAL.....	65
4.1.1	O cobre.....	65
4.1.2	O PVC.....	66
4.2	COMPARAÇÃO.....	67
4.2.1	O cobre.....	68
4.2.2	O PVC.....	71
4.2.3	Custos totais.....	72
4.2.4	Análise do modelo EOQ e seu desenvolvimento.....	72
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74



5.1	CONSIDERAÇÕES .....	74
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	74
	REFERÊNCIAS.....	76

# 1 INTRODUÇÃO

Após a Revolução Industrial no século XVIII, houve um crescimento de empresas do setor secundário (empresas que transformam matéria-prima em produtos de consumo), o que incentivou o início dos estudos de planejamento e controle de produção. Mais recentemente, devido à alta competitividade das empresas, a necessidade por redução de custos logísticos se tornou eminente, fazendo com que as organizações busquem constantemente soluções que as coloquem à frente de suas concorrentes.

“Reduzir custos de armazenagem evitando grandes estoques desnecessários pode aumentar a competitividade de qualquer empresa” (HILLIER; LIEBERMAN, 2013, p. 794). O estoque é um capital parado devido a desarmonia entre fornecedor e demanda, gerando custos administrativos e de armazenagem, além do risco de perda e obsolescência (SLACK et al., 2009).

O gerenciamento de estoque é a ação de planejar e controlar os recursos transformados que passam pela cadeia de suprimentos, operações ou processos (SLACK et al., 2009). Segundo Bowersox et al. (2013), gerenciar o estoque consiste em determinar o momento e a quantidade certa de realizar o pedido ou a produção de determinado material. "Qualquer modelo de estoque busca dois resultados básicos: *quanto* pedir e *quando* fazer o pedido" (TAHA, 2008, p. 190).

O momento adequado é definido pelo ponto de reposição, que indica em unidades ou dias de suprimento, quando pedir ou produzir. Para encontrar o ponto de reposição ideal é preciso identificar se há incertezas na demanda ou na duração dos processos, caso haja, é necessário um estoque de segurança. Para estabelecer a quantidade a ser pedida deve-se utilizar modelos e métodos que minimizam o custo total de manutenção de estoques e do pedido (BOWERSOX et al., 2013).

Pode-se observar que diversos autores definem de forma semelhante o controle de estoque, além de o considerar de grande importância para que as empresas possam reduzir seus custos e aumentar significativamente a competitividade no mercado.

De acordo com Hillier e Lieberman (2013), a pesquisa operacional mostra-se uma eficiente ferramenta para aplicação de controle de estoque. O estudo de pesquisa operacional teve início na Inglaterra, durante a Segunda Guerra Mundial, devido à necessidade de otimizar as operações militares e a logística de armas, mantimentos e remédios (MOREIRA, 2013). "Uma equipe de cientistas britânicos decidiu tomar decisões com bases científicas sobre a

melhor utilização de material de guerra" (TAHA, 2008, p. 1).

A pesquisa operacional consiste em modelar matematicamente problemas reais, a fim de auxiliar a tomada de decisão dos gestores. Para isso, primeiramente deve-se formular o problema e realizar a coleta de dados. O próximo passo é a construção do modelo, que deve se aproximar ao máximo do problema real, garantindo que os resultados obtidos sejam satisfatórios dentro da organização. Por fim, é recomendado realizar experimentações para testar o modelo e assim validá-lo (HILLIER e LIEBERMAN, 2013).

Desta forma, o presente trabalho visa ampliar o conhecimento nas áreas de controle de estoque e pesquisa operacional, além da realização de um estudo de caso em uma empresa de cabos elétricos de médio porte em São João da Boa Vista - SP.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

O estudo envolvendo controle de estoque se mostra importante devido ao aumento da competitividade entre organizações, que acarreta na necessidade de redução de custos para se destacar diante de um mercado concorrido.

Alguns autores mostram a importância do controle de estoques para a redução de custos. Para Hillier e Lieberman (2013), a redução dos níveis de estoque e conseqüentemente dos custos de armazenagem, aumentam a competitividade da empresa. Já Slack et al. (2009), acreditam que um alto valor investido em grandes níveis de estoque é um capital parado que poderia ser aplicado em outros setores da empresa. Porém, baixos níveis de estoque aumentam o risco de atraso na produção e falta do produto acabado para o cliente.

A utilização da pesquisa operacional, é dada pelo fato de ela apresentar modelos que oferecem redução dos custos totais, por esse motivo se dá a importância da aplicação desses modelos. "A aplicação de técnicas de pesquisa operacional nessa área (algumas vezes denominada *controle de estoques científico*) tem disponibilizado uma poderosa ferramenta para ganho de competitividade" (HILLIER; LIEBERMAN, 2013, p. 794).

Nesse contexto, o presente trabalho se justifica ao aplicar modelos que oferecem redução de custos totais com estoques em uma empresa que produz cabos elétricos.

## 1.2 OBJETIVOS

Nesta seção são apresentados os objetivos gerais e específicos deste trabalho. Os

objetivos específicos são metas intermediárias para alcançar o objetivo geral.

### **1.2.1 Objetivo geral**

Aplicar um modelo para controle de estoque, utilizando ferramentas da pesquisa operacional, em uma empresa de médio porte que produz cabos elétricos situada em São João da Boa Vista.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Identificar os modelos de controle de estoque encontrados na literatura de pesquisa operacional e de logística;
- Compreender a política de estoque atual utilizada pela empresa;
- Aplicar e implementar um modelo que reduza os custos de estoque da empresa;
- Analisar os resultados obtidos.

## **1.3 METODOLOGIA**

Este trabalho é caracterizado inicialmente como um levantamento de definições, que segundo Silva e Menezes (2001) consiste em apresentar e unir conhecimentos de estudos previamente realizados e publicados principalmente em livros.

Em seguida é realizada uma análise detalhada da empresa estudada com o objetivo de entender seus processos atuais e propor melhorias no setor de compras e controle de estoque. Triviños (1987) define tal metodologia como estudo de caso, que tem como objetivo buscar informações na realidade do objeto para compreender o problema e aplicar modelos.

A natureza do trabalho é aplicada, dado que o principal objetivo é contribuir na prática para a redução de custos com estoques da empresa estudada. Desta forma a abordagem é de caráter quantitativo, visto que todas as informações são mensuradas e podem ser classificadas e analisadas.

## **1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Na realização do presente trabalho cumpriu-se um sequenciamento de etapas, no qual a ordem das mesmas define a estrutura do trabalho. A Figura 1 ilustra essa seqüência desde o início, onde foi definido o problema a ser estudado, até a conclusão do trabalho, na qual são analisados os resultados.

Figura 1 - Estrutura do trabalho



Fonte: O Autor (2017)

As etapas de I a VI são explicadas a seguir:

- I. Na etapa de definição do problema foram levantados os motivos pelo qual se daria a importância do presente trabalho. Buscando um tema relevante para empresas de médio e grande porte e com aplicação viável.
- II. O embasamento teórico trata de temas como gerenciamento de estoque, análise de estoque, custos de pedido e manutenção de estoque, previsão de demanda e modelos de lote econômico. Tópicos que serviram de fundamentação teórica para as etapas seguintes.
- III. A coleta de dados é a etapa mais importante para o sucesso da aplicação. Foram necessárias diversas conversas com a empresa para coletar dados que serviriam como

variáveis para o modelo a ser aplicado. Grande parte dos dados foram passados em Microsoft Excel e algumas informações relevantes foram passadas através de contato pessoal.

- IV. O tratamento dos dados é a etapa mais exaustiva, devido quantidade de dados em diferentes unidades de medidas que devem ser adequados para que seja aplicado o modelo e obter um resultado representativo. Nesta etapa os dados coletados são analisados e se necessário, sofrem algumas adaptações, como por exemplo: realização da média aritmética simples para obtenção de um valor padrão; conversões de unidade de medida; além das análises qualitativas.
- V. Esta etapa pode ser dividida em duas partes, onde na primeira é realizada a aplicação de modelos de lote econômico. Na segunda parte é desenvolvido um modelo que atenda as características da empresa, tanto quanto as restrições impostas por fornecedores e clientes, que no estudo de caso é a produção.
- VI. A partir da obtenção dos resultados, é realizada uma análise quantitativa dos mesmos, a fim de validar ou não a aplicação do modelo para o estudo de caso proposto. Além dos resultados, o modelo aplicado e o software escolhido para desenvolvimento, também são analisados.

Todos as etapas descritas são importantes para o sucesso da aplicação, porém o tratamento dos dados merece maior atenção pelo fato de ser uma etapa exaustiva e essencial para alcançar bons resultados.

A etapa II é exibida a seguir e além de apresentar os modelos identificados na literatura, apresenta todo o embasamento teórico necessário para suas aplicações.

## 2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Nesta seção é apresentado todo o referencial teórico que serve como base para entendimento e aplicação dos modelos no estudo de caso. Todas as definições buscam relação entre logística e pesquisa operacional.

### 2.1 DEFINIÇÃO DE ESTOQUE

Slack et al. (2009) definem estoque como sendo o desequilíbrio entre o pedido de reabastecimento e a demanda, que resulta em altos custos de manutenção de estoque. Chopra e Meindl (2011) ainda acrescentam dizendo que esse desequilíbrio é intencional em casos que é econômico manufaturar em grandes lotes.

Já Ballou (2001) interpreta de forma quantitativa, afirmando que estoque é um capital parado que poderia estar sendo utilizado de outra forma. “Manter estoques é necessário para qualquer empresa que lide com produtos físicos, inclusive fabricantes, atacadistas e varejistas” (HILLIER; LIEBERMAN, 2013, p. 794).

#### 2.1.1 Tipos de estoque

Segundo Slack et al. (2009) existem diversas razões para o desequilíbrio de fornecimento e demanda, porém cada ponto do processo tem suas características, o que diferencia os estoques em cinco tipos:

1. Estoque de segurança: é muito difícil prever perfeitamente a demanda, mesmo em casos que se tenha uma boa estimativa. Deste modo faz-se necessário um estoque de segurança para compensar as incertezas na demanda e também no fornecimento;

2. Estoque de ciclo: ocorre quando o estágio anterior da cadeia de suprimentos não pode fornecer simultaneamente todos os materiais produzidos;

3. Estoque de desacoplamento: é o estoque de um material que está aguardando para ser processado. Um único estoque, de um único material, para processos diferentes;

4. Estoque de antecipação: é comumente utilizado quando existe uma grande variação prevista na demanda ou no fornecimento;

5. Estoques no canal de distribuição: o produto acabado não pode ser transportado instantaneamente para o ponto de demanda, esse é o estoque no canal de distribuição, onde os

produtos são embalados, carregados e transportados.

Pelo menos um desses tipos de estoque certamente estão presentes na indústria: matéria-prima ou produto acabado, ou no varejo. O que evidencia a necessidade de um estudo para minimizar os custos de compra, produção e armazenagem desse material.

## 2.2 A IMPORTÂNCIA DO GERENCIAMENTO DE ESTOQUE

O gerenciamento de estoques garante vantagens competitivas à empresa, pois um alto nível de estoque é dinheiro parado que poderia ser aplicado a outros setores da organização. Já no caso de se trabalhar sem estoque, assume-se o risco de atrasar a produção ou perder um cliente (SLACK et al., 2009).

Simchi-Levi et al. (2010) destaca alguns motivos para a manutenção de estoque e afirma que os mecanismos para seu controle devem ter em conta a importância dos seguintes aspectos:

1. Mudanças inesperadas na demanda do cliente: essas situações são difíceis de serem previstas e estão crescendo nos últimos anos devido a:
  - Alguns produtos tendem a ter o ciclo de vida muito curto;
  - Demanda de muitos produtos competitivos no mercado.
2. A presença, em muitas situações, de uma expressiva incerteza: seja na quantidade ou qualidade do suprimento, nas negociações com fornecedores ou nos tempos de entrega;
3. Os *lead times*<sup>1</sup>: mesmo em um caso de demanda conhecida é necessário que se tenha um estoque por conta dos *lead times* de entrega;
4. As economias de escala oferecidas pelas transportadoras: incentivam a compra de grandes quantidades sem uma prévia análise.

Buscando a redução de custos, duas perguntas movem o gerenciamento de estoque. Quanto pedir? E quando pedir? Basicamente são essas duas questões que os estudos voltados a estoque buscam responder.

---

<sup>1</sup> Para Simchi-Levi et al. (2010), o lead time é composto pelo somatório dos tempos de processamento de pedidos e de transporte dos itens entre diversos estágios da cadeia de suprimentos.



### 2.2.1 Quanto pedir

Determinar a quantidade de um pedido de reabastecimento é uma tarefa desafiadora, pois quanto maior a quantidade, maior o estoque médio e conseqüentemente maior o custo de manutenção, enquanto os custos de entrega e recebimento são reduzidos (BOWERSOX; CLOSS, 2011).

Há conflitos internos que dificultam ainda mais a determinação do quanto pedir, como mostra a Tabela 1:

Tabela 1 - Conflitos interdepartamentais relacionado à estoques

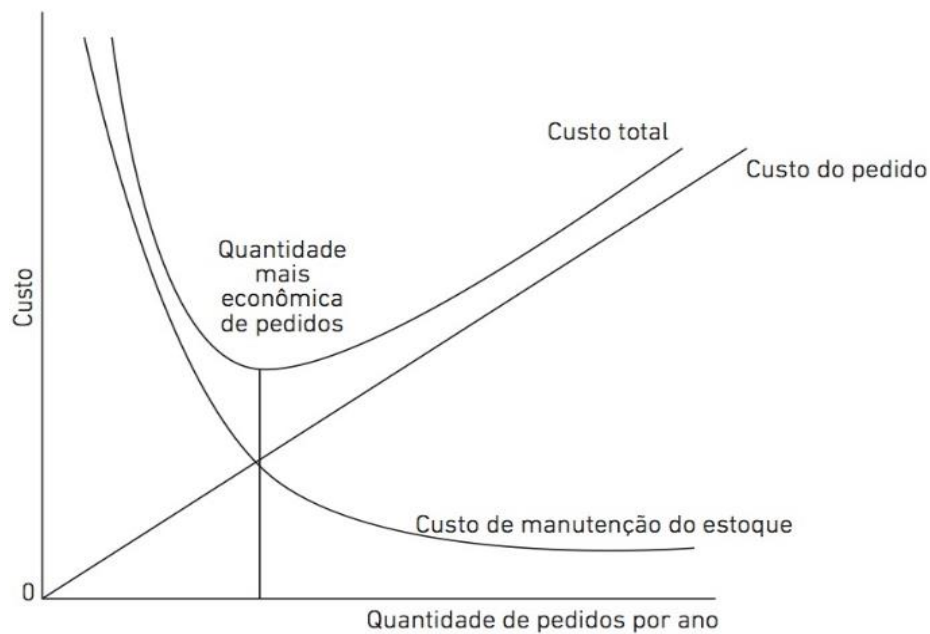
	<b>Departamento de Compras</b>	<b>Departamento Financeiro</b>
Matéria-prima (Alto-estoque)	Desconto sobre as quantidades a serem compradas	Capital investido; Juros perdidos
	<b>Departamento de Produção</b>	<b>Departamento Financeiro</b>
Matéria-prima (Alto-estoque)	Nenhum risco de falta de material; Grandes lotes de fabricação	Maior risco de perdas e obsolescência; Aumento do custo de armazenagem
	<b>Departamento de Vendas</b>	<b>Departamento Financeiro</b>
Matéria-prima (Alto-estoque)	Entregas rápidas; Boa imagem e melhores vendas	Capital investido; Maior custo de armazenagem

Fonte: Dias (2015, p. 16)

Segundo Dias (2015), o objetivo dos quatro departamentos mencionados na Tabela 1 devem ser conciliados de forma a não prejudicar a operacionalidade da empresa. Somente um departamento fica responsável pelo estoque, enquanto os demais dedicam-se à sua função original.

A dificuldade para determinar a quantidade ideal a ser comprada é mostrada no Gráfico 1, que confronta o custo de pedido e o custo de manutenção do estoque, mostrando também o custo total. É possível observar que os custos de pedidos são diretamente proporcionais à quantidade de pedidos, ou seja, quanto maior o número de pedidos, maior o custo. Já o custo de manutenção de estoque tende a ser reduzido conforme o número de pedidos aumenta.

Gráfico 1 - Quantidade de compra que reduz o custo total



Fonte: Bowersox e Closs (2011, p. 236).

De acordo com Bowersox e Closs (2011), para minimizar o custo total deve-se encontrar o ponto onde os custos de manutenção de estoque e custos de pedido se cruzam no gráfico. É exatamente nesse ponto que a quantidade a ser pedida, minimiza do custo total.

### 2.2.2 Quando pedir

Muitas empresas realizam as compras de acordo com um ponto de reposição estipulado por elas mesmas, baseado na experiência, porém sem nenhum embasamento teórico e comprovado. Deste modo algumas organizações enfrentam grandes perdas que podem afetar consideravelmente o caixa da empresa.

Segundo Bowersox e Closs (2011), o ponto de ressurgimento, ou ponto de reposição, pode ser estipulado em unidades ou em dias de suprimento, através da Equação 1 a seguir:

$$PR = D * T \quad (1)$$

Em que:

*PR* = Ponto de ressurgimento em unidades de produto;

*D* = Demanda diária média;

*T* = Duração média do ciclo de atividades.

Em casos que há incertezas na demanda ou na duração do ciclo de atividades, acrescenta-se a variável de estoque de segurança, como podemos observar na Equação 2:

$$PR = D * T + ES \quad (2)$$

Com o objetivo de reduzir os riscos causados pelas incertezas presentes, o estoque de segurança compensa e falta de precisão.

### 2.3 CUSTOS DE ESTOQUE

O estoque representa o segundo maior custo logístico ficando atrás apenas do custo de transporte, porém demorou-se a perceber sua importância. No passado, eram comuns empresas com alto nível de estoque, pois não haviam estudos aprofundados e a falta de matéria-prima não poderia ser o motivo de uma produção inoperante (BOWERSOX et al., 2013).

Segundo Bowersox (2013), hoje é evidente que a manutenção de estoque gera alto custo, portanto o ideal seria que os materiais chegassem à determinada etapa do processo industrial no momento em que foi programado. Esse sistema é conhecido como *Just In Time*, que foca na redução de níveis de estoque e na entrega dos materiais somente quando for utilizado (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Para Dias (2015), sempre haverá fatores inesperados que torna inviável a não manutenção de estoque. Então busca-se conhecer os custos de manutenção de estoque para que se possa comparar com o custo de uma interrupção na produção, no caso de estoque de matéria prima, ou com o custo de uma venda perdida, no caso de um estoque de produtos acabados (BOWERSOX et al., 2013).

De acordo com Slack et al. (2009) e Bowersox e Closs (2011) os custos mais relevantes são:

1. Custo de alocação de pedido: sempre que o estoque é reabastecido tem-se custos com documentação e movimentação;
2. Custos de desconto de preços: muitos fornecedores oferecem descontos na compra de grandes quantidades, alguns deles acrescentam um pequeno valor a pedidos pequenos;
3. Custos de falta de estoque: considera-se a perda de uma venda ou o tempo ocioso no processo seguinte da produção;

4. Custos de capital de giro: está associado aos juros que são pagos aos bancos e aos custos de oportunidade;

5. Custos de armazenagem: são os custos relacionados à armazenagem física dos materiais, como locação e iluminação do armazém, climatização, seguro, entre outros;

6. Custos de obsolescência: é relacionado ao caso de o material perder seu valor com o passar do tempo;

7. Custos de ineficiência de produção: alto nível de estoque pode mascarar problemas na produção.

Para Taha (2008) são quatro os principais custos a serem observados:

1. Custo de compra: é o preço por unidade de um item em estoque;
2. Custo de preparação: representa os encargos;
3. Custo de estocagem: são os custos de armazenagem, manutenção e manuseio, além dos juros sobre o capital;
4. Custo de falta: além da perda de receita de uma venda, inclui também o custo subjetivo da perda da confiança do cliente.

Chopra e Meindl (2011) mencionam alguns dos custos definidos acima e acrescenta os custos diversos, onde são calculados os roubos, danos e impostos. São custos relativamente baixos, mas que devem ser destacados.

É possível perceber que diversos autores definem de forma muito semelhante os custos de estoque, passando ainda mais credibilidade para o estudo. Assim pode-se concluir que todos os custos citados devem ser considerados no gerenciamento de um estoque. Todavia os custos de armazenagem e de pedido possuem uma influência maior no custo total, e por esse motivo serão melhor detalhados a seguir.

### **2.3.1 Custo de armazenagem**

Para Bowersox e Closs (2011) os custos de armazenagem ou de manutenção de estoque, são os custos para manter o estoque disponível por determinado período e podem ultrapassar 37% do custo total logístico.

Os custos mais relevantes de armazenagem segundo (CHOPRA e MEINDL, 2011; BOWERSOX e CLOSS, 2011) são listados e explicados a seguir:

- Custo de capital: é considerado o capital parado, que poderia estar rendendo em outros investimentos, ou até mesmo à uma taxa sem risco como o Tesouro Nacional. O custo

de oportunidade também está incluso, que condiz com a perda de uma melhor oportunidade de investimento, dado que o capital está investido em estoque;

- Custo de obsolescência ou deterioração: refere-se à perda de produtos armazenados que não estão cobertos pelo seguro. Também é considerado o valor que alguns produtos perdem com o passar do tempo, principalmente no caso de produtos perecíveis;
- Custo de ocupação: custo incorrido em instalações para armazenagem dos produtos, por exemplo o aluguel, no caso da terceirização do espaço, ou capital e depreciação no caso de espaço próprio;
- Custo de manuseio: inclui custos de recursos utilizados na movimentação e armazenagem dos produtos, como empilhadeira, paleteira, etc. No caso de equipamento próprio, deve-se dividir o custo de aquisição do equipamento pelo tempo em estudo e somar ao custo mensal, como o gás para as empilhadeiras por exemplo. Em situações que os recursos são terceirizados deve-se considerar o aluguel dos mesmos;
- Seguro: é calculado com base na estimativa de riscos, que podem variar desde a característica do produto (inflamável ou alto valor) à segurança da instalação (câmeras de segurança e sistemas automáticos de extinção de incêndio);
- Impostos: em algumas regiões os estoques são tributados, portanto deve-se considerar o custo de imposto que é calculado sobre o volume de estoque.

Para obtenção dos custos de armazenagem deve-se considerar todos os custos mencionados para uma única unidade de cada produto, a fim de chegar a um valor final expresso em percentagem anual, que posteriormente deve ser multiplicado pelo nível médio de estoque para resultar no custo de armazenagem do produto.

### **2.3.2 Custo de pedido**

Chopra e Meindl (2011) definem o custo de pedido como a somatória dos custos relacionados ao recebimento e emissão de pedidos. Tais custos podem ser divididos em:

- Tempo do comprador: deve-se monetizar o tempo em que o comprador gasta para realizar cada pedido. Porém se o tempo utilizado para essa tarefa for um tempo ocioso, não deve ser considerado como custo de pedido.
- Custos de transporte: o custo de transporte de um caminhão cheio é aproximadamente o mesmo custo de enviá-lo pela metade. Esse custo fixo, que não depende da quantidade, deve ser adicionado ao custo de pedido.
- Custos de recebimento: considera-se somente os custos de recebimento que não

dependem da quantidade recebida. Custos administrativos como conferência e atualização de registros do estoque devem ser computados.

Na Figura 2, Dias (2015) mostra como deve ser calculado o custo do pedido:

Figura 2 - Método de cálculo do custo do pedido

I - Mão de obra	R\$/ANO
Salários e encargos para:	_____
Gerente de compras	_____
Compradores	_____
Diligenciadores	_____
Secretárias/Assistentes	_____
Motoristas	_____
Boy	_____
Total de mão de obra	_____
Ou seja, devemos relacionar todos os gastos em salários do pessoal do departamento de compras, sem exceção, para o período de um ano.	
II - Material	R\$/ANO
Formulários	_____
Material auxiliar	_____
Total de material	_____
III - Custos indiretos	R\$/ANO
Telefone	_____
Energia	_____
Correios	_____
Reprodução	_____
Viagens	_____
Custos da área ocupada	_____
Total de Custos Indiretos	_____
TOTAL GERAL (I + II + III)	(CTP) _____

Fonte: Dias (2015, p. 42).

É possível analisar na Figura 2 o nível de detalhamento na composição do custo de pedido. Isto deve-se à importância desse custo na modelagem que determina o quanto pedir e quando pedir. Ainda existem os custos exclusivos, que podem ser particularidades da empresa, contudo devem ser considerados caso forem um custo fixo do pedido.

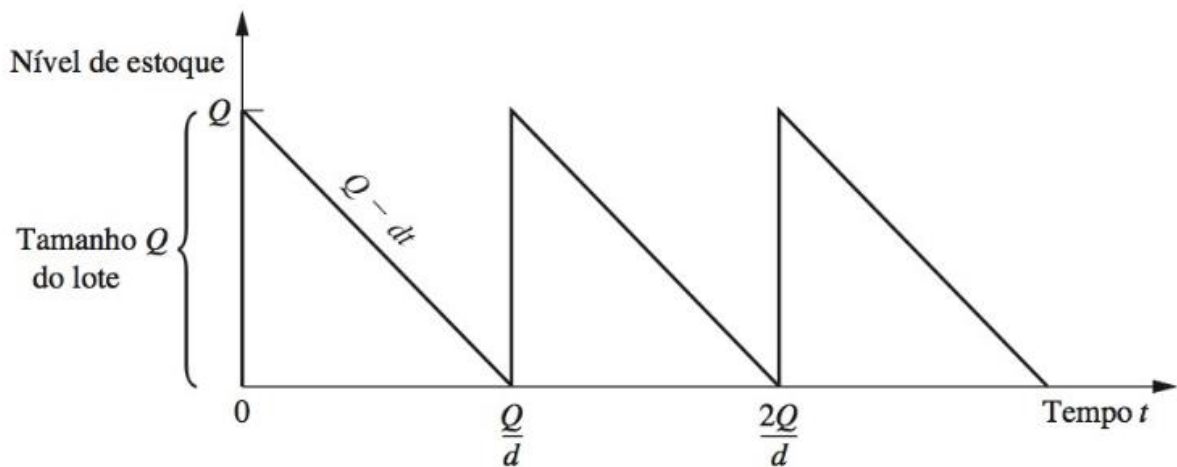
## 2.4 ANÁLISE DE ESTOQUE

A análise do estoque pode ser realizada de duas formas. Em uma delas a quantidade comprada é constante, enquanto na outra o intervalo entre os pedidos é fixo. Ambos são explicados a seguir, respectivamente.

### 2.4.1 Revisão contínua

De acordo com Hillier e Lieberman (2013), nos modelos de revisão contínua os estoques são analisados constantemente, e assim que é alcançado o ponto de reposição, é feito um novo pedido para reabastecimento. O gráfico 2 representa um estoque com revisão contínua em que o tempo entre pedido e entrega é zero.

Gráfico 2 - Diagrama do nível de estoque com revisão contínua



Fonte: Hillier e Lieberman (2013, p. 799).

Em que:

$Q$  = Quantidade do pedido;

$d$  = Taxa de demanda;

$t$  = Tempo.

Como pode-se observar, um novo pedido só é realizado quando o ponto de reposição (no caso o ponto de reposição é quando acabam os produtos em estoque) é atingido. Existem

diversos modelos para que se possa calcular o ponto de reposição mais adequado à determinada situação.

Para Bowersox (2013), o estoque com revisão contínua analisa continuamente a situação do estoque para estabelecer o ponto de reabastecimento, assim tornando-se necessário o rastreamento de todos os itens em estoque. A análise contínua pode ser implementada através da Equação 3:

$$ROP = D * T + SS \quad (3)$$

Em que:

*ROP = Ponto de reposição em unidades;*

*D = Média de demanda diária em unidades;*

*T = Duração média do ciclo de atividades em dias;*

*SS = Estoque de segurança em unidades.*

Simchi-Levi et al. (2010) sugere a revisão contínua para empresas que possuem recursos para análises regulares, como por exemplo o uso de sistemas computadorizados de controle de estoque. "Este sistema de avaliação geralmente oferece uma estratégia de gestão de estoques mais responsiva" (SIMCHI-LEVI et al., 2010, p. 77).

#### **2.4.2 Revisão periódica**

Na revisão periódica deve-se analisar o estoque em períodos de tempo regulares, independentemente no nível de estoque. É necessário um controle dos períodos seguintes em relação a quanto produzir ou pedir aos fornecedores para reabastecer o estoque no início de cada um dos períodos. Recomenda-se a análise periódica em casos que há grande variação na demanda entre os períodos (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Para Slack et al. (2009) a abordagem de revisão periódica é mais simples, porém assume-se um determinado risco, pois diferente da revisão contínua, onde os pedidos são realizados quando é atingido um nível de estoque determinado, na revisão periódica os pedidos de reabastecimento são realizados em intervalos de tempos regulares e fixos, como mostra a Gráfico 3, em que:

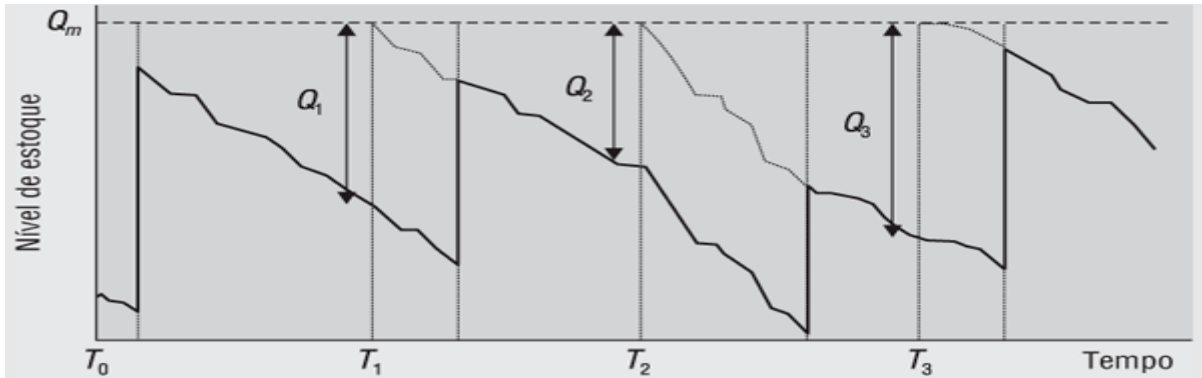
*T<sub>n</sub> = Períodos de tempo;*

*Q<sub>n</sub> = Quantidade do pedido;*



$$n = 1, 2, 3.$$

Gráfico 3 - Abordagem de revisões periódicas com demanda e lead time probabilísticos



Fonte: Slack et al. (2009, p. 373).

Segundo Bowersox (2013), os períodos podem ser semanais ou mensais, contudo deve-se ajustar o ponto de reposição de forma que considere os intervalos entre as análises. Como é mostrado na Equação 4:

$$ROP = D * \left( T + \frac{P}{2} \right) + SS \quad (4)$$

Em que:

*ROP* = Ponto de reposição;

*D* = Média da demanda diária;

*T* = Duração média do ciclo de atividades;

*P* = Intervalo entre as análises em dias

*SS* = Estoque de segurança.

Desta forma assume-se o risco de que durante um determinado período algum item pode estar abaixo da situação ideal de reposição. De maneira geral os estoques com revisão periódica exigem estoques médios maiores (BOWERSOX et al., 2013).

## 2.5 IMPORTÂNCIA DA PREVISÃO DE DEMANDA NA APLICAÇÃO DOS MODELOS DE ESTOQUE

Muitas empresas, no início do ano, fazem suas previsões de vendas para o ano todo, e utilizam essas previsões para tomar decisões importantes a respeito do estoque. Isso nem sempre reflete a realidade nos meses da primavera, onde já se passaram até nove meses da previsão realizada.

Ainda que essas organizações estejam cientes das incertezas, elas planejam suas operações como se a previsão realizada no início do ano fosse uma representação precisa da realidade, o que com certeza trará prejuízos futuros, pois quanto maior o tempo em que foi feita a previsão, pior ela será (SIMCHI-LEVI et al., 2010).

Simchi-Levi et al. (2010) ainda destaca as principais técnicas para realização de uma boa previsão e afirma que os seguintes métodos podem ser adotados separadamente ou em combinação:

- Métodos baseados em julgamento: é considerada a opinião de um especialista;
- Métodos baseados em pesquisas de mercado: é realizada uma pesquisa a fim de entender o comportamento do consumidor;
- Métodos baseados em séries históricas: onde considera-se as demandas dos últimos anos para prever a demanda futura;
- Métodos causais: são métodos matemáticos que gera previsões com base em um conjunto de variáveis do sistema.

Para um bom gerenciamento de estoque e escolha do modelo a ser utilizado é imprescindível a definição de demanda determinística ou estocástica (TAHA, 2008). Bowersox e Closs (2011) afirmam que mesmo com uma boa estimativa, a demanda durante o ciclo de ressuprimento excede ou não alcança o previsto.

A demanda também pode ser chamada de consumo, nos casos em que são tratadas a matérias-primas consumidas pela produção. Neste caso ambas as palavras definem a retirada do material em estoque.

Essa demanda pode ser constante ou variável e para esses dois casos, a seguir são apresentados modelos que abordam tais características.

### **2.5.1 Modelos determinísticos**

São os modelos em que a demanda é totalmente conhecida, seja ela variável ou não. Na prática não é muito comum encontrar casos em que não há incertezas na demanda, porém os modelos determinísticos podem oferecer uma boa aproximação da realidade e são muito

mais simples de serem implantados (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Geralmente quando esses modelos são utilizados para representar uma demanda sem muita precisão, é acrescentado um estoque de segurança (BOWERSOX; CLOSS, 2011). Nesses casos a aplicação de modelos estocásticos é mais adequada pelo fato de ter maior representatividade.

### 2.5.2 Modelos estocásticos

Os modelos estocásticos são desenvolvidos para analisar estoques cujo as demandas não podem ser previstas com exatidão. Na maioria dos casos, esses modelos se aproximam suficientemente da realidade, pois têm-se maior representatividade das incertezas na demanda. Contudo são mais complexos para serem implementados e controlados (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

## 2.6 MODELOS DO TAMANHO DO LOTE ECONÔMICO

Também conhecido como EOQ - *Economic Order Quantity*, o modelo do tamanho do lote econômico, segundo Taha (2008), foi apresentado em 1915 por Ford W. Harris e é um método com aplicação simples e de grande representatividade. O autor ainda explica que determinar o tamanho do lote econômico significa reduzir ou aumentar os níveis de estoque confrontando os custos de pedido e os de estocagem com o objetivo de reduzir os custos totais.

Bowersox e Closs (2011), concordam dizendo que o lote econômico de compras é a quantidade exata que minimiza o somatório dos custos de manutenção de estoques e de emissão e colocação de pedidos. Simchi-Levi et al. (2010) define de forma semelhante e acrescenta que atender toda a demanda também é uma restrição.

Porém Hillier e Lieberman (2013) afirmam que para que sejam aplicados os modelos de EOQ são necessárias algumas suposições, como:

- *Lead time* constante;
- Não há restrições de capacidade de armazenagem;
- Não há restrições do tamanho dos lotes;
- Não há restrição de custos;
- O fornecedor sempre tem capacidade para atender o pedido;
- Não é considerada a possibilidade de agregar pedidos para mais de um produto.

Devido à essas restrições, os modelos de EOQ não garantem a otimalidade do tamanho de lote a ser comprado, todavia os resultados são satisfatórios e reduzem os custos de armazenagem das empresas que os aplicam.

Os custos totais de pedido e manutenção são relativamente estáveis em torno do lote econômico de compra. Uma empresa muitas vezes é mais bem servida pedindo um lote de tamanho conveniente, próximo da quantidade econômica, em vez do LEC exato (CHOPRA; MEINDL, p. 275).

Para obtenção de bons resultados na aplicação, é importante a etapa de levantamento dos dados, onde deve-se identificar os custos referentes à armazenagem e pedidos e política de estoques atualmente praticada. É imprescindível que a empresa tenha todo o processo de compras e armazenagem bem definidos e com registros históricos, que garantam a precisão dos dados.

Os modelos comuns encontrados na literatura logística, bem como nos livros de pesquisa operacional, são apresentados a seguir.

### 2.6.1 Modelo EOQ básico (sem falta)

De acordo com Taha (2008) o modelo do tamanho do lote econômico básico é o mais simples de ser aplicado, pois segue as premissas que não pode haver falta no estoque, o consumo mensal é determinístico e com taxa constante e assim que o nível de estoque chega a zero a reposição é instantânea.

A Equação 5 a seguir define o custo total:

$$CT = P.C + B.\left(\frac{C}{Q}\right) + I.\left(\frac{Q}{2}\right) \quad (5)$$

Em que:

*P* = Preço unitário de compra;

*C* = Consumo do item;

*B* = Custo de pedido;

*Q* = Quantidade do lote;

*I* = Custo de armazenagem.

Caso o custo de armazenagem seja um percentual do preço unitário, deve-se utilizar a

Equação 6:

$$CT = P.C + B.\left(\frac{C}{Q}\right) + I.P.\left(\frac{Q}{2}\right) \quad (6)$$

Contudo o objetivo do modelo é determinar a quantidade ideal a ser comprada, que pode ser encontrada através da Equação 7:

$$Q = \sqrt{\left(\frac{2.B.C}{I}\right)} \quad (7)$$

A Equação 7 é utilizada quando o custo de armazenagem é um valor monetário. Caso esse custo seja percentual do valor do produto, deve-se utilizar a Equação 8:

$$Q = \sqrt{\left(\frac{2.B.C}{I.P}\right)} \quad (8)$$

O modelo do EOQ sem falta raramente é utilizado, pelo fato de não ter grande representatividade da realidade, contudo é um excelente modelo para fins didáticos, devido à sua simplicidade.

## 2.6.2 Modelo EOQ com falta planejada de produto

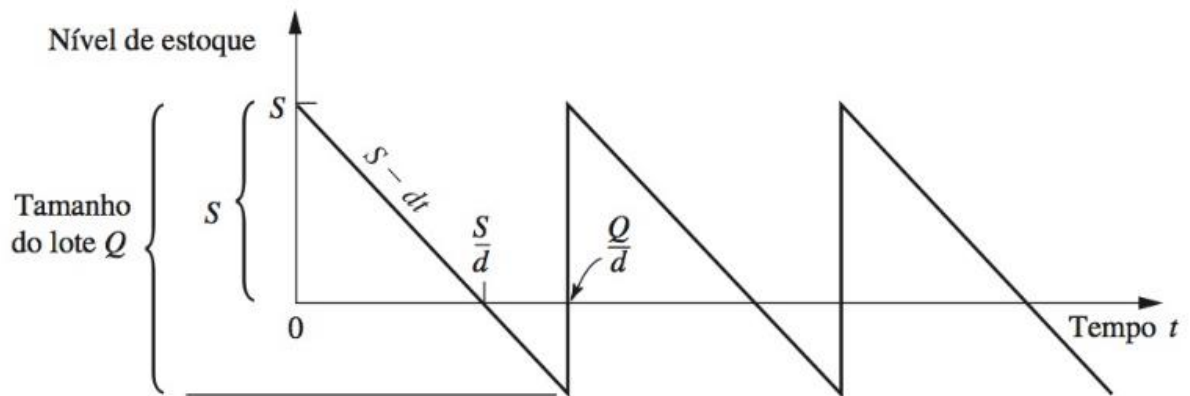
Hillier e Lieberman (2013) defendem que há grande semelhança entre o modelo anterior e o EOQ com falta planejada de produto, visto que ambos possuem premissas de demanda determinística e reposição imediata. Todavia nesse modelo é permitida a falta de produto no estoque pois é aceitável o atraso na entrega, assim sendo considerado baixo custo de escassez.

"Se o custo de manter estoques for relativamente alto quando comparado a esses custos de escassez, então diminuir o nível médio de estoque permitindo a falta de produto breve e ocasional pode ser uma sábia decisão comercial" (HILLIER; LIEBERMAN, 2013, p. 801).

### 2.6.2.1 A modelagem matemática

O Gráfico 4 facilita a visualização do tempo de escassez e do momento em que o nível de estoque está abaixo de zero. Se comparado ao Gráfico 2 pode-se notar a semelhança, porém no modelo com falta planejada o estoque permanece um período de tempo sem produto em estoque.

Gráfico 4 - Diagrama do nível de estoque em função do tempo



Fonte: Hillier e Lieberman (2013, p. 802).

Através das Equações 9 e 10 são determinadas a quantidade do lote a ser comprado e o nível de estoque após a compra, respectivamente:

$$Q = \sqrt{\left(\frac{2 \cdot D \cdot B}{H}\right)} \cdot \sqrt{\left(\frac{P + H}{P}\right)} \quad (9)$$

$$S = \sqrt{\left(\frac{2 \cdot D \cdot B}{H}\right)} \cdot \sqrt{\left(\frac{P}{P + H}\right)} \quad (10)$$

Para determinar a escassez máxima é necessário subtrair S de Q, como podemos ver na Equação 11 a seguir:

$$Q - S = \sqrt{\left(\frac{2 \cdot D \cdot B}{P}\right)} \cdot \sqrt{\left(\frac{H}{P + H}\right)} \quad (11)$$

Em que:

$C =$  Preço unitário de compra;

$D =$  Consumo do item;

$B =$  Custo de pedido;

$P =$  Custo de escassez por unidade com falta de produto  
por unidade de tempo com falta de produto;

$Q =$  Quantidade do lote;

$H =$  Custo de armazenagem;

$S =$  Nível de estoque após um lote de  $Q$  unidades  
ser acrescentado ao estoque;

Segundo Hillier e Lieberman (2013) o custo total é dado pela Equação 12 a seguir:

$$CT = B + C \cdot Q + \frac{(H \cdot Q)^2}{2 \cdot D} \quad (12)$$

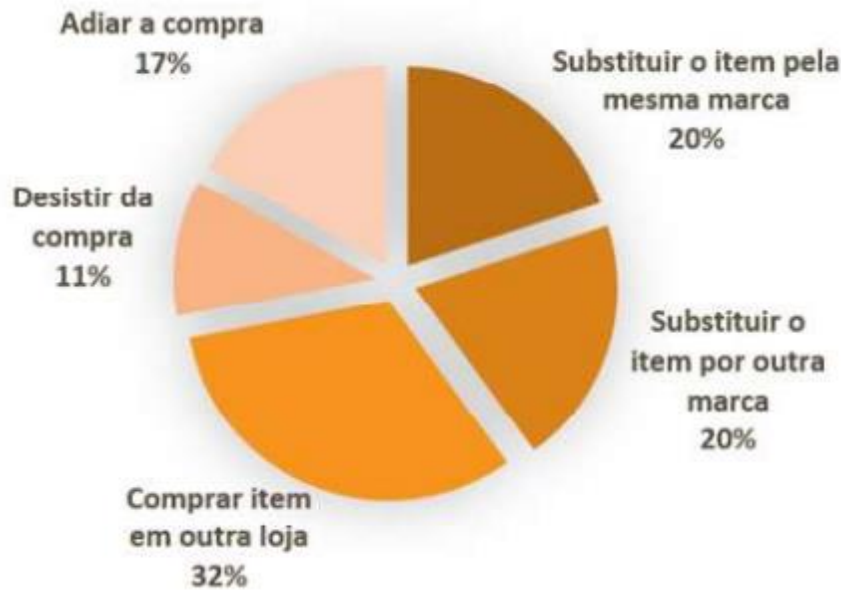
O custo total calculado pela Equação 12 fornece os custos referentes aos pedidos e armazenamentos, caso o modelo EOQ básico seja aplicado para o controle de estoque.

#### 2.6.2.2 O custo de escassez

A falta de produtos pode reduzir significativamente os custos de estoque, porém o nível de serviço oferecido ao cliente diminui de forma diretamente proporcional, causando dificuldades na tomada de decisão.

A empresa deve fazer uma análise que consiga mensurar escassez de um item na prateleira. A realização dessa análise é complexa, pois envolve fatores qualitativos difíceis de serem mensurados. O Gráfico 5 a seguir revela as principais reações dos consumidores ao se deparar com a falta do item que deseja comprar.

Gráfico 5 - Reação do consumidor à falta em estoque



Fonte: Gruen, Corsten e Bharadwaj (2002)

Nos casos em que o cliente adia a compra, substitui por um item da mesma marca ou compra o item em outra loja, não ocasionam grandes impactos financeiros para a marca fabricante. Porém para o varejista não é interessante que o cliente compre em outra loja.

A grande perda para o fabricante acontece quando o cliente deixa de comprar o produto, ou no pior caso, o substitui pela marca concorrente.

### 2.6.3 Modelo EOQ com desconto por quantidade

Em grande parte das negociações existem descontos para compras acima de determinada quantidade, o que faz com que muitas empresas acreditem na redução de custos com estoques sem ao menos analisar os custos de armazenagem desse lote mínimo exigido pelos fornecedores.

“Se o desconto pertinente a uma quantidade é suficiente para compensar o custo adicional de manutenção de estoque, menos a redução no custo de emissão e colocação de pedido, então o desconto oferece uma alternativa viável” (BOWERSOX; CLOSS, 2011, p. 239).

Tentando representar a realidade das negociações com fornecedores, o modelo com desconto por quantidade compara o custo unitário sem desconto, multiplicado por Q, com o custo unitário com desconto, multiplicado pelo lote mínimo exigido pelo fornecedor para



obtenção do desconto (DIAS, 2015).

O lote econômico pode ser calculado pela Equação 8 para posteriormente ser aplicada no modelo com desconto. As Equações 13 e 14 representam a comparação entre os custos com e sem desconto.

$$L = \sqrt{\left(\frac{2 \cdot C \cdot P}{I \cdot B}\right)} \quad (13)$$

$$K = \left(\frac{2 + D \cdot L - \sqrt{(2 + D \cdot L)^2 - 4 \cdot (1 - D)}}{2 \cdot (1 - D)}\right) \quad (14)$$

Onde:

$C =$  Consumo do item;

$I =$  Custo de armazenagem;

$B =$  Custo de pedido;

$P =$  Preço unitário de compra;

$D =$  Desconto (%).

O valor K ao ser multiplicado por Q, fornece a quantidade máxima que poderá ser comprada para que tenha uma redução de custos fazendo uso do desconto oferecido pelo fornecedor. Se o lote mínimo exigido pelo fornecedor estiver entre Q e KQ, é vantajoso optar pelo desconto e manter os itens em estoque (DIAS, 2015).

#### 2.6.4 Modelo EOQ 'probabilizado'

O modelo 'probabilizado' é uma adaptação dos modelos determinísticos, onde cria-se um estoque de segurança para suprir eventuais variações na demanda (TAHA, 2008).

Taha (2008) ainda estabelece que o tamanho do estoque de segurança é determinado de modo que a probabilidade de falta de estoque não ultrapasse um determinado valor. A quantidade de lote (Q) pode ser encontrada utilizando o modelo determinístico, no entanto para indicação do nível de estoque de segurança, com probabilidade de falta igual a 5% tem-se:

$$B = \sigma_L \cdot 1,645 \quad (15)$$

$$\sigma_L = \sqrt{\sigma^2 \cdot L} \quad (16)$$

Nas Equações 15 e 16,  $\sigma_L$  representa o desvio-padrão da demanda durante o tempo de espera. Enquanto L é o tempo de espera entre a emissão do pedido e a entrega do material.

### 2.6.5 Modelo EOQ probabilístico

Na apresentação deste modelo Taha (2008) faz uma crítica ao modelo apresentando anterior, alegando que não há nenhuma razão para acreditar que ele produzirá uma política ótima de estoque. Uma vez que inicialmente a natureza probabilística da demanda é ignorada para posteriormente ser corrigida com o estoque de segurança.

No modelo EOQ probabilístico a incerteza da demanda é incluída diretamente na formulação do modelo, assim apresentando maior representatividade da realidade e obtendo melhores resultados. Diferente do modelo anterior, é aceita a falta planejada de produto.

O custo total é dado pela Equação 17:

$$CT = \int_R^{\infty} (X - R)f(X)dX \quad (17)$$

Onde X e  $f(X)$  são variáveis relacionadas à demanda durante o tempo de espera, enquanto R é o ponto de reposição, que é calculado através da Equação 18:

$$R_i = 100 - \frac{Y_i}{50} \quad (18)$$

A variável  $Y_i$  é a quantidade a ser comprada que minimiza o custo total. A Equação 19 mostra como deve ser calculado o  $Y_i$  :

$$y_i = \sqrt{\left(\frac{2 \cdot D \cdot (K + P \cdot S)}{H}\right)} \quad (19)$$

Em que:

$D =$  Demanda esperada por unidade de tempo;

$K =$  Custo de preparação por pedido;

*P = Custo de falta por unidade de estoque;*

*H = Custo unitário de estocagem, por unidade de tempo.*

Nesse modelo são realizadas iterações para alcançar o resultado ótimo. Na primeira iteração deve-se considerar  $S = 0$  e o critério de parada é  $Y_{i+1} = Y_i$  e  $R_{i+1} = R_i$ . Ao final o modelo deve apresentar a quantidade a ser comprada, o ponto de ressuprimento e o custo total

Todos os modelos apresentam características específicas e para escolha do modelo mais adequado para aplicação, deve-se analisar as particularidades do processo de aquisição de cada matéria-prima.

### 3 ESTUDO DE CASO

O desenvolvimento deste trabalho visa a aplicação de um modelo para redução de custos relacionados ao estoque de matéria-prima de uma empresa de cabos elétricos, situada na cidade de São João da Boa Vista, interior do estado de São Paulo.

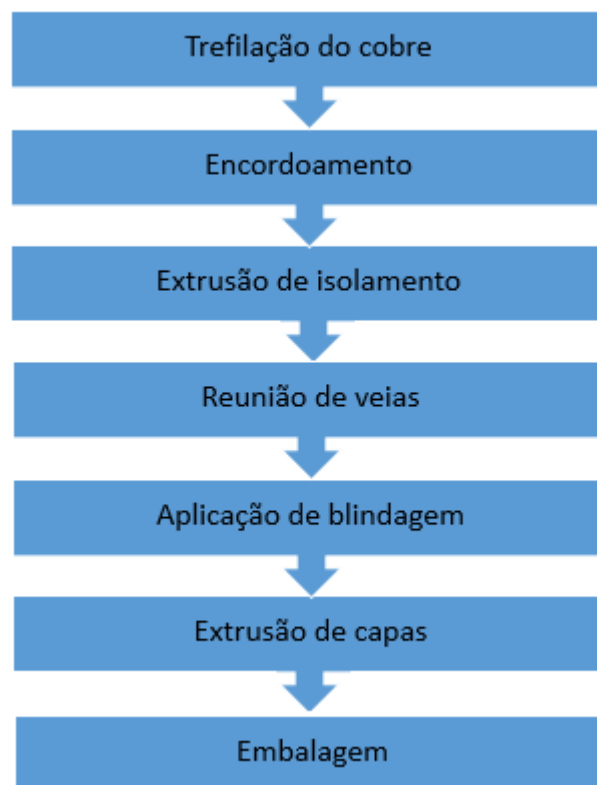
Dada a utilização de informações sigilosas, a pedido da empresa, sua identidade e alguns dados não serão revelados. No entanto, a maioria dos dados apresentados são reais e nos casos em que não puderam ser revelados, foram estimados.

No presente trabalho a empresa recebe o nome fictício de “K”.

#### 3.1 A EMPRESA K

A empresa K é uma indústria de transformação que abrange praticamente todas as etapas da produção e comercialização de cabos elétricos. A Figura 3 mostra todo o processo de produção de um cabo elétrico.

Figura 3 - Processo de produção



Fonte: O Autor (2017)

Todas as etapas desse processo são explicadas a seguir:

- Trefilação do cobre: nesta etapa, o cobre é puxado por garras de tração e passa por uma matriz, de forma que seu diâmetro seja reduzido e seu comprimento seja aumentado. A máquina utilizada nesta etapa é a trefiladeira;

- Encordoamento: junção de diversos fios de cobre nu através de torção em passo de hélice, de forma a formar um cabo com a seção transversal de acordo com o previsto em norma. As máquinas utilizadas nesta etapa são buncher de dupla torção e torcedeira rígida;

- Extrusão de isolamento: extrusão de material termoplástico (PVC) ao redor do condutor de cobre nu, com finalidade de isolamento elétrico. A máquina utilizada nesta etapa é a extrusora;

- Reunião de veias: junção helicoidal de diversos condutores já previamente isolados, de forma a formar um cabo multicondutor. As máquinas utilizadas nesta etapa são buncher de dupla torção e torcedeira rígida;

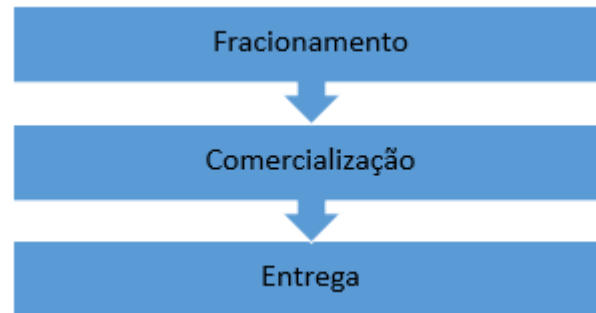
- Aplicação de blindagem: aplicação de proteção metálica com a finalidade de eliminar ruídos externos em cabos de sinais. A blindagem pode ser malha de fios de cobre (aplicados formando uma trança) ou fita de cobre ou alumínio, de forma helicoidal. As máquinas utilizadas nesta etapa são trançadeira e enfaixatriz;

- Extrusão de capas: extrusão de uma capa sobre o conjunto de condutores reunido, no caso dos cabos multicondutores, com finalidade de proteção mecânica. A máquina utilizada nesta etapa é a extrusora;

- Embalagem: alguns cabos elétricos recebem a embalagem de plástico. A máquina utilizada nesta etapa é a embaladora.

Ao fim desse processo tem-se o produto acabado pronto para ser comercializado. O processo de comercialização é ilustrado na Figura 4:

Figura 4 - Processo de comercialização



Fonte: O Autor (2017)

As três etapas de processo de comercialização são detalhadas a seguir:

- Fracionamento: os cabos são separados na quantidade pedida pelo cliente;
- Comercialização: nesta etapa é gerada a nota fiscal, feito o pagamento e agendamento da entrega;
- Entrega: primeiramente é feito um agrupamento de clientes que serão atendidos pelo mesmo veículo e em seguida, é realizado o transporte dos cabos.

A empresa K possui frota própria, porém utilizada somente para a entrega de produtos acabados. Dois caminhões baú e três veículos Fiorino compõem sua frota. A grande maioria dos clientes estão distribuídos no interior de São Paulo, grande São Paulo e sul de Minas Gerais.

Já os fornecedores, estão localizados na cidade de São Paulo, que fica a 220 km de São João da Boa Vista. São fornecedores parceiros de longa data, o que aumenta a confiabilidade no tempo de entrega e na qualidade dos materiais.

A principal matéria-prima utilizada na produção de um cabo elétrico é o cobre, porém ele pode ser comprado como vergalhão de cobre ou sucata, assim como mostram as Figuras 5 e 6, respectivamente.

Figura 5 - Vergalhão de cobre



Fonte: Empresa Sucatas Curitiba (2017)

Figura 6 - Sucata de cobre



Fonte: Empresa Domingão Recicláveis (2017)

Na empresa K, o peso do vergalhão de cobre em média está em torno de 4.000,00 kg e a compra não pode ser fracionada. Por razões comerciais, em algumas situações o vergalhão de cobre é substituído por sucata, porém nem todos os pedidos podem ser atendidos pelo fornecedor.

A compra da sucata pode ser fracionada, possibilitando a compra na quantidade

desejada. Porém nesse caso não há desconto por quantidade, enquanto que na aquisição do vergalhão a compra em grandes quantidades fornece preços mais atrativos.

Para melhor entendimento do processo de produção apresentado na Figura 3, as Figuras 7, 8 e 9 apresentam imagens reais da empresa K. Na Figura 7 observa-se parte do estoque de cabos elétricos.

Figura 7 - Estoque de cabos elétricos



Fonte: Empresa K (2017)

A Figura 8 mostra parte do estoque intermediário, momento em que o cobre já foi trefilado e está em forma de bobina aguardando o processo de encordoamento.



Figura 8 - Estoque intermediário



Fonte: O Autor (2017)

O PVC é recebido na forma de *bags* paletizados, que são armazenados em cinco níveis de porta paletes, como mostra a Figura 9:

Figura 9 - Estoque de PVC



Fonte: Empresa K (2017)

A armazenagem de cada matéria-prima é feita em local próximo às etapas do

processo de produção que em que são utilizadas.

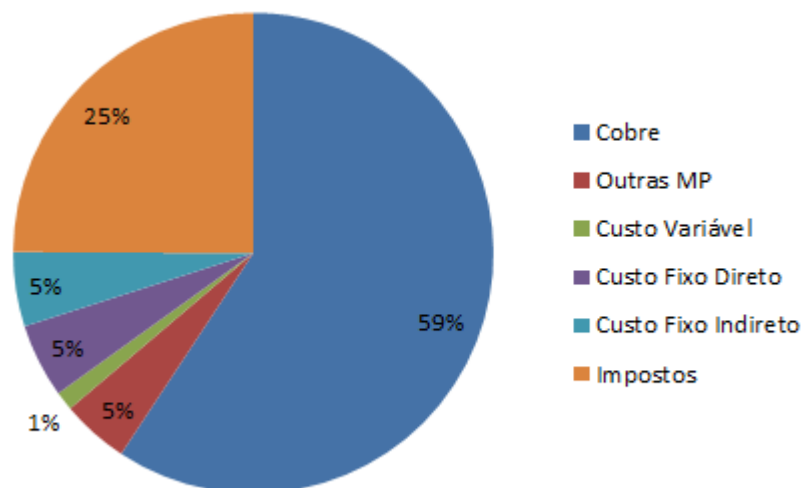
### 3.2 CONTEXTUALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Dado que atualmente a empresa K não realiza suas compras com algum embasamento teórico, é extremamente importante a identificação e aplicação de um modelo que atenda as características da empresa, consiga minimizar os custos com estoques e que toda a demanda seja atendida.

O presente trabalho restringe a aplicação ao estoque de matéria-prima, em vista que o controle do almoxarifado é essencial para o plano de produção e conseqüentemente para que não haja altos níveis de estoque de produtos acabados.

A empresa K informou a necessidade do estudo voltado às suas principais matérias-primas, o PVC e o cobre, dado que o PVC possui grande volume e o cobre representa quase 60% do custo total do produto final, como mostra o Gráfico 6:

Gráfico 6 - Composição de custos do produto acabado



Fonte: Empresa K (2017)

Devido à importância dos materiais analisados, este trabalho restringiu-se à aplicação do modelo para a compra do cobre, em vergalhão e em sucata e para a compra do PVC.

O cliente que utiliza essa matéria-prima é a própria produção da empresa K, que não permite falta da mesma. Ou seja, toda requisição de cobre e PVC realizadas pela produção

devem ser atendidas imediatamente pelo almoxarifado.

### 3.3 COLETA DE DADOS

Nesta seção são apresentados os dados coletados da empresa K, onde algumas informações foram obtidas de tabela, no software Microsoft Excel, enquanto outras foram fornecidas por contato direto.

#### 3.3.1 Dados do cobre

Foram coletados relatórios que possibilitam a extração dos dados necessários para aplicação de um modelo de lote econômico. Neste caso em específico, houve a necessidade de serem coletados os dados tanto do vergalhão, como da sucata.

##### 3.3.1.1 Demanda

Devido o cobre ser uma matéria-prima indispensável na produção de cabos elétricos na Empresa K, sua demanda é constante e correspondente à capacidade de produção. A Empresa K informou que a demanda é de 90 t por mês, e pode ser atendida por vergalhão ou sucata.

##### 3.3.1.2 Custo de armazenagem

O espaço físico ocupado informado pela empresa K é de 1 m<sup>2</sup> para cada 1.000 kg de cobre, seja ele na forma de vergalhão ou sucata. Para o cálculo do custo de armazenagem a empresa sugere desconsiderar os seguintes custos:

- **Obsolescência:** pois esse custo não é mensurado pela empresa, que acredita ser irrelevante;
- **Manuseio:** pelo fato de o único equipamento utilizado ser uma empilhadeira antiga, de baixo valor e de propriedade da empresa K;
- **Impostos:** pois os impostos são considerados em outra etapa do processo, não nos materiais em estoque.

Dados como aluguel e seguro foram fornecidos pela empresa, conforme Tabela 2:

Tabela 2 - Custo de armazenagem

Custo de armazenagem	
Aluguel (R\$/m <sup>2</sup> )	11,25
Seguro %	0,1

Fonte: Empresa K (2017)

O valor do seguro é um percentual do valor unitário do produto e segundo a empresa K, apesar do percentual pequeno, é um custo relevante que deve ser considerado no estudo.

### 3.3.1.3 Dados específicos do vergalhão

Foi coletado um relatório dos pedidos de vergalhão realizados em 2017, contendo informações importantes como data, valor unitário e a quantidade comprada pela empresa K. A Tabela 3 mostra o relatório de pedidos de vergalhão realizados no período de março a outubro de 2017.

Tabela 3 - Pedidos de vergalhão em 2017

Vergalhão				
Data	Qtde. (Vergalhão)	Qtde. (kg)	Preço (R\$/kg)	Preço total (R\$)
08/03/2017	3	12.251	R\$22,76	R\$278.832,76
22/03/2017	3	12.200	R\$22,57	R\$275.354,00
29/03/2017	3	12.441	R\$23,80	R\$296.095,80
11/04/2017	3	12.221	R\$22,24	R\$271.795,04
04/05/2017	3	12.198	R\$21,87	R\$266.770,26
17/05/2017	3	12.569	R\$21,32	R\$267.971,08
14/06/2017	3	12.585	R\$24,37	R\$30.696,45
21/06/2017	3	12.696	R\$23,00	R\$292.008,00
17/07/2017	3	12.55	R\$23,30	R\$29.531,50
14/08/2017	1	4.339	R\$25,70	R\$ 111.51,30
30/08/2017	3	12.346	R\$25,82	R\$318.773,72
30/08/2017	3	12.241	R\$25,82	R\$316.062,62
05/09/2017	2	8.102	R\$26,60	R\$215.513,20
26/09/2017	3	10.723	R\$25,08	R\$268.932,84
11/10/2017	4	15.791	R\$25,42	R\$401.407,22
26/10/2017	3	12.303	R\$27,74	R\$341.285,22

Fonte: Empresa K (2017)

Foram realizados 16 pedidos, com uma média de 2 pedidos ao mês de aproximadamente 3 vergalhões. A análise da variação de preço não foi abordada neste trabalho.

#### 3.3.1.3.1 Custo de pedido

Na empresa K o custo de pedido é composto pelo frete (que não varia com a quantidade), custos administrativos e de recebimento.

Na compra não há a possibilidade de fracionamento do vergalhão e o custo do frete é de R\$ 1.500,00, porém sempre que a quantidade de vergalhões for múltipla de três, o fornecedor não cobra o frete em virtude do o(s) veículo(s) realizar(em) a entrega com sua capacidade máxima. O veículo utilizado e a ocupação do mesmo não são abordados neste trabalho.

Para calcular o custo de recebimento são necessários dados como salário do operador

que realiza o recebimento, custo com equipamento de movimentação e tempo de recebimento. Porém a empresa K preferiu não revelar essas informações isoladamente e sugeriu que fosse considerado o custo de R\$ 100,00 como custo de recebimento e administrativo.

O *lead time* nas compras de vergalhão é de 1 dia e não variável. Isto significa que o tempo entre o pedido e a reposição será sempre de 1 dia, salvo exceções que por ventura venham a acontecer.

#### 3.3.1.4 Dados específicos da sucata

Juntamente com o vergalhão, a sucata atende a demanda por cobre da produção, porém os pedidos por sucatas são mais frequentes, como podemos observar na Tabela 4.

Tabela 4 - Pedidos de sucata em 2017

Sucata		Sucata		Sucata	
Data	Qtde. (kg)	Data	Qtde. (kg)	Data	Qtde. (kg)
10/01/2017	4.095	16/03/2017	14.120	26/06/2017	3.910
13/01/2017	13.980	17/03/2017	430	30/06/2017	14.010
16/01/2017	3.040	09/03/2017	2.090	30/06/2017	14.110
19/01/2017	2.500	27/03/2017	14.120	11/07/2017	2.180
19/01/2017	2.214	31/03/2017	14.090	18/07/2017	14.016
20/01/2017	13.940	31/03/2017	14.020	25/07/2017	14.120
12/01/2017	1.520	04/04/2017	2.200	27/07/2017	2.320
26/01/2017	14.020	04/04/2017	860	04/08/2017	14.210
31/01/2017	800	19/04/2017	1.506	10/08/2017	9.130
30/01/2017	14.010	05/04/2017	1.930	18/08/2017	14.383
31/01/2017	14.020	18/04/2017	1.620	17/08/2017	1.920
09/02/2017	1.110	20/04/2017	14.027	30/08/2017	14.150
10/02/2017	1.447	28/04/2017	1.150	31/08/2017	14.110
13/02/2017	5.770	28/04/2017	14.020	14/09/2017	18.000
16/02/2017	6.210	28/04/2017	14.020	27/09/2017	14.010
17/02/2017	1.100	02/05/2017	3.120	27/09/2017	14.126
20/02/2017	14.010	12/05/2017	475	29/09/2017	14.100
24/02/2017	14.020	12/05/2017	14.040	20/10/2017	14.020
24/02/2017	13.960	19/05/2017	14.256	20/10/2017	14.200
01/03/2017	2.540	24/05/2017	3.000	31/10/2017	14.100
15/02/2017	2.210	25/05/2017	14.090	31/10/2017	14.300
07/03/2017	5.750	30/05/2017	14.035		
09/03/2017	1.230	31/05/2017	14.095		
10/03/2017	13.960	01/06/2017	2.010		
14/03/2017	1.440	18/05/2017	2.720		

Fonte: Empresa K (2017)

A Tabela 4 apresenta o relatório de pedidos no período analisado. Como pode ser observado, foram realizados 71 pedidos de compra com aproximadamente 7 pedidos ao mês com a quantidade de 8.600 kg.

Também é possível observar que o custo unitário da sucata não está presente. Isto se deve ao fato de a empresa recomendar a utilização do mesmo custo unitário do vergalhão. Para ambos os materiais a unidade de medida do custo unitário é R\$/kg.

A aquisição da sucata possui um valor reduzido se comparado a compra do vergalhão, porém para a utilização da sucata como matéria-prima se faz necessário um processo de preparação, o qual somado ao custo de aquisição da sucata, se torna equivalente ao custo de aquisição do vergalhão.

#### *3.3.1.4.1 Custo de pedido*

Da mesma maneira como ocorre nos pedidos de vergalhão, para a formulação do custo de pedido são considerados os custos administrativos e de recebimento, que representam os mesmos R\$ 100,00 e o custo do frete, que também é R\$ 1.500,00, porém com algumas particularidades.

Enquanto na compra de vergalhões a unidade de medida é o próprio vergalhão, a aquisição da sucata é feita por quilo, assim permitindo fracionar o pedido. A entrega de sucata não possui descontos, independentemente da quantidade pedida o custo de frete é o mesmo.

O *lead time* nas compras de sucata ocorre da mesma forma como nos pedidos de vergalhão, sendo sempre 1 dia entre o pedido e a entrega.

### **3.3.2 Dados do PVC**

O PVC é comprado na cor branca e durante o processo de produção recebe a coloração de acordo com a ordem de produção. Isso significa que todos os cabos realizam a requisição da mesma matéria-prima.

A empresa forneceu o relatório de pedidos de PVC durante o ano de 2017. Nele encontram-se informações como data, custo unitário e quantidade, como pode-se observar na Tabela 5 a seguir:

Tabela 5 - Pedidos de PVC em 2017

PVC			
Data	Qtde. (kg)	Preço (R\$/kg)	Preço total (R\$)
24/01/2017	25.000	R\$4,70	R\$117.500,00
31/01/2017	25.500	R\$5,11	R\$130.200,00
22/02/2017	25.000	R\$4,75	R\$118.750,00
17/03/2017	7.500	R\$5,05	R\$37.875,00
21/03/2017	12.000	R\$5,70	R\$68.400,00
03/04/2017	5.075	R\$4,89	R\$24.840,00
07/04/2017	2.000	R\$5,87	R\$11.740,00
26/04/2017	15.050	R\$4,93	R\$74.250,00
27/04/2017	12.000	R\$5,04	R\$60.480,00
09/05/2017	8.000	R\$5,43	R\$43.440,00
15/05/2017	13.500	R\$5,57	R\$75.127,00
09/06/2017	25.000	R\$5,23	R\$130.642,86
27/06/2017	13.500	R\$4,97	R\$67.130,00
19/07/2017	12.625	R\$4,65	R\$58.750,00
25/07/2017	25.060	R\$4,65	R\$116.625,00
28/07/2017	4.000	R\$4,77	R\$19.080,00
08/08/2017	25.000	R\$4,81	R\$120.250,00
18/08/2017	28.250	R\$4,63	R\$130.865,00
21/08/2017	10.000	R\$4,58	R\$45.800,00
25/08/2017	13.125	R\$4,50	R\$59.062,00
12/09/2017	25.575	R\$4,61	R\$117.893,00
22/09/2017	13.925	R\$5,08	R\$70.770,00
29/09/2017	12.500	R\$4,75	R\$59.375,00
04/10/2017	10.075	R\$4,42	R\$44.531,50
20/10/2017	19.525	R\$5,50	R\$107.410,00
27/10/2017	30.925	R\$4,77	R\$147.643,75
30/10/2017	3.000	R\$4,83	R\$14.490,00
31/10/2017	12.500	R\$4,60	R\$57.500,00

Fonte: Empresa K (2017)

No período de 10 meses foram realizadas 28 compras de PVC, com média de aproximadamente 3 pedidos mensais e com 15.500 kg de peso médio. Acordos comerciais que determinam o valor unitário com grande variação no período analisado, não são abordados neste trabalho.



### 3.3.2.1 Demanda

De acordo com a empresa a demanda de PVC é constante, devido ao fato de ser restringido pela capacidade de produção, que realiza a requisição da matéria-prima. Mensalmente são consumidos 40 t de PVC para a produção de cabos elétricos.

### 3.3.2.2 Custo de armazenagem

Segundo a empresa K a área de armazenagem para um bag de 500 kg de PVC é de 1 m<sup>2</sup> e assim como no cobre, serão desconsiderados os custos de obsolescência, manuseio e imposto, pelos mesmos motivos. Os custos considerados pela empresa são o custo com aluguel do espaço físico e o custo com o seguro.

Tanto o PVC quanto o cobre ficam armazenados no mesmo depósito, sendo assim o mesmo custo de aluguel. O seguro também se mantém com a taxa de 0,1% do valor unitário, como mostra a Tabela 2.

### 3.3.2.3 Custo de pedido

Para o PVC, a formulação utilizada para o custo de pedido deve ser mantida, considerando apenas custo de frete, recebimento e administrativos. Os dois últimos aumentam para R\$ 150,00 devido à dificuldade no recebimento, enquanto o frete é reduzido para R\$ 1.000,00.

O fornecedor de PVC não oferece descontos na compra de grandes quantidades e não garante o *lead time* constante, podendo variar de 3 a 5 dias.

## 3.4 TRATAMENTO DOS DADOS

Cada matéria-prima tem suas particularidades e devem ser tratadas separadamente, de modo a otimizar a representação da realidade de cada uma delas. É importante se atentar às unidades de medidas dos dados coletados para que não interfira no momento da aplicação do modelo.

Os dados não fornecidos ou não mensurados pela empresa K, devem ser estimados na tentativa de se aproximar ao máximo das características dos processos da empresa. Para tal

estimativa pode-se realizar análises quantitativas e/ou qualitativas.

### 3.4.1 O cobre

A aplicação do modelo de lote econômico se dá de forma diferente no vergalhão e na sucata, portanto nesta sessão serão consideradas duas hipóteses:

- Toda a demanda por cobre será atendida por vergalhão de cobre;
- Toda a demanda por cobre será atendida por sucata de cobre.

Desta forma é possível comparar os resultados e identificar a matéria-prima que gera o menor custo de estoque.

Tanto na compra de vergalhão como na de sucata, o *lead time* é constante de 1 dia.

#### 3.4.1.1 Demanda atendida por vergalhão

Para esta aplicação especificamente, a unidade de medida será a unidade do vergalhão e não o quilo, como é praticado pela empresa K. Pelo fato de não haver possibilidade de fracionamento fica inviável tratar as variáveis por quilo.

Para padronizar o peso de um vergalhão, é necessária uma aproximação que é gerada pela média aritmética simples dos pesos de todos os vergalhões pedidos em 2017. Este procedimento foi realizado no Excel e é ilustrado pela Tabela 6.

Tabela 6 - Peso por vergalhão

Qtde. Vergalhão	Qtde. (kg)	Qtde. (kg/vergalhão)
3	12.251	4.084
3	12.200	4.067
3	12.441	4.147
3	12.221	4.074
3	12.198	4.066
3	12.569	4.190
3	12.585	4.195
3	12.696	4.232
3	12.555	4.185
1	4.339	4.339
3	12.346	4.115
3	12.241	4.080
2	8.102	4.051
3	10.723	3.574
4	15.791	3.948
3	12.303	4.101
	<b>Média:</b>	<b>4.090</b>

Fonte: O Autor (2017)

Para a construção da Tabela 6 foram utilizados dados da segunda e terceira coluna da Tabela 3. Por fim realizou-se a média aritmética simples desses pesos para padronizar o peso de um vergalhão. Na aplicação do modelo para vergalhão será considerado que um vergalhão equivale à 4.090 kg.

Com base nessa informação, é possível converter a demanda mensal de 90t, em vergalhões. Portanto a demanda para a matéria-prima vergalhão, é de 22 vergalhões.

Como o valor unitário é um fator determinante para o modelo, a variação de preço entre os meses poderia ser um problema para o planejamento anual. Portanto, a aplicação se dará de forma mensal e será utilizado o mês de junho, escolhido aleatoriamente, para a aplicação e possibilidade de comparação do resultado do modelo com o cenário atual.

O valor unitário em quilos será a média aritmética simples entre os dois pedidos realizados no mês, como mostra a Tabela 7.

Tabela 7 - Valor unitário

Data	Preço (R\$/kg)
14/06/2017	R\$ 24,37
21/06/2017	R\$ 23,00
<b>Média:</b>	<b>R\$ 23,69</b>

Fonte: O Autor (2017)

Deste modo, o valor unitário por quilo é R\$ 23,69, porém nesse caso especificamente a unidade de medida não será quilos e sim vergalhões. Portanto deve-se multiplicar o valor unitário por quilo, pelo peso em quilos de um vergalhão. Como mostra a Equação 20.

(20)

$$\text{Valor unitário}(R\$/\text{vergalhão}) = \text{Valor unitário}(R\$/\text{kg}) * \text{Vergalhão}(\text{kg}/\text{vergalhão})$$

$$\text{Valor unitário}(R\$/\text{vergalhão}) = (23,69) * 4090$$

$$\text{Valor unitário}(R\$/\text{vergalhão}) = 96892,10$$

Portanto, assume-se que para aplicação do modelo no mês de junho o valor unitário de um vergalhão é R\$ 96.892,1.

Para determinar o custo de pedido é necessário somar os custos coletados de recebimento, administrativo e frete. Portanto o custo fixo total para cada realização de pedido é de R\$ 1.600,00. Porém o custo de armazenagem deve ser calculado de forma mais detalhada, realizando a soma dos custos de aluguel, seguro e considerando o custo de capital. Tanto o aluguel quanto o seguro foram fornecidos pela empresa, enquanto o custo de capital deve ser estimado.

Para Bowersox e Closs (2011) o custo de capital deve ser igual a taxa de juros básica, que no Brasil é taxa a Selic. De acordo com a Receita Federal a taxa Selic do mês de junho de 2017 é de 0,81%. Portanto esse é o percentual de custo de capital.

O custo de seguro já foi fornecido na unidade de medida ideal para aplicação no modelo, no entanto o valor de aluguel deve ser tratado para padronização da unidade de medida

vergalhões.

Primeiramente, é necessário calcular a área necessária em  $m^2$  para armazenagem de um vergalhão, que como apresentado na seção 4.3.1.2, considera as proporções:

$$1000 \text{ kg} = 1m^2$$

$$4090 \text{ kg} = 1 \text{ vergalhão}$$

Assim sendo, a ocupação de um vergalhão é de  $4,09m^2$ . Em seguida, obtém-se o custo de aluguel por vergalhão e a Equação 24 mostra como este procedimento é realizado.

Como

$$1 m^2 = R\$ 11,25,$$

e

$$4,09 m^2 = 1 \text{ vergalhão},$$

Então, o custo de aluguel por vergalhão é R\$ 46,01, que representa 0,05% do seu valor unitário. Esse custo de aluguel, somado ao custo de capital e de seguro, constitui o custo de armazenagem, que representa 0,9575% do valor unitário do vergalhão.

Por fim, deve-se converter o desconto em reais oferecido pelo fornecedor para percentual do valor unitário. O desconto do frete de R\$ 1.500,00 é dado a cada três vergalhões, logo o desconto por vergalhão é R\$ 500,00, que equivale à 0,52% de desconto por vergalhão.

Sempre que a quantidade comprada for múltipla de três, o fornecedor oferece um desconto de 0,52% por vergalhão. Desta forma, todas as variáveis necessárias foram coletadas e tratadas de modo a permitir a aplicação do modelo.

#### 3.4.1.2 Demanda atendida por sucata

Diferentemente do vergalhão, a sucata permite a aplicação do modelo com as variáveis por quilo, pois é possível realizar a compra da quantidade exata de quilos desejada. Essa é uma vantagem na aquisição da sucata, porém seu fornecedor não oferece desconto por quantidade e cabe à empresa K decidir qual matéria-prima utilizar.

Nesta seção, supõe-se que toda demanda de 90t de cobre é atendida por sucata, então

tem-se o consumo em quilos como 90.000,00 kg. O valor unitário da sucata é igual ao valor unitário por quilo do vergalhão, que no mês de junho é R\$ 23,69.

Assim como para o vergalhão, o custo de pedido é de R\$ 1.600,00. Para o cálculo do custo de armazenagem os custos de seguro e capital também são iguais, porém o aluguel deve ser calculado de forma diferente pois o espaço físico ocupado pelos materiais, não é igual, dado que o vergalhão tem como unidade de medida a unidade de um vergalhão e a sucata é medida por quilo.

Como 1.000 kg de sucata ocupa 1 m<sup>2</sup>, a ocupação por cada quilo da matéria-prima, equivale a 0,001 m<sup>2</sup>. Desta forma é possível a obtenção do custo de aluguel, que representa 0,04%, para que em seguida seja calculado o custo de armazenagem, que é igual a 0,95%.

### 3.4.2 O PVC

Para aplicação de um modelo de lote econômico no controle de estoque do PVC são necessárias adequações nos dados coletados e algumas estimativas. O *lead time* na compra de PVC é variável de 3 a 5 dias, porém os modelos de lote econômico não consideram tal variação.

É necessário supor que o *lead time* seja o mesmo para todos os pedidos realizados durante o período analisado, que no caso é o mês de junho. Como a empresa não forneceu o *lead time* ocorrido em cada pedido, não é possível verificar o de maior ocorrência. Desta forma será considerado o pior cenário, ou seja, 5 dias entre o pedido e o recebimento. Não é possível considerar o *lead time* de 3 ou 4 dias pelo fato de a produção não permitir a falta da matéria-prima.

#### 3.4.2.1 Demanda

Segundo a empresa K o consumo de PVC pela produção de cabos elétricos é de 40 t ao mês e como o modelo será aplicado em quilogramas, se faz necessária a conversão da unidade de medida. Na aplicação será considerado um consumo de 40.000,00 kg.

O valor unitário precisa ser o mesmo em todos os pedidos realizados no período, portanto foi realizada a média aritmética ponderada de todos os pedidos de PVC realizados no mês de junho de 2017.

Os dados da Tabela 8 foram retirados da Tabela 5 e em seguida foi calculada a média para determinação de um valor unitário.

Tabela 8 - Pedidos de PVC do mês de junho de 2017

PVC		
Data	Qtde. (kg)	Preço (R\$/kg)
09/06/2017	25.000	5,23
27/06/2017	13.500	4,97

Fonte: O Autor (2017)

Neste período foram comprados 25.000 kg à R\$ 5,23 e 13.500 kg à R\$ 4,97, por este motivo foi realizada a média aritmética ponderada, e estimado o valor unitário de R\$ 5,13 para a aplicação de um modelo para o controle de estoque do PVC. Já o custo de pedido, foi fornecido pela empresa de forma adequada aos modelos de EOQ. Somados os custos de frete, recebimento e administrativos, tem-se um custo de pedido de R\$ 1.150,00.

Para o cálculo do custo de armazenagem, os custos de seguro e capital, são idênticos aos custos utilizados para o cobre. Porém, diferentemente da ocupação do cobre, o espaço físico ocupado por 1 kg de PVC é de 0,002 m<sup>2</sup>. Desta forma, para cada quilo de PVC em estoque durante o mês de junho, tem-se um custo de 0,43859% do seu valor unitário. Assim sendo 1,35% o custo de armazenagem pronto para ser utilizado nos modelos EOQ.

### 3.5 IDENTIFICAÇÃO E APLICAÇÃO DO MODELO

Primeiramente, serão identificados os modelos mais adequados às características da empresa e seus fornecedores. Dado o fato que cada matéria-prima tem suas restrições e particularidades, a escolha do modelo deve ser feita separadamente para cada uma delas.

Em seguida, os modelos são aplicados para que posteriormente seus resultados e desenvolvimentos sejam analisados e comparados.

Após o tratamento de dados, as características a seguir são comuns nos processos de compra e consumo de todas as matérias-primas:

- Valor unitário constante durante o período analisado;
- *Lead time* constante.

Essas características comuns possibilitam a utilização de um modelo de lote

econômico. Porém, as características específicas de cada matéria-prima são o que definirão o modelo a ser utilizado.

### **3.5.1 O cobre**

Pelo fato de a demanda por cobre poder ser atendida tanto por vergalhão, quanto por sucata, apesar de a matéria-prima ser o cobre, deve-se escolher o modelo mais apropriado para cada um dos casos.

#### **3.5.1.1 Vergalhão**

##### *3.5.1.1.1 Escolha do modelo de lote econômico*

Para identificar o modelo mais apropriado deve-se observar as características presentes no processo de compra e consumo do vergalhão, que são:

- Não permite faltas;
- Possui desconto por quantidade;
- Demanda constante.

Devido às características específicas desses processos é possível identificar que o modelo EOQ com desconto por quantidade é o mais apropriado para o controle de estoque do vergalhão.

##### *3.5.1.1.2 Aplicação do modelo escolhido*

A aplicação do modelo EOQ com desconto por quantidade foi implementada no Microsoft Excel e nesta seção são apresentadas as etapas desta implementação. Primeiramente, aplica-se o modelo EOQ básico para posteriormente analisar se o desconto oferecido pelo fornecedor é vantajoso ou não. A Tabela 9 mostra a aplicação do modelo EOQ básico.



Tabela 9 - Aplicação do modelo EOQ para o vergalhão

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Material	Valor Unitário (RS)	Demanda ou Consumo Mensal (Unidade Vergalhão)	Custo de Pedido (RS)	Custo de Armazenagem Mensal (%)	Lote Econômico (Unidade Vergalhão)	Custo Total (RS)	Quando Pedir (dias)
2	Vergalhão	R\$96.892,10	22	R\$1.600,00	0,9575%	8,71	R\$ 2.139.707,85	11,88

Fonte: O Autor (2017)

As células azuis são as variáveis que o modelo requer, enquanto as células em verde representam os valores que foram encontrados com a aplicação do modelo. A Tabela 10 apresenta a implementação da Equação 8.

Tabela 10 - Quantidade do lote econômico (vergalhão)

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Material	Valor Unitário (RS)	Demanda ou Consumo Mensal (Unidade Vergalhão)	Custo de Pedido (RS)	Custo de Armazenagem Mensal (%)	Lote Econômico (Unidade Vergalhão)	Custo Total (RS)	Quando Pedir (dias)
2	Vergalhão	R\$96.892,10	22	R\$1.600,00	0,9575%	8,71	R\$ 2.139.707,85	11,88

=RAIZ((2\*F4\*E4)/(D4\*G4))

Fonte: O Autor (2017)

A célula F2 calcula a quantidade do lote econômico, ou seja, a quantidade que minimiza os custos com pedidos e armazenagem. O modelo indica que o pedido deve ser sempre de 8,71 vergalhões.

O custo total para a aplicação deste modelo para controle de estoque é apresentado na Tabela 11, onde na célula G2 foi realizada a implementação da Equação 6.

Tabela 11 - Custo total (vergalhão)

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Material	Valor Unitário (RS)	Demanda ou Consumo Mensal (Unidade Vergalhão)	Custo de Pedido (RS)	Custo de Armazenagem Mensal (%)	Lote Econômico (Unidade Vergalhão)	Custo Total (RS)	Quando Pedir (dias)
2	Vergalhão	R\$96.892,10	22	R\$1.600,00	0,9575%	8,71	R\$ 2.139.707,85	11,88

$$=(D4*E4)+(F4*(E4/H4))+(G4*D4*(H4/2))$$

Fonte: O Autor (2017)

A aplicação do modelo EOQ básico para o vergalhão sugere um custo total de R\$ 2.139.707,85 para o mês de junho de 2017. Para qualquer variação em Q, o custo total só aumenta, pois o valor de Q encontrado é o ponto onde cruzam o custo de armazenagem e o custo de pedido, como apresentado no Gráfico 1.

Também é necessário determinar quando devem ser realizados os pedidos, ou seja, o intervalo entre um pedido e outro. O período analisado é de 30 dias (junho de 2017) e a célula H2 da Tabela 12 realiza o cálculo que determina o intervalo em dias.

Tabela 12 - Intervalo entre pedidos (vergalhão)

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Material	Valor Unitário (RS)	Demanda ou Consumo Mensal (Unidade Vergalhão)	Custo de Pedido (RS)	Custo de Armazenagem Mensal (%)	Lote Econômico (Unidade Vergalhão)	Custo Total (RS)	Quando Pedir (dias)
2	Vergalhão	R\$96.892,10	22	R\$1.600,00	0,9575%	8,71	R\$ 2.139.707,85	11,88

$$=30/(E4/H4)$$

Fonte: O Autor (2017)

O pedido deve ser realizado a cada 11,88 dias, dado que a quantidade  $Q = 8,71$  tem capacidade de atender o consumo por esse período e a produção (cliente interno) não aceita faltas.

O modelo indica que a cada pedido deve-se comprar a quantidade de 8,71 vergalhões, porém não é possível o fracionamento do vergalhão, portanto deve-se comparar o custo total de  $Q = 8$  e  $Q = 9$ , como mostra a Tabela 13.

Tabela 13 - Comparação do custo total

Lote Econômico (Unidade Vergalhão)	Custo Total (R\$)	Quando Pedir (dias)
9,00	R\$ 2.139.712,15	12,27
Lote Econômico (Unidade Vergalhão)	Custo Total (R\$)	Quando Pedir (dias)
8,00	R\$ 2.139.737,17	10,91

Fonte: O Autor (2017)

De acordo com a Tabela 13, para um lote  $Q = 9$ , tem-se um custo total de R\$ 2.139.712,15, enquanto que para  $Q = 8$  o custo aumenta para R\$ 2.139.737,17. Ambos os custos são maiores que o custo para  $Q = 8,71$ , mas devido à restrição de que  $Q$  deve ser inteiro, deve-se optar pela opção viável com menor custo total. Para  $Q = 9$  tem-se a restrição atendida e um valor abaixo do que apresenta  $Q = 8$ , portanto é o lote que reduz os custos totais.

Em relação ao intervalo entre os pedidos, os dias podem ser fracionados em horas, porém, de maneira conservadora, sugere-se que os pedidos sejam realizados a cada 12 dias. O período entre o recebimento e o próximo pedido deve ser de 11 dias, considerando o *lead time* que é de 1 dia.

Portanto, deve-se considerar que:

$$\text{Lote econômico(vergalhão)} = Q = 9 \text{ vergalhões} = 36.810 \text{ kg}$$

$$\text{Custo total(R\$)} = CT = \text{R\$ } 2.139.712,15$$

$$\text{Intervalo entre pedidos(dias)} = 12 \text{ dias}$$

Esse é o resultado da aplicação do modelo EOQ básico e na aplicação do modelo EOQ com desconto por quantidade deve-se realizar uma comparação entre os custos totais encontrados e os custos totais referentes à  $Q =$  *Lote em que o fornecedor oferece o desconto.*

Coincidentemente o lote econômico encontrado no modelo EOQ básico é a quantidade que minimiza o custo total, portanto não se faz necessária a comparação. É preciso apenas considerar o desconto oferecido pelo fornecedor, como mostra a Equação 36:

$$\begin{aligned} \text{Custo total com desconto(R\$)} & \qquad \qquad \qquad (36) \\ & = \text{Custo total(R\$)} - Q(\text{vergalhão}) \cdot \text{Desconto(R\$/vergalhão)} \end{aligned}$$

$$\text{Custo total(R\$)} = \text{R\$ } 2139712,15 - 9 \text{ vergalhão} \cdot 500,00 \text{ R\$/vergalhão}$$

$$\text{Custo total(R\$)} = \text{R\$}2135212,15$$

Através do desconto obtém-se uma redução de R\$ 4.500,00, reduzindo o custo total para R\$ 2.135.212,15. Esse é o custo total da aplicação do modelo EOQ com desconto por quantidade para o vergalhão.

### 3.5.1.2 Sucata

#### 3.5.1.2.1 Escolha do modelo de lote econômico

As características relevantes para escolha do modelo EOQ são:

- Não permite falta;
- Não possui desconto por quantidade;
- Demanda constante.

Portanto o modelo que mais adequado para o controle de estoque de sucata é o modelo EOQ básico.

#### 3.5.1.2.2 Aplicação do modelo escolhido

Nesta seção são apresentadas as etapas da implementação do modelo de lote econômico básico, que foi o modelo escolhido na seção anterior. Sua implementação se deu através do Microsoft Excel, como mostra a Tabela 14.

Tabela 3 - Aplicação do modelo EOQ para sucata

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Material	Valor Unitário (R\$)	Demanda ou Consumo Mensal (kg)	Custo de Pedido (R\$)	Custo de Armazenagem Mensal (%)	Lote Econômico (kg)	Custo Total (R\$)	Quando Pedir (dias)
2	Sucata	R\$23,69	90.000,00	R\$ 1.600,00	0,95%	35.772,72	R\$ 2.140.150,83	11,92

Fonte: O Autor (2017)

Nas colunas A, B, C, D e E foram inseridos os dados coletados e tratados de forma adequada à aplicação do modelo. As colunas F, G e H representam o resultado de quanto deve-se pedir, custo total e quando pedir, respectivamente.

A célula F2 da Tabela 15 apresenta o cálculo realizado para determinar o lote econômico Q. Que consiste na aplicação da Equação 8.

Tabela 4 - Quantidade do lote econômico (sucata)

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Material	Valor Unitário (R\$)	Demanda ou Consumo Mensal (kg)	Custo de Pedido (R\$)	Custo de Armazenagem Mensal (%)	Lote Econômico (kg)	Custo Total (R\$)	Quando Pedir (dias)
2	Sucata	R\$23,69	90.000,00	R\$ 1.600,00	0,95%	35.772,72	R\$ 2.140.150,83	11,92

$$=RAIZ((2*F10*E10)/(D10*G10))$$

Fonte: O Autor (2017)

De acordo com a Tabela 15,  $Q = R\$ 35.772,72$  é a quantidade a ser pedida que minimiza o custo total. Tal custo é calculado pela Equação 6 e sua implementação pode ser observada na célula G2 da Tabela 16.

Tabela 5 - Custo total (sucata)

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Material	Valor Unitário (R\$)	Demanda ou Consumo Mensal (kg)	Custo de Pedido (R\$)	Custo de Armazenagem Mensal (%)	Lote Econômico (kg)	Custo Total (R\$)	Quando Pedir (dias)
2	Sucata	R\$23,69	90.000,00	R\$ 1.600,00	0,95%	35.772,72	R\$ 2.140.150,83	11,92

$$=(D10*E10)+(F10*(E10/H10))+(G10*D10*(H10/2))$$

Fonte: O Autor (2017)

A aplicação do modelo EOQ básico resulta em um custo total de R\$ 2.140.150,83 que tende a aumentar conforme seja necessário realizar qualquer alteração no lote econômico  $Q = R\$ 35.772,72$ .

Por fim, deve-se identificar a quantidade de dias em que o lote  $Q$  tem capacidade para atender a demanda. O período de 30 dias referentes ao mês de junho deve ser considerado, pois a demanda de 90.000,00 é mensal. A célula H2 da Tabela 17 apresenta o cálculo desse intervalo de dias.

Tabela 6 - Intervalo entre pedidos (sucata)

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Material	Valor Unitário (R\$)	Demanda ou Consumo Mensal (kg)	Custo de Pedido (R\$)	Custo de Armazenagem Mensal (%)	Lote Econômico (kg)	Custo Total (R\$)	Quando Pedir (dias)
2	Sucata	R\$23,69	90.000,00	R\$ 1.600,00	0,95%	35.772,72	R\$ 2.140.150,83	11,92

$$=30/(E10/H10)$$

Fonte: O Autor (2017)

O lote econômico de  $Q = R\$ 35.772,72$  tem capacidade para atender a demanda de 11,92 dias, portanto esse deve ser o intervalo entre os pedidos. A revisão do estoque de sucata deve ser realizada com 10 dias após o recebimento do último pedido (intervalo de 11 dias entre os pedidos), pois deve-se considerar a *lead time* de 1 dia.

### 3.5.2 O PVC

O PVC é comprado de somente um fornecedor e sempre da mesma forma, com os dados constantes. Isto implica que apenas um modelo se aproxima das características deste processo.

#### 3.5.2.1 Escolha do modelo de lote econômico

Os processos de compra e consumo do PVC é semelhante aos processos da sucata,

onde é possível observar as seguintes características:

- Não permite falta;
- Não possui desconto por quantidade;
- Demanda constante.

Portanto o modelo EOQ básico é o mais adequado para o controle de estoque de sucata.

### 3.5.2.2 Aplicação do modelo escolhido

Assim como os modelos escolhidos para o cobre, o modelo de lote econômico para o PVC também foi implementado no Microsoft Excel. Nesta seção são mostradas e explicadas as etapas de implementação.

Tabela 7 - Aplicação do modelo EOQ para o PVC

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Material	Valor Unitário (R\$)	Demanda ou Consumo Mensal (kg)	Custo de Pedido (R\$)	Custo de Armazenagem Mensal (%)	Lote Econômico (kg)	Custo Total (R\$)	Quando Pedir (dias)
2	PVC	R\$5,13	40.000,00	R\$ 1.150,00	1,35%	36.447,55	R\$207.724,18	27,34

Fonte: O Autor (2017)

Seguindo o mesmo formato das Tabelas 9 e 14, as cores da Tabela 18 representam as variáveis coletadas e tratadas e os resultados obtidos. A implementação das equações 8 e 6, respectivamente representadas pelas células F2 e G2 não são detalhadas nessa seção pelo fato de ser o mesmo modelo aplicado para o cobre, onde essa implementação foi mostrada.

Ainda de acordo com a Tabela 18, a célula F2 apresenta o lote econômico  $Q = R\$ 36.447,55$  que minimiza o custo total representado pela célula G2 e com valor de R\$ 207.724,18.

A célula H2 mostra que um pedido deve ocorrer a cada 27,34 dias, ou seja, um pedido com  $Q = 36.447,55$  tem capacidade para atender quase toda a demanda mensal. Devido ao *lead time* de 5 dias, o tempo entre o recebimento e o próximo pedido deve ser de 22 dias.

Como o *lead time* é variável entre 3, 4 ou 5 dias, o custo total pode variar, pois o modelo foi aplicado para o cenário de 5 dias. Caso o pedido seja entregue em 3 ou 4 dias, deve-se somar o custo de armazenagem referente aos dias que não constam no modelo. A Tabela 19 apresenta o custo aproximado de armazenar o PVC por um dia.

Tabela 8 - Comparação dos custos totais para diferentes lead times

	A	B	C	D	E	F	G
1	Material	Custo Aproximado de Armazenagem Diário (%)	Lote Econômico (kg)	Custo Total para Lead Time de 5 dias (R\$)	Lead Time (dia)	Período Excedente de Armazenagem (dia)	Custo Excedente de Armazenagem (R\$)
2	PVC	0,045%	36.447,55	R\$ 205.660,85	3	2	32,803
3	PVC	0,045%	36.447,55	R\$ 205.660,85	4	1	16,401

Fonte: O Autor (2017)

O custo aproximado de armazenagem diário de 0,045% foi calculado dividindo 1,35% que era o custo de armazenagem mensal, por 30 dias. O período excedente de armazenagem refere-se à quantidade de dias em que o lote econômico é armazenado e não é contabilizado para o custo total no modelo aplicado.

Tabela 9 - Custo excedente de armazenagem

	A	B	C	D	E	F	G
1	Material	Custo Aproximado de Armazenagem Diário (%)	Lote Econômico (kg)	Custo Total para Lead Time de 5 dias (R\$)	Lead Time (dia)	Período Excedente de Armazenagem (dia)	Custo Excedente de Armazenagem (R\$)
2	PVC	0,045%	36.447,55	R\$ 205.660,85	3	2	32,803
3	PVC	0,045%	36.447,55	R\$ 205.660,85	4	1	16,401

=E5\*F5\*15

Fonte: O Autor (2017)

A Tabela 20 apresenta o cálculo realizado na célula H2, que multiplica o custo aproximado de armazenagem diário, o lote econômico e a quantidade de dias que o lote permanece armazenado. Desta forma é possível determinar o valor a ser acrescido ao custo total a cada vez em que o *lead time* for menor que 5 dias.

Tanto o tamanho de lote econômico quanto o custo total, de cada matéria prima, são analisados na próxima seção. Comparando-os com os lotes praticados pela empresa e com o custo total referente a esses lotes.



## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, primeiramente será apresentado o cenário atual da empresa K, em seguida são apresentados os resultados dos modelos propostos para que por fim possam ser comparados.

### 4.1 CENÁRIO ATUAL

#### 4.1.1 O cobre

Assim como na aplicação dos modelos, foi considerado um valor unitário de R\$ 23,69 por quilo, para que a comparação não seja influenciada pela variação de preços entre os pedidos.

Analisando a Tabela 3 e 4 nota-se que para atender a demanda de 90t do mês de junho, os recebimentos tiveram início no dia 18/05/2017. A Tabela 21 mostra todos os pedidos realizados para atender essa demanda, tanto os pedidos de vergalhão como os pedidos de sucata.

Tabela 10 - Pedidos realizados para atender a demanda de cobre em junho

Data	Quantidade Comprada (kg)
18/05/2017	2.720
19/05/2017	14.256
24/05/2017	3.000
25/05/2017	14.090
30/05/2017	14.035
31/05/2017	14.095
01/06/2017	2.010
14/06/2017	12.585
21/06/2017	12.696
<b>Total:</b>	<b>89.487</b>

Fonte: O Autor (2017)

Pelo fato de a empresa K não manter um padrão de lote de compra, foi calculado o custo total para cada lote separadamente e calculada a média entre eles. O modelo foi aplicado

para todos os valores de Q praticados pela empresa, a fim de determinar o custo total para o respectivo Q, como mostra a Tabela 22.

Tabela 11 - Custo total para cada quantidade de cobre comprada

	A	B	C	D	E	D	G	H	I	J
1	Material	Valor Unitário (R\$)	Demanda ou Consumo Mensal (kg)	Custo de Pedido (R\$)	Data	Período Armazenado (dia)	Custo de Armazenagem Diário (%)	Quantidade Comprada (kg)	Desconto (R\$)	Custo Total (R\$)
2	Sucata	R\$ 23,69	90.000,00	R\$1.600,00	18/05/2017	43	0,03%	2.720	R\$ -	R\$ 2.185.479,88
3	Sucata	R\$ 23,69	90.000,00	R\$1.600,00	19/05/2017	42	0,03%	14.256	R\$ -	R\$ 2.144.446,88
4	Sucata	R\$ 23,69	90.000,00	R\$1.600,00	24/05/2017	37	0,03%	3.000	R\$ -	R\$ 2.180.516,35
5	Sucata	R\$ 23,69	90.000,00	R\$1.600,00	25/05/2017	36	0,03%	14.090	R\$ -	R\$ 2.144.222,63
6	Sucata	R\$ 23,69	90.000,00	R\$1.600,00	30/05/2017	31	0,03%	14.035	R\$ -	R\$ 2.143.992,03
7	Sucata	R\$ 23,69	90.000,00	R\$1.600,00	31/05/2017	30	0,03%	14.095	R\$ -	R\$ 2.143.902,46
8	Sucata	R\$ 23,69	90.000,00	R\$1.600,00	01/06/2017	30	0,03%	2.010	R\$ -	R\$ 2.203.967,97
9	Vergalhão	R\$ 23,69	90.000,00	R\$1.600,00	14/06/2017	30	0,03%	12.585	R\$ 1.500,00	R\$ 2.143.458,35
10	Vergalhão	R\$ 23,69	90.000,00	R\$1.600,00	21/06/2017	30	0,03%	12.696	R\$ 1.500,00	R\$ 2.143.370,80
									<b>Média:</b>	R\$ 2.159.261,93

Fonte: O Autor (2017)

Foi calculado o custo de armazenagem diário dividindo o custo de armazenagem mensal por 30, para posteriormente ser multiplicado pela quantidade de dias em que o material ficou armazenado, a fim de obter o custo de armazenagem total para ser considerado no custo total. Nos pedidos de vergalhão, foram considerados os devidos descontos (R\$ 500,00 por vergalhão, no caso de pedidos múltiplo de 3). O custo total referente aos pedidos praticados pela empresa K no período analisado é de R\$ 2.159.595,26.

#### 4.1.2 O PVC

O valor unitário do PVC sofre variação ao longo dos pedidos, todavia, assim como na aplicação dos modelos, foi considerado o preço de R\$ 5,13 por quilo como padrão. Deste modo, a cotação de preços não interfere nos resultados.

Para atender a demanda de PVC do mês de junho foram realizados dois pedidos, como pode ser observado na Tabela 23.

Tabela 12 - Pedidos realizados para atender a demanda de PVC em junho

Data	Qtde. (kg)
09/06/2017	25.000
27/06/2017	13.500
<b>Total:</b>	<b>38.500</b>

Fonte: O Autor (2017)

Não existe um padrão de lote nas compras de PVC, deste modo se faz necessário calcular o custo total para cada um dos lotes praticados no período e determinar a média, assim como foi realizado para o cobre. A Tabela 24 a seguir ilustra o modelo aplicado com as quantidades reais praticadas pela empresa K.

Tabela 13 - Custo total para cada quantidade de PVC comprada

	A	B	C	D	E	F	G
1	Material	Valor Unitário (R\$)	Demanda ou Consumo Mensal (kg)	Custo de Pedido (R\$)	Custo de Armazenagem Mensal (%)	Quantidade comprada (kg)	Custo Total (R\$)
2	PVC	R\$ 5,13	40.000,00	R\$1.150,00	1,35%	25.000,00	R\$ 207.905,69
3	PVC	R\$ 5,13	40.000,00	R\$1.150,00	1,35%	13.500,00	R\$ 209.074,88
						Média:	R\$ 208.490,28

Fonte: O Autor (2017)

Neste caso todos os pedidos realizados para atender a demanda de junho foram realizados no próprio mês, desta forma não foi necessário determinar o custo de armazenagem diário e multiplicar pelo número de dias armazenados. Por convenção do modelo, utiliza-se o custo mensal.

Tem-se então que o custo total referente às quantidades compradas pela empresa K no mês de junho de 2017 é de R\$ 208.490,28.

## 4.2 COMPARAÇÃO

Nesta seção os custos totais dos modelos aplicados são comparados com os custos totais alusivos às compras reais da empresa K.

#### 4.2.1 O cobre

Foram aplicados dois modelos para o controle de estoque do cobre, pelo fato de o fornecimento desta matéria-prima ter a possibilidade de ser atendido de duas formas diferentes, vergalhão ou sucata.

O modelo EOQ com desconto por quantidade foi aplicado ao vergalhão e esse modelo restringe que toda a demanda seja atendida somente por vergalhão. Para a sucata foi utilizado o modelo EOQ básico, que limita o fornecimento somente à sucata.

No cenário atual a empresa K realiza pedidos de sucata e vergalhão no mesmo período, porém sem um estudo prévio de quando e quanto pedir. Na Tabela 25 todos os resultados podem ser analisados. Tanto o lote econômico, como o período entre os pedidos, não é possível calcular, dado que a empresa K não mantém um padrão nas quantidades compradas. Deste modo, foi identificado como N/D não identificado.

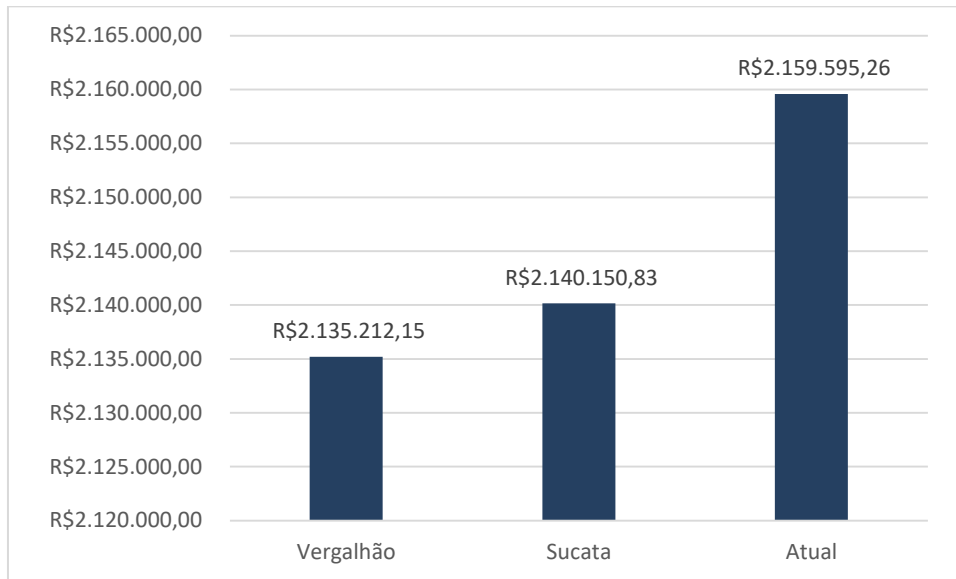
Tabela 14 - Comparação entre os modelos propostos e o cenário atual para o planejamento e controle de estoque do cobre

Modelo	Lote Econômico (kg)	Custo Total (R\$)	Quando Pedir (dias)
Vergalhão	36.810,00	R\$ 2.135.212,15	12,00
Sucata	35.772,72	R\$ 2.140.150,83	11,00
Atual	N/D	R\$ 2.159.595,26	N/D

Fonte: O Autor (2017)

Ambos os modelos oferecem redução de custo total, porém o modelo que sugere somente a compra de vergalhão apresenta um custo menor, devido aos descontos oferecidos pelo fornecedor. O Gráfico 7 ilustra os custos totais dos modelos aplicados e do cenário atual para o controle de estoque.

Gráfico 7 - Comparação dos custos totais para o cobre

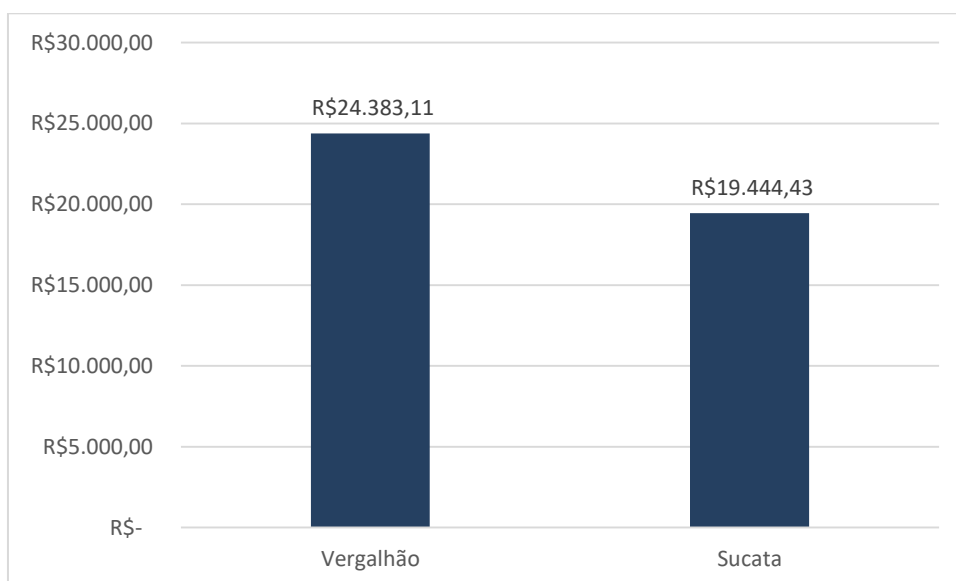


Fonte: O Autor (2017)

É possível observar que o custo total do cenário atual é consideravelmente maior que os custos resultantes dos modelos. Tal diferença deve-se à quantidade comprada pela empresa K, que realiza vários pedidos pequenos, o que apesar de minimizar o custo de armazenagem, aumenta demasiadamente o custo de pedido.

O Gráfico 8 apresenta as reduções de custos oferecidas por cada um dos modelos.

Gráfico 8 - Redução do custo total para o cobre



Fonte: O Autor (2017)

De acordo com o Gráfico 8, o modelo do vergalhão oferece uma redução de R\$ 24.383,11 portanto, entre os modelos analisados, é o mais adequado para o controle de estoque do cobre.

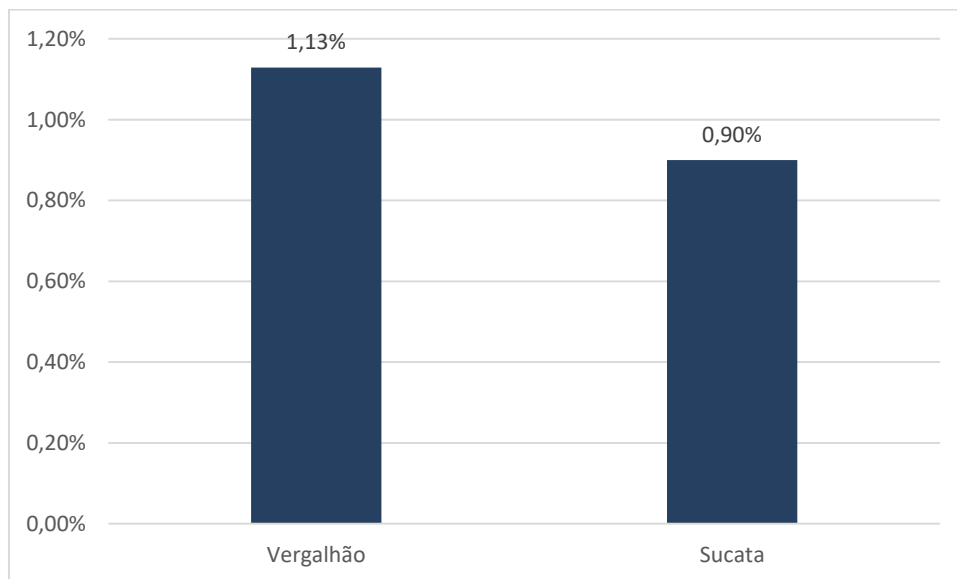
O modelo que sugere a compra de vergalhão tem o princípio de aproveitar os descontos oferecido pelo fornecedor. O fato de o lote econômico  $Q = 9$  ser múltiplo de 3 (restrição do fornecedor para oferecer o desconto) contribuiu para redução dos custos totais.

Já o modelo da sucata não contém descontos, porém permite o fracionamento do lote em quilos, conseqüentemente possibilitando a compra exata do lote econômico. Sua redução se deve ao fato da realização de menos pedidos, porém de maior quantidade.

A redução do custo total proposta pelo modelo do vergalhão se torna ainda maior se analisada em escala anual, chegando a quase R\$ 300.000,00. Valor muito significativo para uma empresa de médio porte que tenta se consolidar no mercado.

O Gráfico 9 ilustra a redução do custo total na forma de percentual, onde é possível analisar a redução em relação ao custo total referente ao controle atual da empresa K.

Gráfico 9 - Percentual de redução do custo total para o cobre



Fonte: O Autor (2017)

O modelo que sugere a compra de vergalhão oferece uma redução de 1,13% dos custos totais do cenário atual, enquanto o modelo que recomenda a sucata reduz em 0,90%. Os valores percentuais podem parecer pequenos, mas a contribuição é significativa tendo em vista o valor monetário envolvido.

#### 4.2.2 O PVC

O PVC é comprado somente de um fornecedor e, portanto, foi aplicado um único modelo que propõe a redução do custo total através de compras de lotes maiores. A Tabela 26 compara os custos totais do modelo proposto com o custo total atual da empresa K.

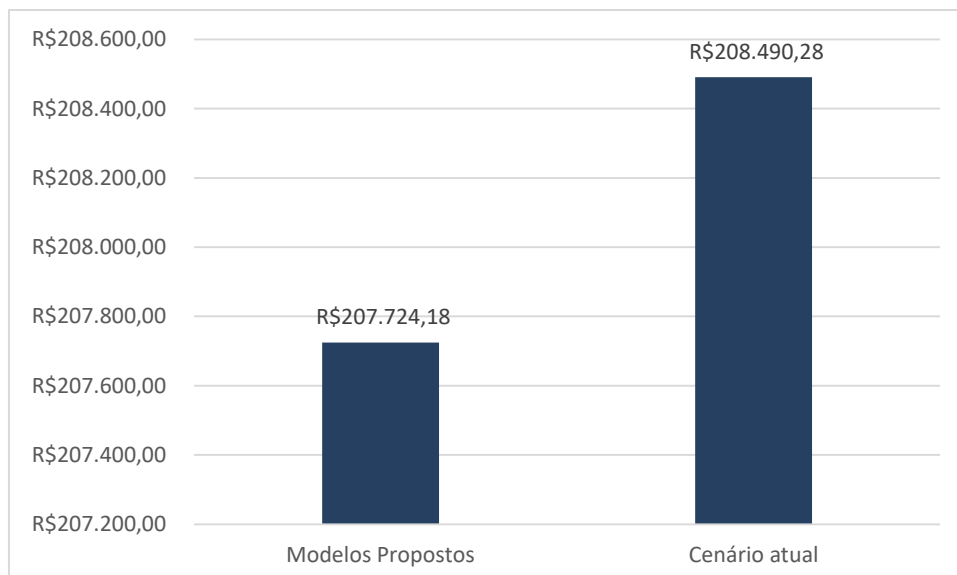
Tabela 15 - Comparação entre o modelo proposto e o cenário atual para o planejamento e controle de estoque do sucata

Modelo	Lote Econômico (kg)	Custo Total (R\$)	Quando Pedir (dias)
Modelo PVC	36.447,55	R\$ 207.724,18	27,00
Atual	N/D	R\$ 208.490,28	N/D

Fonte: O Autor (2017)

De acordo com a Tabela 26, houve redução do custo total com a aplicação do modelo proposto para o controle de estoque do PVC. O Gráfico 10 a seguir ilustra esses custos e facilita a visualização.

Gráfico 10 - Comparação dos custos totais para o PVC



Fonte: O Autor (2017)

Os custos totais do modelo proposto e do cenário atual da empresa K foram bem próximos. Enquanto o modelo do PVC tem um custo de R\$ 207.724,18, o custo total do controle

atual praticado pela empresa K é de R\$ 208.490,28.

Com a aplicação do modelo proposto para controle de estoque do PVC, foi possível reduzir 0,37% ou R\$ 766,10. Valor monetário baixo que talvez não justifique a aplicação prática do modelo pela empresa K.

#### 4.2.3 Custos totais

Para controle de estoque do cobre, é considerado o modelo do vergalhão pelo fato de oferecer maior redução do custo total. No caso do PVC foi proposto apenas um modelo, mas que também apresenta redução.

A aplicação de ambos os modelos para ambas matérias-primas analisadas oferece uma redução ainda maior, como mostra a Tabela 27.

Tabela 16 - Comparação dos custos totais para ambas matérias-primas

	Cobre			PVC			Total		
	Custo Total (R\$)	Redução		Custo Total (R\$)	Redução		Custo Total (R\$)	Redução	
		(R\$)	(%)		(R\$)	(%)		(R\$)	(%)
<b>Modelos Propostos</b>	R\$2.135.212,15	R\$24.383,11	1,13%	R\$ 207.724,18	R\$ 766,10	0,37%	R\$ 2.342.936,33	R\$ 25.149,21	1,06%
<b>Cenário atual</b>	R\$2.159.595,26	N/D	N/D	R\$ 208.490,28	N/D	N/D	R\$ 2.368.085,54	N/D	N/D

Fonte: O Autor (2017)

Na Tabela 27 são apresentados os custos totais de cada aplicação (cobre e PVC) e é possível comparar com a soma dos custos totais do cenário atual da empresa K. É possível observar também que com a aplicação dos modelos para o cobre e para o PVC atingiu-se uma redução de R\$ 25.149,21 por mês. Este valor representa 1,06% do custo total do que é praticado hoje pela empresa K.

Analiticamente, os modelos propostos oferecem melhora nos resultados, porém cabe aos gestores uma avaliação prática para viabilizar ou não, a aplicação dos modelos. Os modelos EOQ aplicados têm papel de auxiliar na tomada de decisão, todavia se faz necessária a participação dos gestores para considerar fatores qualitativos e decidir pela forma mais adequada de planejar e controlar o estoque da empresa.

#### 4.2.4 Análise do modelo EOQ e seu desenvolvimento



O modelo EOQ básico foi aplicado para controle de estoque do cobre e do PVC, porém para o primeiro foi descontado um determinado valor ao custo total. Esse modelo tem como objetivo determinar o lote econômico, ou seja, a quantidade a ser comprada que minimize os custos totais. Pode-se afirmar que ele atingiu seu objetivo, tendo em vista a redução oferecida à empresa K.

Como todo modelo, os modelos EOQ aplicados possuem pontos fortes e pontos que poderiam ser melhorados. Pode-se destacar como ponto positivo dos modelos EOQ a simplicidade de aplicação e implementação, tendo como etapa mais exaustiva, a coleta e tratamento de dados. A aplicação do modelo resultou em redução do custo total de estoque.

Um modelo de fácil aplicação, porém para sua aplicação algumas premissas tiveram que ser seguidas, dado que o modelo não restringe investimento, capacidade de transporte, capacidade de armazenagem e atendimento do cliente. Portanto o modelo teve bom desenvolvimento para este estudo de caso.

O modelo EOQ também não contempla o “mix” de produtos que atendem a mesma demanda, como é o caso do vergalhão e sucata que são compradas para atender a demanda por cobre. Por esse motivo foi considerado ter a demanda totalmente atendida por vergalhão ou totalmente atendida por sucata.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 CONSIDERAÇÕES

No presente trabalho aplicou-se métodos encontrados na literatura de pesquisa operacional e logística, em uma empresa de cabos elétricos de médio porte, com o objetivo de reduzir os custos de estoque a partir da aquisição e armazenagem das matérias-primas.

Todos os objetivos do trabalho foram atendidos e serviram como meta durante a elaboração do trabalho. Não permitiram o desvio do foco que em todo momento foi a redução de custos de estoque.

O referencial teórico teve grande contribuição para este trabalho, sendo responsável por apresentar conhecimentos indispensáveis para a aplicação dos modelos. A literatura de pesquisa operacional teve um papel importante na apresentação e desenvolvimento dos modelos. Já os livros referentes à logística acrescentaram todo o conhecimento de estoques, além do detalhamento de cada custo a ser coletado.

A coleta e o tratamento dos dados foram as etapas que demandaram maior tempo e dedicação, devido sua importância para o sucesso da aplicação e dificuldade de adequação às variáveis utilizadas nos modelos.

No desenvolvimento das aplicações dos modelos de lote econômico de compra, percebeu-se que a escolha do modelo mais adequado às características da empresa e de seus fornecedores, é um fator crucial para que o modelo represente a realidade.

As aplicações dos modelos tiveram resultados apresentam lotes econômicos que reduzem os custos com estoques. As aplicações do PVC e do cobre, conseguiram oferecer uma redução total de \$ 25.149,21 por mês, que representa 1,06% dos custos de estoques atuais da empresa K.

Os resultados obtidos confirmam a importância do estudo aplicado à prática das empresas. Visto que um modelo de simples implantação atinge uma redução de custos considerável.

### 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Nesta seção alguns temas são sugeridos para trabalhos futuros.

- Realizar a modelagem de programação não linear que permita o “mix” de produtos com diferentes características, mas que atendam a mesma demanda;

- Aplicar e implementar o modelo EOQ probabilístico, considerando expansão da capacidade de produção;
- Avaliar o desempenho e resultados dos modelos EOQ.

## REFERÊNCIAS

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos:** planejamento, organização e logística empresarial. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

BOWERSOX, D. J. et al. **Gestão logística da cadeia de suprimentos.** 4. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS D. J. **Logística empresarial:** o processo de integração da cadeia de suprimento. São Paulo: Atlas, 2011.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Gestão da cadeia de suprimentos:** estratégia, planejamento e operações. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

COLIN, E. C. **Pesquisa operacional:** 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

CORRÊA, H. L; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e de operações: manufatura e serviços:** uma abordagem estratégica. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

DIAS, M. A. P. **Administração de materiais:** uma abordagem logística. São Paulo: Atlas, 2015.

DOMINGÃO RECICLÁVEIS. Disponível em:  
<<http://domingaoreciclaveis.com.br/app/produtos.html>>. Acesso em 10/11/2017.

GRUEN, T. W; CORSTEN, D. S; BHARADWAJ, S. **Retail Stockouts:** A Worldwide Examination of Extent, Causes and Consumer Responses. In: THE FOOD MARKETING INSTITUTE AND CIES - THE FOOD BUSINESS FÓRUM, 2002.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional.**9. ed. Porto Alegre: Amgh, 2013.

MOREIRA, D. A. **Pesquisa operacional: Curso introdutório**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

RECEITA FEDERAL. Disponível em: <<http://idg.receita.fazenda.gov.br/>>. Acesso em: 12/11/2017.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2001.

SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY, P.; SIMCHI-LEVI, E. **Cadeia de suprimentos: projeto e gestão**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

SLACK, N.; STUART, C.; JOHNSON, R. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 2009.

SUCATAS CURITIBA. Disponível em: <<http://sucatascuritiba.com.br/>>. Acesso em: 10/11/2017.

TAHA, H. A. **Pesquisa operacional**. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.