

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

RENATA AMARAL FONSECA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ANÁLISE DE ESTOQUE DE UMA EMPRESA ATUANTE NO COMÉRCIO DE  
MADEIRA PARA CONSTRUÇÃO CIVIL**

JUIZ DE FORA

2016

RENATA AMARAL FONSECA

**ANÁLISE DE ESTOQUE DE UMA EMPRESA ATUANTE NO COMÉRCIO DE  
MADEIRA PARA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: D.Sc., Roberto Malheiros Moreira Filho

JUIZ DE FORA

2016

Fonseca, Renata Amaral.

Análise de estoque de uma empresa atuante no comércio de madeira para construção civil / Renata Amaral Fonseca. -- 2016.  
65 f. : il.

Orientador: Roberto Malheiros Moreira Filho

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2016.

1. Análise de estoque. 2. Lote de ressuprimento. 3. Agregação de estoque. I. Moreira Filho, Roberto Malheiros, orient. II. Título.

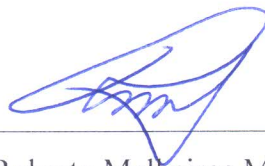
RENATA AMARAL FONSECA

**ANÁLISE DE ESTOQUE DE UMA EMPRESA ATUANTE NO COMÉRCIO DE  
MADEIRA PARA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Aprovada em 26 de Julho de 2016.

BANCA EXAMINADORA



---

D.Sc., Roberto Malheiros Moreira Filho  
Universidade Federal de Juiz de Fora



---

D. Sc., Eduardo Breviglieri Pereira de Castro  
Universidade Federal de Juiz de Fora



---

M. Sc., Marcio de Oliveira  
Universidade Federal de Juiz de Fora

## **AGRADECIMENTOS**

*Agradeço, primeiramente, a Deus, pelo dom da vida e por me proporcionar a chance de conquistar este grande sonho.*

*Obrigada, minha família, pelo amor incondicional, por ser a minha amada família. Obrigada aos presentes e àqueles que se encontram junto a Deus. Pelo que sou, devo-lhes muito!*

*Agradeço aos meus grandes amigos, pela torcida e apoio durante minha caminhada.*

*Aos meus mestres, muito obrigada! Pelo ensino de excelência, pela paciência, por me formarem uma Engenheira de Produção.*

*Obrigada, professor Roberto Malheiros, pela sua atenção e carinho, por ter sido meu guia durante este trabalho.*

*Obrigada, Empresa X, pela disposição e colaboração para o desenvolvimento deste trabalho.*

## RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido em uma empresa de pequeno porte, a qual beneficia e comercializa madeira, utilizada principalmente na construção civil para a composição de telhados. O principal objetivo consiste em propor melhorias relacionadas a estoques, de modo a melhorar o processo de gestão de estoques da empresa e melhor auxiliá-la em suas tomadas de decisões. A pesquisa caracteriza-se como aplicada, exploratória, descritiva e predominantemente quantitativa, onde dados foram coletados, transformados e analisados a fim de gerar resultados quantitativos e objetivos. Realiza-se uma revisão bibliográfica acerca das principais abordagens que planam sobre análises e gestão de estoques, bem como a coleta de dados históricos, organização e tratamento destes dados. Por fim, realiza-se a interpretação e análise crítica dos resultados considerando o contexto da empresa. A base de dados de demanda compreende o histórico de vendas mensais, em metros cúbicos, de Janeiro de 2012 a Dezembro de 2015, somando uma amostra de 48 elementos. Os dados detalhados de venda contam com uma amostra de 3440 peças e os dados de recebimento de material, com uma amostra de 4830 peças. Utiliza-se a estatística descritiva e modelo de séries temporais para verificar o comportamento da demanda pelo produto e o relacionamento entre a matriz e as suas duas filiais. A partir de então é verificada a magnitude da vantagem na agregação de estoque e analisa-se a aplicabilidade do modelo do Lote Econômico de Compra, seguindo com determinação do tamanho do lote de ressuprimento. Ao final, realiza-se o detalhamento da demanda pelo produto, desagregando-o em função de suas dimensões de comprimento e largura. Deseja-se comprovar a superioridade dos métodos objetivos de análise de estoques em relação aos métodos puramente subjetivos e intuitivos.

Palavras-chave: Análise de Estoque, Lote de Ressuprimento, Agregação de Estoque.

## **ABSTRACT**

This study was developed in conjunction with a small enterprise, which cuts and sells wood used primarily in civil construction for the assembly of roofs. The principal objective consists of applying methods, concepts and stock-related tools in a manner to improve the company's stock management process and to better assist it in its decision making. The applied research is exploratory, descriptive, and predominantly quantitative where data was collected, transformed and analyzed to generate quantitative and objective results. A bibliographical review was conducted on the principal approaches concerning analysis and stock management, in addition to historical data collecting and its treatment. Finally the interpretation and critical analyzes of results was performed considering the company real context. The demand database involves the monthly sales history, considering the cubic meter as unit measure, from January to December of 2015, composing a sample of 48 elements. The detailed sales data comprises a sample of 3440 elements, and the receiving data of goods, a sample of 4830 elements. The descriptive statistics and time series model was used to verify the demand's behavior and the relationship between the stores as well. Then, the existence of benefit in stock aggregation is tested just as well the applicability of Economic Order Quantity (EOQ), other than deciding on batch size. The analysis of the detailed data of goods is realized, decomposing the piece in its dimensions of length and width. The hypotheses subjected to proof are concerned with the possible superiority of objective methods of stock analysis in relation to purely subjective and intuitive methods.

**Keywords:** Stock Analysis, Batch Supply, Stock Aggregation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de padrões comuns de demanda de produtos.....	23
Figura 2 – Quantidade do Lote Econômico de Compra (LEC).....	27
Figura 3 – Histograma da demanda total mensal.....	39
Figura 4 – Comportamento da demanda por madeira da Empresa .....	45
Figura 5 – Gráfico “Dente de Serra” .....	51
Figura 6 – Perfil do comprimento das peças demandadas e recebidas.....	53
Figura 7 – Perfil da largura das peças demandadas e recebidas.....	55



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Matriz de correlação da demanda.....	37
Tabela 2 – Estatística Descritiva – Demanda mensal da Filial 1.....	40
Tabela 3 – Estatística Descritiva – Demanda mensal da Filial 2.....	40
Tabela 4 – Estatística Descritiva – Demanda mensal da Matriz.....	40
Tabela 5 – Estatística Descritiva – Demanda mensal total.....	41
Tabela 6 – Matriz de covariância da demanda.....	43
Tabela 7 – Perfil das peças mais demandadas (C = Comprimento; L = Largura; A = Altura).....	56

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

DRP	<i>Distribution Requirement Planning</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Systems</i>
ES	Estoque de Segurança
FECR	Falta Esperada por Ciclo de Reposição
LEC	Lote Econômico de Compra
NMP	Nível Máximo de Pedido
NSC	Nível de Serviço de Ciclo
IDP	Índice de Disponibilidade de Produto
PR	Ponto de Reposição
SGP	Sistema de Gerenciamento de Pedidos
SGA	Sistema de Gerenciamento de Armazéns
SGT	Sistema de Gerenciamento de Transportes
TI	Tecnologia da Informação
WMS	Warehouse Management System

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....</b>	<b>11</b>
1.1	INTRODUÇÃO .....	11
1.2	JUSTIFICATIVA.....	12
1.3	ESCOPO DO TRABALHO .....	13
1.4	ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS .....	15
1.5	DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA .....	15
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>18</b>
2.1	ASPECTOS GERAIS SOBRE ESTOQUE .....	18
2.1.1	Por que manter estoque?.....	18
2.1.2	Tipos de Estoques.....	19
2.2	COMPORTAMENTO DA DEMANDA .....	21
2.3	DISPONIBILIDADE DE PRODUTO AO CLIENTE.....	23
2.3.1	A ruptura de estoque.....	23
2.3.2	Determinando o nível de serviço ao cliente .....	24
2.4	TAMANHO DO LOTE DE RESSUPRIMENTO .....	26
2.4.1	Lote Econômico de Compra.....	26
2.4.2	Motivações para o afastamento do LEC.....	29
2.5	DECISÕES TEMPORAIS ENVOLVENDO ESTOQUE E INCERTEZAS .....	30
2.5.1	Políticas de revisão de estoque .....	30
2.5.2	Estoque de Segurança.....	32
2.6	PROBLEMA DA AGREGAÇÃO DE ESTOQUE.....	33
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>35</b>
3.1	A EMPRESA E O PRODUTO .....	35
3.2	CENTRALIZAÇÃO DE ESTOQUE.....	36
3.3	TAMANHO DO LOTE DE RESSUPRIMENTO .....	45
<b>3.3.1</b>	<b>Padrão da demanda .....</b>	<b>45</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Cálculo do LEC e determinação do tamanho do lote de ressuprimento .....</b>	<b>46</b>

3.3.3	Razões para o afastamento do LEC.....	51
3.4	ANÁLISE DETALHADA DA DEMANDA .....	53
<b>4</b>	<b>RESULTADOS SUMARIZADOS E SUGESTÕES DE MELHORIA .....</b>	<b>58</b>
4.1	RELATÓRIO SINTÉTICO.....	58
4.2	SUGESTÕES DE MELHORIA.....	60
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>62</b>
<b>6</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>63</b>
	<b>ANEXO A – TERMO DE AUTENTICIDADE .....</b>	<b>65</b>

# 1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

## 1.1 INTRODUÇÃO

Diante do cenário de um mercado cada vez mais agressivo e exigente, as empresas devem repensar seus processos e negócios e redesenhá-los em modelos que agregam vantagem competitiva, buscando continuamente aperfeiçoar seu desempenho financeiro e operacional (PORTER, 1989).

Na cadeia de suprimentos, é necessário que todos os agentes estejam coordenados e cooperando para a busca de um objetivo comum: a geração de valor. Chopra e Meindl (2011) tratam da geração de valor como sendo a diferença entre o que o produto vale para o cliente final e os custos associados a ele, incorridos dentro da cadeia. A criação de valor para Ballou (2006) envolve as premissas de tempo e lugar, existindo ele somente se o produto estiver disponível no momento e local em que o cliente deseja consumi-lo.

A logística atua na capacidade de se oferecer produtos no local, na quantidade e no momento em que são necessários, com o menor custo possível (BALLOU, 2006). Neste sentido, a Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO) entende a logística como uma grande área de atuação deste engenheiro. Este profissional deve ser capaz de propor soluções e gerenciar as questões relacionadas ao transporte, à movimentação, ao estoque e ao armazenamento de materiais, considerando estratégias de aumentar o nível de serviço ao cliente, atender suas exigências e reduzir custos. E mais além, é importante que a logística seja vista como uma área estratégica, promotora de vantagem competitiva, capaz de oferecer aos clientes o melhor serviço possível (BOWERSOX; CLOSS, 2008).

Dentro da logística, o dimensionamento e administração dos estoques de uma empresa é uma tarefa que extrapola os limites operacionais, podendo impactar a satisfação dos seus clientes e sua sobrevivência no mercado. O estoque é importante quanto se figura como meio de promover a disponibilidade necessária de produtos frente à impossibilidade de produção instantânea e de garantia de prazos de entrega aos clientes (BALLOU, 2006). Conforme Bowersox e Closs (2008, p. 20) “a logística agrega valor quando o estoque é corretamente posicionado para facilitar as vendas”.

Porém, esta gestão pode se tornar tanto mais difícil quanto maior for a variabilidade da demanda pelo produto, principalmente quando a empresa utiliza a estratégia de atendimento empurrado. Neste sentido, a previsão de demanda se coloca como importante instrumento para auxiliar a tomada de decisão, fornecendo informações que permitam a maior

responsividade da empresa. As empresas, ao administrarem a oferta de produtos em um cenário de variabilidade previsível, podem lançar mão de estratégias centradas em capacidade e em estoque (CHOPRA; MEINDL, 2011).

Um recurso essencial para impulsionar os objetivos de desempenho e alavancar a vantagem competitiva de uma organização é a informação, vista atualmente como um elemento estratégico. A consistência, a precisão e a velocidade da informação são requisitos essenciais para o gerenciamento logístico, sendo ela capaz de promover redução em estoque, redução na utilização de recursos humanos e das incertezas de demanda (BOWERSOX; CLOSS, 2008). Para que a informação seja útil ela precisa apresentar características de exatidão, acessibilidade de maneira oportuna, precisa ser correta e compartilhada (CHOPRA; MEINDL, 2011).

Este trabalho está centrado nos aspectos logísticos de estoque de uma empresa de pequeno porte, a qual beneficia e comercializa madeira, utilizada na construção civil, principalmente para a construção de telhados. O estudo possui uma abordagem principalmente quantitativa, mirando a aplicação de métodos presentes na literatura para perseguir resultados objetivos. Espera-se, ao final, contribuir para uma gestão eficiente pautada, não somente no bom senso do gestor, mas também em modelos e tecnologias tecnicamente adequados e com suporte matemático/estatístico.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A falta de matéria prima pode causar tanto a parada como reprogramações do processo produtivo, podendo afetar negativamente o desempenho em custo e confiabilidade da empresa. Da mesma forma, a falta de produto final pode levar à insatisfação de clientes, perda de vendas e, conseqüentemente, à redução de receita (BOWERSOX; CLOSS, 2008). Por outro lado, segundo estes autores, a manutenção de altos estoques implica, entre outros, em altos custos e em imobilização de capital de giro por um maior período de tempo. Assim, é preciso obter o melhor equilíbrio, balancear oferta e demanda, benefícios e custos de se manter estoque.

Este estudo ganha mais relevância por ser realizado em uma empresa de pequeno porte, atuando em um contexto em que as Micro e Pequenas Empresas (MPE) vêm ganhando, com o tempo, grande destaque no cenário econômico do Brasil. Segundo um estudo elaborado pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE), em 2014 essas empresas somavam um quantitativo de cerca de nove milhões de unidades instaladas no país.

Em 2011, os pequenos negócios participaram com 27% do Produto Interno Bruto (PIB) (SEBRAE, 2014). Há então a necessidade de trabalhar a qualificação dessas empresas, levando a elas, entre outros, informação, tecnologia e mão de obra qualificada.

No contexto acadêmico, para o autor, este estudo figura-se como um meio de aperfeiçoamento e desenvolvimento de técnicas e habilidades que são demandadas do Engenheiro de Produção. Realizar uma gestão profissional de estoques não se limita apenas ao conhecimento pontual da temática - é necessária uma visão holística e crítica, considerando outros fatores e áreas do conhecimento que são determinantes, direta e indiretamente, para um bom desempenho em estoques.

Segundo a ABEPRO (1998, p. 3) são consideradas competências inerentes ao profissional Engenheiro de Produção “ser capaz de dimensionar e integrar recursos físicos, humanos e financeiros a fim de produzir, com eficiência e ao menor custo, considerando a possibilidade de melhorias contínuas” e ainda “ser capaz de utilizar ferramental matemático e estatístico para modelar sistemas de produção e auxiliar na tomada de decisões”. Estas habilidades podem ser repensadas e traduzidas para processos que envolvam, além da produção em si, a operação de estoques para garantir o atendimento da demanda por produtos.

### 1.3 ESCOPO DO TRABALHO

Este estudo lança-se para os conteúdos da área da logística, a qual é apontada pela ABEPRO (2015), em seu *site* institucional, como uma das subáreas do conhecimento em Engenharia de Produção. Para a Associação, esta subárea é responsável pelas decisões e estudos referentes a: gestão da cadeia de suprimentos; gestão de estoques; projeto e análise de sistemas logísticos; logística empresarial; transporte e distribuição física; e, por fim, logística reversa.

Serão abordados os temas relacionados a gestão da cadeia de suprimentos, logística empresarial e, principalmente, gestão de estoques. Para dar suporte e enriquecer as análises, tomar-se-ão as ferramentas da estatística descritiva para, entre outras aplicações, compreender o comportamento da demanda pelo produto e entender o relacionamento, ou independência, entre a matriz e suas filiais.

O presente trabalho possui interesse em utilizar conceitos, métodos e análises relacionados à gestão profissional de estoques a fim de buscar soluções que impactem de maneira favorável o desempenho financeiro e operacional de uma empresa. Ele foi realizado considerando uma empresa de pequeno porte que aqui será denominada “Empresa X”. O

produto analisado é a madeira, demandada, principalmente, para atender necessidades da indústria civil na construção de telhados. A madeira comercializada pela empresa é legalizada, porém não se aprofundará aqui em questões conceituais e legais que permeiam este tipo de produto.

Os dados históricos das vendas mensais de madeira foram fornecidos pela própria empresa. Estes dados compreendem o intervalo de tempo entre janeiro de 2012 e dezembro de 2015, compondo assim uma amostra de 48 elementos.

O produto é vendido em peças, cujas dimensões (comprimento, largura e espessura) são determinadas pelos clientes. Ao receber um pedido, verifica-se no estoque se há o material nas dimensões solicitadas. Em caso negativo, é feita a serragem de peças que possuem dimensões superiores às solicitadas. Desta forma, foram considerados também, para fins de análise, os dados detalhados das peças vendidas, de modo a se verificar o comportamento da demanda em relação aos tamanhos das peças.

Para fins de contorno, foram consideradas algumas condições, premissas e limitações:

- (1) As informações de demanda foram obtidas através dos dados de venda do produto, uma vez que a empresa não guarda dados de vendas perdidas. A importância de obter estes dados será abordada na seção de sugestões de melhoria.
- (2) A demanda é contabilizada no ato do pedido pelo cliente, independentemente se a entrega é agendada para datas posteriores.
- (3) O custo do pedido, pela empresa ao fornecedor, é fixo, independentemente da quantidade solicitada e de variáveis macroeconômicas que impactam o transporte. Este custo fixo é limitado a uma determinada quantidade de madeira, caracterizada pela capacidade de transporte de uma carreta.
- (4) O custo de armazenagem é proporcional à quantidade de madeira estocada, em metro cúbico.
- (5) O valor unitário do metro cúbico de madeira não está sujeito a descontos por quantidade. Ou seja, não há ganho de escala nos pedidos colocados ao fornecedor.
- (6) Os custos necessários às análises foram estimados e/ou calculados através de dados coletados junto à empresa.
- (7) Os dados históricos fornecidos pela Empresa X são decorrentes de anotações feitas de maneira empírica, sem a utilização da Tecnologia da Informação (TI). Assim, podem haver variações para maior ou para menor nesses dados. Porém, considera-se que os erros possuam uma média igual a zero.



(8) Não se teve acesso aos dados de faturamento da empresa.

#### 1.4 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho consiste em propor melhorias relacionadas à gestão de estoques, de modo a melhorar o processo de gestão de estoques da Empresa X e melhor auxiliá-la em suas tomadas de decisões.

Pretende-se realizar a análise de estoque da Empresa X, aplicando os conhecimentos adquiridos durante a graduação e, especificamente:

- Utilizar a estatística descritiva e dados históricos para verificar o comportamento da demanda pelo produto;
- Utilizar a estatística descritiva e dados históricos para verificar o relacionamento entre a matriz e as suas filiais – o quão independentes ou correlacionadas elas são;
- Utilizar abordagens quantitativas e qualitativas relacionadas a gestão de estoques a fim de propor soluções nesse sentido.

De modo secundário, pretende-se demonstrar que o correto uso das informações pode ser determinante para melhorar o desempenho da Empresa X. Essas informações podem ser obtidas através do registro contínuo e fidedigno de dados, importante para uma gestão eficiente e profissional. Busca-se também despertar e orientar a Empresa X para a necessidade de se exercer profissionalmente e com mais objetividade as decisões de estoque. Não se desconsidera a importância da intuição e da visão crítica e subjetiva, porém elas devem estar associadas a métodos objetivos de análise.

#### 1.5 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA

A metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção é abordada por Miguel (2010) sendo ela caracterizada de acordo com as características inerentes a sua natureza, objetivos, abordagem e métodos de utilização.

Esta pesquisa é predominantemente quantitativa, considerando fatos e dados reais que foram coletados, transformados e analisados a fim de gerar resultados quantitativos e objetivos. Foram utilizados cálculos matemáticos para buscar relações entre variáveis e parâmetros e para propor soluções baseadas em números, considerando as metodologias existentes na literatura. Porém, apesar de predominante, esta abordagem é complementada

pela qualitativa de forma a ampliar o raio de investigação e agregar valor ao estudo. Sua natureza é aplicada, objetivando propor soluções práticas que possam ser aplicadas na Empresa X. Além do mais, é pautada em objetivos exploratórios e descritivos, visando se adentrar e aprofundar nos conhecimentos sobre o problema e realizar o levantamento de dados que servirão de *inputs* para o estudo.

A marcha para o desenvolvimento deste estudo seguiu os seguintes passos: revisão bibliográfica acerca das principais abordagens que planam sobre o conhecimento de análises e gestão de estoques; coleta de dados históricos que serviram de recursos de entrada para as análises, de acordo com as metodologias selecionadas na literatura – estes dados foram coletados concomitantemente à etapa anterior; organização e tratamento destes dados para gerar informações e resultados; interpretação e análise crítica dos resultados considerando o contexto da empresa.

A revisão bibliográfica foi pautada na literatura existente, principalmente em livros, artigos, publicações em anais de congressos e encontros, publicados no Brasil e no exterior. O objetivo foi criar um acervo de obras, afins ao tema deste estudo, de modo a constituir uma base teórica para apoiar as análises quantitativas. Buscou-se, em estudos de caso, obras consagradas academicamente e naquelas que trazem consigo novas propostas, por assuntos que cercam a análise de estoques. Foram realizadas pesquisas sobre a importância e tipos de estoques, suas consequências e os cuidados que demandam, dando grande ênfase ao estoque de segurança. Além disso, procurou-se por temas relacionados a dimensionamento do lote de ressuprimento, lote econômico de compra, políticas de revisão de estoque e abordagens sobre agregação de estoque. Sobre demanda, mirou-se por publicações que abordam a influência do comportamento da demanda nas decisões de estoque, bem como a importância de análise do grau de atendimento da demanda desejável.

Os dados quantitativos foram coletados junto à Empresa X. Esta mantinha em anotações o histórico de vendas mensais e de recebimentos do fornecedor. Para fins desse estudo, foi solicitada a obtenção de dados estratificados de venda – com informações das dimensões das peças vendidas. O histórico de vendas mensais soma uma amostra de 48 elementos, de janeiro de 2012 a dezembro de 2015. Já os dados detalhados de venda, somam 3440 peças de madeira. Em relação aos dados de recebimento de material, somam-se três lotes, totalizando 4830 peças de madeira.

Para o tratamento dos dados quantitativos foram consultadas obras consolidadas e qualificadas, relacionadas a gestão de estoques e assuntos afins, de modo a dar subsídios aos cálculos realizados. Realizou-se a análise do comportamento da demanda, buscando pelos

dados de correlação e covariância das demandas, bem como por informação de existência de irregularidade e sazonalidade, e verificação estatística da melhor distribuição que se adequa aos dados. Para essa etapa foram utilizados os softwares Arena® e Forecast Pro. A Análise quantitativa partiu então para o cálculo dos estoques de segurança desagregados e agregado, de modo que, posteriormente, fosse possível verificar o grau da vantagem da agregação de estoque de segurança. Foi calculado o lote econômico de compra, o qual, após análises críticas e verificações objetivas, não se mostrou um modelo adequado para este caso. Decidiu-se então pela melhor dimensão do lote de ressuprimento. Por fim, a análise quantitativa passou para uma verificação mais detalhada da demanda pelas peças de madeira, perseguindo a melhor compreensão do perfil das peças que são demandadas pelos clientes e que são recebidas do fornecedor

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Primeiramente, no capítulo 1, são apresentadas as questões principais consideradas neste estudo. Compõe-se pela introdução aos assuntos inerentes à pesquisa, pelas justificativas (de cunho técnico e de relevância para o autor) para seu desenvolvimento e pelas condições de contorno. Segue-se com a identificação dos objetivos da pesquisa e a apresentação da metodologia utilizada pelo autor.

O capítulo 2 apresenta um resumo qualificado e contextualizado de obras presentes na literatura brasileira e internacional que discorrem sobre a temática deste trabalho. Serão apresentados conceitos e interpretações que irão auxiliar e direcionar o autor em suas análises, constituindo-se em uma carga teórica que servirá de base para a melhor compreensão do conteúdo do estudo.

O capítulo 3 apresenta os métodos bem como os cálculos matemáticos relacionados a estoque que foram utilizados na análise da Empresa X. Após dar tratamento aos dados, são expostos os principais resultados obtidos, bem como as análises relacionadas a eles. Apresenta também uma investigação a respeito dos dados detalhados do produto, ou seja, a unidade de tratamento deixa de ser o metro cúbico para se trabalhar as diferenças dimensionais entre as peças demandadas pelos clientes.

O capítulo 4 traz os resultados sumarizados e sugestões de melhoria, de modo que se possa dar um direcionamento para a conquista de melhores resultados financeiros e operacionais. E, por fim, o capítulo 5 apresenta as considerações finais do autor acerca do trabalho desenvolvido.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentadas as abordagens qualitativas presentes na literatura, relacionados à gestão de estoque, que darão suporte às principais questões que deverão ser analisadas neste estudo junto à Empresa X. As formulações matemáticas e aspectos quantitativos relacionados ao tema serão abordados no desenvolvimento da pesquisa, de acordo com a evolução das análises. Primeiramente na seção 2.1 são apresentados aspectos gerais sobre estoques, enfatizando os benefícios e as desvantagens de sua manutenção, de modo que eles possam ser ponderados para melhor suportar a estratégia de atendimento à demanda pela empresa. Logo em seguida é apresentada uma discussão sobre os principais tipos de estoque e as funções que desempenham. A seção 2.2 traz informações sobre quais comportamentos a demanda pode apresentar em relação a um produto, análise importante para que se possa conhecer a demanda e então melhor planejar seu atendimento. Já nas seções 2.3 são trabalhados os principais conceitos relacionados ao grau de disponibilidade do produto, passando pelo problema da ruptura de estoque e da definição do nível de serviço que a empresa adotará para basear as próximas etapas. As decisões relacionadas ao tamanho do lote de ressuprimento e ao momento de emissão de um pedido são abordadas nas seções 2.4 e 2.5, passando pelo conceito de Lote Econômico de Compra (LEC), políticas de revisão de estoque e Estoque de Segurança (ES). Por fim, a seção 2.6 traz dados a respeito da estratégia de agregação de estoque considerando a existência de mais de uma unidade da empresa que objetivam o atendimento a demanda de clientes e, posteriormente, introduzem-se os conceitos sobre o problema de corte de estoque.

### 2.1 ASPECTOS GERAIS SOBRE ESTOQUE

#### 2.1.1 Por que manter estoque?

A importância de se manter estoque se dá pelos benefícios que ele pode proporcionar à empresa como (1) flexibilidade, (2) economia por escala, (3) habilidade de responder rapidamente a demandas. Além disso, seu bom planejamento garante confiabilidade, oferecendo uma proteção contra a falta de materiais (SLACK et al., 2009). O estoque pode dar suporte à estratégia competitiva de uma empresa, onde as decisões relacionadas a ele podem ter grande impacto na responsividade, na eficiência e redução de custos (CHOPRA;

MEINDL, 2011). Reforçando assim as informações supracitadas, as decisões que envolvem estoque, segundo Bowersox e Closs (2008, p. 223) “[...] são de alto risco e de alto impacto”.

Ballou (2006) também aponta outros benefícios que podem ser obtidos com a manutenção de estoques: (1) possibilidade de melhorar o serviço ao cliente, atendendo prontamente a demanda através do alto nível de disponibilidade de produto; (2) redução de custos, quando a economias geradas por eles superam a elevação de outros custos como o de manutenção; (3) operações produtivas mais estáveis e prolongadas; (4) economias nos custos do pedido e no custo do material por meio de descontos por quantidade; e (5) proteção contra eventos inesperados como greves trabalhistas e desastres naturais. No caso do produto alvo desse estudo, seu fornecimento pode ser paralisado em épocas de grandes chuvas que alagam as florestas destinadas à produção de madeira. Assim, considerar a incerteza da oferta é de grande valia para determinar os níveis de estoque.

Porém, existem algumas desvantagens que podem inviabilizar ou tornar a utilização de estoques menos atraentes. Estoques demandam imobilização de capital de giro, incorrem em riscos de deterioração e obsolescência (CHOPRA; MEINDL, 2011; SLACK et al., 2009), utilizam capital e espaço que poderia ser utilizado em atividades que agregam valor, produtividade e competitividade à empresa (BALLOU, 2006; SLACK et al., 2009), podem gerar aumentos significativos de custos e seguro (BOWERSOX; CLOSS, 2008; SLACK et al., 2009;). Além disso, segundo Ballou (2006), podem camuflar a existência de problemas de qualidade e pode ser um fator que atrapalha a coordenação da cadeia, isolando alguns elos.

Conforme apresentado por Slack et al. (2009, p.356)

Esse é o dilema do gerenciamento de estoque: apesar dos custos e de outras desvantagens associadas a sua manutenção, eles facilitam a conciliação entre fornecimento e demanda. Eles somente existem porque o fornecimento e a demanda não estão em harmonia um com o outro.

Compreender e fazer uma boa avaliação sobre os *trade off* existentes no gerenciamento de estoque, considerando a natureza de operações da empresa, é o passo inicial para dar início a uma gestão mais profissional. Na próxima subseção serão apresentados alguns tipos de estoques presentes na literatura.

### **2.1.2 Tipos de Estoques**

Antes de classificar os tipos de estoque, serão apresentadas algumas funções principais desempenhadas por ele. Segundo Bowersox e Closs (2008), de modo a dar mais

subsídios para as posteriores classificações, o estoque: (1) permite a especialização geográfica, onde diferentes instalações podem se estabelecer em diferentes localizações de acordo com sua necessidade por fatores de produção; (2) permite a acumulação de produtos não acabados entre operações de um processo produtivo; (3) acerta o compasso entre demanda e oferta, garantindo a disponibilidade de produtos aos clientes; e (4) amortece as incertezas da demanda e da oferta de um produto através do estoque de segurança.

### ***Estoque Cíclico***

É o estoque necessário para atender a demanda média no período entre ressuprimentos (BALLOU, 2006). Em operações, ele existe para que não haja falta de produtos uma vez que diferentes estágios de uma operação não conseguem fornecer o que produzem simultaneamente (SLACK et al., 2009). Os estoques cíclicos existem, também, porque é possível que se tire proveito de economias de escala, sendo mais vantajosa então a utilização de lotes maiores de ressuprimento (GARCIA et al., 2006).

Quanto maior o estoque cíclico, maior será o tempo que um produto pode ficar armazenado (menor será o giro do estoque), e maior o risco de a empresa ser afetada por mudanças no mercado. Uma forma de se conseguir a redução de estoques cíclicos, considerando que uma empresa trabalha com diferentes produtos, é a agregação de pedidos e entregas entre as famílias desses itens (CHOPRA; MEINDL, 2011).

### ***Estoque em trânsito***

Segundo Ballou (2006), é o produto que está em trânsito entre os elos do canal de suprimentos ou entre operações nas atividades produtivas. No primeiro caso, ele somente é contabilizado caso a propriedade dos produtos sejam transferidas na origem da viagem (BOWERSOX; CLOSS, 2008).

### ***Estoque de Segurança***

Também chamado de estoque isolador, ele tem o objetivo de responder às incertezas relativas à oferta e à demanda, bem como compensar a falta de confiabilidade que fornecedores e transportadores venham a apresentar (SLACK et al., 2009). É utilizado no fim do ciclo de ressuprimento (BOWERSOX; CLOSS, 2008) e seu cálculo deve utilizar procedimentos estatísticos que consideram a aleatoriedade das variáveis incertas; uma previsão precisa pode minimizar a necessidade desse tipo de estoque (BALLOU, 2006).

### ***Estoque de Antecipação***

Pode ser utilizado quando existe uma sazonalidade relativamente previsível na demanda de um produto e/ou quando há variações significativas de fornecimento. Assim estoca-se antecipadamente à demanda, de modo a compensar seu descompasso com o suprimento (SLACK et al., 2009). É chamado também de estoque de coordenação (GARCIA et al., 2006).

### ***Estoque de Desacoplamento***

Ocorre quando um lote de material deve esperar em uma fila para ser processado, podendo ser encontrado em processos produtivos que utilizam o arranjo físico por processo. Ele permite que cada operação possa trabalhar no melhor tempo possível, no tempo de ciclo. Este tipo de estoque possibilita que a programação e a velocidade de um estágio sejam independentes em relação aos estágios anteriores (SLACK et al., 2009).

### ***Outros tipos de estoque***

Slack et al. (2009) ainda citam em sua obra o estoque no canal de distribuição, definido como aquele que existe por não ser possível o transporte imediato de produto entre o ponto de fornecimento e a demanda. Ballou (2006) também apresenta outras duas classificações: o estoque obsoleto como sendo aquele que sofreu obsolescência, deterioração ou perda e o estoque de especulação. O estoque de especulação, conforme apresentado por Garcia et al. (2006), é comum de ser encontrado em economias inflacionárias, onde a compra de produtos é realizada antes do período para o qual se espera preços mais elevados.

## **2.2 COMPORTAMENTO DA DEMANDA**

Tanto o planejamento quanto o controle se tornam mais difíceis quando existe o fator incerteza. A demanda pode ser totalmente imprevisível, mas também pode assumir certa previsibilidade reduzindo os esforços nessas ações. A dificuldade de se planejar e controlar se torna ainda mais difícil quando a incerteza na demanda é combinada à incerteza na habilidade de fornecimento. Há casos em que a demanda de um produto pode ser prevista considerando-se as atividades dos seus consumidores. De outra forma, pode haver um elemento de acaso na demanda que independa de qualquer outro fator (SLACK et al., 2009).

Considera-se a demanda como dependente quando ela permite certa previsibilidade devido à dependência em relação a outros fatores conhecidos (SLACK et al., 2009). Em um

processo produtivo, em algumas situações de necessidade de ressuprimento de um produto, os pedidos podem ser colocados em intervalos irregulares e em quantidades variáveis. Essas variações podem vir da relação desse produto com a produção de outro(s) item(s), aos quais se verifica uma demanda dependente (BOWERSOX; CLOSS, 2008).

A demanda, por outro lado, é considerada independente quando não existe uma previsibilidade antecipada das necessidades dos clientes. Dependendo das decisões tomadas, uma empresa pode ter seus estoques ou elevados ou consumidos totalmente (SLACK et al., 2009). O planejamento e controle de demanda independente são inerentes ao planejamento e controle de estoque e, segundo Slack et al. (2009, p. 288), “ele faz a melhor avaliação da demanda futura, tenta prever os recursos que possam satisfazer a essa demanda e tenta responder rapidamente se a demanda real não corresponder à prevista.”

De acordo com Bowersox e Closs (2008), considerando que não há incerteza de demanda quando esta possui um comportamento dependente, pode não ser necessário, por exemplo, manter estoque de segurança específico para padrões de compra MRP. As hipóteses que sustentam essa colocação são: (1) os fornecedores sempre vão atender às solicitações de compras, as quais são previsíveis e constantes; e (2) pode ser celebrado contrato de fornecimento que assegurem compras eventuais. Porém o fator de incerteza sempre existirá para os ciclos de atividades, existindo então o estoque de segurança na maioria dos casos de demanda dependente.

A demanda pode apresentar também padrões de comportamento ao longo do tempo, e seu conhecimento pode ser também uma informação de grande valor para determinar a melhor política de gerenciamento de estoque.

A Figura 1 apresenta alguns desses padrões, onde a demanda pode ser classificada como: (1) demanda perpétua, tendendo a manter seu comportamento estável ao longo do tempo; (2) demanda sazonal, apresentando picos repetitivos que podem ser previsíveis; (3) demanda irregular, as quais não possuem um comportamento regular, apresentando variações repentinas não tão previsíveis como na demanda sazonal; e (4) demanda terminal, referente a itens cuja demanda se esgota em determinado momento, de forma previsível (BALLOU, 2006).

Para os casos em que seja identificada uma demanda de padrão irregular, para Ballou (2006, p. 275) “a melhor maneira de controlar o estoque de semelhantes itens são os procedimentos intuitivos, ou por uma modificação dos processos matemáticos [...]”. Ainda segundo o autor, para itens de demanda terminal a manutenção de estoques deve se limitar ao



que for realmente necessário, a fim de evitar grandes excessos de produtos acumulados em estoque.

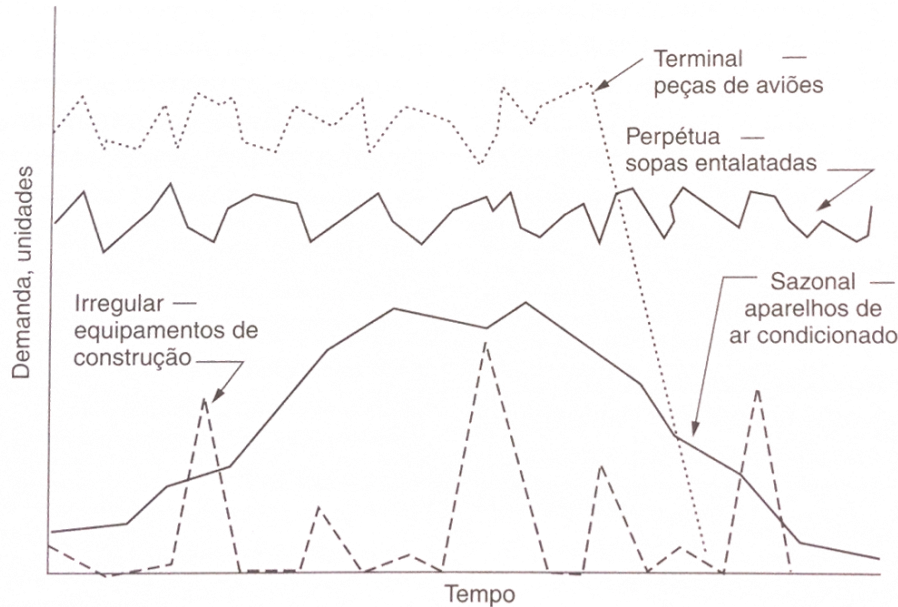


Figura 1 - Exemplo de padrões comuns de demanda de produtos  
Fonte: Ballou (2006, p. 275)

Assim, o conhecimento da demanda com a qual a empresa está trabalhando é um importante parâmetro de entrada para posteriores decisões e planejamento de operações tanto produtivas quanto logísticas. É necessário também conhecer a reação dessa demanda frente a rupturas de estoque e qual o nível de disponibilidade ideal para se trabalhar o gerenciamento de estoque. Esta questão será abordada na próxima seção.

## 2.3 DISPONIBILIDADE DE PRODUTO AO CLIENTE

Nessa seção serão apresentadas as principais questões a respeito da ruptura de estoque e da necessidade de manutenção de níveis aceitáveis de estoque para atender a demanda dos clientes.

### 2.3.1 A ruptura de estoque

A ruptura de estoque ocorre quando uma demanda não é atendida, devido a falta de produto. A importância de se reduzir a ocorrência de rupturas é revelada em níveis de empresa, de concorrência e de cadeia de suprimentos. A falta de produto gera a perda de

vendas, conseqüentemente a perda de receitas caso os clientes não retornem à empresa. Em nível de concorrência, muitas vezes o cliente não está disposto a esperar para obter o que deseja, partindo então para os concorrentes, o que pode afetar o *market share* da empresa no mercado em que atua. Em nível de cadeia, esta terá uma informação distorcida da demanda, prejudicando também as previsões (AGUIAR; SAMPAIO, 2014).

Conforme abordado por Ballou (2006), lidar com estoques em excesso pode muitas vezes ser justificável, porém a falta pode levar a implicações mais sérias e complicadas de serem resolvidas. Permitir que um produto esteja disponível na quantidade e no momento necessário é uma das principais funções da gestão de estoques. Além disso, complementa Bowersox e Closs (2008, p. 242): “uma das principais funções do gerenciamento de estoque é evitar a ocorrência de faltas”.

Acredita-se que, com uma gestão mais profissional e objetiva de estoques, se possam reduzir ou impedir a ocorrência de falta de produtos. Esta hipótese pode ser pautada na pesquisa de Aguiar e Sampaio (2014), que, a partir da análise de diversos autores da literatura, listou algumas causas da ruptura, como: dados imprecisos do histórico de vendas e ausência de procedimentos de reposição.

A abordagem de medição da ruptura não será contemplada nesse estudo, porém seu conhecimento é importante para que a empresa possa fazer uma análise posterior, bem como fazer um levantamento fiel de dados para alcançar as possíveis causas.

### **2.3.2 Determinando o nível de serviço ao cliente**

O nível de serviço ao cliente pode ser considerado uma das medidas de responsividade e deve ser equilibrado com as decisões de estoque, uma vez que o nível de disponibilidade é influenciado pelo custo do estoque excessivo e do custo da falta de estoque do produto (CHOPRA; MEINDL, 2011).

De acordo com Bowersox e Closs (2008, p.229) “o gerenciamento de estoque é um fator importante que deve estar integrado do processo logístico para que os objetivos de serviço sejam alcançados”. Ainda segundo este autor, a determinação do nível de serviço ao cliente a ser considerado nas análises de estoque partem de decisões da alta administração e reflete os objetivos de desempenho que o estoque deve cumprir no sistema logístico.

Chopra e Meindl (2011) apresentam em sua obra algumas maneiras de se medir a disponibilidade de produto:

- Taxa de atendimento do produto: mede o quanto da demanda por um produto é satisfeita pelo estoque, podendo ser também definida como a probabilidade de atendimento dessa demanda pelo estoque.
- Taxa de atendimento do pedido: mede o quanto dos pedidos colocados à empresa é atendido pelo estoque, considerando o atendimento a todos os itens do pedido. Esta taxa tende a ser menor que a taxa de atendimento do produto.
- Nível de Serviço de Ciclo (NSC): mede o percentual dos ciclos de reposição que atendem integralmente a demanda, ou seja, reflete a probabilidade de não haver ruptura de estoque em um ciclo de reposição.

Haverá falta de estoque sempre que a demanda que ocorre no ciclo de reposição é maior que o ponto de reposição. A falta esperada por ciclo de reposição (FECR) será a média de unidade de demanda que, em um ciclo de reposição, não será atendida pelo estoque. As taxas de atendimento e NSC são medidas muito próximas, mantendo uma relação positiva entre eles: aumento de um implica no aumento do outro. Porém, considera-se a primeira de maior importância por evidenciar a taxa de conversão de demanda em vendas (CHOPRA; MEINDL, 2011).

Porém, a ideia de serviço ao cliente extrapola os limites organizacionais em termos de atendimento instantâneo da demanda. O serviço ao cliente é resultado do desempenho de toda a cadeia de suprimentos e sua operação logística (BALLOU, 2006). As atividades pós-compra também pode ser um fator importante para garantir a satisfação real da necessidade da demanda. Como relatado por (WARREN, 1974, p. 3), serviços ao cliente

referem-se especificamente à cadeia de atividades de satisfação de vendas que começa normalmente com a formalização do pedido e culmina na entrega das mercadorias ao cliente, embora em uma variedade de situações possa ter continuidade na forma de serviços de apoio ou manutenção de equipamentos ou qualquer outra modalidade de suporte técnico.

O que se espera é que a empresa trabalhe para manter a disponibilidade de produtos aos seus clientes da melhor maneira possível e de forma constante; trabalhar a variabilidade do nível de serviços deve estar na pauta de análises dos gestores. Esta variabilidade pode ser decorrente, muitas vezes, da incerteza, e o quanto dela se aceitar é uma questão que deve ser discutida e avaliada (BALLOU, 2006).

Conhecendo então o comportamento da demanda por um produto e , então, definindo qual a melhor estratégia de nível de serviços aos seus clientes, a empresa poderá partir para decisões sobre quanto e quando fazer aquisições. As questões sobre tamanho do pedido serão abordadas no tópico seguinte.

## 2.4 TAMANHO DO LOTE DE RESSUPRIMENTO

Para Chopra e Meindl (2011), a melhor escolha em relação ao tamanho do lote é aquela que minimiza o custo total para a empresa e para a toda a cadeia de suprimentos, de forma ideal. Um elo da cadeia, por exemplo, pode decidir por colocar pedidos em grandes lotes quando é possível perceber ganhos de escala, o que pode implicar em redução de custos.

A decisão por aumentar o tamanho do lote pode considerar, além dos custos associados à colocação do pedido (incluindo o transporte), as promoções comerciais do fornecedor e os descontos nos preços por quantidade solicitada. Também é possível conseguir a redução de lotes de produtos individuais, através, por exemplo, da agregação da reposição de vários tipos de produtos em único pedido, rateando melhor os custos fixos do pedido e transporte entre os itens individuais (CHOPRA; MEINDL, 2011).

Para Bowersox e Closs (2008) a determinação do tamanho do lote de ressuprimento ainda deve considerar o equilíbrio entre o custo de manutenção de estoque e os custos do pedido, de maneira a trabalhar melhor a relação custo-benefício existente entre estes custos.

Será discutido daqui para frente, nesta seção, o conceito de Lote Econômico de Compra (LEC), suas premissas, críticas e aplicações. Posteriormente serão abordados os fatores que incentivam a empresa a se afastar do LEC, alterando o tamanho do lote do pedido.

### 2.4.1 Lote Econômico de Compra

A primeira publicação do modelo matemático, que visa determinar a quantidade de produtos a ser pedida de maneira ótima, ocorreu aos redores de 1915 por Ford Whitman Harris (SANTORO; FREIRE, 2008). Este modelo é denominado Lote Econômico de Compra (LEC), o qual estabelece uma função para determinar a o tamanho de um lote, considerando os custos de armazenamento e de realização de pedido, minimizando o custo total para a empresa (CHOPRA; MEINDL, 2011; ROSA et al., 2010; SANTORO; FREIRE, 2008). É considerado um modelo determinístico, pois não considera em seu cálculo a aleatoriedade de variáveis (GARCIA et al. 2006).

Os custos inerentes à decisão do tamanho do lote consideram: (1) o preço médio pago por unidade comprada; (2) o custo fixo do pedido; e (3) o custo de manutenção do estoque (CHOPRA; MEINDL, 2011). O LEC, em seu cálculo, faz uma análise comparativa entre os custos de pedido e custo de manutenção de estoque, indicando a quantidade ótima

que minimiza o custo total (BOWERSOX; CLOSS, 2008), conforme pode ser observado na Figura 2.

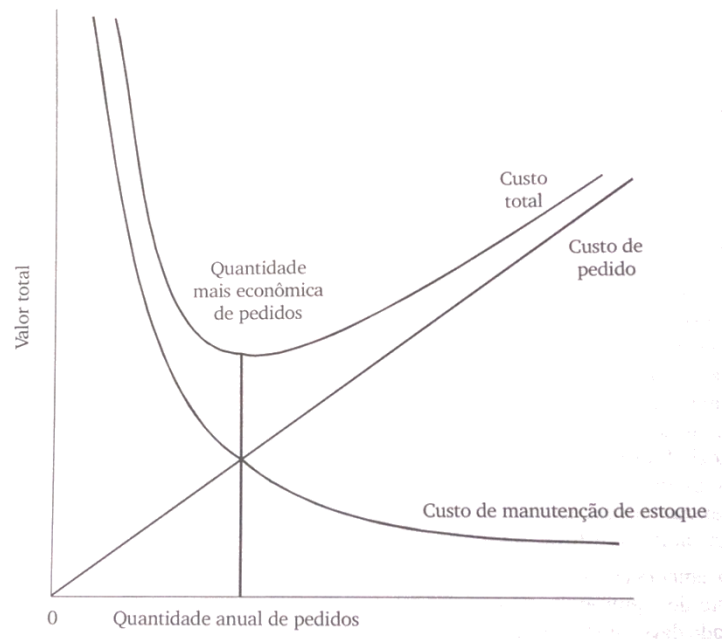


Figura 2 - Quantidade do Lote Econômico de Compra (LEC)  
Fonte: Bowersox e Closs (2008, p. 236)

O custo do pedido pode ser estratificado em custos relacionados ao tempo do comprador, ao transporte, ao recebimento do pedido, entre outros. Em relação ao custo de manutenção de estoque, pode-se citar: o custo relacionado ao capital, à obsolescência do produto, ao manuseio do produto e à ocupação do espaço físico (BALLOU, 2006; BOWERSOX; CLOSS, 2008; CHOPRA; MEINDL, 2011; SLACK et al., 2009), seguro e impostos (BALLOU, 2006; BOWERSOX; CLOSS, 2008).

O custo total de manutenção pode representar até 40% do valor do estoque por ano. Entre os custos que o compõe, o custo de capital é de grande importância e é o que detêm o maior *share* (BALLOU, 2006). Segundo Bowersox e Closs (2008, p.235), considerando que o custo de manutenção tenha grande influência no desempenho econômico da logística, “[...]embora as empresas arbitrem a percentagem de custo de manutenção de estoque a ser adotada, o resultado deve refletir com precisão o componente custo de capital[...]”.

Alguns ajustes no LEC podem ser feitos quando a quantidade ótima por ele determinada não se mostrar a mais conveniente. Uma vez que seu ponto ótimo encontra-se em uma região relativamente horizontal, variando o tamanho do lote para quantidades próximas ao ponto ótimo não irá afetar significativamente o custo total (SLACK et al., 2009).

Algumas premissas são consideradas para o cálculo do LEC (por mais que às vezes pareçam distante da realidade). Além de o fato de o custo de manutenção ser uma função linear da quantidade de material estocado (SLACK et al., 2009), pode-se também citar

- A demanda é determinística, constante e contínua.
- O *lead-time* de ressuprimento é determinístico e constante.
- Faltas de produtos e *backorders* (entregas com atraso) não são permitidas.
- Custos de pedido e de estoque são independentes do tamanho da ordem (não existem por exemplo descontos por quantidade) e não variam no tempo.
- O pedido chega completo em um único instante de tempo.
- Itens diversos são pedidos de forma independente, ou seja, não são consideradas possibilidades de um pedido com vários itens.
- Não existem restrições, como espaço de armazenagem e capacidade de transporte (GARCIA, et al., 2006, p. 22).

De modo complementar, Bowersox e Closs (2008) consideram, entre outros fatores: (1) atendimento de toda demanda; (2) preço constante do produto, independentemente da época e da quantidade do pedido; (3) horizonte de planejamento infinito; (4) inexistência de estoque em trânsito; e (5) disponibilidade ilimitada de capital. Indo além, há também o fato de o modelo não absorver os riscos associados às variáveis consideradas (ROGERS et al., 2004).

Segundo Rosa et al. (2010), alguns autores criticam a utilização do LEC pelo fato de ele objetivar a redução de custo ao invés da redução do nível de estoque. Além disso, os autores apontam a crítica de Wild (2002) pelo fato de este modelo resultar em um nível de estoque em níveis geralmente altos. De maneira complementar, pode-se citar também outras críticas a ele, bem como ao Lote Econômico de Produção (LEP):

- pressupostos embutidos nos modelos LEC são simplistas;
- os custos reais de estoque em operação não são como assumidos nos modelos LEC;
- os modelos são de fato descritivos e não deveriam ser usados como instrumento prescritivo;
- minimização de custo não é um objetivo adequado para gestão de estoque (SLACK et al. 2009, p. 368).

Em relação ao pressuposto de demanda constante ou demanda aproximada por distribuições estatísticas, ele não é verdadeiro para todos os tipos de produtos; muitos deles podem apresentar uma demanda errática, por exemplo, sendo inadequado utilizar o LEC. Indo além, o LEC, considerando que os custos do modelo são fixos, incentiva os gestores a querer identificar esses custos ao invés de traçar estratégias para alterá-los e diminuí-los. Mais ainda, o modelo tenta resolver o quanto deve ser pedido de forma a otimizar os custos. Ao invés disso, mais interessante é tentar responder a questão de como mudar a operação de modo a

reduzir a necessidade de estoques (SLACK et al., 2009). O Autor ainda complementa (SLACK et al., 2009, p. 369): o LEC “pode ser uma descrição razoável dos custos de manutenção de estoque, mas não deve necessariamente ser tomada como uma prescrição estrita de quais decisões tomar”.

A pesquisa realizada por Rosa et al. (2010) aponta que, ao longo do tempo, foram apresentadas por outros autores algumas variações no modelo de lote econômico de Harris. Estas variações, entre outros aspectos, consideram: custo de manutenção de estoque como uma função não linear do tempo; adoção de tempo de ressuprimento; custos referentes ao descarte de itens perdidos; o valor do dinheiro no tempo, trazendo a inflação ao modelo; e capacidade não determinística do fornecedor.

No tópico seguinte serão abordadas as motivações e fatores que influenciam a tomada de decisão em relação ao tamanho do lote do pedido. Pode ser verificado que a quantidade do lote pode sofrer grandes variações quando é possível tirar proveitos das economias de escala.

#### **2.4.2 Motivações para o afastamento do LEC**

Apesar das críticas levantadas em relação ao modelo do LEC, este é muito utilizado figurando-se como um ponto de partida para a determinação dos lotes. Serão abordados aqui os desdobramentos provenientes de motivações para se afastar do modelo econômico.

Um dos incentivos para aumentar o lote do pedido são os descontos no preço do item oferecidos pelo fornecedor. Quando a política de desconto de preços considera a quantidade pedida em um único lote, considera-se então desconto baseado em tamanho de lote. Porém, se o preço é descontado de acordo com a quantidade total solicitada, independentemente da quantidade dos lotes, fala-se em desconto baseado em volume. Os descontos baseados em tamanho de lote tendem a aumentar o estoque cíclico na cadeia (CHORA; MEINDL, 2011), uma vez que a empresa é encorajada a aumentar o tamanho do seu pedido quando pode haver benefícios por economia de escala (BALLOU, 2006, CHOPRA; MEINDL, 2011, GARCIA et al, 2006). A economia no custo do material pode ser suficiente, por exemplo, para compensar o aumento no custo de manutenção. Os descontos baseados em volume podem ser utilizados para pequenos lotes e reduzem o estoque cíclico (CHOPRA; MEINDL, 2011).

Os descontos por quantidade são motivados pela possibilidade de o fabricante maximizar seu lucro através da discriminação de preços (CHOPRA; MEINDL, 2011), e pelo marketing (MUNSON; ROSENBLATT, 1998). Esta estratégia leva ao aumento do estoque

médio, aumento do tempo de fluxo, além de gerar acúmulo significativo de estoque cíclico na cadeia de suprimentos. Por outro lado, considerando a cadeia de suprimentos, pode permitir a melhor coordenação da cadeia para aumentar os lucros totais e a extração do excedente utilizando a discriminação de preços (CHORA; MEINDL, 2011).

Uma compra antecipada, por exemplo, é motivada pela redução do custo produto nas vendas futuras através da aquisição antecipada no período promocional. Essa estratégia comercial aumenta o tamanho do pedido na época do desconto, porém reduz os pedidos posteriores, flutuações estas responsáveis, por exemplo, pelo efeito chicote na cadeia (CHOPRA; MEINDL, 2011).

Existem ainda outros fatores que são determinantes para a decisão do tamanho do lote, como: (1) a quantidade econômica de produção do fornecedor; (2) economias em custos de transporte e de material com a aquisição de múltiplos itens em maior quantidade, utilizando a mesma carga; (3) limitações orçamentárias para manutenção de estoques; (4) a utilização de transporte privado, incentivando a aquisição de maiores quantidades para utilizar a capacidade disponível de carga (BOWERSOX; CLOSS, 2008). Ballou (2006) complementa considerando os limites de espaço de armazenamento, tamanho dos prazos de reposição e custos de movimentação.

## 2.5 DECISÕES TEMPORAIS ENVOLVENDO ESTOQUE E INCERTEZAS

Uma das decisões que devem ser tomadas diz respeito a quando o estoque deve ser revisado, o que pode ser feito considerando estratégias como: adotar intervalos fixos ou um ponto de reposição para emitir pedidos de compra. Será observado nessa seção que o momento do pedido sofrerá interferências do *lead time* de fornecimento, do tamanho do lote de pedido e das incertezas inerentes à demanda e à oferta.

### 2.5.1 Políticas de revisão de estoque

As principais políticas de revisão de estoque são: a revisão contínua e a revisão periódica, apesar de existirem outras metodologias que consideram algumas variações dessas primeiras. Adotar estratégias assertivas de reposição de estoque é de grande importância uma vez podem influenciar nos níveis de estoques cíclicos e de segurança, bem como no nível de atendimento do produto (CHOPRA; MEINDL, 2011).



### ***Revisão contínua***

Este método também é denominado na literatura como *reorder point policy*,  $(Q, r)$  *model*, *fixed order quantity system*, *two-bin system*, e considera que a emissão de um pedido é feita quando o estoque atinge um determinado nível – o *ponto de reposição*, ou ponto de pedido (ROSA et al., 2010). Para sua utilização, é necessário o monitoramento contínuo do estoque, através do uso de tecnologias adequadas (CHOPRA; MEINDL, 2011), como o uso de sistemas informatizados, bem como a definição do ponto de reposição e da quantidade a ser pedida (podendo ser utilizada a metodologia do LEC) (BOWERSOX; CLOSS, 2008).

Conforme exposto por Ballou (2006), este modelo considera um padrão de demanda perpétua e contínua, a qual atua sobre o estoque e reduzindo seu nível continuamente. Ainda segundo o autor, para que essa política funcione adequadamente deve-se assegurar: (1) que o ponto de reposição contemple o estoque efetivo, ou seja, ao estoque disponível somado ao estoque em pedido (BALLOU, 2006; BOWERSOX; CLOSS, 2008) e (2) que as incertezas de demanda e de oferta sejam consideradas por meio do estoque de segurança.

Neste modelo, o tempo entre pedidos varia de acordo com a variação da demanda e os lotes geralmente são fixos (CHOPRA; MEINDL, 2011; SLACK et al., 2009). Devido a essas características, há a desvantagem de que itens diferentes podem apresentar necessidade de ressurgimento em tempos distintos, o que não permite tirar vantagens de descontos por quantidade e do transporte em conjunto (BALLOU, 2006).

### ***Revisão Periódica***

Este modelo pode ser denominado como *periodic order model*,  $(R, T)$  *model*, *fixed reorder cycle system* (ROSA et al., 2010). Neste modelo, consideram-se intervalos predeterminados para a revisão dos estoques e, então, para a emissão dos pedidos. Ele considera que o tamanho do lote reposição deve ser igual ao nível máximo de pedido (NMP) reduzido do nível de estoque corrente. O que varia, nessa política de reposição é o tamanho do lote, mantendo-se constante o intervalo de pedidos (CHOPRA; MEINDL, 2011).

Esta estratégia de revisão possui a vantagem de que os níveis de estoque de diferentes itens podem ser revisados em um mesmo momento, permitindo economias de escala na emissão de pedidos que considerem todos eles. Além disso, maior é a chance de a empresa se adequar aos lotes mínimos de produção do fornecedor. Apesar de a revisão periódica exigir maiores estoques, os maiores custos de manutenção podem ser compensados pelas economias na aquisição dos produtos e nos custos do pedido (BALLOU, 2006).

Considerando que existe incerteza na demanda e na oferta, pode haver falta de estoque para atender a demanda uma vez que a o lote de reposição é emitido apenas em intervalos regulares e predeterminados (BOWERSOX; CLOSS, 2008; SLACK et al., 2009). Para um mesmo nível de disponibilidade de produto e um mesmo tempo de espera para recebimento do lote de reposição, ao utilizar a revisão periódica, o nível de estoque de segurança tende a ser maior em relação à revisão contínua. Nesta última, a incerteza da demanda é considerada apenas durante o tempo de reposição, já na outra política o ES deve cobrir a incerteza da demanda durante tanto no intervalo de revisão quanto durante o tempo de espera (CHOPRA; MEINDL, 2011).

### *Outros modelos de revisão de estoque*

Existem outras políticas de revisão de estoque que fazem uma combinação entre as duas supracitadas. Para Bowersox e Closs (2008), uma delas é o nível de reposição que considera intervalos fixos para emitir pedidos, porém realizando controles periódicos em intervalos curtos de tempo. Neste modelo a quantidade de ressuprimento não considera o cálculo do lote econômico, mas sim a manutenção dos níveis de estoque abaixo de um nível máximo predeterminado. Outra política de revisão apresentada pelo autor é o sistema de ressuprimento opcional, denominado muitas vezes por sistema mini-max: neste sistema é mantido um nível de estoque entre um intervalo, onde os pedidos de ressuprimento serão geralmente iguais à diferença entre o limite superior e inferior deste intervalo; ao nível de estoque mínimo é adicionado um estoque de segurança quando existir incerteza de demanda e de oferta.

Ballou (2006) também apresenta em sua obra o modelo de revisão mini-max, o qual, segundo ele, se adapta bem a demandas erráticas ou incertas. O autor comenta também sobre os modelos estoque para demanda, controle de múltiplos itens e múltiplos locais e controle de múltiplos elos.

### **2.5.2 Estoque de Segurança**

O Estoque de Segurança (ES) é utilizado quando não existe certeza sobre as vendas futuras e sobre os prazos de ressuprimento pelo fornecedor (BOWERSOX; CLOSS, 2008). Ele deve ser obtido através da consideração de dois fatores com os quais possui uma relação positiva de causa e efeito: a incerteza da demanda e da oferta e o nível desejado de

disponibilidade do produto; além disso, as políticas de ES dependem da política de reposição adotada pela empresa (CHOPRA; MEINDL, 2011).

A incerteza da demanda dá origem a flutuações nas vendas durante o tempo de ressuprimento. Já incerteza do ciclo de ressuprimento diz respeito a variações do tempo de duração do ressuprimento, uma vez que as políticas de estoque não podem assumir que haverá sempre uniformidade das entregas. Tratar essas incertezas implica em, no curto prazo, combinar duas variáveis independentes entre si, mas que para a determinação do estoque de segurança, devem ser consideradas em conjunto (BOWERSOX; CLOSS, 2008).

Um planejamento adequado do ES deve responder a duas questões básicas: qual nível de estoque deve ser mantido e o que pode ser feito para que se possa ao mesmo tempo reduzir ES e aumentar a disponibilidade de produto. O desafio consiste em projetar menores estoques de segurança sem prejudicar a disponibilidade de produto. A resposta a esse desafio por vir de algumas maneiras, como: (1) reduzir o *lead time* do fornecedor (isso pode exigir um maior esforço do fornecedor, o que pode ser alcançável quando se tem maior coordenação na cadeia); (2) reduzir a incerteza da demanda através, por exemplo, de esforços em inteligência de mercado e métodos de previsão mais acurados (CHOPRA; MEINDL, 2011).

Bowersox e Closs (2008) consideram os seguintes estágios para o planejamento do ES: (1) avaliar a possibilidade de ocorrência de falta de estoque; (2) estimar a demanda para os potenciais períodos de falta de estoque; (3) adotar uma política de proteção.

O estoque de segurança pode incorrer em maiores custos de manutenção e riscos de obsolescência, porém sua importância se dá pelo fato de ele garantir a disponibilidade de produtos e combater a volatilidade da demanda (CHOPRA; MEINDL, 2011). Conforme discorrido por Bowersox e Closs (2008, p. 228) “o planejamento de estoque de segurança equivale a um seguro no processo de compras”. Ainda segundo este autor, o ES dá a proteção necessária para que a demanda dos clientes durante o ciclo de reposição seja atendida

Discutidos então sobre o quanto e quando solicitar um pedido de reposição de estoque em uma empresa pode-se pensar no caso do estoque em múltiplas localidades. Na próxima seção será abordado o problema de agregação de estoque, considerando o atendimento à demanda através de um único local ou através de locais diferentes.

## 2.6 PROBLEMA DA AGREGAÇÃO DE ESTOQUE

Uma empresa pode ter instalações distribuídas geograficamente, com demandas que podem ocorrer nessas diferentes regiões. Neste caso, deve-se pensar em como o estoque irá

atender a essas demandas. Uma estratégia que pode ser utilizada é manter estoque em cada localidade. Outra estratégia é agregar em um único local. Será mais vantajosa a agregação quanto mais independentes são as demandas em cada região. Ou seja, quanto maior o coeficiente de correlação entre as elas, menores são as economias com a agregação (CHOPRA; MEINDL, 2011).

Para a redução do estoque de segurança ou do estoque de manutenção, quando utilizado lote econômico, foi estabelecida a lei denominada “lei da raiz quadrada”. Esta lei relaciona o estoque centralizado e o descentralizado através da divisão entre a raiz quadrada da quantidade de instalações após a centralização e a raiz quadrada da quantidade de instalações antes da centralização. Porém, para a utilização do modelo é necessário considerar que não há correlação entre as demandas de cada localidade e que a variabilidade da demanda é a mesma para cada localidade (MAISTER, 1976 apud FIGUEIREDO, 2001).

Segundo Figueiredo (2001), a “lei da raiz quadrada” é considerada um caso particular de um modelo mais abrangente, desenvolvido por Zin et al. (1989), denominado *Portfolio Effect*, o qual pode ser utilizado para verificar possibilidades de redução do estoque de segurança considerando múltiplas localidades. O modelo, relacionado à noção de agregação de estoque, considera a correlação entre as demandas históricas existentes em duas localidades e a relação entre os desvios padrões das demandas de ambos os locais.

Algumas desvantagens com a agregação de estoques derivam do aumento da distância média entre o estoque e o cliente, entre elas: maior tempo para responder ao pedido do cliente e o aumento no custo do transporte ao cliente. Porém, alguns benefícios são possíveis sem necessariamente ser preciso centralizar estoques e podem ser obtidos através de alguns métodos, como: (1) centralização da informação; (2) especialização: itens de movimentação rápida ou de baixo valor são estocados de forma descentralizada, perto dos clientes e os itens de movimentação lenta ou de alto valor são estocados em um local centralizado. (3) substituição de produtos: um produto pode ser utilizado para atender a demanda por outro, permitindo a utilização de estoques agregados e reduzindo estoques de segurança sem afetar a disponibilidade do produto; a substituição é tanto mais vantajosa quanto maior a incerteza da demanda e quanto menor a correlação da demanda entre os produtos substituíveis; (4) semelhança de componentes: a utilização de componentes semelhantes em diferentes produtos pode reduzir os estoques sem afetar a disponibilidade do produto; e (5) postergação: a diferenciação ou customização do produto é postergada para o mais próximo da demanda final, sendo possível agregar estoques sem afetar a disponibilidade do produto (CHOPRA; MEINDL, 2011).

### 3 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo visa a aplicação dos métodos matemáticos e estatísticos relacionados a análise de estoque, bem como a análise dos resultados obtidos através da aplicação das equações e do trabalho dos dados quantitativos levantados junto à Empresa X.

A primeira seção apresenta a descrição da empresa e do produto, alvos deste trabalho. A seção 3.2 apresenta as análises relacionadas à centralização de estoque, para as quais se adentrou nas abordagens de estoque de segurança e na análise estatística da demanda. Para esta última, foi utilizado o software Arena® de modo a encontrar a distribuição contínua que melhor se ajusta aos dados de demanda.

A seção 3.3 busca testar a viabilidade de se utilizar o modelo do Lote Econômico de Compra como forma de definir o tamanho do lote de ressuprimento. Será verificado que o modelo do LEC possui aplicação inviável no caso concreto e serão apresentadas também as razões para afastamento do LEC. As análises anteriores tratam do produto de forma agregada, ou seja, da madeira em metro cúbico. A seção 3.4 traz um maior detalhamento da demanda, estratificando o produto em suas dimensões, principalmente comprimento e largura.

#### 3.1 A EMPRESA E O PRODUTO

Este estudo foi desenvolvido junto a uma empresa aqui denominada “Empresa X”, a qual é composta por uma matriz e duas filiais. Ela é enquadrada, de acordo com o critério de receita bruta, apresentado pelo Sebrae, como uma empresa de pequeno porte, empregando atualmente cerca de 20 funcionários. Seu raio de atuação contempla o mercado de Minas Gerais, atuando no comércio de materiais para a construção civil há mais de 20 anos. Um dos produtos de seu portfólio é a madeira, o qual foi alvo de análise neste trabalho.

O produto vendido possui, no comércio, algumas denominações como caibros e vigas, porém aqui será referenciado como “peça”. Assim, a Empresa X comercializa peças de madeira, as quais são vendidas em diferentes dimensões, de acordo com a necessidade dos seus clientes. A unidade de medida utilizada é o metro cúbico.

A madeira comercializada possui o nome popular Angelim-pedra. De acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas<sup>1</sup>, ela possui nome científico *Hymenolobium petraeum* Ducke, Leguminosae. Algumas de suas espécies, popularmente conhecidas como

---

<sup>1</sup> Dados disponibilizados no portal Eletrônico: <[http://www.ipt.br/informacoes\\_madeiras/8.htm](http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/8.htm)>. Acesso em: 03 jul. 2016.

angelim-pedra são: *H. petraeum*, *H. complicatum* Ducke, *H. elatum* Ducke, *H. excelsum* Ducke, *H. heterocarpum* Ducke, *H modestum* Ducke. Ainda segundo o instituto, esta madeira permite grande facilidade em seu manuseio no tocante ao processo de serragem e acabamento, além de apresentar grande durabilidade. Na construção civil, é muito utilizada como vigas ou caibros, forros, ripas, item de esquadrias, entre outras aplicações.

### 3.2 CENTRALIZAÇÃO DE ESTOQUE

A Empresa X é constituída por uma matriz e duas filiais, as quais estão localizadas em diferentes regiões do município em que se situam. Atualmente, todo o estoque é centralizado na matriz, a qual atende toda a demanda da empresa. Nesta seção será verificado, com fundamentos matemáticos e estatísticos, que, mesmo empiricamente, a decisão do gestor de centralizar o estoque na matriz foi a mais correta em ser adotada, frente à possibilidade de desagregação, gerando economia significativa na agregação do estoque de segurança.

De acordo com entrevista realizada junto ao gestor, pôde-se chegar a algumas conclusões sobre o atendimento pelo estoque, as quais fornecem indicativos da vantagem da centralização:

- Na grande maioria das vezes, o cliente não se importa em ser atendido pelo estoque de outra unidade, diferente daquela onde realizou a compra – atendendo assim a premissa para a centralização do estoque, apresentada por Chopra e Meindl (2011). A Empresa X realiza entregas de pedidos nos endereços dentro do seu raio de distribuição, praticando a modalidade de frete *Cost, Insurance and Freight* (CIF). Assim, para estes clientes, não é importante saber onde o estoque está localizado. Porém, considerando localidades de entrega fora do raio de distribuição, pratica-se a modalidade de frete *Free on Board* (FOB), onde a coleta necessariamente deve ser feita, pelo cliente, na matriz.

- O cliente não vê diferença em ser atendido pelo estoque cíclico ou pelo estoque de segurança. Assim, a matriz, atuando como centro de distribuição, estoca também o estoque cíclico. Convém ressaltar que neste trabalho é considerada apenas a modelagem do ES – a economia com a centralização poderá ser ainda maior quando incluído o estoque cíclico nos cálculos.

Além das informações supramencionadas, o gestor consente em uma probabilidade de 90% de haver atendimento integral da demanda em um ciclo. Ou seja, que 90% dos ciclos de ressuprimento atendam totalmente a demanda. Dessa forma, para os cálculos relacionados ao ES, será considerado um Nível de Serviço de Ciclo (NSC) de 0,9. Porém, lembrando o

exposto na seção 2.3.2, o grau de atendimento do produto será maior que o NSC, uma vez que aquele compreende o quanto da demanda, em um ciclo, é realmente atendido pelo estoque disponível.

Retomando a seção 2.6, sobre o problema da agregação do estoque, esta será mais vantajosa quanto mais a demanda por um produto, nas diversas localidades de venda, for independente uma da outra, desconsiderando, para efeito de análise logística, as economias com demandas que apresentam forte correlação negativa. Quanto maiores os coeficientes de correlação entre as demandas, menores são as economias com a agregação (CHOPRA; MEINDL, 2011).

A partir dos dados históricos de demanda, foi gerada a Tabela 1, demonstrando os coeficientes de correlação entre cada loja. Pelos resultados, pode-se perceber uma baixa correlação entre as demandas da Matriz e da Filial 2 (0,05), bem como entre a Filial 1 e a Filial 2 (-0,13); obtém-se uma maior correlação entre a Matriz e a Filial 1 (-0,31), quando comparado às primeiras. Estes dados de baixa correlação podem dar a indicativa preliminar de que o estoque de segurança centralizado será menor que a soma dos estoques de segurança de cada loja, o que será provado mais adiante.

Tabela 1 – Matriz de correlação da demanda

	<i>Matriz</i>	<i>Filial 1</i>	<i>Filial 2</i>
<i>Matriz</i>	1,00		
<i>Filial 1</i>	-0,31	1,00	
<i>Filial 2</i>	0,05	-0,13	1,00

Fonte: autor.

Além das percepções anteriores, estes resultados também parecem indicar um comportamento de concorrência entre a Filial 1 e a Matriz e entre as duas filiais - o que pode ser evidenciado principalmente pela correlação negativa entre elas. Apesar de as lojas apresentarem este tipo de relacionamento, para a empresa, as três unidades são como se fossem, juntas, apenas uma. A manutenção das filiais é feita estrategicamente, de modo a atender as demandas, geograficamente dispersas, e a se posicionar melhor e se consolidar no mercado em que atua.

### 3.2.1 Distribuição de probabilidades da demanda

Primeiramente, cabe ressaltar que, devido a impossibilidade de se obter a média e o desvio padrão da população, foi utilizada uma amostra representativa para estimar esses

parâmetros. Dessa forma, a média populacional foi estimada pela média amostral, sendo esta o estimador de máxima verossimilhança daquela, conforme demonstrado por Montgomery e Runger (2012). A variância populacional é estimada pela variância da amostra, consideração esta que será demonstrada a seguir.

Considerando os valores esperados:

$$(1) E(\bar{X}) = \mu$$

$$(2) E(X^2) = \sigma^2 + \mu^2$$

$$(3) E(\bar{X}^2) = \frac{\sigma^2}{n} + \mu^2$$

É possível verificar que

$$\begin{aligned} E\left[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2\right] &= \\ &= E\left[\sum_{i=1}^n (X_i^2 - 2X_i\bar{X} + \bar{X}^2)\right] \\ &= E\left[\sum_{i=1}^n X_i^2 - 2n\bar{X}^2 + n\bar{X}^2\right] \\ &= E\left[\sum_{i=1}^n X_i^2 - n\bar{X}^2\right] \\ &= nE(X_i^2) - nE(\bar{X}^2) \\ &= n\sigma^2 + n\mu^2 - \sigma^2 + n\mu^2 \\ &= (n-1)\sigma^2 \end{aligned}$$

Dessa forma,  $E\left[\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}\right] = \sigma^2$ . Ou seja,  $E(s^2) = \sigma^2$ .

Apesar de se estar trabalhando com uma amostra de dados discretos de demanda, foi utilizado o software Arena® para encontrar a melhor distribuição contínua que se adeque ao histograma dos dados. O objetivo é encontrar o melhor ajuste a partir do teste Qui-quadrado, onde o melhor ajuste é aquele que apresenta o menor erro quadrático.

Para o teste, são consideradas as seguintes hipóteses:

$$\begin{cases} H_0 = \text{o ajuste é satisfatório} \\ H_1 = \text{o ajuste não é satisfatório} \end{cases}$$

O Arena® então gera o p-valor do teste Qui-quadrado. Para que a hipótese nula não seja rejeitada, ou seja, para que se possa utilizar a distribuição sugerida, o p-valor fornecido pelo software deve ser o maior possível. A hipótese nula deve ser rejeitada caso o nível  $\alpha$ , estabelecido pelo autor, seja maior que o p-valor.



Pode-se observar, pela figura 3, o histograma gerado de acordo com a frequência dos dados da demanda total, considerando a soma da demanda de todas as três lojas. Percebe-se uma maior concentração de dados em torno da média e com mediana e média com valores próximos, como é o caso, por exemplo, da normal.

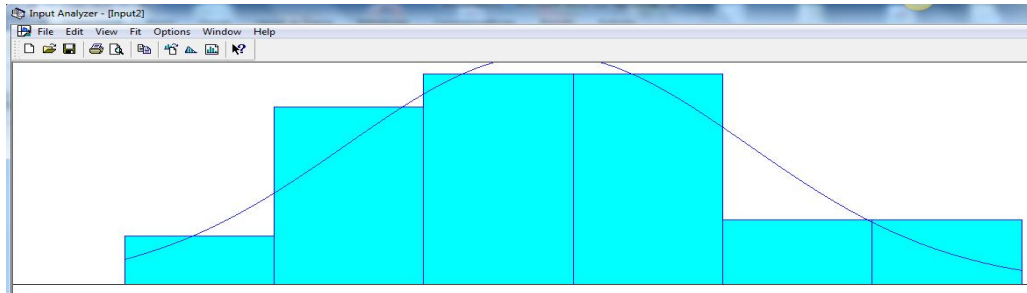


Figura 3: Histograma da demanda total mensal  
Fonte: autor

A distribuição sugerida pelo software que melhor se ajusta aos dados é a normal, cuja expressão é  $NORM(36, 11.4)$ . Logo abaixo, pode-se visualizar a saída fornecida pelo Arena®. Vale ressaltar que ele já fornece o dado de desvio padrão na expressão da distribuição, considerando então:  $NORM(\mu, \sigma)$ .

#### *Distribution Summary*

*Distribution:* Normal  
*Expression:*  $NORM(36, 11.4)$   
*Square Error:* 0.007126

#### *Chi Square Test*

*Number of intervals* = 4  
*Degrees of freedom* = 1  
*Test Statistic* = 1.47  
*Corresponding p-value* = 0.235

#### *Data Summary*

*Number of Data Points* = 48  
*Min Data Value* = 12.1  
*Max Data Value* = 62.1  
*Sample Mean* = 36  
*Sample Std Dev* = 11.6

#### *Histogram Summary*

*Histogram Range* = 12 to 63  
*Number of Intervals* = 6

Conforme os dados supracitados, foi utilizada uma amostra de 48 observações. A média amostral é de 36 m<sup>3</sup> e o desvio-padrão amostral é de 11,6 m<sup>3</sup>, parâmetros que podem ser visualizados em “*Data Summary*”. Pela saída, pode-se perceber que o teste Qui-quadrado apresentou um p-valor de 0,235. Considerando um nível de confiança de 90%, o p-valor do teste é superior a 10%, sugerindo que a aproximação pela distribuição contínua normal é adequada.

Considerando os dados de demanda de cada loja, foram encontradas as estatísticas descritivas listadas nas tabelas 2 a 5.

Tabela 2 – Estatística Descritiva – Demanda mensal da Filial 1

<b>Descrição</b>	<b>Valor (m<sup>3</sup>)</b>
Média	15,95
Erro padrão	1,17
Mediana	14,20
Desvio padrão	8,11
Variância	65,73
Mínimo	3,88
Máximo	36,18
Contagem	48,00

Fonte: autor

Tabela 3 – Estatística Descritiva – Demanda mensal da Filial 2

<b>Descrição</b>	<b>Valor (m<sup>3</sup>)</b>
Média	6,09
Erro padrão	0,72
Mediana	4,59
Desvio padrão	5,01
Variância	25,06
Mínimo	0,84
Máximo	31,43
Contagem	48,00

Fonte: autor

Tabela 4 – Estatística Descritiva – Demanda mensal da Matriz

<b>Descrição</b>	<b>Valor (m<sup>3</sup>)</b>
Média	13,97
Erro padrão	1,44
Mediana	12,72
Desvio padrão	9,96
Variância	99,20
Mínimo	1,83
Máximo	52,39
Contagem	48,00

Fonte: autor

Tabela 5 – Estatística Descritiva – Demanda mensal total

<b>Descrição</b>	<b>Valor (m<sup>3</sup>)</b>
Média	36,00
Erro padrão	1,67
Mediana	35,46
Desvio padrão	11,60
Variância	134,6
Mínimo	12,10
Máximo	62,10
Contagem	48,00

Fonte: autor

Tomando os parâmetros acima, pode-se buscar pelo coeficiente de variação da demanda de cada loja. Este coeficiente relaciona desvio padrão e a média, informando o tamanho da incerteza e permite comparar a incerteza de cada loja. Assim, considera-se a seguinte equação:

$$CV = \frac{\sigma_i}{\mu_i} \quad (1)$$

Os parâmetros  $\sigma_i$  e  $\mu_i$  referem-se, respectivamente, ao desvio padrão e à média da demanda de cada loja. Lançando mão dos dados, conclui-se que a Filial 2 possui a maior incerteza de demanda, seguida pela Matriz e pela Filial 1, com coeficientes de variação de 0,82, 0,71 e 0,51, respectivamente.

### 3.2.2 Cálculo do Estoque de Segurança

Para verificar o quanto a centralização de estoque de segurança da Empresa X se mostra mais vantajosa em relação à descentralização, deve-se calcular o ES para cada loja individualmente, bem como o ES considerando a demanda total das três lojas de forma agregada. Dessa maneira, sendo:

**ES<sub>1</sub>** = Estoque de Segurança da Filial 1

**ES<sub>2</sub>** = Estoque de Segurança da Filial 2

**ES<sub>M</sub>** = Estoque de Segurança da Matriz

**ES<sub>T</sub>** = Estoque de Segurança considerando a demanda total

A economia com a agregação será maior quanto menor for o estoque de segurança agregado, em relação à soma dos estoques de segurança individuais:

$$(ES_{1+} ES_{2+} ES_M) > ES_T \quad (2)$$

Cabe ressaltar que, para a análise da vantagem da agregação do estoque de segurança, foram considerados apenas os aspectos relacionados à economia em termos de quantitativo de madeira, bem como à economia financeira com a agregação. Dessa forma, não foram consideradas outras questões que tratam, por exemplo, dos custos logísticos associados à agregação *versus* desagregação, bem como de questões vinculadas ao comportamento dos clientes frente a essas possibilidades de atendimento do estoque.

De acordo com o exposto por Bowersox e Closs (2008), enunciado no capítulo 2 deste estudo, a adoção de uma política de ES vai depender da política de reposição de estoque. Relembrando a revisão teórica sobre este assunto, ao se considerar a reposição contínua de estoque, a demanda terá um tratamento probabilístico após atingir o ponto de reposição, no lead time de ressuprimento. A demanda pela madeira, na Empresa X, é caracterizada por uma distribuição de probabilidade normal, conforme definido na seção anterior.

Considerando que a demanda, no tempo de espera, tem uma distribuição de probabilidade com média 36 e desvio padrão 11,6 metros cúbicos e que o NSC foi definido, por entrevista, em 0,9, o ES é calculado pela equação sugerida por Chopra e Meindl (2011), conforme abaixo:

$$ES = F_s^{-1}(NSC) \times \sqrt{L} \sigma_D \quad (3)$$

Onde:

$F_s^{-1}(NSC)$  = inverso da distribuição normal;

$L$  = tempo de espera entre o pedido e a chegada do material;

$\sigma_D$  = desvio padrão da demanda.

Antes de aplicar a equação (3) do ES na análise da Empresa X, primeiramente devem-se colocar algumas considerações acerca de seus parâmetros:

(1) O tempo de espera da Empresa X é de 30 dias, em média. Neste estudo, o período de 1 mês será aquele que contém 30 dias corridos. Neste caso,  $L = 1$ ;

(2) O desvio padrão a ser utilizado para o cálculo do ES deve considerar a unidade de tempo da demanda no lead time de ressuprimento. Como este é de 1 mês, será utilizado o desvio da demanda mensal, os quais são encontrados nas tabelas 2 a 5;

(3) O valor de  $F_s^{-1}(0,9)$  é obtido através da tabela de distribuição normal unilateral, conforme Montgomery e Runger (2012).

Para valores de  $z = 1,28$  e tempo de espera  $L = 1$ , chega-se aos seguintes resultados de estoque se segurança da Empresa X:

$$\text{Estoque de Segurança da Filial 1 } (ES_1) = 10,38 \text{ m}^3$$

$$\text{Estoque de Segurança da Filial 2 } (ES_2) = 6,41 \text{ m}^3$$

$$\text{Estoque de Segurança da Matriz } (ES_M) = 12,75 \text{ m}^3$$

$$\text{Estoque de Segurança da Demanda Total } (ES_T) = 14,85 \text{ m}^3$$

Ao se aplicar os valores encontrados de estoque de segurança em (2), pode-se verificar a grandeza da vantagem na centralização, ocorrendo ela, pois:

$$ES_T < (ES_1 + ES_2 + ES_M)$$

Verifica-se então que o estoque agregado representa quase a metade da soma dos estoques individuais, promovendo uma economia significativa. Tem-se:

$$(1) (ES_1 + ES_2 + ES_M) = 29,54 \text{ m}^3$$

$$(2) ES_T = 14,85 \text{ m}^3$$

Conforme pode ser visualizado na matriz de correlações, não existe total independência entre as demandas. Dessa forma, para o cálculo do ES centralizado, foi considerado o desvio padrão da demanda total, considerando as covariâncias da demanda entre cada loja. A matriz de covariâncias pode ser visualizada na Tabela 6, a qual é utilizada para o cálculo do desvio padrão da demanda total, correspondendo a  $\sqrt{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_M^2 + 2 \times (\sigma_{12}^2 + \sigma_{1M}^2 + \sigma_{2M}^2))}$ , ou, quantitativamente, 11,60 metros cúbicos. Caso houvesse independência total entre as demandas, não haveria correlação entre as demandas e o desvio padrão a ser utilizado corresponderia a  $\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_M^2}$ .

Tabela 6 – Matriz de covariância da demanda

	<i>Filial 1</i>	<i>Filial 2</i>
<i>Filial 1</i>		
<i>Filial 2</i>	-5,32	
<i>Matriz</i>	-24,72	2,41

Fonte: autor

Pelos resultados obtidos, verifica-se que o gestor, mesmo de forma subjetiva e intuitiva, tomou a decisão correta ao centralizar todo o seu estoque de segurança na matriz, gerando uma economia de estoque de segurança de quase 50 por cento, quando comparado à

estratégia de desagregação. Verificou-se que, como esperado, a soma dos estoques de segurança desagregados é substancialmente maior que o agregado.

### 3.2.3 Economias de custo de manutenção na agregação

A partir do momento em que é possível agregar o estoque de segurança, é possível determinar a economia no custo de manutenção por metro cúbico de madeira. Para esta finalidade, toma-se como referência a equação (4), adaptada de Chopra e Meindl (2011). A economia de custo de manutenção na agregação, por unidade vendida, será igual a:

$$\frac{[(ES_1 + ES_2 + ES_M) - ES_T] \times hCm}{D_{\text{anual}}} \quad (4)$$

Onde:

**ES<sub>1</sub>** = Estoque de Segurança da Filial 1;

**ES<sub>2</sub>** = Estoque de Segurança da Filial 2;

**ES<sub>M</sub>** = Estoque de Segurança da Matriz;

**ES<sub>T</sub>** = Estoque de Segurança considerando a demanda total;

**D<sub>anual</sub>** = Demanda anual agregada;

**hCm<sup>2</sup>** = Custo para manter 1 m<sup>3</sup> estocado durante todo o ano.

Para a Empresa X, que possui uma demanda anual média por madeira de 432 m<sup>3</sup>, aplicando a equação (4), chega-se ao seguinte resultado:

$$\frac{[(10,38 + 6,41 + 12,75) - 14,85] \times 760,53}{432} = R\$25,86/m^3$$

A centralização do estoque promove então uma economia de quase R\$26,00 por metro cúbico vendido pela Empresa X. Como exposto anteriormente, este ganho está alinhado ao estoque de segurança, podendo ter proporções ainda maiores quando considerada também a agregação do estoque cíclico.

Tomando os parâmetros e resultados obtidos anteriormente, pode-se chegar a algumas conclusões acerca dos seus impactos financeiros na agregação. Segundo Chopra e Meindl (2011), a economia com a agregação do estoque de segurança: (1) aumenta quanto

<sup>2</sup> O valor adotado para o hCm está melhor detalhado na seção 3.2 deste capítulo.

maior o *lead time* de ressuprimento; (2) aumenta quanto maior o NSC desejado; (3) aumenta quanto maior o hCm; (4) diminui quanto maiores forem os coeficientes de correlação.

### 3.3 TAMANHO DO LOTE DE RESSUPRIMENTO

#### 3.3.1 Padrão da demanda

Remetendo aos padrões de comportamento de demanda demonstrados por Ballou (2006), através da leitura da Figura 4, pode-se perceber um comportamento irregular da demanda por madeira. Conforme o autor, ao se configurar este tipo de demanda, muitas vezes as intuições e conhecimentos adquiridos pelo gestor podem ser grandes contribuintes para a decisão acerca da política de estoque a ser adotada. Modificações em processos matemáticos também são utilizadas para esse padrão de demanda. Mais adiante será demonstrado, por exemplo, que o modelo do Lote Econômico de Compra não se mostra como um modelo matemático adequado, frente às suas limitações e premissas, quando aplicado à realidade da Empresa X.

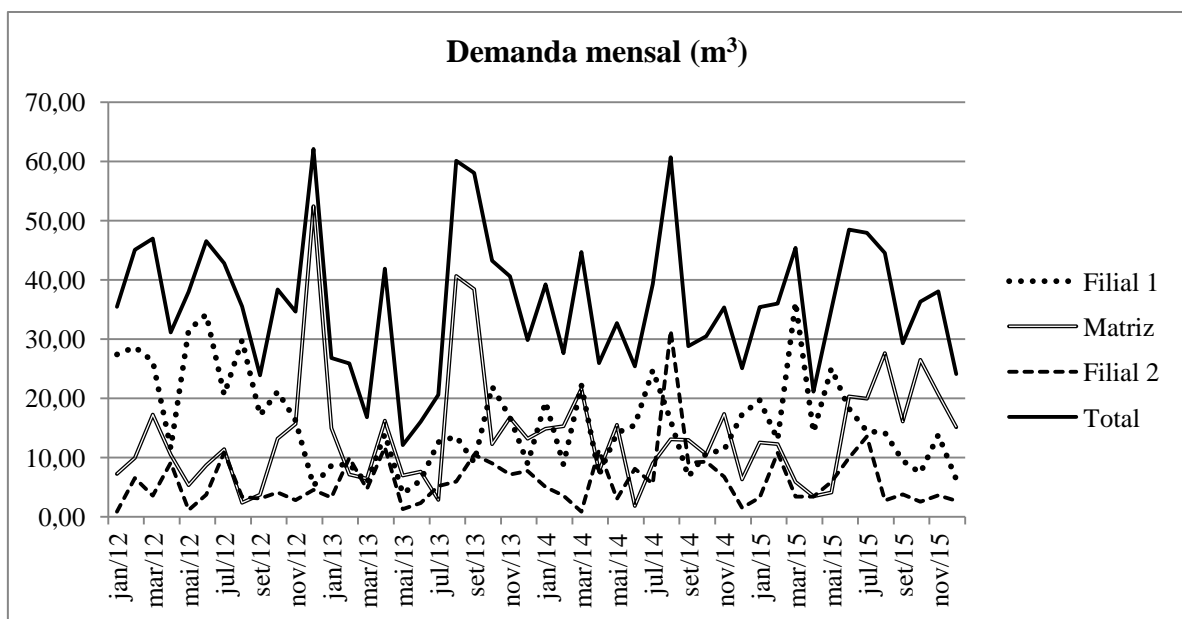


Figura 4 – Comportamento da demanda por madeira da Empresa X

Fonte: autor.

De acordo com a Figura 4, percebe-se que existem picos que, inicialmente dão o indicativo de não se relacionarem a sazonalidades ou alterações previsíveis de demanda. Alguns deles são determinados principalmente por elevações de demanda repentinas, por exemplo: na Matriz, em dezembro de 2012 e agosto de 2013; na Filial 1 em março de 2015; na Filial 2 em agosto de 2014. Os resultados obtidos mediante uso do software Forecast Pro,

para a demanda total, corroboram com a análise visual, indicando alto grau de irregularidade (79,71%), bem como um baixo grau de sazonalidade (16,91%) da demanda. O software sugere então, para a série temporal, um modelo ARIMA (0,0,0). De maneira geral, a demanda total recebe maior influência da demanda da matriz – o coeficiente de correlação entre a demanda da matriz e a demanda total é de 0,66 contra coeficientes inferiores a 0,39 se consideradas as filiais.

Porém, como é praticada a agregação de estoque, a demanda de todas as lojas é atendida pela matriz, independente de onde é colocado o pedido. Isso permite à Empresa X trabalhar com demanda agregada, reduzindo o risco associado a variações em cada loja individualmente, conforme sugerido por Chora e Meindl (2011).

### 3.3.2 Cálculo do LEC e determinação do tamanho do lote de ressuprimento

O LEC é uma fórmula que, por derivação, apresenta o tamanho ótimo do lote a ser colocado em pedido de modo que se tenha o custo total mínimo. Antes de apresentar sua equação, reserva-se aqui um espaço para elucidar os componentes fundamentais do seu cálculo.

Como tratado na seção 2.4.1, os custos inerentes à decisão do tamanho do lote consideram, além do preço médio pago por unidade comprada, o custo fixo do pedido e o custo de manutenção do estoque (CHOPRA; MEINDL, 2011). Porém, o LEC considera apenas os dois últimos custos, fazendo uma análise comparativa entre os custos de pedido e custo de manutenção de estoque (BOWERSOX; CLOSS, 2008).

A equação fundamental do custo total é a soma de três componentes, conforme equações (5) a (7). Porém, como dito anteriormente, apenas os dois últimos são relevantes para o LEC, uma vez que o custo do material é uma função que não depende do tamanho do lote.

$$\text{Custo do Material} = D_{\text{anual}} \times C_m \quad (5)$$

$$\text{Custo do Pedido} = \frac{D_{\text{anual}}}{Q} \times c_p \quad (6)$$

$$\text{Custo de Estocagem} = \frac{Q}{2} \times hC_m \quad (7)$$



Onde:

**C<sub>m</sub>** = custo do material;

**D<sub>anual</sub>** = demanda média anual;

**cp** = custo unitário e fixo do pedido;

**h** = fração do C<sub>m</sub> gasta para estocar uma (1) unidade do produto o ano inteiro;

**Q** = lote de ressurgimento.

Para o cálculo do custo de manutenção de estoque, será utilizado o parâmetro “h”. Ele mostra qual o percentual do custo do material que é utilizado para manter uma unidade em estoque, o ano inteiro. Por exemplo, um “h” de valor 0,9 dá a indicação de que 90% do custo da unidade de material são o que se gasta para manter essa unidade de material em estoque durante todo o ano. Seu cálculo é baseado na seguinte relação:

$$h = \frac{\text{Custo anual do almoxarifado}}{\text{Custo do estoque médio}} \quad (8)$$

Para estimar o custo anual para se manter o almoxarifado, foi realizada entrevista junto ao gestor da Empresa X e, junto a ele, o levantamento das fontes de custos que estariam associadas ao estoque. As principais fontes identificadas, e que contribuíam com a quase totalidade dos custos são: a mão de obra, imposto (IPTU), e outros gastos como segurança e seguro. Os valores relacionados ao IPTU e a outros gastos foram rateados para a área destinada à estocagem de madeira. Os gastos anuais foram então estimados em R\$18.821,10.

Para se calcular o custo do estoque médio, novamente foi necessário se dispor de entrevista e acesso a marcações, apesar de poucas, sobre estoque médio. Ao receber um lote de reposição, geralmente ele ocupa a capacidade de um (1) transporte – 46 m<sup>3</sup>. Como será visto posteriormente, como o custo do transporte é caro e não permite ganho de escala, não vale a pena subutilizar a capacidade. Verificou-se também que, em média, somam-se 10 m<sup>3</sup> de madeira em estoque quando um novo lote é recebido. Assim, o estoque médio da Empresa X gira em torno de  $(46 + 10)/2$ , ou seja: 28 m<sup>3</sup> de madeira.

Inicialmente, o “h” toma a seguinte proporção, considerando a equação (8):

$$h_i = \frac{R\$ 18.821,10}{R\$ 21.084,00} = 0,89$$

Porém, remetendo-se à seção 2.4.1 deste estudo, conforme discutido por Ballou (2006), Bowersox e Closs (2008), Chopra e Meindl (2011) e Slack et al. (2009), o custo do capital é um fator importante que deve ser imputado ao custo de manutenção. De maneira a internalizar este custo, foi considerada a taxa Selic. Considerando como um *outlier* o momento político-econômico pelo qual passa o Brasil, qualquer tentativa de previsão da taxa Selic poderia ser falha por alguma mudança conjuntural ou estrutural no país. Dessa forma, para esta análise, foi utilizada a média mensal da taxa<sup>3</sup>, de janeiro a abril de 2016, compondo, assim, um valor de 1,07% a.m.

O “h” após internalizar o custo do capital, aqui representado pela Selic, é valorado, por fim, em:

$$h = h_i \times 1,0107^{12} = 1,01$$

Tendo em vista que o custo total será igual à soma dos três componentes citados anteriormente, a equação da quantidade ótima, aqui denominada por Q\*, se dá pela primeira derivada da equação do custo total em relação a Q. Dessa forma, consistente com o modelo apresentado por Chopra e Meindl (2011), o LEC é calculado de acordo com a equação (9).

$$Q^* = \sqrt{\frac{2D_{anual}cp}{hCm}} \quad (9)$$

O custo unitário de pedido é, em quase sua totalidade, influenciado pelo custo do transporte. Atualmente, o valor pago por cada carreta, no transporte da madeira do fornecedor à Empresa X, é de R\$ 22.000,00. Importante ressaltar que existe uma limitação de capacidade no transporte: cada carreta, em média, é capaz de transportar 46m<sup>3</sup> de madeira. Ou seja, qualquer lote que seja superior a esta capacidade, demandará outro veículo. Além disso, o custo da viagem é fixo, independentemente da quantidade de material que está sendo carregado. A limitação de capacidade, como será mostrado posteriormente, vai contra uma das premissas do modelo que é a capacidade ilimitada tanto de transporte, quanto de armazenamento.

Em termos de demanda, a Empresa X em média conta com um volume anual de 432 metros cúbicos em peças de madeira. Na próxima seção dar-se-á um tratamento mais detalhado para essa demanda, considerando os dimensionamentos da peças de forma

---

<sup>3</sup> Dados disponibilizados pela Receita Federal do Brasil

estratificada. Por fim, para que a fórmula do LEC possa ser aplicada, resta a informação do custo unitário do material, o qual soma R\$ 753,00 por metro cúbico.

Imputando-se os dados no modelo LEC, conforme (9), chega-se ao seguinte tamanho de lote ótimo para a Empresa X:

$$Q^* = \sqrt[2]{\frac{2 \times 432 \times 22000}{1,01 \times 753}} = 158,09$$

Porém, é de conhecimento que o custo do pedido está limitado a apenas uma (1) carreta, com capacidade de 46 m<sup>3</sup>. Não se pode considerar, portanto, que o transporte de 158 m<sup>3</sup> de madeira custe para a empresa apenas os R\$22.000,00 utilizados no cálculo do LEC. Para o tamanho do lote Q\* encontrado, serão necessários quatro veículos, somando, assim, R\$88.000,00 de frete. Além disso, nota-se que, como o custo do transporte é fixo, não vale a pena pedir o lote econômico, uma vez que o quarto veículo apresentaria capacidade não utilizada. Dessa maneira, pede-se 4 x 46 m<sup>3</sup>, ou seja, 184 m<sup>3</sup>.

Caso esse custo de pedido (cp) de R\$88000,00 fosse considerado no modelo, este levaria a solução do lote ótimo para um valor maior. Ou seja, conforme a equação do modelo, a nova quantidade ótima Q<sub>2</sub>\* seria valorada em  $\sqrt[2]{4}$  vezes o valor de Q\*. Isso leva o modelo a um ciclo vicioso, devido à limitação do pedido, uma vez que, quanto maior o lote, maior o custo do transporte, majorando ainda mais o lote econômico.

Pode-se verificar então que para a Empresa X é mais vantajoso pedir sempre em lotes de 46 m<sup>3</sup>, no limite do “cp”. Com isso, ela perceberá menores custos anuais com estoque. Esta afirmação pode ser facilmente comprovada de maneira quantitativa.

- 1) Considerando que a Empresa X adote lotes de ressuprimento de 46 m<sup>3</sup> e mantenha estoque de segurança de 14,85 m<sup>3</sup>, seu gasto anual será composto da seguinte maneira:

$$\begin{aligned} \text{Custo de Estocagem} = \\ \frac{(46 + 14,85)}{2} \times 1,01 \times 753 = R\$23.139,13 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Custo do Pedido} = \\ \frac{432}{46} \times 22000 = R\$206.608,70 \end{aligned}$$

$$\text{Custo de Estocagem} + \text{Custo do Pedido} = R\$229.747,82$$

- 2) Considerando que a Empresa X adote lotes de ressuprimento de 184 m<sup>3</sup> e mantenha estoque de segurança de 14,85 m<sup>3</sup>, seu gasto anual será composto da seguinte maneira:

$$\text{Custo de Estocagem} = \frac{(184 + 14,85)}{2} \times 1,01 \times 753 = R\$75.615,70$$

$$\text{Custo do Pedido} = \frac{432}{184} \times 88000 = R\$206.608,70$$

$$\text{Custo de Estocagem} + \text{Custo do Pedido} = R\$282.224,39$$

De acordo com os cálculos acima, percebe-se que, como o lote econômico, resultado da equação (9), é superior à capacidade do transporte, é mais vantajoso para a empresa trabalhar no limite do “cp”. Não vale a pena pedir nem mais nem menos que 46 metros cúbicos.

Se fosse considerado o lote de ressuprimento como sendo a média mensal da demanda (36 m<sup>3</sup>), aplicando as equações de custo de estocagem e custo do pedido, o custo total seria superior a R\$280.000,00. Da mesma maneira, se, por motivos de capacidade de armazenagem, fossem considerados lotes que demandem dois veículos (92 m<sup>3</sup> de madeira), devido a impossibilidade de receber quatro carretas cheias, o custo total anual também se mostra superior quando comparado ao lote de 46m<sup>3</sup>, somando quase R\$247.240,01.

A partir dos dados obtidos até então é possível fazer uma leitura resumida do processo de ressuprimento através da Figura 5, o gráfico “Dente de Serra”, assim denominado por muitos autores. Para a construção do gráfico se considera a manutenção de estoque de segurança de 14,85 m<sup>3</sup>, bem como um lote de ressuprimento de 46 m<sup>3</sup>. Conforme discutido na seção 2.5.1, para a política de revisão contínua de estoque, cada novo pedido é emitido quando é atingido o ponto de reposição, o qual pode ser calculado de acordo com a equação (10).

$$PR = ES + D_{LT} \quad (10)$$

Onde:

**PR** = Ponto de Reposição;

**ES** = Estoque de Segurança;

$D_{LT}$  = Demanda no *lead time* de ressurgimento.

Considerando que o *lead time* de ressurgimento é de 1 mês, a demanda média neste tempo será a demanda média mensal, calculada na seção 3.2, ou seja, 36 m<sup>3</sup>. Dessa forma, o ponto reposição  $PR = 14,85 + 36 = 50,85$  m<sup>3</sup>.

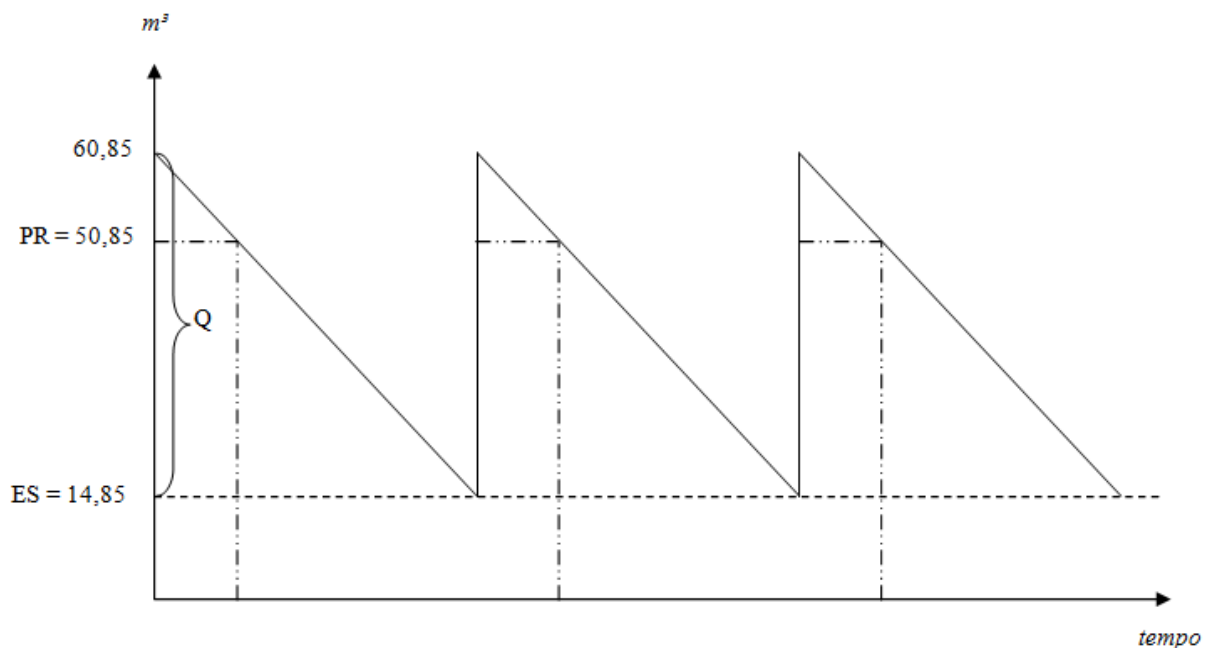


Figura 5 – Gráfico “Dente de Serra”  
Fonte: autor.

O gráfico “Dente de Serra” se apresenta fora de escala, a título de demonstração. Cabe ressaltar que na realidade não há um tempo entre pedidos constante, como sugerido pelo gráfico. Ou seja, a variação do tempo entre pedidos está ligada à variação da demanda.

### 3.3.3 Razões para o afastamento do LEC

Com base nas observações da seção anterior, onde o tamanho do lote ideal está afastado do valor ótimo apontado pelo modelo do LEC, percebe-se que existem alguns fatores e limitações que não se enquadram nas premissas deste modelo.

Remetendo-se à seção 2.4.1, segundo Chopra e Meindl (2011) o tamanho do lote pode ser aumentado caso os custos associados à colocação do pedido apresentem uma

compensação. Porém, para a realidade da Empresa X, isso não se aplica. Conforme foi calculado anteriormente, vale mais a pena reduzir o tamanho do lote, em relação ao  $Q^*$ , pois não há economia de escala no transporte. Neste caso percebe-se uma ordem inversa à proposta pelo autor supracitado: o custo total para a empresa é reduzido quando se reduz o lote de ressurgimento até o limite do custo unitário do pedido.

A conclusão acima é baseada na realidade do custo do pedido real, praticado pela Empresa X, onde o “cp” é fixo até o limite de 46 m<sup>3</sup>. Qualquer montante a mais que este demandará custos adicionais em múltiplos inteiros do “cp”. Assim, na realidade, não é aplicável duas das principais premissas do LEC, que dizem que o custo de pedido é independente do tamanho da ordem de compra e que não há restrição de capacidade de transporte.

Considera-se também que não há a obediência a outras premissas do modelo: (1) existe uma limitação de espaço para estocagem de madeira; (2) existe limitação de tamanho de lote que pode ser atendido pelo fornecedor; (3) a demanda no tempo de espera, na realidade, não é determinística e constante; (4) o *lead time* de ressurgimento, aqui considerado como tempo de preparação do pedido pelo fornecedor mais o tempo de transporte, não é constante e determinístico; (5) existe limitação de capital por parte da Empresa X para aquisição do produto.

Conforme criticado por Slack et al. (2009) o modelo do LEC não deve ser utilizado como instrumento prescritivo. A utilização do modelo é de fato de grande importância para se dar o ponto de partida para a determinação do lote. Porém, considerando então as premissas, os aspectos reais da empresa, é possível realizar os ajustes necessários para se encontrar realmente o ponto que permitirá menor custo real.

A seção 2.4.2 traz algumas motivações para o afastamento do LEC, dentre elas a possibilidade de tomar vantagens sobre descontos oferecidos no preço do produto. Vantagens de descontos em termos de tamanho do lote ou volume não são percebidas pela Empresa X, o que não permite a ela aumentar o tamanho do lote para tirar vantagens de economia de escala. Os fornecedores de madeira detêm maior força em relação à Empresa X, na cadeia de suprimentos, contando ela com menor poder de barganha. Além de a quantidade de fornecedores ser pequena quando comparado ao número de empresas clientes que comercializam o produto, o fornecimento de madeira é muito dependente das condições dispostas pelo fornecedor. Por exemplo, é difícil estipular e exigir do fornecedor que, em um lote, sejam enviadas 150 peças de largura 14,5cm e comprimento de 4,5 m, pois geralmente o perfil das peças de madeira são fornecidas de acordo com a disponibilidade na madeireira.

### 3.4 ANÁLISE DETALHADA DA DEMANDA

A grande dificuldade em realizar o estudo de estoque deste produto é o fato de a demanda real ser colocada para peças serradas, ao invés de metros cúbicos de madeira. Porém isso não subestima a importância de realizar a análise de estoque de maneira agregada, em metro cúbico, uma vez que é dessa forma que pedidos são geralmente colocados ao fornecedor, bem como realizado o estudo de centralização.

O atendimento à demanda atualmente segue o seguinte processo: o cliente coloca um pedido de peças, as quais são dimensionadas em largura e comprimento. A altura de 5,5 cm das peças geralmente não sofrem variações, porém, caso seja solicitado pelo cliente, ela pode ser reduzida através do processo de serragem. Caso o estoque disponível disponha de peças com as mesmas dimensões solicitadas, o pedido pode ser atendido prontamente. Caso contrário, a venda somente pode ser realizada se o estoque dispuser de peças com dimensões superiores às solicitadas, devendo ser feito o processo de serragem.

A Empresa X perde venda quando faltam no estoque peças com dimensões maiores, pois são aquelas que podem ser transformadas em dimensões menores. A Figura 6 relaciona a característica de comprimento (em metros) das peças recebidas do fornecedor e daquelas demandadas pelo cliente. Ele mostra o percentual do produto pertencente a uma faixa de comprimento em relação ao total da amostra. Para os dados de recebimento foi utilizada uma amostra de 4830 elementos, já para os dados de demanda, 3440 elementos.

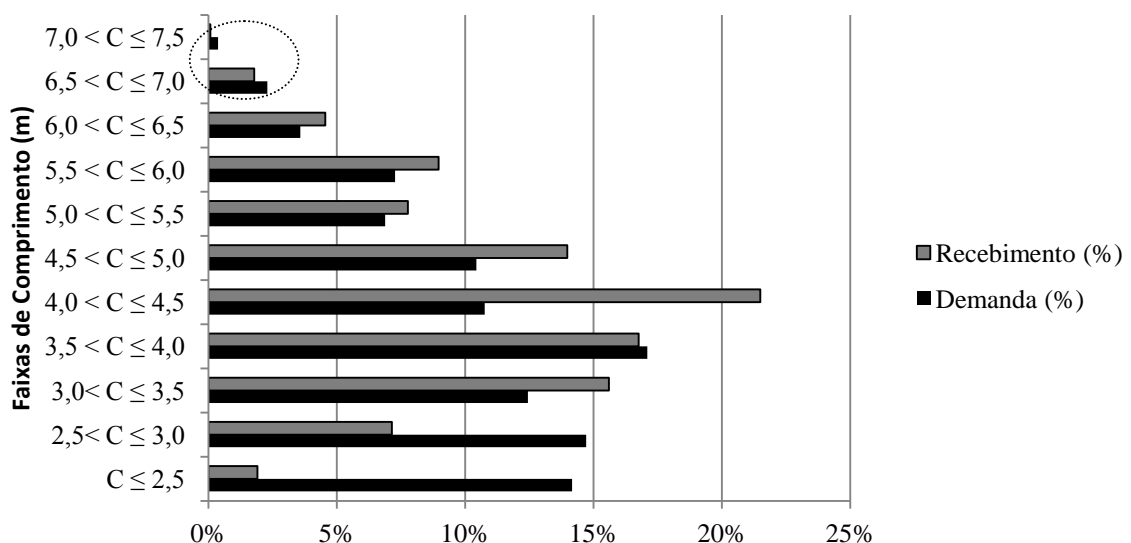


Figura 6 – Perfil do comprimento das peças demandadas e recebidas  
Fonte: autor

Pode-se notar na figura acima que, para produtos de comprimento superior a 6,5 metros, conforme destacado, a Empresa X pode estar perdendo vendas para seus concorrentes, uma vez que o tamanho da demanda se mostra superior ao recebimento e que não há possibilidade de transformação de peças maiores em peças menores. Na realidade, esta discrepância pode ser ainda maior, uma vez que a empresa não possui a prática de computar as vendas perdidas. Para produtos com comprimentos no intervalo entre 3,5 e 4,0 metros, bem como inferiores a 3 metros, demanda-se mais que se recebe. Porém, neste caso existe a possibilidade da serragem de peças maiores.

A Empresa X, ao tomar ciência das características da demanda, tem informações importantes que podem ser transmitidas aos seus fornecedores. Dessa forma, pode-se iniciar a tentativa de melhor coordenar o processo de suprimento com o de demanda, de modo que o fornecedor possa oferecer peças de madeira que melhor atendam seu cliente através da comunicação regular. Por exemplo, as vendas de produtos com dimensões superiores a 6,5 metros podem ser maiores caso sua oferta também se elevasse. Uma vez que o fornecedor tenha ciência de que cerca de 3% da demanda final são para essas peças, este poderia, já possuindo conhecimento antecipado desta demanda, de configurar o lote de ressuprimento de acordo com esse percentual – enviando cerca de 1,4 m<sup>3</sup> de peças com comprimento superior a 6,5 metros. O mesmo raciocínio vale para as demais dimensões. Cerca de 70% da demanda prefere peças de comprimento inferior a 4,5 metros, com maior incidência na faixa entre 3,5 e 4 metros.

Porém, no cenário atual de fornecimento desse tipo de produto, a Empresa X não possui força sobre os seus fornecedores, o que se configura como limitador para a tentativa de melhor compor o lote de ressuprimento. Geralmente as peças são enviadas conforme a disponibilidade do produto pelo fornecedor, devendo a Empresa X aceitar a configuração do lote que é fornecida.

A Figura 7 apresenta a relação entre peças demandadas e recebidas, considerando a característica de largura (em centímetros). De leitura similar à figura anterior, esta mostra o percentual do produto pertencente a uma faixa de largura, em relação ao total da amostra. Pode ser percebido que a demanda por clientes e o recebimento do fornecedor estão mais em sintonia, quando comparados à característica de comprimento. Porém, é evidente a mesma dificuldade para venda de peças com larguras superiores a 24 centímetros, para as quais a demanda é superior ao estoque e há poucas possibilidades de serragem. Para demandas de peças de largura inferior a 7,5 cm, os pedidos também são mais altos em relação ao que é enviado pelo fornecedor, porém, neste caso, é possível realizar a transformação do produto.



No caso de tentativa de coordenação da demanda e suprimento, o lote poderia, por exemplo, englobar cerca de 1 metro cúbico de peças com larguras superiores a 24 cm (2% do lote). Além disso, o lote poderia considerar a possibilidade de atender a 90% da demanda, a qual possui preferência por peças de larguras inferiores a 14,5 cm, de acordo com os dados detalhados por faixa medida.

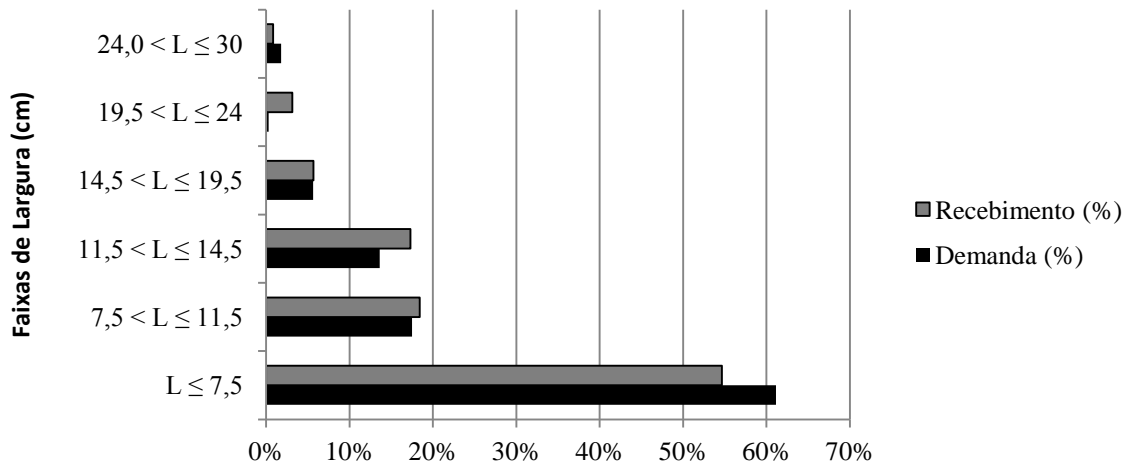


Figura 7 – Perfil da largura das peças demandadas e recebidas  
Fonte: autor

A grande dificuldade está quando se unem comprimento e largura, compondo diferentes tipos de peças. A amostra de 3440 elementos foi analisada de forma detalhada, estratificando-se o perfil em termos de comprimento e largura (como dito anteriormente, a altura é fixa em 5,5 cm, podendo ser reduzida caso seja demandado pelo cliente). Percebe-se certa semelhança à regra 80-20 de Pareto para a demanda da Empresa X: 80% das vendas concentram-se em 26% dos perfis de peças. Ou seja, tratando-se e atentando-se a 26% das combinações demandadas, a Empresa X estará apta a atender mais de 80% de sua demanda.

O detalhamento dos produtos mais demandados pode ser visualizado na Tabela 7. Para melhor entendimento da nomenclatura utilizada para cada perfil, consideram-se primeiramente a letra referente a cada dimensão sucedida por seu valor. Por exemplo, o produto mais demandado, com 8,87% de *share*, possui comprimento (C) de 4 metros, largura (L) de 7,5 centímetros e altura (A) de 5,5 centímetros.

Tabela 7 – Perfil das peças mais demandadas (C = Comprimento; L = Largura; A = Altura)

Perfil	Share	Perfil	Share
C4 L7,5 A5,5	8,87%	C7 L7,5 A5,5	1,34%
C5 L7,5 A5,5	6,92%	C2,5 L14,5 A5,5	1,22%
C3 L7,5 A5,5	5,81%	C1,5 L7,5 A5,5	1,19%
C3,5 L7,5 A5,5	4,74%	C4 L14,5 A5,5	1,16%
C3 L6 A5,5	4,22%	C2 L10 A5,5	1,13%
C5,5 L7,5 A5,5	3,60%	C6 L11,5 A5,5	1,05%
C2,5 L7,5 A5,5	2,99%	C2 L6 A5,5	1,02%
C4,5 L7,5 A5,5	2,85%	C5,5 L6 A5,5	1,02%
C3,5 L10 A5,5	2,70%	C6 L14,5 A5,5	1,02%
C6 L7,5 A5,5	2,44%	C5 L14,5 A5,5	0,96%
C4,5 L6 A5,5	2,35%	C3,5 L19,5 A5,5	0,90%
C4 L10 A5,5	2,18%	C2 L7,5 A5,5	0,87%
C3 L14,5 A5,5	1,98%	C4 L11,5 A5,5	0,81%
C4 L4 A5,5	1,74%	C5,5 L14,5 A5,5	0,81%
C3,5 L14,5 A5,5	1,69%	C6 L19,5 A5,5	0,81%
C4,5 L14,5 A5,5	1,69%	C3,9 L7 A5,5	0,78%
C6,5 L7,5 A5,5	1,54%	C4 L6 A5,5	0,78%
C3,5 L6 A5,5	1,40%	C5 L6 A5,5	0,78%
C4,5 L11,5 A5,5	1,40%	C5 L19,5 A5,5	0,76%

Fonte: autor

Em sintonia com a análise realizada da Figura 6, verifica-se que, entre os produtos mais demandados, os comprimentos mais preferidos são aqueles inferiores a 4,5 metros. Porém, há pontos de atenção para faixas de maior possibilidade de falta. Verifica-se, por exemplo, que somente o produto de perfil C7 L7,5 A5,5 possui 1,34% do *share* das vendas; se consideradas outras combinações, com demais larguras, a procura por peças de 7 metros podem ser ainda maiores.

Tendo então a visão de como a demanda pelas peças se comporta, o maior desafio é tentar a coordenação na cadeia para formação dos lotes, de forma a maximizar a satisfação dos clientes finais bem como reduzir estoques e minimizar as perdas (tanto financeiras, quanto de material, oriundas do apodrecimento e rejeitos dos cortes). No entanto, é possível que, através de algumas informações como, por exemplo, o perfil da demanda, estoque disponível e pedido firme, se possa decidir melhor sobre os melhores cortes a se fazer, resolvendo-se problemas de corte de Estoque.

Modelos de corte de estoque podem ser vantajosos em situações onde os materiais estocados possuem dimensões diferentes. As sobras dos cortes podem atender a demanda

futuras e, por isso, possuem um valor inerente. Quando o custo da matéria-prima é significativamente alto em relação ao custo do produto, trabalhar a melhor maneira de utilizar as sobras apresenta-se como um meio de aprimorar o desempenho econômico (CHERRI, et al., 2011), bem como de evitar o comprometimento da competitividade da empresa no mercado em que atua (ALEM; MORABITO, 2013). A utilização de técnicas para problemas de cortes de peças maiores em peças menores podem objetivar tanto a minimização de perda de material quanto a minimização de custo dos itens cortados (POLDI; ARENALES, 2010).

## 4 RESULTADOS SUMARIZADOS E SUGESTÕES DE MELHORIA

### 4.1 RELATÓRIO SINTÉTICO

O presente estudo buscou realizar a análise de estoque da Empresa X, de modo a propor melhorias relacionadas a estoque, visando melhor orientar o gestor em suas decisões. O produto analisado foi a madeira, comercializada principalmente para a construção de telhados, sendo chamada comumente de caibro ou viga.

Através dos dados históricos coletados, foi possível realizar a análise do comportamento da demanda pelo produto. A demanda total é a soma da demanda da matriz, e das demandas das duas filiais. Primeiramente, foi analisada a demanda mensal total, em metro cúbico, considerando vendas de janeiro de 2012 a dezembro de 2015, compondo assim uma amostra de 48 elementos. Com o auxílio do software Arena®, foi verificado que, estatisticamente, a melhor distribuição que se ajusta aos dados é a normal, indicando uma demanda mensal total de média 36,0 metros cúbicos e desvio padrão de 11,6 metros cúbicos.

Colocando em comparação as demandas de cada loja, foi possível chegar a algumas conclusões: (1) a Filial 2 possui a maior incerteza de demanda, seguida pela Matriz e pela Filial 1, com coeficientes de variação de 0,82, 0,71 e 0,51, respectivamente (o coeficiente relaciona desvio padrão e a média, informando o tamanho da incerteza da demanda); (2) existe baixa correlação entre as demandas da Matriz e da Filial 2 (0,05), entre a Filial 1 e a Filial 2 (-0,13) e entre a Matriz e a Filial 1 (-0,31); (3) As correlações negativas podem dar a indicação de que as lojas apresentam comportamento de concorrência entre elas. Além do mais, pela análise da série histórica de vendas, verificou-se que a demanda por madeira apresenta um padrão de comportamento irregular, não apresentando, também, comportamento sazonal.

Através dos parâmetros obtidos acerca da demanda, foi realizada a verificação do quanto é vantajosa a agregação do estoque de segurança em uma loja, ou seja, na matriz, a qual atua como centro de distribuição atualmente. O estoque de segurança é aquele utilizado para amortecer as variações tanto da demanda, quanto da oferta. No caso em questão, este estoque foi considerado como aquele que irá responder a variações da demanda durante o prazo de ressuprimento do fornecedor. O estoque de segurança foi calculado e indica os seguintes valores, para cada loja: Matriz (12,75 m<sup>3</sup>); Filial 1 (10,38 m<sup>3</sup>) e; Filial 2 (6,41 m<sup>3</sup>).

Para verificar a vantagem na agregação fez-se necessário calcular também o estoque de segurança agregado, ou seja, aquele que estaria centralizado em apenas uma loja.

Verificou-se que este indica um quantitativo de 14,85 m<sup>3</sup>. Pode-se notar que, comparando a soma dos estoques de segurança desagregados com o agregado, este se mostra quase a metade daquele. Ou seja, agregando-se o estoque de segurança, haverá uma economia de quase 15 m<sup>3</sup> de madeira. Em termos financeiros, a centralização deste estoque promove então uma economia de quase R\$26,00 por metro cúbico vendido pela Empresa X. Cabe ressaltar que este ganho está alinhado ao estoque de segurança, podendo ter proporções ainda maiores quando considerada também a agregação do estoque cíclico.

Para decidir sobre o tamanho ideal do lote de ressurgimento, primeiramente foi aplicado o modelo do Lote Econômico de Compra (LEC). O LEC é um modelo que apresenta o tamanho ótimo do lote a ser solicitado ao fornecedor, de modo que se tenha o custo total mínimo. Uns dos principais custos associados ao estoques são o custo do material, custo do pedido e custo de armazenamento. O LEC indicará o tamanho do lote que minimiza o custo total. Através do cálculo, chegou-se a um lote ótimo de 158,09 m<sup>3</sup>. Porém este resultado não é adequado. Existem algumas premissas do modelo que não existem no caso concreto. Uma delas diz que o custo do pedido é fixo independente do tamanho do lote. No caso da Empresa X, o custo do pedido é influenciado quase que totalmente pelo custo do transporte da madeira, do fornecedor à empresa. Um veículo possui capacidade média de 46 m<sup>3</sup>, assim, qualquer lote superior a isso, demandará mais veículos, exigindo o pagamento pelo transporte em múltiplos inteiros da capacidade da carreta. Caso fosse considerado o valor dado pelo LEC, seriam necessárias 4 carretas, não uma – isso faria o modelo se alterar, saindo-se do custo mínimo. Assim, como o custo fixo do pedido tem um limite de 46 m<sup>3</sup>, verificou-se que vale mais a pena pedir sempre em lotes de 46 m<sup>3</sup>. Ou seja, é melhor pedir sempre em lotes de 46 m<sup>3</sup>, realizando assim, cerca de 10 pedidos todo ano.

Realizou-se também a análise detalhada, considerando agora não a madeira em m<sup>3</sup>, mas sim em peças, com dimensões estratificadas e comprimento e largura. Através de uma amostra de 3440 peças vendidas e 4830 peças recebidas do fornecedor, foi possível comparar demanda e oferta. Pode-se chegar às seguintes conclusões: (1) para peças de comprimento superior a 6,5 metros, a Empresa X pode estar perdendo vendas para seus concorrentes, uma vez que o tamanho da demanda se mostra superior ao recebimento e que não há grande possibilidade de transformação de peças maiores em peças menores; (2) Cerca de 70% da demanda prefere peças de comprimento inferior a 4,5 metros, com maior incidência na faixa entre 3,5 e 4 metros; (3) cerca de 90% da demanda possui preferência por peças de larguras inferiores a 14,5 cm; (4) 80% das vendas concentram-se em 26% dos perfis de peças, ou seja: tratando-se e atentando-se a 26% das combinações mais demandadas, a Empresa X estará apta

a atender mais de 80% de sua demanda; (5) a peça mais demandada, com 8,87% de *share*, possui comprimento de 4 metros, largura de 7,5 centímetros e altura de 5,5 centímetros.

#### 4.2 SUGESTÕES DE MELHORIA

De forma a fornecer maiores subsídios para que a Empresa X possa aprimorar seu processo de gestão de estoques, o autor sugere alguns pontos de melhoria. Um deles, de grande relevância, trata dos dados reais de demanda. Considerar dados de demanda como sendo os dados de vendas pode ser um erro, exceto se todos os pedidos forem sempre atendidos. A demanda por um produto é constituída pelas vendas realizadas e pelas vendas perdidas. Neste último caso, a necessidade pelo produto existiu, porém não foi satisfeita pela empresa. Dessa forma, ao se considerar a demanda através de dados de venda, na realidade está subestimando esta última, promovendo resultados quantitativos de análise de estoque que podem estar distorcidos da realidade.

Outra sugestão de melhoria, a qual suportaria também aquela supramencionada, refere-se ao uso de sistemas e tecnologia da informação. Um sistema de informação, baseado no uso de tecnologias da informação, consiste em um conjunto de recursos – pessoas, hardware, software, dados e redes – que visam transformar dados em informações para a organização (O'BRIEN, 2006). Um sistema de informação estratégica será aquele que irá apoiar a empresa a perseguir seus objetivos estratégicos e aumentar sua vantagem competitiva (NEUMANN, 1994).

De acordo com Bowersox e Closs (2008), a produtividade do estoque pode ser aperfeiçoada através do maior e melhor fluxo de informação na cadeia, bem como através da redução de incertezas inerentes à gestão de estoques. O aprimoramento das políticas de estoque, a integração de informações e a adoção de sistemas especialistas (os quais utilizam o meio eletrônico para compartilhar dados e técnicas de gerenciamento de estoque com outras áreas da empresa) formam uma receita para uma boa gestão (BOWERSOX; CLOSS, 2008). Com a utilização desses sistemas especialistas pode-se perceber ganhos significativos de produtividade e desempenho do estoque (ALLEN; HELFERICH, 1990).

Sugere-se então que a empresa utilize sistemas e tecnologias da informação que sejam compatíveis com seu contexto e que possam dar maior suporte ao processo decisório e de gestão. A informação é fato chave de sucesso e deve ser mais bem trabalhada. A utilização de softwares de gerenciamento de armazém, por exemplo, seria útil para consultar e controlar

estoques, apoiar a equipe de vendas, bem como promover maior intercâmbio de dados entre os setores da empresa.

Como mencionado no capítulo 3, o melhor planejamento dos cortes das peças resulta em ganhos positivos, reduzindo as sobras pelo processo de serragem, realizando melhores transformações de peças maiores em menores, entre outros, reduzindo perdas de material. O desenvolvimento, a partir de uma equipe técnica especializada, de um programa de modelagem que resolva o problema de corte de estoque da Empresa X, ajudaria a reduzir suas perdas e melhorar seu rendimento em estoque.

## 5 CONCLUSÃO

Esta pesquisa se pautou no objetivo de analisar de maneira objetiva e quantitativa o estoque de uma empresa que comercializa madeira, produto muito utilizado na indústria da construção civil. Os gestores da Empresa X tomam decisões relacionadas a estoque baseadas no conhecimento adquirido ao longo do tempo, de maneira subjetiva. Apesar de, muitas vezes, o método intuitivo ser valioso para o processo decisório, faz-se necessária a validação com dados quantitativos, de maneira objetiva. Dessa maneira e possível perseguir melhores resultados em custos além de proporcionar maior confiabilidade, reduzir a ruptura de estoque e prover maior atendimento à demanda.

No tocante à decisão de agregação *versus* desagregação, os resultados numéricos apontam que a centralização do estoque de segurança proporciona economia de estoque à Empresa X, economia esta que pode ser ainda maior se considerado o estoque cíclico. Dessa forma, a decisão antes tomada pelos gestores a favor da centralização foi validada quantitativamente. Relacionado ao lote de ressuprimento, pode-se verificar que o modelo do Lote Econômico de Compra na realidade não se mostra adequado, uma vez que existem premissas desse modelo que não são coerentes com a realidade da empresa. Conclui-se que vale mais a pena que a Empresa X emita ordens de compra com lote no limite da capacidade de transporte. Realizando uma análise desagregada do produto, verificou-se que, cerca de 26% dos tipos de peças de madeira correspondem a mais de 80% da demanda, dando assim informações importantes para que a empresa possa melhor redesenhar seu lote e o processamento (serragem) da madeira. Além disso, a comunicação contínua e antecipada à necessidade de ressuprimento pode ser uma estratégia para sintonizar a oferta e a demanda

Este trabalho se mostra de grande valia para o autor, uma vez que, com ele, foi possível a utilização de conhecimentos, técnicas e ferramentas que são demandados e necessários a um Engenheiro de Produção, como já comentado na justificativa para o estudo. Este profissional deve ser capaz de agregar conhecimentos multidisciplinares para proporcionar soluções factíveis que impactem de maneira favorável o desempenho de uma unidade produtiva ou comercial.

Por fim, não esgotando o tema, estudos futuros podem ser realizados junto à Empresa X, ou a empresas atuantes em seu segmento. Propõe-se: a análise dos impactos e benefícios do uso de Sistemas e Tecnologias da Informação; a análise do *Empowerment* na cadeia de suprimentos dessa indústria; desenvolvimento de algoritmo para auxiliar as decisões de cortes, baseados no perfil de demanda e disponibilidade de estoque.



## 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEPRO - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Engenharia de Produção: Grande Área e Diretrizes Curriculares**. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/arquivos/websites/1/DiretrCurr19981.pdf>>. Acesso em: 29 nov. 2015.

AGUIAR, Fernando Henrique Oliveira de; SAMPAIO, Mauro. Identificação dos fatores que afetam a ruptura de estoque utilizando análise de agrupamentos. **Prod.**, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 57-70, mar. 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-65132014000100005&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132014000100005&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 31 Jan. 2016.

ALEM, Douglas; MORABITO, Reinaldo. O problema combinado de planejamento da produção e corte de estoque sob incertezas: aplicação em fábricas de móveis de pequeno porte. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 20, n. 1, p. 111-133, mar. 2013. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-530X2013000100009&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2013000100009&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 31 jan. 2016.

ALLEN, Mary Kay; HELFERICH, Omar Keith. **Putting expert systems to work in logistics**. Oak Brook, III: Council of Logistics Management, p. 60-64, 1990.

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

CHERRI, Adriana Cristina; ALEM JUNIOR, Douglas José; SILVA, Ivan Nunes da. Inferência fuzzy para o problema de corte de estoque com sobras aproveitáveis de material. **Pesqui. Oper.**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 1, p. 173-195, abr. 2011. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-74382011000100011&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-74382011000100011&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 31 Jan. 2016.

CHOPRA, Sunil; MEINDL, Peter. **Gestão da cadeia de suprimentos: estratégia, planejamento e operações**. 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

FIGUEIREDO, Edmar Diniz de; CAVALCANTI NETTO, Maria Aparecida. MODELO DE CENTRALIZAÇÃO DE ESTOQUES PARA A LOGÍSTICA DE SUPRIMENTO DA EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO DA PETROBRAS. **Pesqui. Oper.**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, p. 137-158, jul. 2001. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-74382001000200002&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-74382001000200002&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 09 fev. 2016

GARCIA, Eduardo Saggioro et al. **Gestão de Estoques: otimizando a logística e a cadeia de suprimentos**. 1 ed. Rio de Janeiro: E-Papers Serviços Editoriais, 2006. 144p.

MAISTER, D. H. Centralization of Inventories and The Squaer Root Law. **International Journal of Physical and Materials Management**, n. 3, p. 124-134, 1976.

MIGUEL, P. A. C. (organizador). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

MONTGOMERY, Douglas C.; RUNGER, George C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

NEUMANN, Seev. **Strategic Information system: competition through information Technologies**. New York: Macmillan College Publishing Co., 1994.

O'BRIEN, James A. **Sistemas de informação e as decisões gerenciais na era da internet**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.

POLDI, Kelly Cristina; ARENALES, Marcos Nereu. O problema de corte de estoque unidimensional multiperíodo. **Pesqui. Oper.**, Rio de Janeiro, v. 30, n. 1, p. 153-174, Abr. 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-74382010000100008&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-74382010000100008&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 31 Jan. 2016.

PORTER, Michael E. **Vantagem Competitiva**. Rio de Janeiro: Campus, 1989.

ROGERS, Pablo et al. Avaliando o Risco na Gestão Financeira de Estoques. In: Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais, 7, 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: FGV-EAESP, 2004. Disponível em: <<http://www.pablo.prof.ufu.br/artigos/simpoi1.pdf>>. Acesso em: 09 fev. 2016.

ROSA, Hobed; MAYERLE, Sérgio Fernando; GONCALVES, Mirian Buss. Controle de estoque por revisão contínua e revisão periódica: uma análise comparativa utilizando simulação. **Prod.**, São Paulo, v. 20, n. 4, dez. 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-65132010000400011&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132010000400011&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 31 Jan. 2016.

SANTORO, Miguel Cezar; FREIRE, Gilberto. Análise comparativa entre modelos de estoque. **Prod.**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 89-98, 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-65132008000100007&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132008000100007&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 31 Jan. 2016.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Participação das Micro e Pequenas Empresas na Economia Brasileira**. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Estudos%20e%20Pesquisas/Participacao%20das%20micro%20e%20pequenas%20empresas.pdf>>. Acesso em: 16 dez. 2015.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. Tradução de Maria Teresa Corrêa de Oliveira. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

WARREN, Blanding. **11 Hidden Costs of Customer Service Management**. Washington, DC: Marketing Publications, 1974.

WILD, T. **Best practice in inventory management**. Oxford: Elsevier, 2002.

ZIN, W.; LEVY, M.; BOWERSOX, D.J. Measuring The Effect of Inventor Centralization/Decentralization on Aggregate Safety Stock: The "Square Root Law" Revisited. **Journal of Business Logistics**, n.1, p. 1-14, 1989.

## ANEXO A – TERMO DE AUTENTICIDADE



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
FACULDADE DE ENGENHARIA

### Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Produção é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.

Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.

Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral<sup>1</sup> e criminais previstas no Código Penal<sup>2</sup>, além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20 \_\_\_\_.

\_\_\_\_\_  
NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A)

\_\_\_\_\_  
Matrícula

\_\_\_\_\_  
ASSINATURA

\_\_\_\_\_  
CPF

<sup>1</sup> LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

<sup>2</sup> Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena - detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.