

Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação

ALEXANDRE MEDEIROS SILVA

**DEFINIÇÃO DE LOTE ECONÔMICO, PONTO DE RESSUPRIMENTO
E ESTOQUE DE SEGURANÇA DE MINÉRIOS DE FERRO FINO
EM UMA SINTERIZAÇÃO**

Belo Horizonte
2017

ALEXANDRE MEDEIROS SILVA

**DEFINIÇÃO DE LOTE ECONÔMICO, PONTO DE RESSUPRIMENTO
E ESTOQUE DE SEGURANÇA DE MINÉRIOS DE FERRO FINO
EM UMA SINTERIZAÇÃO**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Otimização de Sistemas do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do grau de especialista em Otimização de Sistemas.

Área de concentração: Gestão Industrial

Orientador(a): Prof. Dr. Geraldo Robson Mateus

Belo Horizonte
2017

© 2017, Alexandre Medeiros Silva.
Todos os direitos reservados

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do ICEx - UFMG

Silva, Alexandre Medeiros.

S585d Definição de lote econômico, ponto de ressuprimento e
 estoque de segurança de minérios de ferro fino em uma
 sinterização / Alexandre Medeiros Silva. – Belo Horizonte,
 2017.
 xl, 54 f.: il.; 29 cm.

Monografia (especialização) - Universidade Federal de
Minas Gerais – Departamento de Ciência da Computação.

Orientador: Geraldo Robson Mateus.

1. Computação. 2. Controle de estoque. 3 Lote
econômico., Orientador. II. Título.

CDU 519.6*61(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
ESPECIALIZAÇÃO EM OTMIZAÇÃO DE SISTEMAS: ÁREA DE CONCENTRAÇÃO
GESTÃO INDUSTRIAL

DEFINIÇÃO DE LOTE ECONÔMICO, PONTO DE RESSUPRIMENTO E ESTOQUE DE SEGURANÇA DE MINÉRIOS DE FERRO FINO EM UMA SINTERIZAÇÃO

Alexandre Medeiros Silva

Monografia apresentada aos Senhores:

Prof. Geraldo Robson Mateus - Orientador
Departamento de Ciência da Computação - UFMG

Prof. Martin Gomez Ravetti
Departamento de Engenharia de Produção - UFMG

Prof. Marcelo Azevedo Costa
Departamento de Engenharia de Produção - UFMG

Belo Horizonte, 18 de abril de 2017

Dedico este trabalho à minha família, que sempre presente, baseia minhas ações e impulsiona meu ser. Agradeço pela paciência de minha ausência, pela parceria de todas as horas, pela tranquilidade, carinho e compreensão que chegaram junto com seus apoios.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a Deus, Ser maior da vida, que me dá forças todos os dias, para conseguir alcançar minhas metas na vida de forma mais eficiente possível, apesar de todas as adversidades.

Aos meus colegas de estudos, a amizade e colaboração na interação dos conhecimentos.

Aqueles que se comprometeram em ensinar-me, meus professores do curso, dedico atenção especial.

Agradeço à UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais, pela oportunidade que me foi dada.

Ao coordenador do curso Prof. Geraldo Robson Mateus, e aos meus gestores Lucas Monteiro Vilas Boas e Gileno Antonio de Oliveira, pela sensibilidade e apoio nos momentos decisivos de minha caminhada de especialização.

RESUMO

Esta monografia restringe-se a aplicar conceitos de gestão de estoque apresentados no curso de Especialização em Otimização de Sistemas do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais. Este estudo de caso concentra-se em definir o Lote Econômico, o Ponto de Ressuprimento e o Estoque de Segurança dos minérios de ferro finos, utilizados no processo de Sinterização, de uma empresa siderúrgica integrada de grande porte. Atualmente há um excedente de capacidade de produção de aço e uma crise política/econômica nacional. Este cenário adverso é motivador para que a empresa se fortaleça e busque diferenciais como vantagem competitiva. Os estoques de minérios de ferro finos possuem elevado capital de giro empregado, por sua característica de escala. Esta matéria prima possui significativa representatividade dos custos, sobre o total dos custos do aço. Uma gestão otimizada sobre o inventário deste recurso requer uma atenção especial, mediante expressivos valores financeiros mobilizados. Atualmente busca-se o estoque máximo de capacidade do Pátio Primário. As justificativas dos gestores se baseiam em garantir a qualidade das misturas e para que não ocorram perdas de produção de sinter. Após elevar os conhecimentos científicos da equipe sobre técnicas de gestão de estoque, e aplicá-las (a princípio neste material) associando ao domínio das especificidades das áreas operacionais, foi possível gerar alternativas à área operacional para tomada de decisão. Foi oportunizada uma redução de 33,8% do nível de estoque de segurança total, disponibilizando um capital mensal de R\$ 5,2 milhões para novos investimentos, podendo ser aplicados para melhorar a produtividade ou competitividade.

Palavras-chave: gestão de estoque, lote econômico, ponto de ressuprimento, estoque de segurança

ABSTRACT

This monograph is restricted to apply inventory management concepts presented in the course Systems Optimization Specialization of the Exact Sciences Institute (Minas Gerais Federal University). This case study focuses on defining the Order Quantity, the Reorder Point and the Inventory Level Just of iron ores sinter feed used in the process of sintering, a large integrated steel company. Currently there is a surplus of steel production capacity and a national crisis political/economic. This adverse scenario is motivating for the company to strengthen and seek differentials as a competitive advantage. The sinter feed stocks have high working capital employed, by its characteristic scale. This raw material has significant representation costs, on total steel costs. An optimized management of the inventory of this resource requires special attention by significant financial values mobilized. Currently seeking the maximum stockyard capacity, the justifications of managers are based on ensuring the quality of mixtures and to prevent any sinter production losses. After increase the scientific knowledge of the team on inventory management techniques, and apply them (the principle in this material) associating the mastery of operational specificities, it was possible to generate alternatives to the operational area for decision making. There was a reduction of the total security stock level of 33.8%, providing a monthly capital of R\$ 5.2 million for new investments and could be applied to improve productivity or competitiveness.

Keywords: inventory management, order quantity, reorder point, inventory level just

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de estoque – EOQ Básico.....	21
Figura 2 – Gráfico representando a função $B(Q)$ – convexa e diferencial.	22
Figura 3 – Diagrama de estoque – EOQ com Possibilidade de Atrasos Planejados.	24
Figura 4 – Controle de estoque de ponto de pedido sob incerteza.	26
Figura 5 – Inter-relacionamento entre duas distribuições de probabilidade.....	31
Figura 6 – Processo básico de extração e beneficiamento do minério de ferro.....	32
Figura 7 – Esquema dos materiais consumidos e produto gerado na sinterização.....	33
Figura 8 – Demonstração dos processos siderúrgicos – destacando a sinterização.	34
Figura 9 – Esquema básico do processo de sinterização tipo Dwight Lloyd.	35
Figura 10 – Gráfico do histórico da demanda dos últimos 6 anos	35
Figura 11 – Esquema de fornecimento atual (médio).....	36
Figura 12 – Histograma da demanda.....	37
Figura 13 – Gráfico do teste de normalidade para demanda.	38
Figura 14 – Variação prevista de redução de estoque de segurança.	42
Figura 15 – Redução prevista de passivos mensais (contábil e estoque médio).	43
Figura 16 – Simulação do comportamento do estoque – fornecedor Alfa.	44
Figura 17 – Simulação do comportamento do estoque – fornecedor Beta.....	45
Figura 18 – Simulação do comportamento do estoque – fornecedor Gama.....	46
Figura 19 – Simulação do comportamento do estoque – fornecedor Delta.....	47
Figura 20 – Simulação do comportamento do estoque – fornecedor Épsilon.....	48
Figura 21 – Simulação do comportamento do estoque – fornecedor Dzeta.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Lead Time de Fornecimento	36
Tabela 2 – Dados por Fornecedor	39
Tabela 3 – Transformação do Lead Time (dias para mês)	39
Tabela 4 – Cálculo do R e Q	40
Tabela 5 – Cálculo do Estoque de Segurança.....	41
Tabela 6 – Dados do Lead Time Reduzido	41
Tabela 7 – Cálculo do R e Q - Lead Time Reduzido	42
Tabela 8 – Cálculo do Estoque de Segurança - Lead Time Reduzido	42
Tabela 9 – Resultados de Estoque Médio Calculado (inicial e proposto)	43
Tabela 10 – Resultados do Fornecedor Alfa (racional evidenciado).....	44
Tabela 11 – Resultados do Fornecedor Beta (racional evidenciado)	45
Tabela 12 – Resultados do Fornecedor Gama (racional evidenciado)	46
Tabela 13 – Resultados do Fornecedor Delta (racional evidenciado)	47
Tabela 14 – Resultados do Fornecedor Épsilon (racional evidenciado)	47
Tabela 15 – Resultados do Fornecedor Dzeta (racional evidenciado)	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$*$	função otimizada
$\rightarrow$	tende à
∞	infinito
B	custo total por ciclo
$B(Q)$	custo total por unidade de tempo
c	custo unitário para a produção ou aquisição
$c(z)$	custo de encomendar y unidades
CTR	custo total relevante
d	demanda
$DDLT$	<i>demand during lead time</i>
$E_{(z)}$	função de perda normal
EM	estoque médio
EOQ	<i>economic order quantity</i>
ES	estoque de segurança
Fe	ferro
Fe_2O_3	hematita
h	custo de manutenção de estoque por unidade de tempo
K	custo fixo para encomendar um lote (liberação de ordem);
LT	<i>lead time</i>
NS	nível de serviço
p	custo de atraso
PVO	plano de vendas e operações
Q	tamanho do lote (ordem)
R	ponto de ressuprimento
$R\$$	reais
$R\$/t$	reais por tonelada
S	nível máximo de estoque
σ_d	desvio padrão da demanda
σ'_d	desvio padrão da demanda durante o <i>lead time</i>
σ_d^2	variância da demanda
σ'^2_d	variância da demanda durante o <i>lead time</i>
$\sigma'_d E_{(z)}$	número esperado de unidades em falta no estoque durante o ciclo de pedidos
σ_{LT}	desvio padrão do <i>lead time</i>
t	tempo de ciclo
t	toneladas
$t/mês$	toneladas por mês
μ	média da distribuição durante o <i>lead time</i>
z	número de desvios padrões

SUMÁRIO

1	Introdução	11
2	Revisão bibliográfica	12
2.1	Tipos de Demanda	13
2.2	Sistemas de Controle e Políticas de Estoques	14
2.2.1	Sistema de Revisão Contínua (Sistema Q)	15
2.2.2	Sistema de Revisão Periódica (Sistema P)	15
2.3	Custos	16
2.3.1	Custo de Pedido	16
2.3.2	Custo de Manutenção de Estoque.....	17
2.3.3	Custo de Falta	18
3	Lote Econômico de Compra	18
3.1	O Modelo EOQ (Economic Order Quantity) Básico	19
3.2	O Modelo EOQ com Possibilidade de Atrasos Planejados	22
3.3	Modelo do Ponto de Pedido com Demanda Incerta	25
3.3.1	Calculando Q	28
3.3.2	Calculando R	28
3.4	Modelo do Ponto de Pedido com Incerteza da Demanda e do Tempo de Ressuprimento	30
4	Estudo de Caso.....	32
5	Conclusões	50
	Referências Bibliográficas.....	51
	Anexo A - Função Perda Normal	53

1 INTRODUÇÃO

Mediante conjuntura mundial de capacidade excedente de produção de aço, da ordem de 700 milhões de toneladas/ano, e a crise econômica nacional, que reduz o consumo no mercado doméstico, as empresas necessitam fortalecer a capacidade competitiva, assim está focada entre outras ações na gestão do capital de giro. O capital de giro define a capacidade de honrar pagamentos e o nível de empenho para tal, bem como os níveis de solvência.

Os estoques são certamente um dos principais componentes do capital de giro, sobretudo para indústria. Considerando usinas siderúrgicas integradas à coque, a área de Redução (produtora de ferro gusa – altos-fornos) possui significativa representatividade dos custos de matérias primas, sobre o total do custo do aço. Sendo, a composição da carga metálica (minério de ferro fino) da sinterização, um capítulo especial como diferencial em vantagem competitiva, mediante expressivos valores financeiros mobilizados.

Atualmente o estoque de minério de ferro fino é visado ao máximo de capacidade dos pátios primários, esse procedimento se dá sob alegação de seguridade da qualidade e produção. O lote é definido pelo fornecedor de serviços logísticos ferroviários. E o ponto de ressuprimento em função da demanda de consumo, sempre mantendo o máximo de estoque de trabalho.

Assim, faz-se necessário conhecer cientificamente as ferramentas de gestão de estoque aplicadas a este material, a fim de dar subsídios à área operacional para tomada de decisão.

A proposta é utilizar os conhecimentos adquiridos com a disciplina “Modelos de Gestão de Estoque” associados ao domínio das especificidades das áreas operacionais de Sinterizações, para definir o lote econômico, ponto de ressuprimento e estoque de segurança, aplicado ao minério de ferro fino.

O estudo deverá ampliar os conhecimentos sobre as previsibilidades de demanda e consumo (distribuições), *lead time*, custos de estoque e estoques de segurança.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Arnold (1999) inicialmente as empresas possuíam um grande volume de estoque, compondo parte significativa dos ativos da empresa sem necessidade, ocasionando maiores custos e perdas de oportunidade de lucros não realizados.

Ferreira¹ et al (2008 apud HENZEL e SILVA, 2012) cita que as empresas necessitam utilizar do processo contínuo de melhoria, para traçar suas diretrizes gerenciais e sobreviver frente ao atual mercado competitivo. Este processo ganha suporte por meio da gestão de estoque e conceitos que identificam toda a cadeia. Nesta conjuntura, a gestão de estoques assume ampla importância para um fluxo enxuto, onde se faz necessário garantir um bom atendimento ao cliente, sem que exista estoque em excesso ao longo da cadeia, focando sempre a lucratividade organizacional.

Nos anos 70, nas plantas de produção da Toyota, Taiich Ohno foi pioneiro na introdução da filosofia *just-in-time*, princípio de planejamento que enfatiza que o produto ou matéria prima precisa chegar ao local de utilização somente no momento exato em que for necessário para a sua utilização. A partir dos resultados japoneses, muitas empresas em outras partes do mundo foram renovando o modo de gerenciamento de seus estoques. Partindo do racional que, minimizando os custos de armazenamento (evitando excesso de estoques) aumenta-se a competitividade das empresas.

O principal objetivo de uma empresa é a obtenção de lucros sobre o capital investido em equipamentos e estoques, este desafio se potencializa com a evolução dos processos industriais e concorrência globalizada. Assim, o investimento em estoque é o combustível para aumentar a produção e consequentemente as vendas, porém em quantidades menores em entregas mais frequentes, aumentando o giro dos produtos. “O objetivo, portanto, é otimizar o investimento em estoques, aumentando o uso eficiente dos meios internos da empresa, minimizando as necessidades de capital investido” (DIAS, 2009, p.23).

Os estoques são necessários em qualquer organização, e não raras vezes geram problemas, cuja grandeza é função do ponto de complexidade e da natureza das operações da produção. “Estoque é definido como acumulação armazenada de recursos materiais em um sistema de transformação” (SLACK, 1999, p.279).

¹FERREIRA, D da C. et al. *A Auditoria de Processo como Suporte à Melhoria contínua: estudo de caso de uma montadora de automóveis*. Produção & Produção, v.9, n.1, p.76-92, 2008).

A administração de estoque deve ser responsável pelo planejamento e controle do inventário, desde a matéria-prima até o produto final. Sendo o estoque resultante da produção final ou em processos, entendendo que os dois devem ser administrados de maneira conjugada. (ARNOLD, 1999).

Gurgel (2000) infere que o controle de estoque envolve as atividades de coordenação dos fornecedores, condições físicas, armazenamento e registro do processo que passa todas as mercadorias. A gestão de estoque constitui-se em gerir recursos detentores de valor econômico e destinado ao fornecimento das necessidades futuras de materiais numa organização.

Coelho (2017) define que estoques são os produtos ou mercadorias guardados em reserva para um uso futuro. Estes produtos podem ser matérias-primas, suprimentos, produtos semi-acabados, em preparação, ou produtos finais.

Os estoques absorvem capital, alterando a rentabilidade da empresa. As mais eficazes técnicas da gestão de estoques sinalizam para grandes reduções nos níveis de estoque. Entretanto é impossível fazê-lo para todos os itens, sobretudo quando esses são muito diversificados (RODRIGUES, 2003).

Fagundes (2003) ratifica que os estoques constituem uma parcela significativa do ativo realizável de uma empresa. Torna-se assim, imperativo que tal segmento do capital circulante seja avaliado e controlado corretamente, de maneira que não haja distorções nos resultados econômico-financeiros das operações sociais.

2.1 Tipos de Demanda

Considera-se demanda como a taxa de consumo de um material durante um espaço de tempo preestabelecido.

Para melhorar a política de estoque, faz-se necessário um gerenciamento de inventário científico. Esta abordagem, segundo Hillier e Lieberman (2005), pode ser dividida em dois grandes modelos, de acordo com o grau de previsibilidade da demanda:

Modelos Determinísticos: assume-se que a demanda é conhecida com precisão;

Modelos Estocásticos: há incertezas significativas na realização da demanda (demanda modelada como uma variável aleatória).

Os Modelos Estocásticos também são conhecidos como probabilísticos.

É salutar que a empresa permaneça focada nos níveis de estoque, tanto para otimizar seus custos, como para a satisfação do cliente. Assim, qualquer ponto do processo formado por etapas de estoque deve ser flexível e trabalhar com confiabilidade no planejamento futuro, “previsão deve levar sempre em consideração os fatores que mais afetam o ambiente e que tendem a mobilizar os clientes. Informações básicas e confiáveis de toda dinâmica de mercado deverão ser utilizadas para decidir quais as quantidades e prazos estabelecidos”. (POZO, 2007, p. 51).

Santos (2001) infere que a previsão possui peculiaridades básicas, é o ponto de partida de todo um planejamento empresarial; não deve ser confundida com a meta de venda/produção; sua precisão deve ser compatível com custo de obtê-las.

Ching (2001) justifica a necessidade de controlar a quantidade adicional do estoque como proteção, contra oscilação na demanda, e no tempo de ressuprimento. Assim, o gerenciamento de estoques torna-se extremamente importante, já que o excesso incide em custos desnecessários de mão de obra e distintas consequências que não colaboram com objetivo principal que é minimizar o desperdício e aumentar o lucro.

2.2 Sistemas de Controle e Políticas de Estoques

Um sistema de controle de estoques é capaz de determinar a periodicidade da colocação de pedidos, bem como estabelecer a quantidade dos pedidos, desde que seja executada a seleção de itens de demanda de forma independente (KERBER, 2004).

Para Henzel e Silva (2012) as políticas de estoque abrangem diretrizes que norteiam a administração de estoques. Devem gerar como resultado o atendimento ao cliente e economicidade para manter um equilíbrio entre elas, garantindo uma estocagem e distribuição nos pontos estabelecidos pelo planejamento.

Política de estoque é o conjunto de atos diretivos que estabelecem, de forma global e específica princípios, diretrizes e normas relacionadas ao gerenciamento. Em qualquer empresa, a preocupação da gestão de estoque está em manter o equilíbrio entre as diversas variáveis componentes do sistema, tais como: custo de aquisição de estocagem e de distribuição; nível de atendimento das necessidades dos usuários consumidores etc. (VIANA, 2000, p.322)

Há várias considerações básicas envolvidas na determinação de uma política de estoques que devem ser conjecturadas nos modelos matemáticos de inventário. Para Hillier e Lieberman (2005) os modelos são classificados de acordo com tipo de monitoramento da quantidade em estoque.

2.2.1 Sistema de Revisão Contínua (Sistema Q)

No Sistema de Revisão Contínua, o volume de estoque está continuamente sendo monitorado e uma nova ordem é liberada assim que a quantidade em estoque alcança um ponto de ressuprimento - *reorder point* (LIEBERMAN, 2005).

Para Kerber (2004) o Sistema Q denomina-se também, sistema do ponto de recolocação de pedido ou sistema de quantidade fixa. Obedece a um monitoramento *full time* dos níveis de estoque, toda vez que um item é retirado, determinando a reposição se necessário. Havendo a redução abaixo do limite pré-definido, ocorre a emissão de um novo pedido.

2.2.2 Sistema de Revisão Periódica (Sistema P)

No Sistema de Revisão Periódica, o nível de estoque é monitorado em intervalos discretos de tempo, e uma ordem é liberada somente nesses momentos de inspeção, caso a quantidade em estoque tenha atingido o ponto de ressuprimento (LIEBERMAN, 2005).

O Sistema P também é conhecido como sistema de recolocação de pedidos em intervalos fixos, ou sistema de recolocação de pedidos periódicos. Neste sistema, o nível de estoque passa a ser verificado periodicamente e não continuamente, como no Sistema Q . Este sistema estabelece uma rotina, podendo simplificar os processos de solicitação e recebimento de pedidos. Os pedidos são sempre colocados ao fim de cada revisão, em um intervalo entre pedidos constante (KERBER, 2004).

Hillier e Lieberman (2005) definem que as políticas de inventário afetam a lucratividade, a escolha entre as políticas depende da sua rentabilidade relativa. Alguns custos que determinam essa rentabilidade são:

- os custos de pedidos
- os custos de armazenagem

- custos de faltas
- as receitas
- os custos de recuperações
- as taxas de desconto

2.3 Custos

Todo gasto para obtenção de bens e serviços aplicados na produção são considerados custos. Assim, define-se que estoque gera custo por ser considerado um bem adquirido, produzido ou em fase de produção, e imobilizado como investimento da corporação (KERBER, 2004).

Os custos associados aos estoques podem representar 50% dos gastos de produção, e as pressões são muitas para reduzir os estoques: competidores, melhor integração logística, sistemas *just-in-time*... (COELHO, 2017).

Para Coelho (2017) muitos custos invisíveis estão associados ao controle e à gestão de estoques. Há um elevado grau de dificuldade para contabilizar corretamente a manipulação dos produtos pelos funcionários, o espaço no estoque, aquecimento, iluminação, equipamentos, seguro, obsolescência, perdas por quebras e/ou roubos, etc.

Segundo Ballou (2001), para a determinação de uma política de estoques, três classes de custos são relevantes: custos de pedido, custos de manutenção e custos de falta (escassez). Esses custos funcionam sob regime de compensações, e estão em conflito. Assim sendo, a adoção de uma política para gerenciamento do estoque não funciona sistematicamente da mesma forma para todos os casos.

2.3.1 Custo de Pedido

O custo de pedido diz respeito aos custos associados com a aquisição para reabastecimento dos estoques (KERBER, 2004). Cada operação para obtenção de produtos implica em um custo de pedido. As despesas administrativas que compõem o custo do pedido advêm do processamento, do ajuste, da transmissão, do manuseio e do pedido propriamente dito.

Conforme Hillier (2005) para uma quantidade z pode ser representada por uma função $c(z)$. A forma mais simples desta função é diretamente proporcional ao volume encomendado, isto é, combinado de duas partes: um termo que é diretamente proporcional à quantidade solicitada, e um termo que é uma constante, K para z positivo e é 0 para $z = 0$.

Para este caso, $c(z)$ = custo de encomendar y unidades:

$$c(z) = \begin{cases} 0 & \text{se } z = 0 \\ K + cy & \text{se } z > 0 \end{cases} \quad (1)$$

onde K = custo de fixo de liberação de ordem e c = custo unitário.

A constante **K** inclui o custo administrativo de ordenar ou, quando se produz, os custos envolvidos em iniciar a produção.

2.3.2 Custo de Manutenção de Estoque

O custo de manutenção de estoque (armazenagem, guarda ou retenção) é resultante da estocagem de bens por um período de tempo e é proporcional a quantidade média dos produtos mantidos armazenados (KERBER, 2004).

Hillier (2005) representa os custos de guarda como todos os custos associados com o armazenamento do inventário até ser vendido ou usado. Abrange o custo de capital investido (oportunidade), espaço, seguro, proteção e impostos atribuídos ao armazenamento. O custo de manutenção de estoque pode ser avaliado, quer continuamente ou em uma base período por período.

Para Kerber (2004) o custo de oportunidade é a principal parcela do custo de manutenção de estoques. Os níveis de estoque muito elevados são dispendiosos, financeiramente podem ser considerados como passivos contábeis, por absorver capital que poderia ser destinado a melhores investimentos, como melhorar a produtividade ou a competitividade.

2.3.3 Custo de Falta

O custo de falta (demanda insatisfeita – custo de escassez) é incorrido quando a quantidade da mercadoria necessária (demanda) excede o estoque disponível (HILLIER, 2005).

O custo de falta é para Kerber (2004) o custo decorrente da impossibilidade de atendimento a uma solicitação feita pela falta de produtos em estoque. Apesar da dificuldade em mensurar cada um deles, em virtude de suas naturezas intangíveis, Kerber os define basicamente por dois tipos:

Custo de venda perdida ocorre diante da impossibilidade de pronto atendimento a uma solicitação durante o momento da demanda, diante de uma ruptura de estoque. O custo pelo não atendimento à solicitação de compra de um cliente pode ser expresso pelo lucro perdido no momento da não concretização da venda (KERBER, 2004). Para este caso, onde houver excesso de demanda sobre o estoque disponível, a empresa não pode esperar para o próximo recebimento para atender ao excesso de demanda. Ou o excesso de demanda é atendido por um embarque prioritário, ou não é cumprida em sua totalidade, porque as ordens são canceladas. O custo do atraso na receita deve ser incluído no custo de falta, para ambos os casos (HILLIER, 2005).

Custo de pedidos em aberto ocorre quando uma solicitação é feita por um cliente e a mesma não poderá ser prontamente atendida, porém o cliente mantém seu pedido, postergando a entrega (KERBER, 2004). Neste caso o excesso de demanda não está perdido, mas em vez disso é mantido até que possa ser satisfeito, após o próximo recebimento. Para uma empresa, incorrendo uma escassez temporária no fornecimento de seus clientes, o custo de falta, pode ser interpretado como a perda de boa vontade dos clientes e a subsequente relutância em fazer negócios com a empresa, o custo da receita atrasada, e despesas administrativas extras (HILLIER, 2005).

3 LOTE ECONÔMICO DE COMPRA

Para Kerber (2004) a gestão de estoques contempla a busca pela otimização do nível de estoque cíclico para cada item, através do estabelecimento da quantidade

econômica de compra (*Economic Order Quantity* - *EOQ*), ou seja, o tamanho de lote que minimiza os custos de manutenção de estoque e de processamento de pedidos.

Na utilização de técnicas quantitativas para buscar políticas de estoque ideais, utiliza-se o critério de minimizar o custo total. Com base nos pressupostos de que o preço e demanda do produto não estão sob o controle da empresa e que a perda de receita está incluída no custo de falta, minimizando o custo é equivalente à maximização do lucro líquido. Outro critério útil é manter a política de estoques simples, ou seja, manter uma regra para indicar quando e quanto comprar, de forma compreensível e fácil de implementar. (HILLIER e LIEBERMAN, 2005).

Segundo Hillier (2005) a situação de estoques mais comum é que os níveis de estoque são esgotados ao longo do tempo e, em seguida, são repostos pela chegada de um lote de novas unidades. Um modelo simples que representa esta situação é conhecido como *EOQ*.

3.1 O Modelo EOQ (Economic Order Quantity) Básico

Unidades do produto em demanda são assumidas para serem retiradas do inventário continuamente, a uma taxa constante conhecida, denotada por d ; ou seja, a demanda é de d unidades por uma taxa de tempo. Assume-se ainda que o estoque seja reabastecido quando necessário por encomenda (através de compra ou produção) de um lote de tamanho fixo (unidades Q), onde todas as Q unidades chegam simultaneamente no tempo desejado (HILLIER, 2005). Custos a serem considerados:

K = custo fixo para encomendar um lote (liberação de ordem);

c = custo unitário para a produção ou aquisição;

h = custo de manutenção de estoque por unidade de tempo;

O objetivo é determinar quando e quanto reabastecer o estoque de forma a minimizar a soma destes custos por unidade de tempo.

Assume-se o Sistema de Revisão Contínua, de modo que o estoque pode ser reabastecido sempre que o nível de inventário cai suficientemente. Assumindo, inicialmente, que a escassez não é permitida. Com a taxa de demanda fixa, a escassez pode ser evitada por reposição do inventário cada vez que o nível de inventário cai para zero, e

este também vai minimizar o custo de exploração. A Figura 1 descreve o padrão resultante de inventário e níveis ao longo do tempo com reposição por encomenda de lotes de unidades Q , a fim de aumentar o nível de estoque inicial de 0 a Q e, em seguida, repetir este processo cada vez que o nível de estoque cai de volta a 0.

Portanto, as premissas do modelo *EOQ* são:

1. A taxa de demanda constante conhecida de d por unidade de tempo;
2. A quantidade do pedido (Q) para reabastecer o estoque que chega de uma só vez apenas quando desejado, ou seja, quando o nível de estoque cai para 0;
3. Escassez planejada não permitida;

Em relação à premissa 2, geralmente há uma defasagem entre quando um pedido é feito e quando chega ao inventário. A quantidade de tempo entre a colocação de uma ordem e sua recepção é referido como o tempo de ressuprimento (*lead time*).

Para Rodrigues (2003), um ponto crítico para o sistema de gestão de estoque são os itens que requerem um *lead time* elevado, pelo fato de não haver fornecedores alternativos aptos a fornecerem preço, qualidade e quantidade similares aos fornecedores originais. No caso desses materiais, deve-se obedecer criteriosamente o *deadline* da produção (limite máximo de tempo para colocação de novo pedido de aquisição) a fim de evitar riscos de ruptura do estoque, com a consequente paralisação da produção.

O nível de estoque em que o pedido é feito é chamado de Ponto de Ressuprimento. Este é definido como o produto da taxa de demanda (d) pelo *lead time*. Assim, a premissa 2 é implicitamente assumida em um prazo de execução constante.

Com base nas premissas do *EOQ*, obtém-se um nível de estoque cíclico perfilado, como mostra a Figura 1.

O tempo entre reabastecimentos consecutivos de inventário (os segmentos de linha verticais na Figura 1) é referido como um ciclo. Em geral, a duração do ciclo é Q/d .

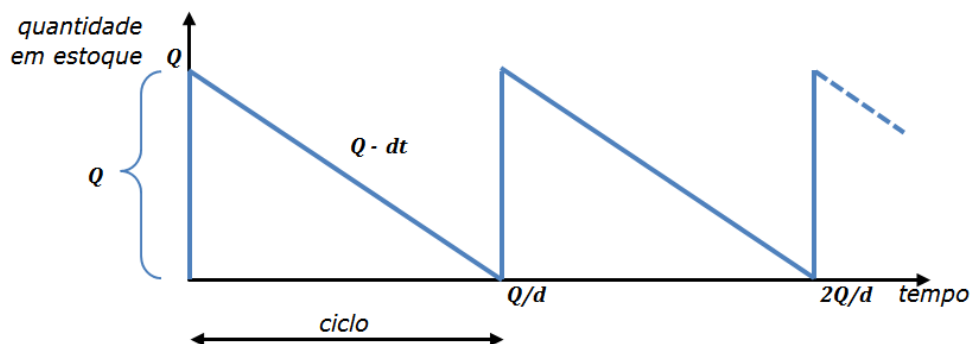


Figura 1 – Diagrama de estoque – EOQ Básico.

Fonte: HILLIER, 2005 – pág 834.

O custo total por unidade de tempo $B(Q)$ é obtido a partir dos seguintes componentes.

O custo de ordenação por ciclo é $K + cQ$.

O estoque médio durante um ciclo é $Q/2$ unidades, e o correspondente custo é $hQ/2$ por unidade de tempo. Uma vez que a duração do ciclo é Q/d , então o custo de manutenção por ciclo é $hQ^2/2d$.

Portanto, o custo total por ciclo (B) define-se como:

$$B = K + cQ + \frac{hQ^2}{2d} \quad (2)$$

Assim, o custo total por unidade de tempo ($B(Q)$) é:

$$B(Q) = \frac{K + cQ + \frac{hQ^2}{2d}}{\frac{Q}{d}} = \frac{dK}{Q} + dc + \frac{hQ}{2} \quad (3)$$

O valor de Q , digamos Q^* , que minimiza $B(Q)$ é encontrado, definindo os pontos em que a derivada de primeira ordem se anula, ou seja: $B'(Q) = -dk/Q^2 + h/2 = 0$.

De modo que:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2dK}{h}} \quad (4)$$

A Figura 2 representa, a função do custo total por unidade de tempo. É possível verificar o custo com matéria prima (cd); o custo de manutenção de estoque integralmente e diretamente dependente do tamanho médio do lote ($hQ/2$); e os custos fixos de aquisição sendo diluídos à medida que se eleva o tamanho do lote (Kd/Q).

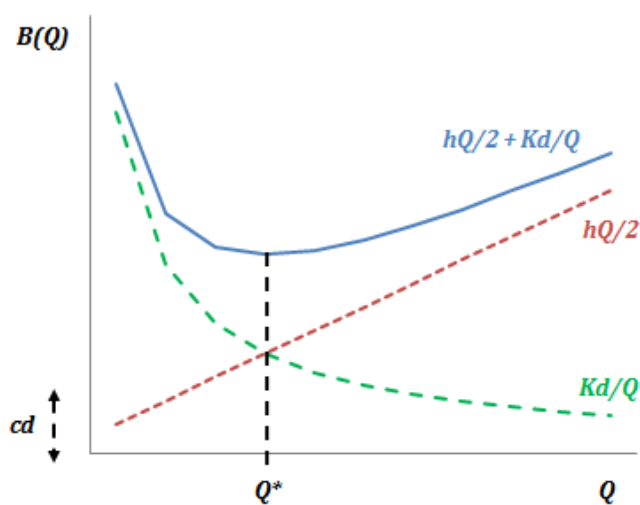


Figura 2 – Gráfico representando a função $B(Q)$ – convexa e diferencial.

Assim, o tempo de ciclo é dado por:

$$t^* = \frac{Q^*}{d} \quad (5)$$

3.2 O Modelo EOQ com Possibilidade de Atrasos Planejados

Para Hillier e Lieberman (2005) Um grande receio dos gerentes responsáveis por estoques é a ocorrência de uma escassez de inventário (por vezes referido como uma ruptura), ou seja, não possibilidade de atender a demanda por falta de matéria prima ou produto. Ao assumir que a escassez planejada não é permitida, o modelo EOQ Básico satisfaz o desejo comum dos gestores, no entanto, é fato que a escassez não planejada pode

ainda ocorrer, se as taxas de demanda e de entregas não permanecerem conforme programação.

Há situações em que permitir a escassez planejada faz sentido a partir de uma perspectiva financeira. O requisito mais importante é que os clientes, em geral, são capazes e estão dispostos a aceitar um prazo razoável para preencher as suas ordens, se necessário. Se assim for, os custos de incorrer em faltas não pode ser exorbitante. Se o custo de manutenção de estoque é alto em relação aos custos de escassez, baixar o nível de estoque médio, permitindo ocasionalmente breves faltas, pode ser uma decisão de negócio sadia. (HILLIER, F.S.; LIEBERMAN, G.J., 2005).

Segundo Accioly (2007) os estoques possuem funções principais dentro de uma organização para garantir o abastecimento da produção, são elas: melhorar o fornecimento de materiais; evitar/retardar a falta de componentes para produção; garantir a previsibilidade de produção; reduzir valores em estoque por meio de aquisições em lotes menores; flexibilizar alterações de mix de produção; e agilizar o atendimento de pedidos dos clientes.

Assumindo a escassez planejada como permitida, quando uma falta ocorre, os pedidos não atendidos são preenchidos imediatamente quando a quantidade da ordem chega para reabastecer o estoque.

Sob estas premissas, o padrão dos níveis de estoques ao longo do tempo tem a aparência mostrada na figura 3. O aparecimento em dente de serra é o mesmo que na figura 1, contudo, agora os níveis de estoque estendem-se a valores “negativos” que refletem o número de unidades do produto que estão em lista de espera (*backordered*).

Considerando:

p = custo de atraso

S = nível máximo de estoque

$Q - S$ = escassez de inventário, pouco antes de um lote ser adicionado

O custo total por unidade de tempo é agora obtidos a partir dos seguintes componentes.

Produção ou de ordenação de custo por ciclo = $K + cQ$.

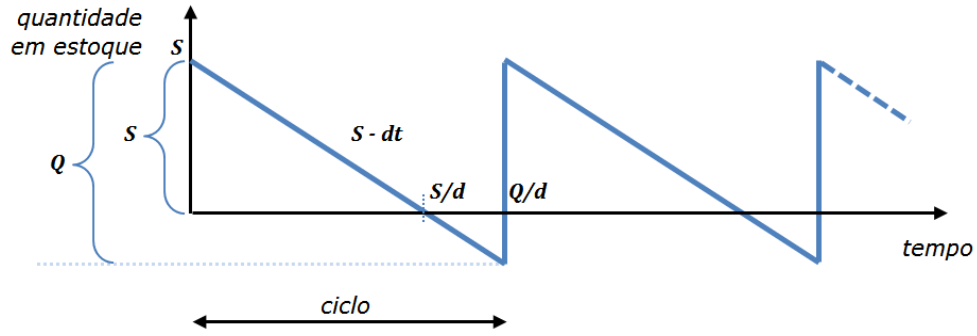


Figura 3 – Diagrama de estoque – EOQ com Possibilidade de Atrasos Planejados.

Fonte: HILLIER, 2005 – pág 836.

Durante cada ciclo, o nível de inventário é positivo por um tempo S/d . O estoque médio durante este tempo é $(S + 0) / 2 = S / 2$ unidades, e o custo correspondente é $hS / 2$ por unidade de tempo. Consequentemente, o custo de manutenção de estoque é dado por $hS^2 / 2d$.

Da mesma forma, a falta pode ocorrer durante um tempo $(Q - S) / d$. A quantidade média de faltas, em unidades, durante este momento é $(0 + Q - S) / 2 = (Q - S) / 2$, e o custo correspondente é $p (Q - S) / 2$ por unidade de tempo. Logo o custo de falta do ciclo é $p (Q - S)^2 / 2d$.

Portanto, o custo total por ciclo é definido por:

$$B = K + cQ + \frac{hS^2}{2d} + \frac{p(Q - S)^2}{2d} \quad (6)$$

E o custo total por unidade de tempo é:

$$B(Q) = \frac{K + cQ + \frac{hS^2}{2d} + \frac{p(Q - S)^2}{2d}}{\frac{Q}{d}} = \frac{dK}{Q} + dc + \frac{hS^2}{2Q} + \frac{p(Q - S)^2}{2Q} \quad (7)$$

Neste modelo, existem duas variáveis de decisão (S e Q), de modo que os valores ótimos (S^* e Q^*) são encontrados, definindo as derivadas parciais $\delta B / \delta S$ e $\delta B / \delta Q$ iguais a zero.

$$S^* = \sqrt{\frac{2dK}{h}} \sqrt{\frac{p}{p+h}} \quad (8)$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2dK}{h}} \sqrt{\frac{p+h}{p}} \quad (9)$$

O ciclo ótimo de t^* é dado por:

$$t^* = \frac{Q^*}{d} \quad (10)$$

Quando qualquer um dos custos, p ou h , é muito maior do que o outro, as quantidades se comportam em formas intuitivas. Em particular, quando $p \rightarrow \infty$ com h constante, $Q^* - S^* \rightarrow 0$, considerando que tanto Q^* e t^* convergem para os respectivos valores do modelo *EOQ* Básico. Mesmo que o modelo atual permita a escassez, $p \rightarrow \infty$ implica que tê-los não vale a pena.

Por outro lado, quando $h \rightarrow \infty$, com p constante, $S^* \rightarrow 0$. Assim, tendo $h \rightarrow \infty$ torna-se economicamente inviável manter elevados volumes de inventário, de modo que cada novo lote de unidades Q^* não vai além de remover a atual escassez no inventário.

3.3 Modelo do Ponto de Pedido com Demanda Incerta

Ballou (2001) afirma que o progresso para controles avançados de puxar estoque significa o reconhecimento que a demanda e o tempo de reabastecimento podem não ser conhecidos com certeza. Assim, faz-se necessário planejar uma situação na qual não haja estoques em mãos suficientes para atender as necessidades dos clientes.

Para Simchi-Levi (2003) o modelo determinístico, ignora aspectos tais como previsão e incertezas na demanda. Muitas empresas tratam o mundo como se fosse previsível, tomando decisões, de produção e estoque, baseadas em uma previsão da demanda, muito anterior ao início das vendas.

Para Fagundes (2003), ruptura de estoque é a condição em que o material existente chega à zero, depois de consumido todo o estoque de segurança.

Ballou (2001) propõe que, além do estoque regular, mantido para propósitos de satisfazer a demanda média e o tempo de reabastecimento médio, deve-se adicionar um incremento de estoque. O montante deste, estoque de segurança ou pulmão, estabelece o nível de disponibilidade pelo controle da probabilidade da ocorrência de falta de estoque.

Ballou (2001) descreve que o controle de estoque de ponto de pedido supõe que a demanda seja perpétua e atue continuamente sobre o estoque para reduzir seu nível. Na figura 4, a operação do sistema do ponto de pedido está ilustrada para um único item no qual a demanda durante o tempo de reabastecimento é conhecida apenas na extensão de uma distribuição de probabilidade normal.

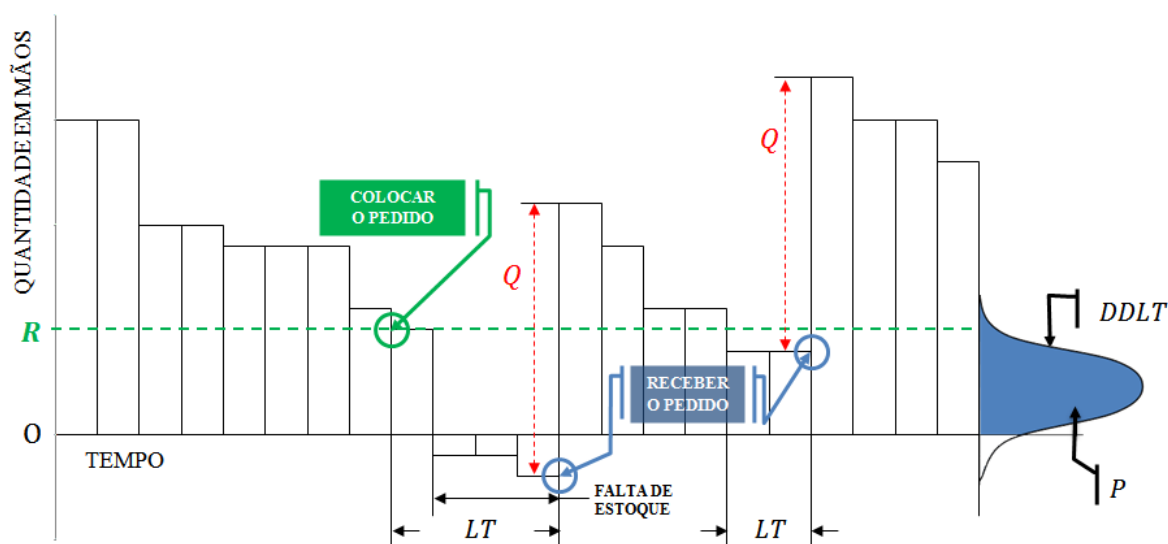


Figura 4 – Controle de estoque de ponto de pedido sob incerteza.

Fonte: BALLOU, 2001 – pág 264.

Esta distribuição de demanda durante o tempo de reabastecimento (*demand during lead time – DDLT*) tem uma média μ' e um desvio padrão de σ'_d . Esses valores, geralmente, não são conhecidos diretamente, mas podem facilmente serem estimados pela soma da distribuição da demanda de período único sobre o comprimento do tempo de ressuprimento e pela soma das variâncias das distribuições de demandas. Ou seja, $\sigma'^2_d = LT(\sigma_d^2)$, assim o desvio padrão é:

$$\sigma'_d = \sigma_d \sqrt{LT} \quad (11)$$

Para Hillier (2005), um sistema de avaliação contínua de inventário, de um determinado produto, normalmente será baseado em dois números críticos:

R = ponto de ressuprimento

Q = quantidade da ordem

Assim, esta política de estoque se baseia em, sempre que o nível de estoque do produto cai para R unidades, deve-se colocar uma ordem de Q unidades para repor o estoque. Tal política é muitas vezes chamada de Política (R, Q) , por conseguinte, o modelo global pode ser referido como Modelo (R, Q) (HILLIER, F.S.; LIEBERMAN, G.J., 2005).

Após resumir as hipóteses do modelo, faz-se importante delinear como R e Q podem ser determinados. Os pressupostos do modelo para Hillier (2005) são:

1. Qualquer pedido envolve um único produto;
2. O nível de estoque está sob revisão contínua, seu valor atual sempre é conhecido;
3. As únicas decisões a serem tomadas são para escolher R e Q ;
4. Existe um tempo de ressuprimento, que pode ser fixo ou variável;
5. A demanda durante este tempo de espera é incerto. No entanto, a distribuição de probabilidade da demanda é conhecida (ou, pelo menos, estimada);
6. Se ocorrer uma ruptura antes que a ordem for recebida, deve-se considerar os custos de pedidos em aberto;
7. Um custo fixo de liberação de ordem (K) é incorrido cada vez que um pedido é feito;
8. Exceto por esse custo fixo de liberação de ordem, o custo da ordem é proporcional à quantidade da ordem Q .
9. Certo custo de manutenção de estoque (h) é constituído por cada unidade no inventário por unidade de tempo;
10. Quando a ruptura ocorre, certo custo de atraso (p) é incorrido para cada unidade de custos de pedidos em aberto por unidade de tempo, até que a ordem pendente seja preenchida.

3.3.1 Calculando Q

Hillier (2005) define que este modelo está intimamente relacionado com o modelo *EOQ* com Possibilidade de Atrasos Planejados, apresentado acima (seção 3.2). De fato, todas as suposições são consistentes, com exceção da demanda constante durante o *lead time*.

Devido à estreita relação entre estes dois modelos, os seus resultados devem ser bastante semelhantes. A principal diferença é que, alguns estoques de segurança devem ser adicionados ao definir o ponto de reabastecimento.

A abordagem mais simples, segundo Hillier (2005), para escolher Q para o modelo (R, Q) é meramente empregar a fórmula 9, dada para o modelo *EOQ* com Possibilidade de Atrasos Planejados:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2dK}{h}} \sqrt{\frac{p+h}{p}} \quad (12)$$

Onde d é agora a demanda média por unidade de tempo, e onde K , h , e p são definidos nos pressupostos 7, 9 e 10, respectivamente.

Este Q será apenas uma aproximação da quantidade ideal para o modelo atual. No entanto, nenhuma fórmula está disponível para o valor exato da quantidade da ordem ideal, por isso uma aproximação é preciso. Felizmente, a aproximação dada acima é muito eficaz (HILLIER, F.S.; LIEBERMAN, G.J., 2005).

3.3.2 Calculando R

Para o cálculo de R faz-se necessário ter uma estimativa da distribuição de probabilidade da variável aleatória (distribuição uniforme, distribuição normal, etc.).

Segundo Montgomery (2009), indiscutivelmente o modelo mais utilizado para distribuição de uma variável aleatória é a distribuição normal. Toda vez que um experimento aleatório for replicado, a variável aleatória que for igual ao resultado médio (ou total) das réplicas tenderá a ter uma distribuição normal, à medida que o número de réplicas se torne grande (MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C., 2009, p.73).

Desta forma esta revisão do Modelo (R, Q) se restringirá à aplicação da distribuição normal.

O termo z será atribuído para o número de desvios padrões da média da distribuição $DDLT$, para calcular a probabilidade de ter estoque durante o período de tempo de ressuprimento (LT). Assim, a fórmula para cálculo do ponto de ressuprimento é:

$$R = dLT + z(\sigma'_d) \quad (13)$$

O objetivo principal do gerenciamento de estoque é assegurar que o produto esteja disponível no tempo e nas quantidades desejadas. Geralmente é avaliado com base na probabilidade de ser capaz de preencher um pedido para um produto do estoque atual (BALLOU, 2001, p. 254). Essa probabilidade ou taxa de preenchimento do item, é conhecida como nível de serviço (NS).

O nível de serviço é a probabilidade de não haver ruptura de estoque ao longo do tempo de espera pela reposição (LIMA, 2016).

Para apenas um item, Ballou (2001) define como:

$$NS = 1 - \frac{\left(\frac{d}{Q}\right)(\sigma'_d E_{(z)})}{d} = 1 - \frac{(\sigma'_d E_{(z)})}{Q} \quad (14)$$

Onde o termo combinado $\sigma'_d E_{(z)}$ representa o número esperado de unidades em falta no estoque durante o ciclo de pedidos. $E_{(z)}$ é conhecido como função de perda normal, cujos valores são tabelados conforme anexo A.

Ballou (2001) esclarece que é comum a quantidade do ponto de pedido exceder a quantidade do pedido, isto ocorre geralmente quando o tempo de ressuprimento é longo e/ou a taxa de demanda é alta.

Para fazer o princípio de controle do ponto de pedido funcionar adequadamente, deve-se ter certeza de que a decisão, de quando começar um pedido de ressuprimento, tenha sido baseado no nível eficaz do estoque, definido pela soma do estoque pedido e estoque físico (estoque atual em mãos), quando decidindo se o ponto de pedido foi alcançado. Quando o $R > Q^*$, o resultado deste procedimento é que um segundo pedido será colocado antes do primeiro chegar ao estoque (BALLOU, 2001).

O estoque de segurança (ES) é definido pelo produto do desvio padrão durante o *lead time* pelo número de desvios padrões, necessário para se atingir o nível de serviço desejado.

$$ES = z (\sigma'_d) \quad (15)$$

Estoques de segurança servem para absorver as flutuações de demanda que ocorrem durante o tempo de espera pela reposição (LIMA, 2016).

Para o cálculo do estoque médio (EM) é necessário adicionar o estoque de segurança (dado pelo nível de serviço desejado) ao estoque médio regular.

$$EM = \frac{Q}{2} + z (\sigma'_d) \quad (16)$$

Coelho (2017) é enfático ao citar que como os níveis de estoque estão sujeitos ao tamanho dos lotes, é preciso entender com precisão o melhor tamanho dos lotes a serem produzidos (ou adquiridos).

O custo total relevante (CTR) é útil para comparar políticas alternativas de estoque ou determinar o impacto de desvios de uma política ótima. Este custo pode ser descrito como a soma dos custos do pedido, custo de manutenção de estoque (regular), custo de manutenção do estoque de segurança e o custo de falta de estoque.

$$CTR = \frac{dK}{Q} + \frac{hQ}{2} + hz\sigma'_d + \frac{d}{Q}p\sigma'_dE(z) \quad (17)$$

3.4 Modelo do Ponto de Pedido com Incerteza da Demanda e do Tempo de Ressuprimento

Com a variação do tempo de reposição a análise se torna mais complexa tendo em vista que se deve levar em consideração a influência da distribuição de probabilidades do tempo de reposição na demanda e vice-versa. Para Gonçalves e Schwember (1979) este processo tem um nome muito especial em estatística, denominado de Convolução que

estuda a distribuição de probabilidade conjunta, formada pelo inter-relacionamento entre duas distribuições de probabilidade.

A complexidade da análise deste caso está relacionada à interação que existirá entre a flutuação da demanda e a flutuação do tempo de reposição; recomenda-se então uma nova distribuição de probabilidades – através da convolução da distribuição da demanda e distribuição do tempo de reposição (GONÇALVES, P.S; SCHWEMBER, E., 1979, p.76).

A figura 5 apresenta a evidência da necessidade de estoque adicional, como segurança contra os efeitos da variação da distribuição de probabilidade da demanda, do *lead time* e o inter-relacionamento entre as duas distribuições de probabilidade destes efeitos.

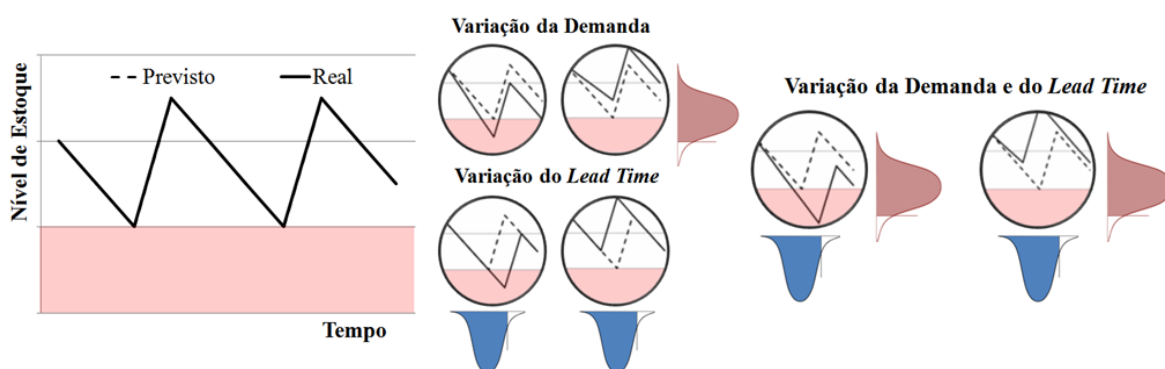


Figura 5 – Inter-relacionamento entre duas distribuições de probabilidade.

Ballou (2001) sugere que caso haja incertezas da demanda e do tempo de ressuprimento, deve-se adicionar a variância da demanda a variância do tempo de reabastecimento, contabilizando a incerteza do tempo de resposta; e estendendo o realismo do modelo. Assim pode-se encontrar o desvio padrão (σ'_d) da distribuição de *DDLT* baseada na incerteza da demanda e do tempo de ressuprimento vide fórmula abaixo:

$$\sigma'_d = \sqrt{LT\sigma_d^2 + d^2\sigma_{LT}^2} \quad (18)$$

Onde σ_{LT} é o desvio padrão do tempo de ressuprimento.

Assim as fórmulas 13, 14, 15, 16 e 17 assumiriam σ'_d conforme fórmula 18.

4 ESTUDO DE CASO

A empresa referente ao estudo é um dos principais complexos siderúrgicos das Américas, contemplando toda a cadeia produtiva do aço – da mineração até as grandes estruturas metálicas.

A mineração é o processo de extração e beneficiamento dos minerais.

Este processo, para minério de ferro, consiste nas etapas macros:

- definição do corpo mineral (Hematita + Ganga);
- perfuração;
- desmonte (fragmentação do corpo mineral);
- britagem (redução do tamanho do material);
- classificação/peneiramento (graduar as partículas em função do tamanho), gerando minério granulado (*Natural Pellet Ore*);
- concentração (processos de separação mássica de partículas com maiores teores de Fe – separação magnética, jigagem, hidro ciclones, espirais, flotação, etc.), gerando minérios finos (*Sinter Feed* e *Pellet Feed*).

Esta arquitetura macro, do fluxo do processo, está representada na figura 6.



Figura 6 – Processo básico de extração e beneficiamento do minério de ferro.

O *sinter feed* é o termo usado para definir o minério de ferro fino com propriedades físicas, químicas e metalúrgicas adequadas à produção de um sínter (produto das sinterizações) para atender às especificações dos altos-fornos.

Os minérios de ferro finos representam aproximadamente 70% da mistura processada para produção de sínter. Atualmente, o sínter representa aproximadamente 90% da carga metálica dos altos-fornos. O desenho macro dos grupos de matérias primas e geração do produto (sínter), para o alto-forno ou para o pátio de sínter, estão representados na figura 7.

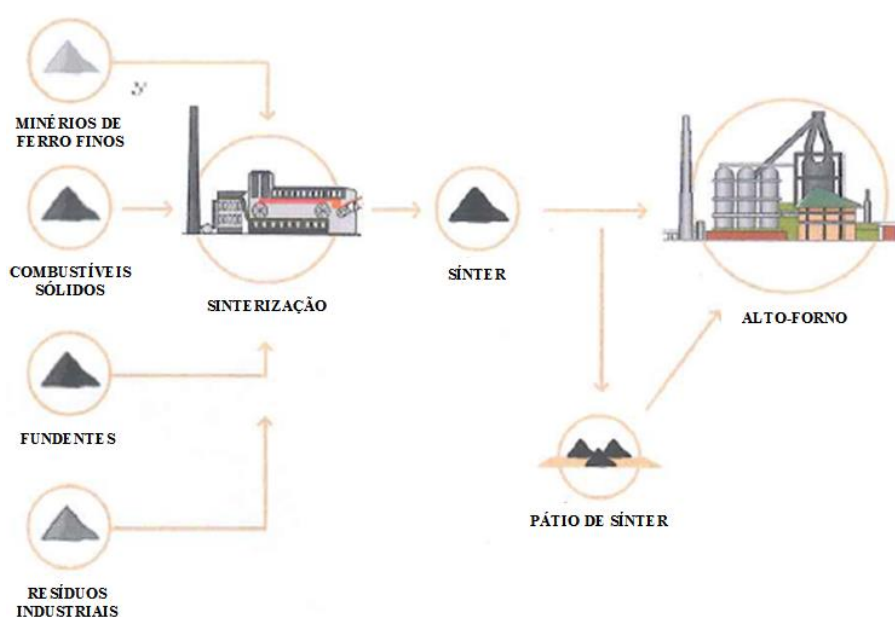


Figura 7 – Esquema dos materiais consumidos e produto gerado na sinterização.

Para explicar a real importância dos minérios de ferro finos, faz-se necessário ressaltar que os valores financeiros movimentados com a aquisição ultrapassam R\$ 500 milhões/ano.

Em uma usina integrada, para obtenção do aço, segue-se quatro etapas:

- Preparação de matérias primas (sinterização e coqueria);
- Produção de gusa (alto-forno);
- Produção de aço (aciaria);
- Conformação mecânica (laminação).

A representação base do *layout* dos processos siderúrgicos, com destaque para o posicionamento da sinterização perante este fluxo, está representada na figura 8.

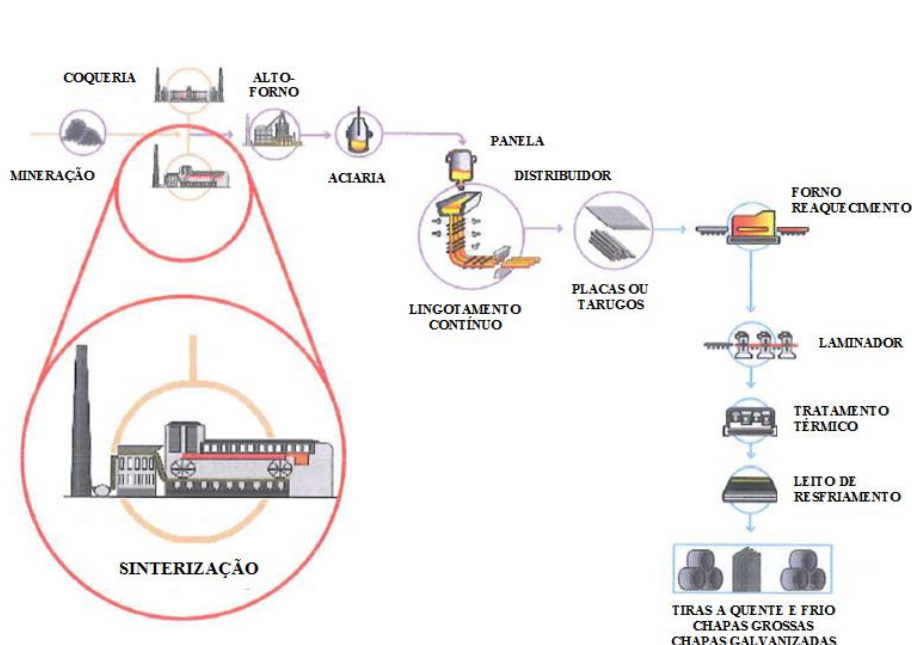


Figura 8 – Demonstração dos processos siderúrgicos – destacando a sinterização.

A sinterização é um processo de contracorrente gás/sólido, em que uma mistura, de minério de ferro, fundentes, aditivos e combustível sólido, é carregada em uma esteira metálica, formando um leito de espessura uniforme. O modelo de sinterização atualmente utilizado no mundo é conhecido como processo *Dwight Lloyd* (nome dos idealizadores). Este modelo permite a produção contínua, através de uma esteira metálica rolante com fundo grelhado. Na parte inferior desta esteira, existe um sistema de exaustão que succiona o ar da atmosfera. A superfície da camada entra em ignição ao passar sob um forno e a partir daí os gases quentes gerados nas camadas superiores são transportados para as camadas inferiores, trocando calor. O combustível sólido, contido no leito, entra em combustão (devido elevadas temperaturas do processo) desenvolvendo uma frente de queima, que se desloca até o fim da esteira metálica, gerando grandes blocos de sínter. Este material é britado, resfriado e peneirado, a fim de atingir a granulometria adequada para consumo nos altos-fornos (5mm à 50mm).

Abaixo, a figura 9 representa um esquema básico do processo de sinterização do modelo *Dwight Lloyd*, demonstrando o fluxo gasoso (permeando a camada de mistura em processo até a eliminação pela chaminé), e o fluxo da mistura alimentada até o produto (sínter) ser depositado no resfriador.

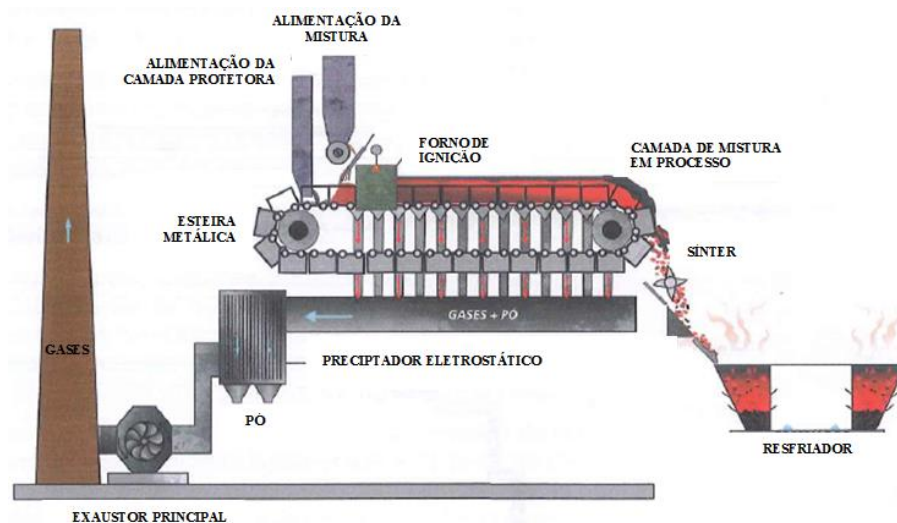


Figura 9 – Esquema básico do processo de sinterização tipo Dwight Lloyd.

O processo de sinterização de minério de ferro fino foi inicialmente utilizado somente para reaproveitamento dos minérios finos e resíduos (geração interna dos processos siderúrgicos). Contudo, sua produção em escala e com característica auto fundente (adição de calcário) vem apresentando excelentes resultados, contribuindo significativamente na redução de custos. Assim, o sinter se tornou a principal matéria prima utilizada no processo de obtenção de ferro-gusa.

Atualmente, 6 (seis) fornecedores de minérios de ferro finos, atendem a uma demanda média de 348.000t/mês.

A figura 10 apresenta o histórico da demanda dos últimos 6 anos.

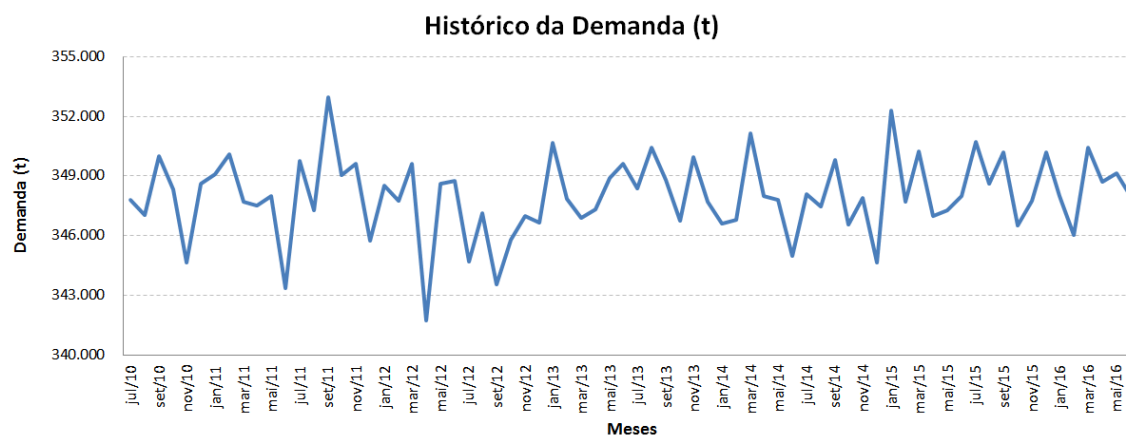


Figura 10 – Gráfico do histórico da demanda dos últimos 6 anos

O fornecimento segue o fluxo apresentado na figura 11.

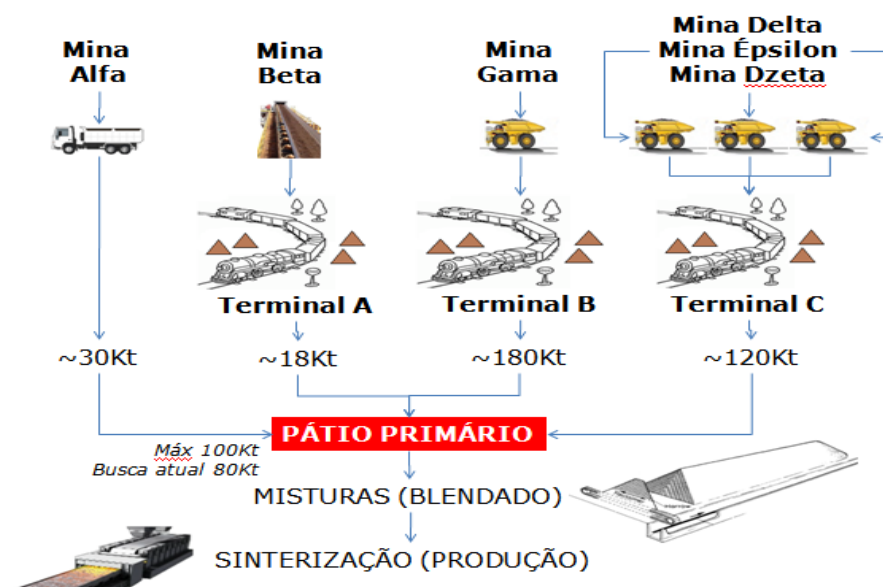


Figura 11 – Esquema de fornecimento atual (médio).

Os minérios de ferro finos, ao chegarem, são pesados e descarregados, sendo direcionados ao Pátio Primário. Posteriormente estes materiais, em função de suas qualidades, são removidos do Pátio Primário, e dosados estequiometricamente formam uma mistura. Esta massa é depositada em pilhas denominadas Pilhas de Blendado.

O fornecedor Alfa é o mais próximo da unidade de produção, fazendo com que o menor custo de transporte seja rodoviário. Demais fornecedores, mais distantes, possuem diferencial competitivo via modal ferroviário. A Tabela 1 representa o *lead time* entre o pedido e a descarga nos pátios primários.

Tabela 1 – Lead Time de Fornecimento

FORNECEDORES	MÉDIA				DESVIO PADRÃO
	TERMINAL	USINA	DESCARGA	TOTAL	
ALFA	-	0,1	0,9	1,0	0,07
BETA	0,8	1,5	1,3	3,5	0,50
GAMA	0,5	2,3	1,3	4,0	0,50
DELTA	4,0	2,3	1,3	7,5	0,67
ÉPSILON	4,3	2,3	1,3	7,8	0,75
DZETA	4,5	2,3	1,3	8,0	0,83

As demandas apresentadas são oriundas do processo de Sinterização, neste estudo será considerado o estoque intermediário das misturas de blendado com variação de estoque zero. Ou seja, toda demanda das plantas de sinterização serão representadas diretamente ao pátio primário.

Além das previsões anuais (via orçamentos) e planos trimestrais, há um planejamento mensal elaborado detalhadamente, dia-a-dia, evento a evento. Este plano é baseado no Plano de Vendas e Operações, que determina a produção de gusa. Por conseguinte calcula-se a capacidade esperada de produção das plantas de sinter (previsões de produtividade e índice de utilização total). Avalia-se a disponibilidade e atratividade econômica dos fornecedores e impacto sobre a produtividade e qualidade. Esses cálculos possibilitam reduzir a dispersão, mesmo assim há variabilidade da demanda. Para esta demanda média de 348Kt/mês o desvio padrão é de 2Kt/mês. A figura 12 representa o histograma da demanda, demonstrando o resultado da média, desvio padrão e número de observações.

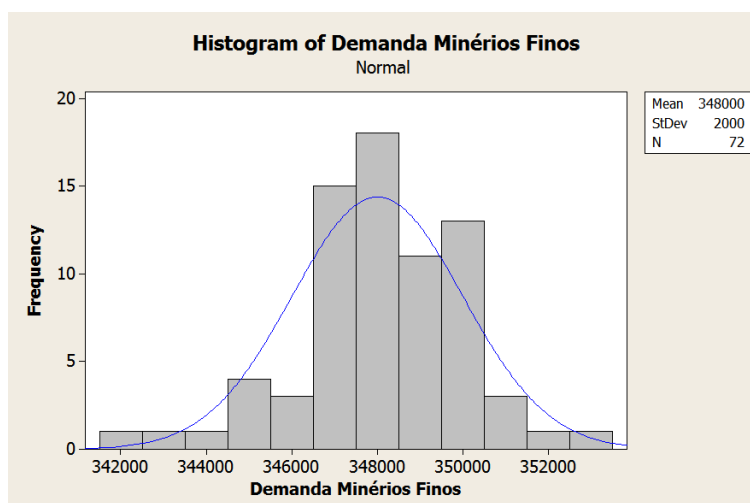


Figura 12 – Histograma da demanda.

A figura 13 demonstra que os dados podem ser representados por uma distribuição de probabilidade normal, após examinar o teste de hipótese. Para o teste de normalidade, as hipóteses são: H0: dados seguem uma distribuição normal; H1: não seguem distribuição normal. O valor de p indica que não há evidências para rejeitar H0, ou seja, os dados de demanda se aderem à distribuição proposta.

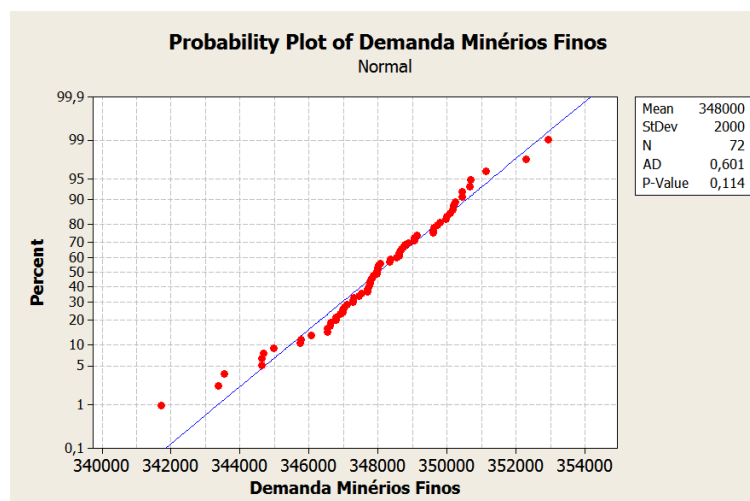


Figura 13 – Gráfico do teste de normalidade para demanda.

Neste exercício, o desvio padrão da demanda será aplicado ao fornecedor Épsilon, por ser o fornecedor que possui a menor atratividade sobre o custo-benefício. O procedimento de distribuição da demanda diária é baseado em disseminar a demanda mensal de forma regular.

Após revisão da literatura, verificação do elevado grau de controle sobre o nível de estoque *full time*, e pelo elevado giro de estoque observado foi definido a utilização do modelo de revisão contínua como o mais adequado. Neste sentido, e por definição do tipo de demanda (estocástica, variável em demanda e *lead time*), entende-se que o modelo adequado a ser aplicado é baseado na “Política do Ponto de Pedido com Incerteza da Demanda e do Tempo de Ressuprimento”.

O custo fixo de liberação de ordem (pedido) foi calculado considerando custos das equipes de apoio envolvidas no processo de compras, não somente restrito à área de suprimentos. Foram rateados e considerados custos com salários (impostos), comunicação, viagens e custos de escritório.

O custo de manutenção de estoque foi calculado sobre o custo de capital investido (taxa de atratividade de 1% ao mês).

Quanto ao custo da área de armazenagem, neste caso de granéis não há oportunidade de redução de área. Gastos com manuseio e materiais são atribuídos aos custos operacionais. Não se aplica custos com seguros, impostos, obsolescência, depreciação e deterioração. Este material possui elevado giro sem perdas de características (químicas, físicas ou metalúrgicas) por tempo de estocagem e/ou variações sazonais.

Os custos unitários dos minérios foram considerados os mesmos para todos fornecedores, a fim de não gerar nenhum incomodo no mercado fornecedor com a possível divulgação deste trabalho.

O custo de falta (atraso) foi baseado na perspectiva de que, em caso de uma ruptura de estoque, cada 1 t (uma tonelada) de minério fino faltante gera uma perda de produção de sínter, na ordem de 1 t (uma tonelada). Esta massa deverá ser substituída na ordem (também simplificada) de 1 t (uma tonelada) de sínter para cada 1 t (uma tonelada) de Pelota, aplicados no processo posterior (alto-forno).

A tabela 2 resume os dados, por fornecedor, conforme definições supracitadas.

Tabela 2 – Dados por Fornecedor

VARIÁVEIS	SIGLA	UNIDADE	MINÉRIOS FINOS					
			ALFA	BETA	GAMA	DELTA	ÉPSILON	DZETA
Taxa de demanda	d	$t/mês$	30.000	18.000	180.000	72.000	36.000	12.000
Desvio padrão da demanda	σ_d	$t/mês$	-	-	-	-	2.000	-
Custo fixo de liberação de ordem	K	$R\$$	448	2.690	2.690	2.690	2.690	2.690
Custo unitário	c	$R\$/t$	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
Custo de manutenção de estoque	h	$R\$/t$	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Tamanho do lote atual	Q	t	1.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
Custo de atraso	p	$R\$/t$	40	40	40	40	40	40
Lead Time	LT	$dias$	1,00	3,50	4,00	7,50	7,75	8,00
Desvio padrão do Lead Time	σ_{LT}	$dias$	0,067	0,500	0,500	0,667	0,750	0,833

Como a demanda foi dada mensal e o *lead time* entregue em dias, houve necessidade imediata de transformar o *lead time* em mês, a fim de colocar todas as informações sobre a mesma base. Os dados de *lead time* mensais estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3 – Transformação do Lead Time (dias para mês)

VARIÁVEIS	SIGLA	UNIDADE	MINÉRIOS FINOS					
			ALFA	BETA	GAMA	DELTA	ÉPSILON	DZETA
Lead Time	LT	$mês$	0,03	0,12	0,13	0,25	0,26	0,27
Desvio padrão do Lead Time	σ_{LT}	$mês$	0,012	0,091	0,091	0,122	0,137	0,152

Após conhecer todos os dados e colocá-los em mesma base de tempo, faz-se necessário entender se todos os pressupostos, colocados por Hillier, para a política de estoque escolhida estão aderentes.

Foi verificado que todos os pedidos estão separados por fornecedor e envolvem um único produto; o nível de estoque está sob revisão contínua e seu valor atual sempre é

conhecido; os tempos de ressuprimento são variáveis, a demanda durante este tempo de espera é incerta, no entanto, a distribuição de probabilidade da demanda é conhecida; há a definição de considerar os custos de pedidos em aberto, caso ocorra uma ruptura; um custo fixo de liberação de ordem é incorrido cada vez que um pedido é feito; o custo da ordem é proporcional à quantidade da ordem; aplica-se um custo de manutenção de estoque por cada unidade no inventário por unidade de tempo; quando a ruptura ocorre, incide um custo de atraso para cada unidade de custo de pedido em aberto por unidade de tempo, até que a ordem seja preenchida.

Para se calcular o tamanho do lote econômico Q^* , foi aplicada a fórmula 12, como sendo a abordagem mais simples para “Política do Ponto de Pedido com Incerteza da Demanda e do Tempo de Ressuprimento”. Essa fórmula resulta em uma aproximação do valor ideal e está intimamente dependente do balanço entre os custos de pedido, de manutenção do estoque e de atraso. A tabela 5 expressa os resultados encontrados de Q^* , por fornecedor.

Para o cálculo do ponto de ressuprimento R , fez-se necessário conhecer a distribuição de demanda durante o tempo de reabastecimento, e o desvio padrão de σ'_d foi calculado conforme fórmula 18. Assim, as incertezas da demanda e do tempo de reabastecimento foram levadas em consideração, contabilizando a incerteza total. A partir de então foi atribuído o número de desvios padrões z , para a probabilidade desejada de ter estoque durante o período de tempo de ressuprimento. Foi aplicada a fórmula 13, que define o ponto de ressuprimento como a soma do estoque de segurança (produto da estimativa de desvio padrão durante o LT e número de desvios padrões) com a previsão de consumo durante o LT . Estas fórmulas aplicadas estão com resultado expresso na tabela 4.

Tabela 4 – Cálculo do R e Q

VARIÁVEIS	SIGLA	UNIDADE	MINÉRIOS FINOS					
			ALFA	BETA	GAMA	DELTA	ÉPSILON	DZETA
Lote Econômico	Q^*	t	4.313	8.184	25.879	16.367	11.573	6.682
Desv. Padrão $DDL T$	σ'_d	t	365	1.643	16.432	8.764	5.033	1.826
Número de Desvios Padrões	nDP	-	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Ponto de Ressuprimento	R	t	2.095	7.030	73.295	44.291	24.400	8.677

O estoque de segurança foi calculado como produto da estimativa de desvio padrão durante o LT pelo número de desvios padrões desejado para se ter a probabilidade de não

faltar material durante o período de ressuprimento. A tabela 5 apresenta os resultados encontrados aplicando a fórmula 15.

Tabela 5 – Cálculo do Estoque de Segurança

VARIÁVEIS	SIGLA	UNIDADE	MINÉRIOS FINOS					
			ALFA	BETA	GAMA	DELTA	ÉPSILON	DZETA
Estoque de Segurança	<i>ES</i>	<i>t</i>	1.095	4.930	49.295	26.291	15.100	5.477

Ao se revisar a bibliografia, os autores são unânimes ao identificar o desvio padrão do tempo de ressuprimento como fator preponderante na elevação do nível de estoque de segurança. Ao se examinar os desvios padrões dos *LTs* nas etapas de transporte das minas até os terminais ferroviários, foi verificado elevado percentual do montante dos desvios. Principalmente para os fornecedores Delta, Épsilon e Dzeta. O fornecedor Gama apesar de um *LT* menor, tem um elevado grau de importância devido ao grande volume de demanda. Baseado nestas colocações foi proposto negociar com os fornecedores a manutenção de estoques nos terminais ferroviários. Assim, ao emitir uma ordem de compra (pedido) o processo de transporte até os terminais não seriam considerados no *lead time*, reduzindo significativamente as variações, e por consequência reduz os estoques de segurança. Na tabela 6 estão descritos os *LTs* recalculados (reduzidos) e seus respectivos σ_{LT} , por fornecedor e por unidade de tempo.

Tabela 6 – Dados do Lead Time Reduzido

VARIÁVEIS	SIGLA	UNIDADE	MINÉRIOS FINOS					
			ALFA	BETA	GAMA	DELTA	ÉPSILON	DZETA
Lead Time	<i>LT</i>	<i>dias</i>	1,00	2,80	3,60	3,60	3,60	3,60
Desv. Pad. Lead Time Proposto	σ_{LT}	<i>dias</i>	0,067	0,333	0,417	0,333	0,333	0,333
Lead Time	<i>LT</i>	<i>mês</i>	0,03	0,09	0,12	0,12	0,12	0,12
Desv. Pad. Lead Time Proposto	σ_{LT}	<i>mês</i>	0,012	0,061	0,076	0,061	0,061	0,061

Assim, foram recalculados os novos pontos de ressuprimentos, os resultados encontram-se na tabela 7. O tamanho do lote econômico não sofreu alterações, devido sua fórmula aproximada (indicada na revisão bibliográfica) não constar variações de demanda no *lead time*.

Tabela 7 – Cálculo do R e Q - Lead Time Reduzido

VARIÁVEIS	SIGLA	UNIDADE	MINÉRIOS FINOS					
			ALFA	BETA	GAMA	DELTA	ÉPSILON	DZETA
Lote Econômico	Q^*	t	4.313	8.184	25.879	16.367	11.573	6.682
Desv. Pad. DDL^*	σ'_d	t	365	1.095	13.693	4.382	2.298	730
Número de Desvios Padrões	nDP	-	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Ponto de Ressuprimento	R	t	2.095	4.966	62.679	21.785	11.213	3.631

Na tabela 8 podem ser verificados os novos resultados de estoque de segurança.

Tabela 8 – Cálculo do Estoque de Segurança - Lead Time Reduzido

VARIÁVEIS	SIGLA	UNIDADE	MINÉRIOS FINOS					
			ALFA	BETA	GAMA	DELTA	ÉPSILON	DZETA
Estoque de Segurança	ES	t	1.095	3.286	41.079	13.145	6.893	2.191

Assim, foi oportunizada uma redução de 33,8% do nível de estoque de segurança total (todos os fornecedores), reduzindo a necessidade de estoque de segurança total de 102.188t para 67.691t. A figura 14 demonstra a distribuição, da expectativa de redução de estoque de segurança, por fornecedor.

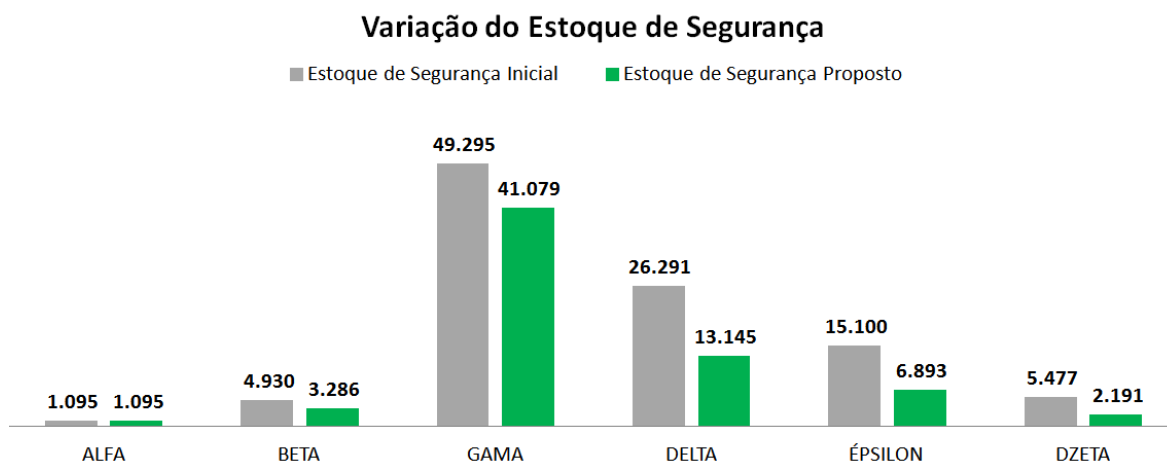


Figura 14 – Variação prevista de redução de estoque de segurança.

Para se verificar a redução de passivos, foi aplicada a fórmula 16 para definição dos estoques médios, antes da proposição de redução do lead time e posterior a proposição. A tabela 9 registra os resultados encontrados.

Tabela 9 – Resultados de Estoque Médio Calculado (inicial e proposto)

VARIÁVEIS	SIGLA	UNIDADE	MINÉRIOS FINOS					
			ALFA	BETA	GAMA	DELTA	ÉPSILON	DZETA
Estoque Médio Inicial	EM	t	3.252	9.021	62.235	34.474	20.886	8.818
Estoque Médio Proposto	EM	t	3.252	7.378	54.019	21.329	12.680	5.532

Somados todas as reduções por fornecedor, obteve-se uma redução total de estoque médio da ordem de 34.497t. Isso significa diminuição de passivos contábeis, ou seja, a partir desta redução haverá a disponibilidade de capital mensal de R\$ 5,2 milhões para novos investimentos, podendo ser aplicados para melhorar a produtividade ou competitividade. A figura 15 representa graficamente esta redução prevista de investimento em estoques antes da proposição de redução do *lead time* e após proposta de redução do *lead time*.

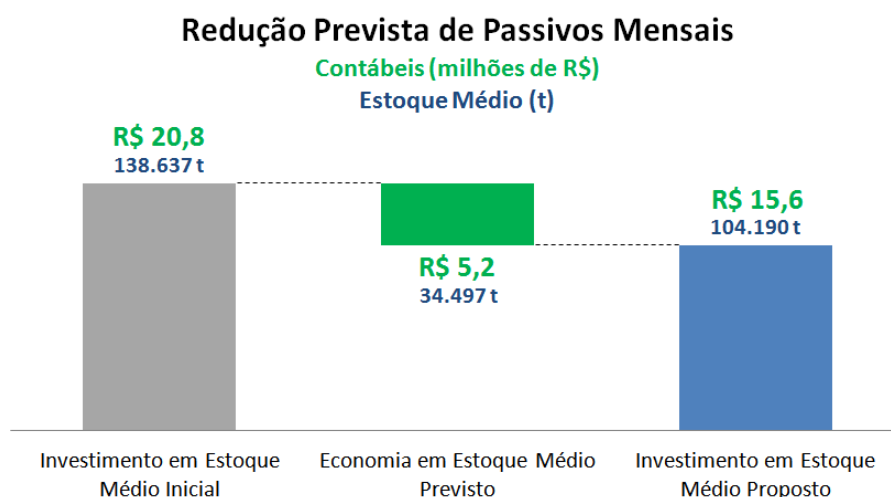


Figura 15 – Redução prevista de passivos mensais (contábil e estoque médio).

A fim de ilustrar o comportamento do estoque, consumos, recebimentos e pontos de ressuprimento (liberação de ordem de compra), foram simulados os gráficos de serra, para todos os fornecedores, considerando estoques após redução do *lead time*. As figuras abaixo (figura 16 à figura 21) representam o modelo ilustrativo simulado. Válido ressaltar que, como a configuração do gráfico é diária, os estoques estão representados pelo valor ao fim do dia, compostos pelos consumos, pedidos e recebimentos executados.

A tabela 10 contém o racional (fórmulas utilizadas) e os respectivos resultados encontrados para o fornecedor Alfa.

Tabela 10 – Resultados do Fornecedor Alfa (racional evidenciado)

VARIÁVEL	FÓRMULA	RESULTADO (kt)
Lote Econômico	Fórmula 12	4,3
Desv. Pad. do Lead Time	Fórmula 18	0,365
Estoque Médio	Fórmula 16	3,3
Ponto de Ressuprimento	Fórmula 13	2,1
Estoque de Segurança	Fórmula 15	1,1

Pode-se observar na figura 16, a simulação do fornecedor Alfa, com o *lead time* médio de 1 dia. O estoque ao longo dos dias tende a subir em função da relação do tamanho do lote pela demanda (tempo de ciclo de 4,3 dias). Isso ocorre até que o estoque ao fim do dia fique muito próximo, mas ainda superior, ao ponto de ressuprimento (tempo de ciclo não inteiro), gerando a sensação de atraso do ponto de pedido. Contudo, na prática, o pedido simplesmente está sendo realizado ao iniciar o próximo dia. Na simulação da figura 15 isso ocorreu nos dias 17, postergando para o início do dia 18, e em seguida no dia 30 postergando para início do próximo mês. Em longo prazo as médias entre ciclos de 4 e 5 dias resultam no tempo de ciclo (Q/d) médio de 4,3 dias.

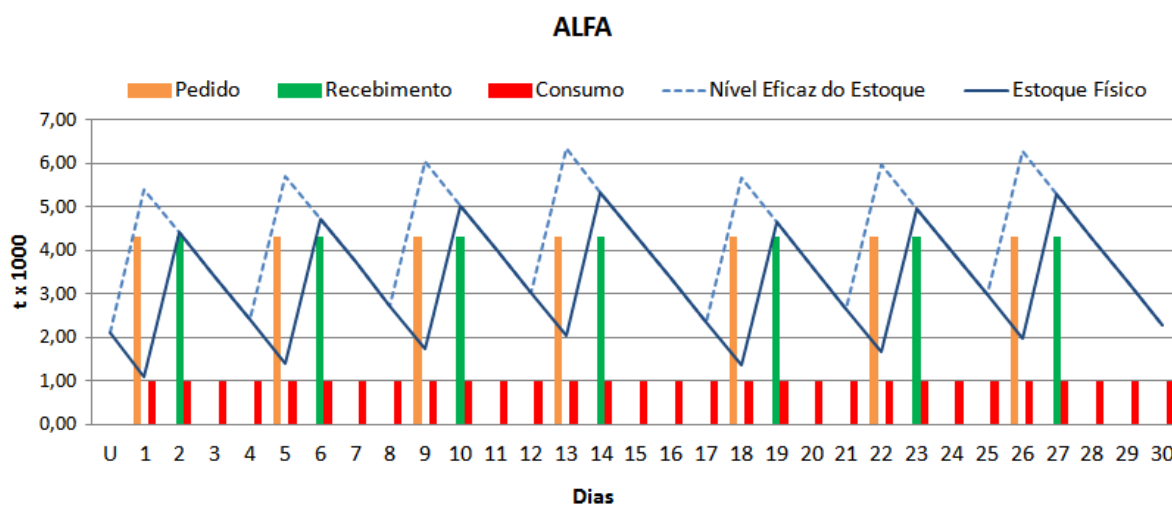


Figura 16 – Simulação do comportamento do estoque – fornecedor Alfa.

A tabela 11 contém o racional (fórmulas utilizadas) e os respectivos resultados encontrados para o fornecedor Beta.

Tabela 11 – Resultados do Fornecedor Beta (racional evidenciado)

VARIÁVEL	FÓRMULA	RESULTADO (kt)
Lote Econômico	Fórmula 12	8,2
Desv. Pad. do Lead Time	Fórmula 18	1,1
Estoque Médio	Fórmula 16	7,4
Ponto de Ressuprimento	Fórmula 13	5,0
Estoque de Segurança	Fórmula 15	3,3

Pode-se observar na figura 17, a simulação do fornecedor Beta, com o *lead time* médio de 2,8 dias. Devido à uma menor relação entre a demanda (baixo consumo) e o lote econômico há um significativo espaço entre os pedidos (tempo de ciclo de 13,6 dias), promovendo longos períodos com o estoque físico igual ao nível eficaz de estoque. Como o tempo de ciclo não é um valor inteiro, também houve variações entre o tempo de pedidos em número de dias. O primeiro ciclo com 13 dias (03º dia ao 16º dia) e o segundo ciclo com 14 dias (16º dia ao 30º dia).

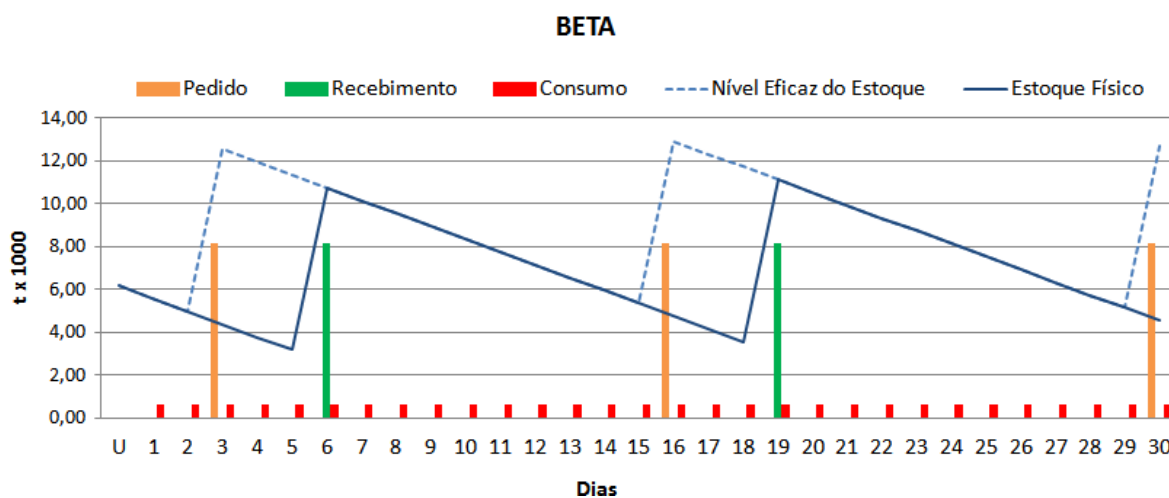


Figura 17 – Simulação do comportamento do estoque – fornecedor Beta.

A tabela 12 contém o racional (fórmulas utilizadas) e os respectivos resultados encontrados para o fornecedor Gama.

Tabela 12 – Resultados do Fornecedor Gama (racional evidenciado)

VARIÁVEL	FÓRMULA	RESULTADO (kt)
Lote Econômico	Fórmula 12	25,9
Desv. Pad. do Lead Time	Fórmula 18	13,7
Estoque Médio	Fórmula 16	54,0
Ponto de Ressuprimento	Fórmula 13	62,7
Estoque de Segurança	Fórmula 15	41,1

Pode-se observar na figura 18, a simulação do fornecedor Gama, com o *lead time* médio de 3,6 dias. Este é o fornecedor, via modal ferroviário, com maior número de pedidos, proveniente de sua elevada demanda, mesmo com o maior tamanho de lote econômico. O estoque ao longo dos ciclos tende a ter uma leve elevação, função da relação do tamanho do lote pela demanda (tempo de ciclo igual de 4,3 dias). Como nos casos dos fornecedores Alfa e Beta, isso ocorre até que o estoque ao fim do dia fique muito próximo, mas ainda superior, ao ponto de ressuprimento. Na simulação da figura 18, a variação do ciclo de 4 para 5 dias ocorreu no dia 17º dia, postergando para o início do 18º.

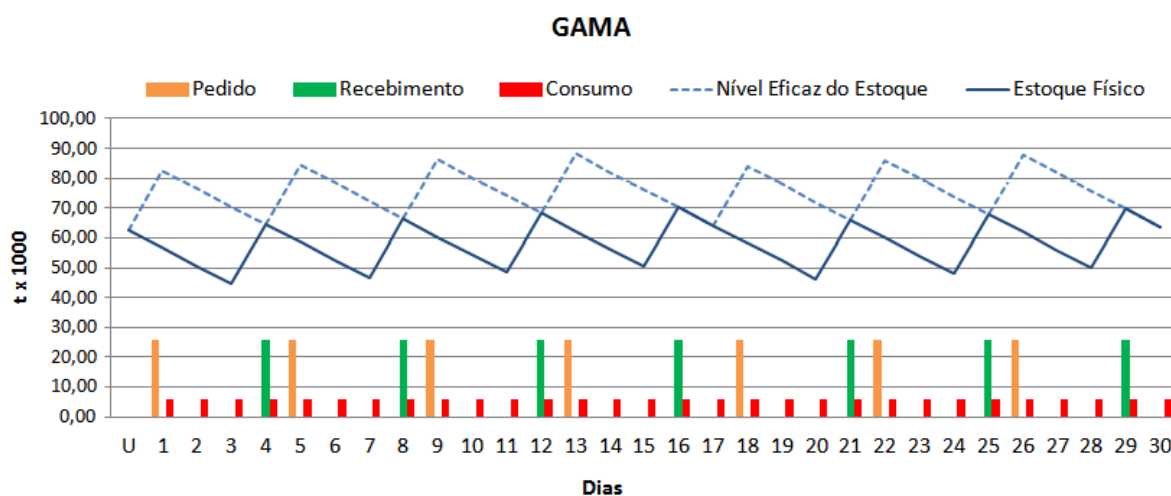


Figura 18 – Simulação do comportamento do estoque – fornecedor Gama.

A tabela 13 contém o racional (fórmulas utilizadas) e os respectivos resultados encontrados para o fornecedor Delta.

Tabela 13 – Resultados do Fornecedor Delta (racional evidenciado)

VARIÁVEL	FÓRMULA	RESULTADO (kt)
Lote Econômico	Fórmula 12	16,4
Desv. Pad. do Lead Time	Fórmula 18	4,4
Estoque Médio	Fórmula 16	21,3
Ponto de Ressuprimento	Fórmula 13	21,8
Estoque de Segurança	Fórmula 15	13,1

Pode-se observar na figura 19, a simulação do fornecedor Delta, com o *lead time* médio de 3,6 dias, com tempo de ciclo entre pedidos de 6,8 dias. Da mesma forma, o efeito do tempo de ciclo não inteiro está presente na simulação do fornecedor Delta. Lembrando que este é um efeito visual do gráfico, na prática o ponto de ressuprimento foi cumprido na íntegra.

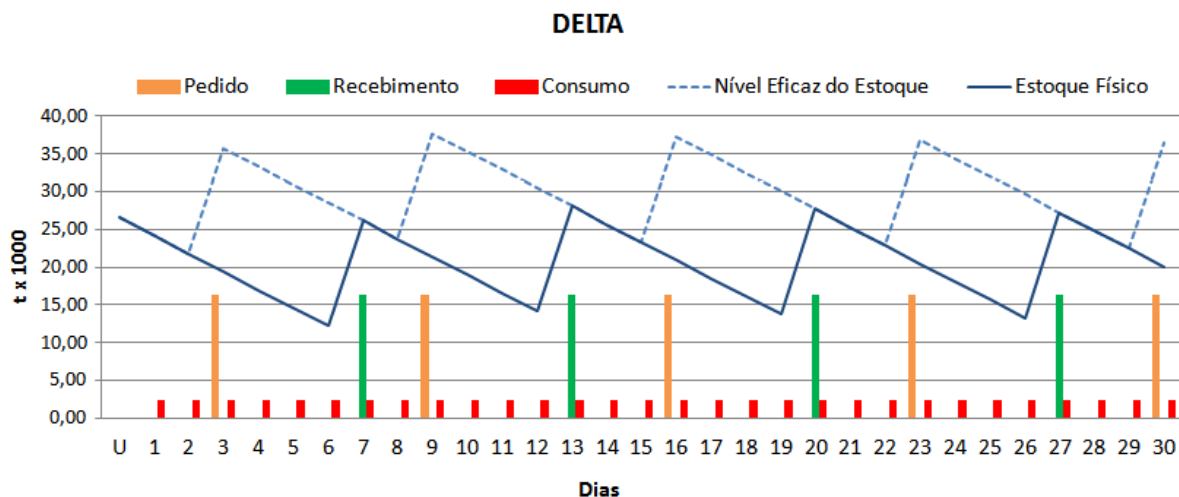


Figura 19 – Simulação do comportamento do estoque – fornecedor Delta.

A tabela 14 contém o racional (fórmulas utilizadas) e os respectivos resultados encontrados para o fornecedor Épsilon.

Tabela 14 – Resultados do Fornecedor Épsilon (racional evidenciado)

VARIÁVEL	FÓRMULA	RESULTADO (kt)
Lote Econômico	Fórmula 12	11,6
Desv. Pad. do Lead Time	Fórmula 18	2,3
Estoque Médio	Fórmula 16	12,7
Ponto de Ressuprimento	Fórmula 13	11,2
Estoque de Segurança	Fórmula 15	6,9

Pode-se observar na figura 20, a simulação do fornecedor Épsilon, com o *lead time* médio de 3,6 dias e com tempo de ciclo entre pedidos de 9,6 dias. Válido ressaltar que este fornecedor carregou a variação da demanda total, por ser considerado o fornecedor com custo marginal (menor atratividade sobre relação de custo-benefício), último a entrar no mix de consumos.

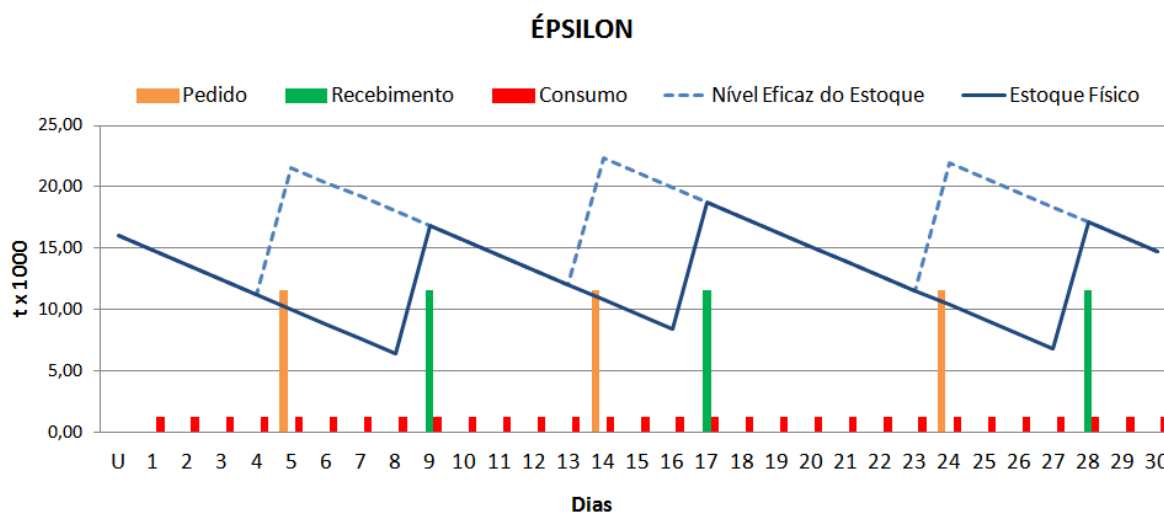


Figura 20 – Simulação do comportamento do estoque – fornecedor Épsilon.

A tabela 15 contém o racional (fórmulas utilizadas) e os respectivos resultados encontrados para o fornecedor Dzeta.

Tabela 15 – Resultados do Fornecedor Dzeta (racional evidenciado)

VARIÁVEL	FÓRMULA	RESULTADO (kt)
Lote Econômico	Fórmula 12	11,6
Desv. Pad. do Lead Time	Fórmula 18	0,7
Estoque Médio	Fórmula 16	12,7
Ponto de Ressuprimento	Fórmula 13	11,2
Estoque de Segurança	Fórmula 15	6,9

Pode-se observar na figura 21, a simulação do fornecedor Dzeta, com o *lead time* médio de 3,6 dias e com tempo de ciclo entre pedidos de 16,7 dias. Este fornecedor possui, entre os demais, a maior relação de lote econômico pela demanda, essa relação é de 56%, o que justifica a existência de somente um pedido na simulação do ciclo mensal.

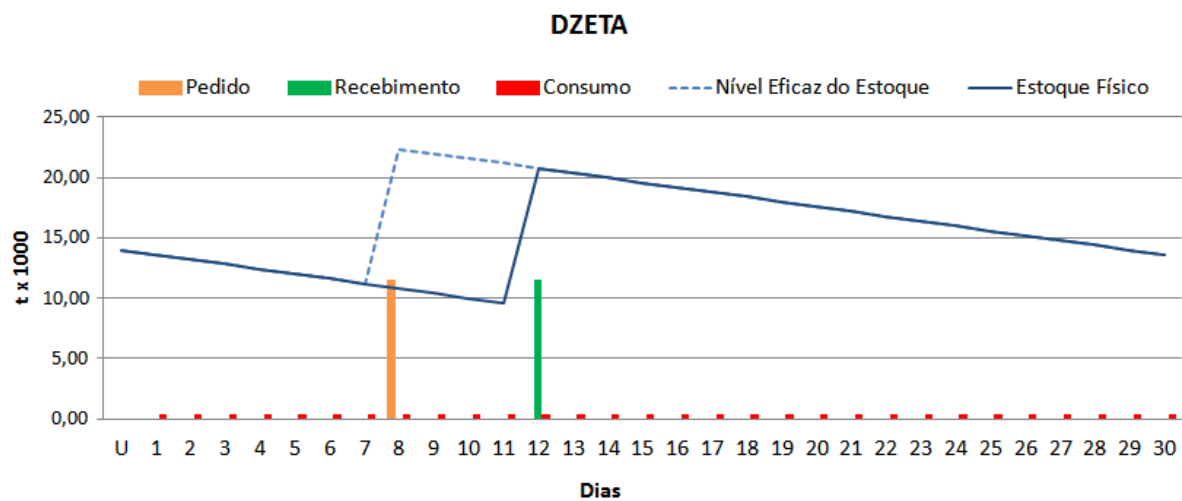


Figura 21 – Simulação do comportamento do estoque – fornecedor Dzeta.

5 CONCLUSÕES

A metodologia possibilitou adotar uma sistemática para calcular tamanho do lote econômico, estoque de segurança e pontos de ressuprimentos dos minérios de ferro finos da sinterização. A revisão da literatura foi realizada de forma a conceder uma visão geral do trabalho no meio científico.

Inicialmente necessitou identificar o tipo de demanda (determinística ou estocástica), a forma de monitoramento do estoque (contínuo ou periódico), conhecer bem os custos (pedido, manutenção e falta) com confiabilidade das informações e estimativa da distribuição de probabilidade da variável aleatória (para demanda e *lead time*). Assim, pode-se definir a Política do Ponto de Pedido com Incerteza da Demanda e do Tempo de Ressuprimento como o modelo a ser aplicado.

A revisão bibliográfica e aplicação do modelo permitiu conhecer os tamanhos de lote econômico, relacionando os custos de pedido, custos de manutenção e os custos de falta. Reconhecer que os estoques de segurança estão intimamente conectados ao nível de serviço desejado, ao tamanho e variação do *lead time*, da demanda e dos custos. Esta inter-relação permitiu racionalizar sobre a alternativa de reduzir o *lead time*, através da proposição da alteração do ponto inicial, diretamente aos terminais ferroviários. Essa alteração oportunizou a redução de 33,8% do nível de estoque de segurança, por consequência, uma redução de 34.497t do estoque médio.

Os resultados permitiram concluir que a gestão de estoques assume elevada importância para redução de custos, ampliando a competitividade das empresas. Estes inventários constituem uma parcela significativa do ativo. Neste estudo de caso a redução do *lead time*, através da proposição da alteração do ponto inicial de compra, proporcionou uma disponibilidade de capital mensal de R\$ 5,2 milhões para novos investimentos.

Dominar este conteúdo se torna extremamente importante, para expansão do tema em toda cadeia produtiva, desde a mineração, passando por diversos estoques de matérias primas e estoques intermediários, concluindo nos estoques de produtos finais. Assim, fica evidente a necessidade de estudos futuros para otimização destes estoques, visando contribuir para a gestão de ativos e caixa da empresa, sem comprometer a estabilidade operacional, garantindo atendimento aos clientes (internos e externos).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACCIOLY, Hamilton. *Administração de Recursos Materiais e Patrimoniais: uma abordagem logística*. 4ª Ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- ARNOLD, J. R. Tony. *Administração de Materiais*. São Paulo: Atlas, 1999.
- BALLOU, Ronald H. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial*. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- CHING, Hong Yuh. *Gestão de Estoques na Cadeia de Logística Integrada*. 2ª Ed. São Paulo: Atlas, 2001.
- COELHO, Leandro C. *O Que é Controle de Estoque*. Logística Descomplicada, Jan. 2017. Disponível em: <<http://www.logisticadescomplicada.com/o-que-e-controle-de-estoque/>>. Acesso em: 12 Jan. 2017.
- DIAS, Marco A. P. *Administração de Materiais: uma abordagem logística*. São Paulo: Atlas, 1999.
- FAGUNDES, Luiz A. *Administração de Materiais – industrial – comercial – pública: exercícios e tópicos importantes – Vol. II*. 1ª ed. Ipatinga: Tíbel, 2003
- GONÇALVES, Paulo S.; SCHWEMBER, Enrique. *Administração de Estoques (Teoria e Prática)*. 1ª ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1979.
- GURGEL, Floriano A. *Logística Industrial*. 1ª Ed. São Paulo: Atlas, 2000.
- HENZEL, Marjana E.; SILVA, Júnior R. da. *Gestão de estoques: Fator Decisivo para a Lucratividade Organizacional*. Florianópolis: Revista Iberoamericana de Engenharia Industrial. v. 4, n. 7, p.100-117, 2012.
- HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. *Introduction to Operations Research*. 9th ed. New York: MacGraw-Hill, 2005.
- KERBER, Emílio. *Metodologia para implementação de um sistema de gestão de estoques: estudo de caso do almoxarifado da base aérea de Canoas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2004.
- LIMA, Rafael H. P. *Estoque de Segurança*. Aprendendo Gestão, Post 015, agosto de 2016. Disponível em: <<http://aprendendogestao.com.br/wp-content/uploads/2016/08/Post-015-Estoque-de-seguranca.pdf>>. Acesso em: 18 Jan. 2016.
- MONTGOMERY, Douglas C.; RUNGER, George C. *Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros*. 4th ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- POZO, Hamilton. *Administração de Recursos Materiais e Patrimoniais: uma abordagem logística*. 4ª Ed. São Paulo: Atlas, 2007.

- RODRIGUES, Paulo R. A. *Gestão Estratégica da Armazenagem*. 1ª ed. São Paulo: Aduaneiras, 2003
- SIMCHI-LEVI, David; KAMINSKY, Philip; SIMCHI-LEVI, Edith. *Cadeia de Suprimentos: projeto e gestão*. Porto Alegre: Bookman, 2003.
- SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. *Administração da Produção*. São Paulo: Atlas, 1999.
- VIANA, João J. *Administração de Materiais: um enfoque prático*. 2ª Ed. São Paulo: Atlas, 2000.

ANEXO A - FUNÇÃO PERDA NORMAL

Exemplos:

$$E_{(z)} = E_{(0,85)} = 0,1100$$

$$E_{(-z)} = E_{(-1,79)} = 1,8046$$



<i>z</i>	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
-3,4	3,4001	3,4101	3,4201	3,4301	3,4401	3,4501	3,4601	3,4701	3,4801	3,4901
-3,3	3,3000	3,3101	3,3201	3,3301	3,3401	3,3501	3,3601	3,3701	3,3801	3,3901
-3,2	3,2001	3,2102	3,2202	3,2302	3,2402	3,2502	3,2602	3,2701	3,2801	3,2901
-3,1	3,1003	3,1103	3,1202	3,1302	3,1402	3,1502	3,1602	3,1702	3,1802	3,1902
-3,0	3,004	3,0104	3,0204	3,0303	3,0403	3,0503	3,0603	3,0703	3,0803	3,0903
-2,9	2,9005	2,9105	2,9205	2,9305	2,9405	2,9505	2,9604	2,9704	2,9804	2,9904
-2,8	2,8008	2,8107	2,8207	2,8307	2,8407	2,8506	2,8606	2,8706	2,8806	2,8906
-2,7	2,7011	2,7110	2,7210	2,7310	2,7410	2,7509	2,7609	2,7708	2,7808	2,7908
-2,6	2,6015	2,6114	2,6214	2,6313	2,6413	2,6512	2,6612	2,6712	2,6811	2,6911
-2,5	2,5010	2,5119	2,5219	2,5318	2,5418	2,5517	2,5617	2,5716	2,5816	2,5915
-2,4	2,4027	2,4126	2,4226	2,4325	2,4424	2,4523	2,4623	2,4722	2,4821	2,4921
-2,3	2,3037	2,3136	2,3235	2,3334	2,3433	2,3532	2,3631	2,3730	2,3829	2,3928
-2,2	2,2049	2,2148	2,2246	2,2345	2,2444	2,2542	2,2641	2,2740	2,2839	2,2938
-2,1	2,1065	2,1163	2,1261	2,1360	2,1458	2,1556	2,1655	2,1753	2,1852	2,1950
-2,0	2,0085	2,0183	2,0280	2,0378	2,0476	2,0574	2,0672	2,0770	2,0868	2,0966
-1,9	1,9111	1,9208	1,9305	1,9402	1,9500	1,9597	1,9694	1,9792	1,9890	1,9987
-1,8	1,8143	1,8239	1,8336	1,8432	1,8529	1,8626	1,8723	1,8819	1,8916	1,9013
-1,7	1,7183	1,7278	1,7374	1,7470	1,7566	1,7662	1,7758	1,7854	1,7950	1,8046
-1,6	1,6232	1,6327	1,6422	1,6516	1,6611	1,6706	1,6801	1,6897	1,6992	1,7087
-1,5	1,5293	1,5386	1,5480	1,5574	1,5667	1,5761	1,5855	1,5949	1,6044	1,6138

z	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
-1,4	1,4367	1,4459	1,4551	1,4643	1,4736	1,4828	1,4921	1,5014	1,5107	1,5200
-1,3	1,3455	1,3546	1,3636	1,3727	1,3818	1,3909	1,4000	1,4092	1,4183	1,4275
-1,2	1,2561	1,2650	1,2738	1,2827	1,2917	1,3006	1,3095	1,3185	1,3275	1,3365
-1,1	1,1686	1,1773	1,1859	1,1946	1,2034	1,2121	1,2209	1,2296	1,2384	1,2473
-1,0	1,0883	1,0917	1,1002	1,1087	1,1172	1,1257	1,1342	1,1428	1,1514	1,1600
-0,9	1,0004	1,0086	1,0168	1,0250	1,0333	1,0416	1,0499	1,0582	1,0665	1,0749
-0,8	0,9202	0,9281	0,9361	0,9440	0,9520	0,9600	0,9680	0,9761	0,9842	0,9923
-0,7	0,8429	0,8505	0,8581	0,8658	0,8734	0,8812	0,8889	0,8967	0,9045	0,9123
-0,6	0,7687	0,7759	0,7833	0,7906	0,7980	0,8054	0,8128	0,8203	0,8278	0,8353
-0,5	0,6978	0,7047	0,7117	0,7187	0,7257	0,7328	0,7399	0,7471	0,7542	0,7614
-0,4	0,6304	0,6370	0,6436	0,6503	0,6569	0,6637	0,6704	0,6772	0,6840	0,6909
-0,3	0,5668	0,5730	0,5792	0,5855	0,5918	0,5981	0,6045	0,6109	0,6174	0,6239
-0,2	0,5069	0,5127	0,5186	0,5244	0,5304	0,5363	0,5424	0,5484	0,5545	0,5606
-0,1	0,4509	0,4564	0,4618	0,4673	0,4728	0,4784	0,4840	0,4897	0,4954	0,5011
0,0	0,3989	0,4040	0,4090	0,4141	0,4193	0,4244	0,4297	0,4349	0,4402	0,4456
0,0	0,3989	0,3940	0,3890	0,3841	0,3793	0,3744	0,3697	0,3649	0,3602	0,3556
0,1	0,3509	0,3464	0,3418	0,3373	0,3328	0,3284	0,3240	0,3197	0,3154	0,3111
0,2	0,3069	0,3027	0,2986	0,2944	0,2904	0,2863	0,2824	0,2784	0,2745	0,2706
0,3	0,2668	0,2630	0,2592	0,2555	0,2518	0,2481	0,2445	0,2409	0,2374	0,2339
0,4	0,2304	0,2270	0,2236	0,2203	0,2169	0,2137	0,2104	0,2072	0,2040	0,2009
0,5	0,1978	0,1947	0,1917	0,1887	0,1857	0,1828	0,1799	0,1771	0,1742	0,1714
0,6	0,1687	0,1659	0,1633	0,1606	0,1580	0,1554	0,1528	0,1503	0,1478	0,1453
0,7	0,1429	0,1405	0,1381	0,1358	0,1334	0,1312	0,1289	0,1257	0,1245	0,1223
0,8	0,1202	0,1181	0,1160	0,1140	0,1120	0,1100	0,1080	0,1051	0,1042	0,1023
0,9	0,1004	0,0986	0,0968	0,0950	0,0933	0,0916	0,0899	0,0882	0,0865	0,0849
1,0	0,0833	0,0817	0,0802	0,0787	0,0772	0,0757	0,0742	0,0728	0,0714	0,0700
1,1	0,0686	0,0673	0,0660	0,0647	0,0634	0,0621	0,0609	0,0596	0,0584	0,0573
1,2	0,0561	0,0550	0,0538	0,0527	0,0517	0,0506	0,0495	0,0485	0,0475	0,0465
1,3	0,0455	0,0446	0,0436	0,0427	0,0418	0,0409	0,0400	0,0392	0,0383	0,0375
1,4	0,0367	0,0359	0,0351	0,0343	0,0336	0,0328	0,0321	0,0314	0,0307	0,0300
1,5	0,0293	0,0287	0,0280	0,0274	0,0267	0,0261	0,0255	0,0249	0,0244	0,0238
1,6	0,0232	0,0227	0,0222	0,0217	0,0211	0,0206	0,0202	0,0197	0,0192	0,0187
1,7	0,0183	0,0179	0,0174	0,0170	0,0166	0,0162	0,0158	0,0154	0,0150	0,0146
1,8	0,0143	0,0139	0,0136	0,0132	0,0129	0,0126	0,0123	0,0120	0,0116	0,0113
1,9	0,0111	0,0108	0,0105	0,0102	0,0100	0,0097	0,0094	0,0092	0,0090	0,0087
2,0	0,0085	0,0083	0,0081	0,0078	0,0076	0,0074	0,0072	0,0070	0,0068	0,0067
2,1	0,0065	0,0063	0,0061	0,0060	0,0058	0,0056	0,0055	0,0053	0,0052	0,0050
2,2	0,0049	0,0048	0,0046	0,0045	0,0044	0,0042	0,0041	0,0040	0,0039	0,0038
2,3	0,0037	0,0036	0,0035	0,0034	0,0033	0,0032	0,0031	0,0030	0,0029	0,0028
2,4	0,0027	0,0026	0,0026	0,0025	0,0025	0,0024	0,0023	0,0022	0,0021	0,0021
2,5	0,0020	0,0019	0,0019	0,0018	0,0018	0,0017	0,0017	0,0016	0,0016	0,0015
2,6	0,0015	0,0014	0,0014	0,0013	0,0013	0,0012	0,0012	0,0012	0,0011	0,0011
2,7	0,0011	0,0010	0,0010	0,0010	0,0009	0,0009	0,0009	0,0008	0,0008	0,0008
2,8	0,0008	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
2,9	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
3,0	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
3,1	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
3,2	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
3,3	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
3,4	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
3,5	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000