

PROPOSTA DE MODELO MATEMÁTICO-ESTATÍSTICO PARA GESTÃO DE ESTOQUES, USO DA FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE GAMA PARA ATINGIR O NÍVEL DE SERVIÇO DESEJADO DE UM ESTOQUE MRO, ESTUDO DE CASO DE UMA INDÚSTRIA DE FIOS

William Belini
Francielle Cristina Fenerich

RESUMO

Este trabalho tem por finalidade orientar a implementação de um sistema de gestão de estoques para um almoxarifado de manutenção por meio de simulação de um modelo matemático-estatístico, que garanta o nível de serviço do estoque considerando não apenas os estoques de segurança, mas sim usando a distribuição Gama para identificar a probabilidade de consumo de um item durante o seu Lead Time de entrega. O trabalho introduz conceitos sobre estoques, gestão de estoques e por fim estoques MRO. Um estudo de caso, de natureza aplicada com abordagem quantitativa e objetivos descritivos. Que por meio de simulação compara as posições históricas dos estoques de MRO desta empresa, com o as posições geradas pelas fórmulas, visando mostrar os resultados advindos de uma gestão sistematizada. Como resultado conseguiu-se comprovar que a combinação dos modelos atuais difundidos na literatura com a distribuição Gama, pode trazer ganhos significativos a gestão de estoques de manutenção, garantindo estatisticamente o nível de serviço sem aumento desnecessário da posição de estoque.

Palavras-chave: *Gestão de Estoques; MRO; Previsão de Demanda; Distribuição Gama.*

1 INTRODUÇÃO

Amplamente difundido, o conceito de gestão de estoques é crucial para as indústrias, que usam deste artifício para garantir que seus produtos estejam disponíveis a seus clientes, quando estes assim desejarem. Dentro deste cenário existem inúmeras incertezas, como atraso de fornecedores, greve de caminhoneiros, aumento repentino de demanda ou mesmo baixa capacidade produtiva, que tornam pertinente o uso de estoques. A administração desta ferramenta logística oferece impacto direto nos custos de oportunidade das empresas, que ao imobilizar capital e dispor de espaço físico para armazenagem, estão alocando recursos que

poderiam ser atribuídos a outros investimentos. Existem também custos relativos a depreciação e obsolescência, que estão associados a armazenagem de produtos.

Como no Brasil em 2014 custos com estoques representaram uma fatia do PIB de 3,4% e custos com armazenagem 0,8%, fica claro que manter uma relação ótima entre satisfação do cliente e fatores de armazenagem, garante maior lucratividade para a empresa.

Este estudo será delimitado a estoques MRO (*Maintenance, Repair and Operating – MRO*), que são os estoques de materiais indiretos, necessários à operação dos processos, visando trazer para a realidade da empresa coadjuvante deste trabalho, que é uma indústria de fios da região norte do estado do Paraná, todos os benefícios de uma gestão de estoques eficiente. A gestão deste imobilizado é feita atualmente de forma bastante intuitiva, com um capital investido no valor aproximado de R\$ 3.500.000,00. Neste sentido, como a questão principal da gestão de estoques de um determinado item refere-se à quando repor e quanto repor, na medida em que o estoque vai sendo consumido, direciona-se o objetivo do projeto a orientar em qual quantidade e momento deve ser realizada a compra dos itens que compõem estes estoques de manutenção. De forma mais específica o que se propõe é estudar modelos matemáticos de gestão de estoque que possam dar maior clareza à tomada de decisão, simulando o comportamento dos estoques sob a lógica de fórmulas estatísticas, aplicando-as em dados reais de demanda para fins de comparação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura tem como objetivo aprofundar os limites dos conceitos que giram entorno do tema gestão de estoques, suas diferentes classificações, assim como as nuances atreladas a cada aspecto de sua gestão. Termos como demanda, ponto de pedido, estoque de segurança e lote econômico serão inseridos a seguir.

2.1 Estoques

Segundo Corrêa (2014) “O estoque é o acúmulo de materiais que acontece por reflexo da variação dos fluxos de entrada e saídas de um processo”. Logo é o resultado da diferença entre o abastecimento e a demanda, sendo considerado capital parado para a empresa. De acordo com Ballou (2006) os estoques podem conter matérias primas, itens de reposição, materiais em processo, produtos acabados acumulados, e podem aparecer em vários pontos da cadeia de

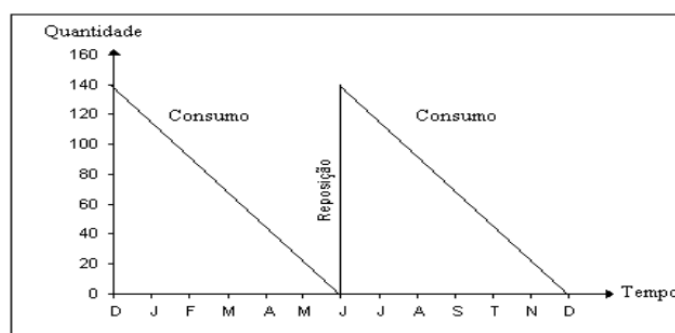
suprimentos. Com isso pode-se concluir que os estoques, por definição, são materiais armazenados com valor para a empresa e seus clientes, sejam eles internos ou externos.

2.2 Gestão de estoques

Para Betts (et. al. 2008, p. 295) “O gerenciamento de estoque é a atividade de planejar e controlar o acúmulo de recursos transformados, conforme eles se movem pelas cadeias de suprimentos, operações e processos”. Desta forma, os estoques podem representar boa parte do valor do negócio. O objetivo principal de qualquer empresa deve ser reduzir ao máximo os níveis deste capital imobilizado. O que conforme Dias (2005), é um processo complexo, pois o real objetivo do estoque é evitar que o material falte.

Machline (1981, apud Lima, 2017), explica os fundamentos que definem o gerenciamento de estoques, segundo o autor, “a teoria clássica de gestão de estoques fundamenta-se em princípios matemáticos, estatísticos e econômicos, estando sujeita a algumas condições de ambiente, como estabilidade monetária, previsibilidade e relacionamentos racionais entre os participantes”. Assim, há a necessidade de que o gerenciamento contenha um número suficiente de variáveis, que aliadas a ferramentas tecnológicas e modelos matemáticos possam tornar mais ágil o processo de gestão, identificando mudanças em tempo real. Ferramentas como a apontada por Dias (2012) na Figura 1, representa graficamente a movimentação de um item em um sistema de estoque, também chamado “gráfico dente de serra”.

Figura 1 – Gráfico dente de serra

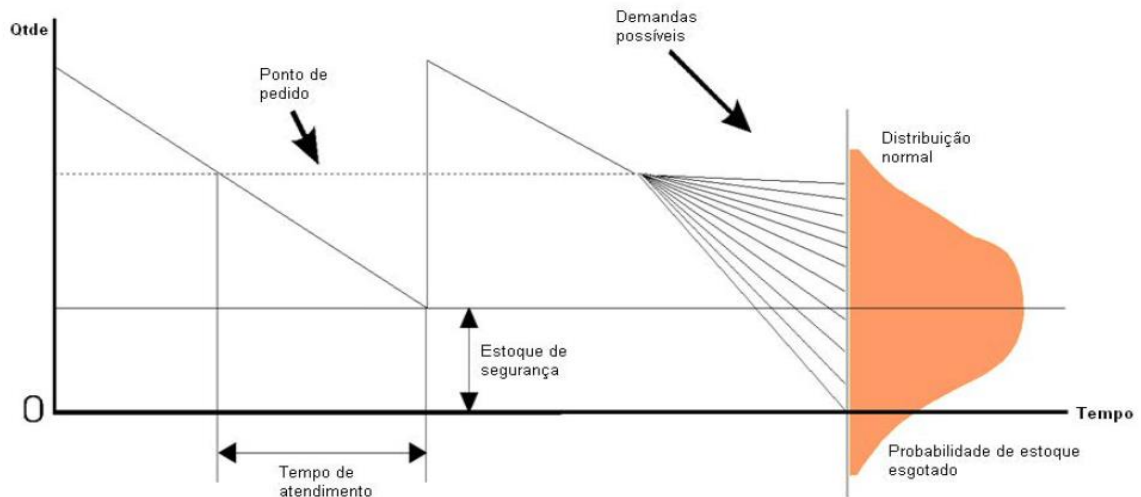


Fonte: Dias (2012)

Com este gráfico é possível acompanhar a quantidade em estoque de um item com o passar do tempo, nota-se no gráfico o pico onde acontece a reposição ou chegada da compra deste item,

e seu consumo linear ao longo do tempo. Já o gráfico de serra elaborado por Gasnier (2005), apresentado na Figura 2, contém mais informações a respeito do comportamento desta ferramenta.

Figura 2 – Gráfico de serra com suas variáveis



Fonte: Gasnier (2005)

Pode-se compreender analisando a Figura 2 que o comportamento de consumo de um item pode variar, seguindo leis de probabilidade, desta forma, há variação da demanda de determinado item em um mesmo intervalo de tempo, considerando ciclos diferentes.

2.3 Aspectos Fundamentais da Gestão de Estoques

Este tópico irá aprofundar os termos apresentados na Figura 2, caracterizando os aspectos universais utilizados para administrar estoques.

2.3.1 Ponto de pedido

Tubino (2009) caracteriza o “Ponto de pedido como uma quantidade de itens em estoque, que quando atingida, ativa o processo de compra”. Leva em consideração dois aspectos fundamentais a “demanda”, que é quanto de um item é consumido e o “Lead Time” que é o tempo de reposição de um item. Desta forma, o Ponto de Pedido é a quantidade de itens que deve possuir um estoque para que, quando o processo de compras iniciar, esta quantidade consiga suprir o consumo de determinado item até que o recebimento desta peça seja feito.

Segundo Wanke (2012), pode ser obtido pela multiplicação da Demanda pelo *Lead Time*. Com tudo, como apresentado na Figura 2, a Demanda de um item pode sofrer variações, assim deve-se levar em conta o estoque de segurança para evitar imprevistos.

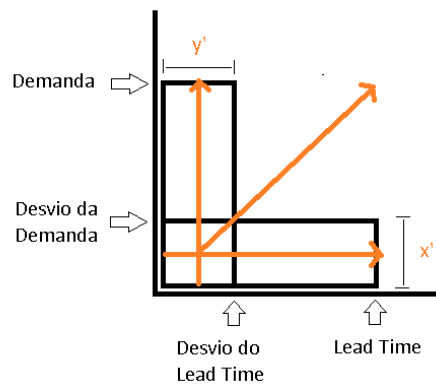
2.3.2 Estoque de Segurança

Segundo Ballou (2006) “Estoque de Segurança é o acréscimo ao estoque normal mantido para fazer frente às incertezas na demanda e no tempo de reabastecimento”. Desta forma os estoques de segurança têm por objetivo lidar com incertezas, como falhas de previsão de demanda e atrasos no suprimento. De acordo com Baker (1985, apud Baker e Novaes, 2011), os estoques de segurança têm correlação direta com o nível de serviço que se deseja entregar ao cliente, sendo assim, define a possibilidade de o cliente não ser atendido. Ainda segundo Baker e Novaes (2011) pode-se utilizar a tabela normal para definir este nível de serviço.

A Distribuição Normal, também conhecida como Gaussiana, define a probabilidade de ocorrer um determinado evento. Utilizando como ferramenta a “Tabela Normal”, pode-se dimensionar a probabilidade de um acontecimento, utilizando o fator K, que é um fator de proporção, multiplicado ao desvio padrão de um comportamento, assegura o nível de serviço do processo. Desta forma, o fator K com um valor de 1,28 desvios-padrão garante estatisticamente um nível de serviço de 90% (HINES, MONTGOMERY e GOLDSMAN, 2018). Estes desvios-padrão estão relacionados aos dados de Demanda e *Lead Time*.

Definindo o desvio-padrão como a variação do valor de um acontecimento, entorno de sua média. Entende-se que essa variação precisa ser considerada no planejamento de estoques na hora de formular o ponto de pedido. Quando a demanda aumenta inesperadamente Durante o *Lead Time*, existe um acréscimo no consumo causado por esse desvio. O análogo também é verdadeiro para uma variação de *Lead Time*, mesmo com uma Demanda previsível, haverá consumo não atendido.

Figura 3 – Consumo proveniente do erro de previsão



Fonte: O autor, 2018.

No gráfico, y' é o aumento de consumo causado pelo desvio no *Lead Time*, e o vetor x' é a variação no consumo devido ao desvio da Demanda. A resultante dos dois vetores é a quantidade que define o aumento no consumo total. Desta forma, utilizando os conceitos apresentados, temos a seguinte fórmula para os estoques de segurança:

$$(1) \quad ES = k \cdot \sqrt{[(DMD \cdot desvioLT)^2 + (LT \cdot desvioDMD)^2]}$$

Com tudo, mesmo tomando como base Chan et al. (1999) que afirmam que em muitas empresas os estoques de segurança estão relacionados ao desvio padrão da previsão, e que há vários estudos que combinam diferentes modelos de previsão com obtenção de melhores resultados, Inderfurth e Minner (1998, apud Santos e Rodrigues, 2006) dizem que as fórmulas usando desvio padrão são aplicadas quando os comportamentos da Demanda e do *Lead Time* obedecem a uma distribuição Normal, o que pode não ser necessariamente uma realidade. Eppen e Martin (1988, apud Santos e Rodrigues, 2006) afirmam, que a aplicação deste modelo em situações não normais leva a rupturas no estoque. Desta forma, conclui-se que o modelo considerando apenas os desvios-padrão, não garante a acuracidade proposta, se o consumo do estoque não seguir a distribuição normal.

2.3.3 Lote de compra e Lote econômico

Segundo Lara M. et al. (2010), “O objetivo da gestão de estoques é garantir o nível de serviço desejado ao menor custo logístico possível, buscando otimizar o somatório dos custos de

manutenção de estoques”. A figura 4, demonstra os principais custos que devem ser considerados para gerenciar estoques:

Figura 4 – Custos envolvidos na gestão de estoques



Fonte: Lara et al. (2010)

Como apresentado na Figura 4, três tipos principais de custos podem ser associados aos estoques, custos que podem subdividir-se em categorias menores.

Segundo Garcia et. al (2006), pontos relevantes dos custos de estoques são:

- Custos de manutenção de estoques: são proporcionais à quantidade armazenada e ao tempo que o material permanece em estoque. Dentre os quais podemos citar: seguros, aluguéis de espaços físicos para alocação dos materiais, etc.
- Custos de pedido: presentes nas novas compras, podem ser variáveis ou fixos. Os custos fixos associados a um pedido são os de emissão, recebimento e inspeção, já a variabilidade do custo se aplica ao preço unitário de compra.
- Custo de falta: é o mais difícil de medir, ocorre quando não há estoque suficiente para atender aos clientes no momento necessário.

As considerações apresentadas por Garcia et al (2006), demonstram os custos operacionais do estoque. Definindo de forma estratégica, segundo Lara M. et al. (2010), “Se por um lado, baixos níveis de estoque podem levar a perdas de economia de escala e altos custos de falta, por outro,

o excesso de estoques representam custos operacionais e de oportunidade do capital empatado”. Com esta citação Lara M. et al. (2010) reafirma o desafio de manter os níveis de estoques em condições ideais. Conforme Saggiaro, Martin e Lara (2008), o desafio da gestão de estoques é a redução do custo global, neste aspecto o Lote Econômico de Compra, é a quantidade a ser comprada para que a posição de estoque retorne aos níveis estabelecidos ao menor custo de operação possível. Segundo Eleodoro et al. (2013) o modelo de lote econômico EOQ (*Economic Order Quantity*) é a quantidade econômica que deve ser comprada, e a cada vez que surgir uma nova encomenda, deve-se saber a quantidade exata para uma aquisição de um produto. De forma resumida, segundo Tubino (2000), “é evidentemente conveniente repor os estoques em quantidades econômicas”.

2.3.4 Modelos de Gestão de estoques

Dados os aspectos fundamentais, a literatura dispõe de modelos que podem ser aplicados conforme melhor se adequem aos estoques gerenciados. Dentre eles se destaca o Modelo de Revisão Contínua (Sistema Q).

Segundo Rosa e Gonçalves (2010):

O modelo de revisão contínua dos estoques é encontrado sob vários nomes na literatura internacional: *continuous review model*, *reorder point policy*, (Q,r) [...] Esse modelo consiste em estabelecer um nível fixo de reposição (r) que, ao ser atingido, dispara a emissão de um novo pedido de tamanho (Q) pré-definido. Esse nível r também é conhecido como Ponto de Pedido (PP).

Existem algumas variações deste modelo, que seguem a mesma lógica. Dentre os quais o modelo (S,s), que ao reduzir o seu volume abaixo do ponto de pedido (s), o estoque deve receber uma quantidade para retornar o ao volume S, sendo S o estoque máximo (WANKE, 2012).

2.4 Tipos de estoques

Uma classificação bastante ampla quanto a itens de estoque é citada por Lustosa et al. (2008). Nesta, concatenam 4 grandes grupos relacionados à sua aplicação:

- Estoque de matéria prima (MP);
- Estoque de materiais indiretos necessários para operação dos processos (*MRO – Maintenance, Repair and Operating*);

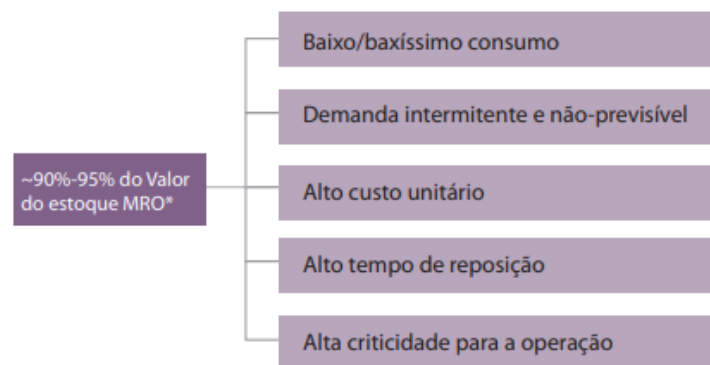
- Estoque de materiais em processo de transformação (*WIP – Work in Process*);
- Estoque de produtos acabados (PA)

Devido à variedade e aplicações, cada tipo de estoque tem em sua gestão particularidades. Segundo Tubino (2008), ao trabalhar com estoques de diferentes tipos, as empresas precisam de maneiras eficientes e eficazes de gerencia-los. Logo a administração de estoques é uma das atividades mais importantes da manufatura.

2.4.1 Estoques MRO

Lustosa et al. (2008) classificam os itens MRO como sendo um grupo de materiais não diretos, necessários para operação dos processos. Neste sentido, para Garcia, Martin & Lara (2008), a complexidade na gestão de peças de reposição está baseada na volatilidade que representam à operação, dados os custos elevados em casos de falta, visto que podem não receber a devida atenção por não estarem associados diretamente ao produto. Lucidando a situação, Wanke (2011) afirma que os estoques de peças de reposição podem responder por uma das maiores parcelas dos custos industriais de diferentes empresas, custos atribuídos a itens que segundo Santos e Rodriguez (2006) são estoques que podem conter diversos tipos de peças, e normalmente seguem padrões de demanda variados, como apresentados na Figura 5.

Figura 5 - Principais características dos estoques MRO



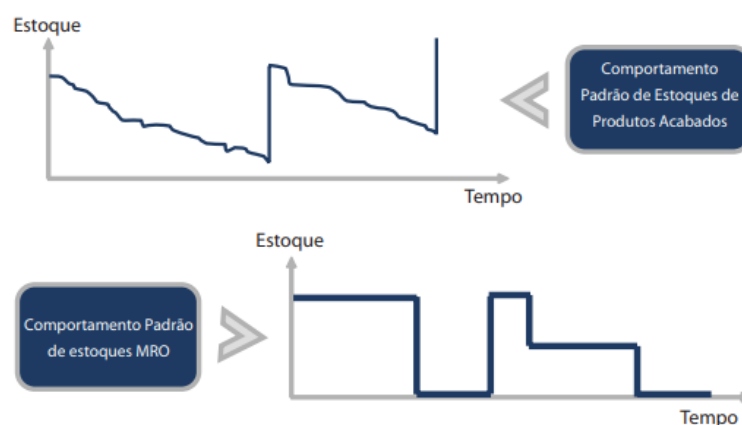
Fonte: Moncrief et al. (2006 apud Lara M. et al., 2010)

Dadas as classificações apresentadas na Figura 5, classificados com relação ao tipo de consumo, os estoques MRO também podem se caracterizar em:

- Itens com demanda “Regular”: São itens com alta demanda e distribuição normal. Para Wanke (2010) estas podem ser chamadas de “Peças de consumo de massa”, se tiverem saída acima de 300 peças por ano. Para estas calcula-se o Ponto de Pedido baseado em dados de média e desvio padrão.
- Itens com demanda “Intermitente Regular”: São itens com uma demanda sem giro contínuo, sua distribuição de consumo segue um modelo Beta ou Gama. (SANTOS e RODRIGUEZ, 2006). Segundo Wanke (2010), conhecidas como de “baixo giro”, com demanda anual entre 1 e 300 unidades por ano. Diz assumirem o modelo da distribuição de Poisson, dada a suposta interdependência entre os pedidos. Porém, segundo Yeh (1997 apud Wanke 2010), a distribuição de Poisson é restrita a variâncias não maiores que 10% da média, sendo em casos assim, mais utilizada a distribuição Gama.
- Itens com demanda “Intermitente Irregular”, denotados como *Slow-moving* por Santos e Rodriguez (2006). Para os quais segundo Lima M. (2017) os modelos convencionais não funcionam, fazendo assim uma análise do nível de serviço usando a distribuição de Poisson para ponderar os custos de ter ou não o item em estoque.

As variações de demanda definidas para os estoques MRO ficam nítidas no formato de gestão visual proposto pelo gráfico dente de serra, como apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Comportamento da demanda de estoques MRO



Fonte: Lara M. et al. (2005).

Nota-se na Figura 6 que o intervalo entre retiradas faz com que o estoque tenha valores contínuos por largos períodos de tempo, e são consumidos em grandes quantidades subitamente, o que torna necessário manter estes estoques em níveis seguros mesmo com sua baixa movimentação.

2.5 Modelos matemáticos

Peças de reposição de diversos sistemas logísticos e de produção poderiam ser classificadas apenas como de baixo ou de baixíssimo giro, sendo raras as peças de reposição de consumo em massa (WANKE, 2010).

Como os estoques classificados como baixo giro não seguem a distribuição normal e, ter esta distribuição é pré-requisito para o cálculo de estoques de segurança e ponto de pedido nas fórmulas convencionais, ILOS (2003) traz uma solução plausível para o problema, que é adaptar a fórmula a outros modelos probabilísticos.

Segundo Wanke (2010), pode-se usar a distribuição Gama para demandas com estas características, ou seja, não atribuir apenas ao estoque de segurança a garantia do nível de serviço, mas também atribuir um nível de serviço à Demanda consumida durante o *Lead Time*. Segundo Wanke (2012) “O que poucos artigos e livros comentam é que este é um resultado aplicável a qualquer distribuição da demanda ou do consumo (Normal, Poisson etc)”.

Ao encontrar um valor de Demanda durante o *Lead Time* que garanta com algum nível de precisão o consumo, pode-se ter uma solução para os itens de baixo giro que não têm sua demanda caracterizada como “Normal”. Neste sentido, utilizar a distribuição Gama pode trazer maior assertividade aos resultados.

2.5.1 Distribuição Gama

Segundo Hines, Montgomery e Goldsman (2018), a distribuição Gama utiliza dois parâmetros α e β , respectivamente, de forma e escala. A função densidade de probabilidade da distribuição Gama é dada por:

$$(2) \quad f(\lambda) = \frac{(\alpha\lambda)^{\beta-1}}{\Gamma(\beta)} \alpha e^{-\alpha\lambda}, 0 \leq \lambda \leq \infty$$

Onde,

$$(3) \quad \alpha = \frac{E(\lambda)^2}{Var(\lambda)} \quad (4) \quad \beta = \frac{Var(\lambda)}{E(\lambda)}$$

O dado buscado é o valor do estoque que deve-se ter disponível **no momento da realização da compra**, pois este é o momento mais crítico da gestão de estoques, e é o momento em que percebe-se que o item precisará de reposição, neste período a maior parte do produto já não está mais na indústria e sim nos fornecedores. Fazem as incertezas precisarem ser dimensionadas, e a distribuição Gama agrega essa propriedade, dando a probabilidade de atendimento de demandas durante o *Lead Time*, usando como parâmetro a variância. Desta forma, a base de fórmulas do Suport Office (2018), no Excel, INV.GAMA é uma função de 3 variáveis: %, alfa e beta. Onde alfa assumirá, por definição, o valor de:

$$(Demanda * LeadTime)^2 / DesvioPadrão^2$$

E beta:

$$DesvioPadrão^2 / (Demanda * LeadTime)$$

Por fim, % é o valor decimal desejado para o nível de serviço. Explicando didaticamente, o valor do desvio padrão presente na fórmula é o sigma calculado, ou seja, a resultante que por definição é o estoque de segurança, sem o coeficiente “k”. A função deve retornar o valor de Demanda vs. *Lead Time* que pode garantir ao estoque o nível de serviço estipulado, agora com nomenclatura “λ”. Desta forma, tendo em mãos o valor de “λ”, a equação de ponto de pedido Gama-Normal que servirá de base para fazer a gestão de estoques MRO da indústria, seguindo o modelo proposto por ILOS (2003) será:

$$(5) \quad PP = \lambda + k * \sqrt{[(\lambda * desvioLT/LT)^2 + (LT * desvioDMD)^2]}$$

Correções que teoricamente devem garantir o nível de serviço, mesmo com um processo mecânico de compras. Assim, de posse de conhecimentos sobre estoques, gestão de estoques e modelos matemáticos para o seu gerenciamento. Estão caracterizados os pilares para a realização deste trabalho, que foi feito de forma que segue a metodologia apresentada nos próximos tópicos.

3 METODOLOGIA

A pesquisa quanto a sua natureza é aplicada pois objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. Quanto a sua abordagem é caracterizada quantitativa, pois traduzirá em números as informações, tendo como recurso ferramentas estatísticas, também quanto a seus objetivos é considerada descritiva. Referente aos procedimentos, tem cunho de estudo de caso, pois envolve o estudo profundo e exaustivo de poucos objetos e permite seu amplo e detalhado conhecimento. O presente estudo se desenvolveu a partir da aplicação dos modelos teóricos, específicos para a gestão de estoques de peças de reposição, um estudo de caso numa indústria de fios. O modelo de gestão de estoques foi testado de forma a verificar o seu desempenho em classificações distintas. Como primeiro passo, realizou-se a revisão bibliográfica, onde foram encontrados os dados para elaboração de um modelo matemático-estatístico que pudesse satisfazer as particularidades da administração de estoques de manutenção. Após estabelecido o método foi realizado o levantamento de dados, estes dados passaram por análises e discriminação, para identificar quais aspectos dos números seriam relevantes para o estudo. A partir destes resultados, foi percebida a necessidade de elaborar uma ferramenta que conseguisse simular a partir das suposições levantadas, a real eficácia do modelo matemático no cenário da empresa, ao usar como base o banco de dados de consumo histórico, tornou possível comparar o cenário real com o simulado, viabilizando conclusões.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Caracterizações da empresa

A empresa parceira na realização do estudo é uma Cooperativa Agroindustrial, sua fundação teve por objetivo organizar a produção regional de café, com o tempo, a cooperativa diversificou os negócios e cresceu e hoje está presente em vários municípios por meio de mais de 60 unidades operacionais espalhadas pelo norte e noroeste do Paraná, oeste paulista e sudoeste do Mato Grosso do Sul. Conta com 13 mil associados. Trabalha no segmento industrial no beneficiamento de soja, milho, café e algodão. A indústria foco do trabalho é a Indústria de Fios, que tem por objetivo o beneficiamento da safra algodoeira regional, transformando a matéria prima principal que é o algodão, nos mais diversos tipos de fios. Com capacidade instalada para produzir 8300 ton/ano de fios de algodão, poliéster e mistos. Busca

constantemente inovar seus processos e produtos, com foco em sustentabilidade. A empresa dispõe de 129 equipamentos para realizar os diversos tipos de processos relacionados a obtenção dos fios.

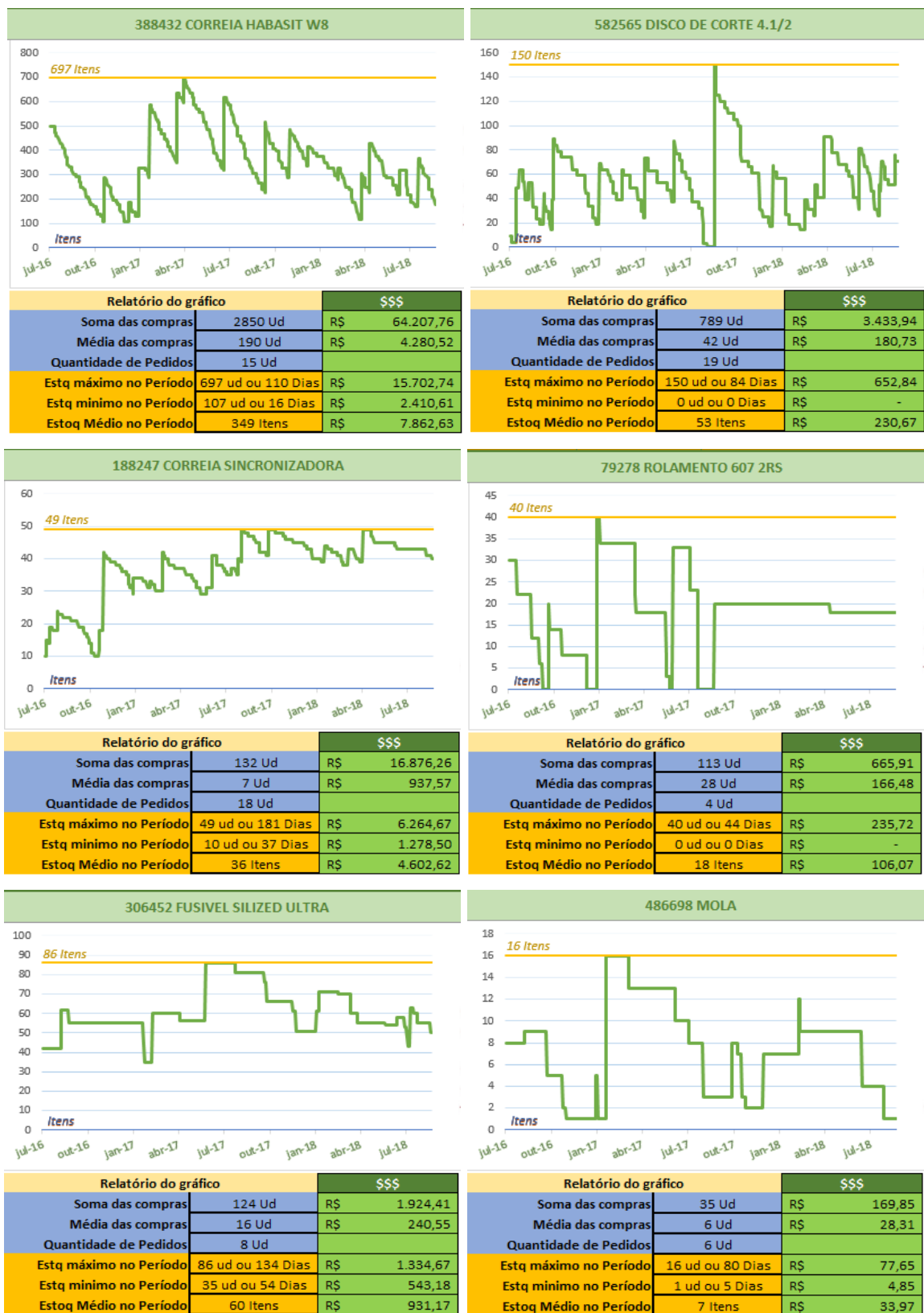
4.2 Diagnóstico

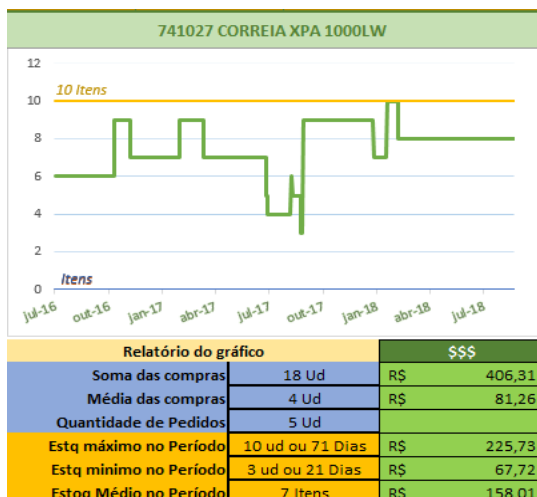
Dados os equipamentos necessários para administrar a operação, a empresa dispõe de um processo padronizado de manutenção de máquinas, que busca elevar a capacidade produtiva da planta aos melhores níveis. Dentre os aspectos relacionados a manutenção, a empresa realiza manutenções corretivas, ou seja, o trabalho de manutenção é realizado somente após a quebra do equipamento ter ocorrido. Da mesma forma, realiza manutenções preventivas, estas programadas e conseguem antecipar o uso de materiais de reposição. Dado o grande volume de máquinas, e o custo de falta de peças de reposição ser alto, a empresa administra um grande volume de itens em estoque, o que acarreta em capital imobilizado. A oportunidade de estudo foi vislumbrada ao verificar que a gestão não realiza análises de consumo para definir seus níveis de estoques.

4.2.1 Caracterização

Os dados foram coletados do sistema ERP da empresa do período entre 2016 e 2018, onde foram obtidos os dados de 7 itens, por suas variadas características de demanda. O limite ao acesso aos dados se dá, visto que o consumo de peças é informação estratégica da empresa para a negociação com fornecedores. Para realizar o comparativo foram moldados os gráficos dente de serra da movimentação realizada num período de 27 meses, onde apresentados na Figura 7, demonstram o comportamento do estoque:

Figura 7 – Relatórios do histórico





Fonte: Sistema ERP empresa, 2018.

Os gráficos de estoque de serra demonstram claramente o comportamento dos níveis de estoque no período. Nota-se que os estoques se elevam subitamente, recebem reposições desuniformes, com casos de ruptura (estoque = 0), como no item “Rolamento 607 2RS”. Os custos de ruptura não puderam ser medidos devido a terem ocorrido antes de o estudo ser implementado. O valor do estoque máximo no período somou R\$ 24.494,02, do estoque médio R\$ 13.924,14 e de estoque mínimo R\$ 4.304,86, para os 7 itens estudados.

Os valores de estoque máximo representam uma correlação forte com o espaço reservado a esses itens, visto que precisam de espaço físico para armazenar até essa quantidade. O estoque médio está relacionado com o capital necessário para o funcionamento do negócio, pois representa o giro dos itens. E os estoques mínimos representam o capital parado devido ao nível de serviço proposto, que aqui não foram calculados, apenas praticados, pois todos tiveram uma posição de estoque que nunca foi usada. O resumo dos gráficos pode ser encontrado na Figura 8.

Figura 8 – Resumo do custo volume

Emax	Eméd	Emin
R\$ 24.494,02	R\$ 13.924,14	R\$ 4.304,86

Fonte: O Autor, 2018.

Neste resumo podem-se observar os valores de forma mais clara, para futura comparação com os dados simulados.








4.3 Proposta

A proposta sugerida foi a realização de um estudo que contemplasse um modelo matemático-estatístico de gestão de estoques que desse aos gestores do almoxarifado uma gama de ferramentas que pudessem otimizar os indicadores de desempenho.

4.3.1 Obtenção e consolidação dos dados

Foram elaboradas análises de média e desvio padrão do consumo mensal dos itens, também verificados a quantidade de meses em que tiveram saída, o consumo máximo no período, tamanho médio dos lotes unitários e, por fim, os dados de *Lead Time* (média e desvio padrão). A análise foi realizada com dados retirados do relatório de movimentação dos itens do almoxarifado num período de 27 meses e serviu de base ao modelo matemático.

Figura 9 – Tabela de dados consolidados

PD	Descrição	Consumo Mensal	Demanda Média	DesvPad Demanda	Valor Ud R\$	Meses com saída	Retirada individual 95% (Gama)	Média LT (Mês)	DesvPad LT (Mês)
388432	CORREIA HABASIT W8		118,7	28,2	R\$ 22,53	27	14	0,74	0,28
582565	DISCO DE CORTE 4.1/2		28,1	11,3	R\$ 4,35	27	6	0,18	0,1
188247	CORREIA SINCRONIZADORA		4,6	2,0	R\$ 127,85	27	1	1,9	0
79278	ROLAMENTO 607 2RS		13,6	8,2	R\$ 5,89	12	6	0,51	0,22
306452	FUSIVEL SILIZED ULTRA		8,7	6,0	R\$ 15,52	12	3	0,67	0,43
486698	MOLA		3,8	1,6	R\$ 4,85	12	2	2,63	0,17
741027	CORREIA XPA 1000LW		2,5	1,1	R\$ 22,57	8	2	0,28	0,02

Fonte: Sistema ERP da empresa, 2018.

Foram escolhidos itens diversos em características, com demandas, *Lead Time* e frequências de movimentação variadas. Isto para trazer maior clareza sobre a eficiência do modelo para com as particularidades encontradas.

Escolhidas as informações necessárias para o funcionamento da fórmula, resta identificar um ponto inicial para realizar a simulação, e para este ponto, foram escolhidos os dados de balanço de estoque do dia 02/07/2016. O balanço de estoque é uma conferência realizada semestralmente para verificação da acuracidade do estoque, comparando os dados do sistema com o estoque físico por meio de contagem. Estes dados serviram de ponto de partida para o estudo.

Figura 10 – Tabela de dados, estoque físico contabilizado no balanço de 02/07/2016

Dados de balanço 02/07/2016		
PD	DESCRIÇÃO	QTD.
388432	CORREIA HABASIT W8	500,000
582565	DISCO DE CORTE 4.1/2	9,000
188247	CORREIA SINCRONIZADORA	10,000
79278	ROLAMENTO 607 2RS	30,000
306452	FUSIVEL SILIZED ULTRA	42,000
486698	MOLA	8,000
741027	CORREIA XPA 1000LW	6,000

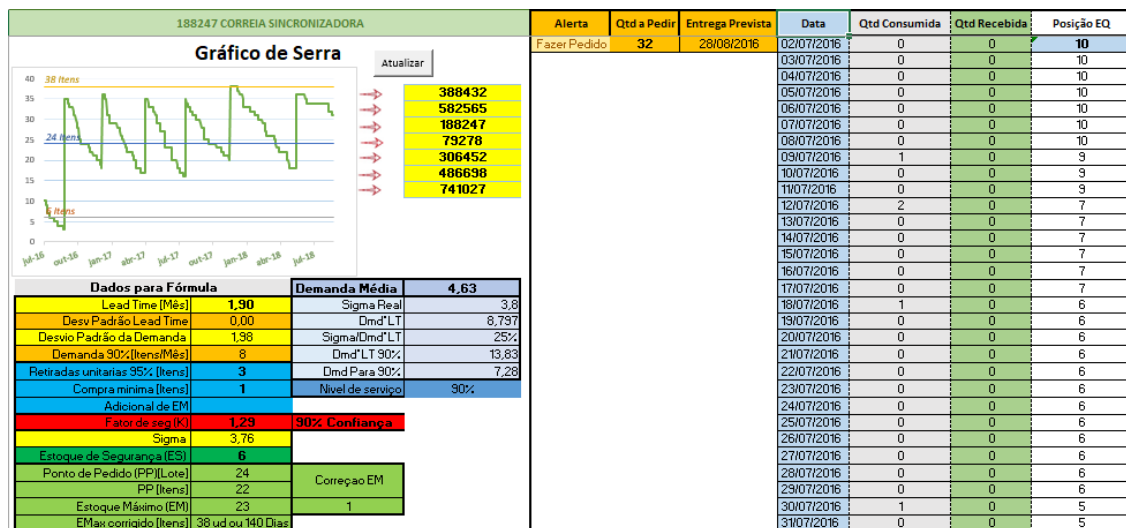
Fonte: Relatório semestral de balanço, 07/2016.

Com os dados compilados, houve a necessidade viabilizar uma forma de simular o comportamento das formulas, para isto foi desenvolvida uma ferramenta.

4.3.2 Ferramenta

Desenvolvida em Excel, com seu retrato destacado na Figura 11, a ferramenta em forma de planilha teve por objetivo automatizar as análises. Vinculada aos diversos bancos de dados, desde as informações de movimentação dos itens assim como os dados consolidados aplicados ao modelo matemático.

Figura 11 – Ferramenta



Fonte: O Autor, 2018.

A Figura 11 descreve a ferramenta, que usa como base a fundamentação teórica, aplicando a distribuição estatística Gama para corrigir os valores de demanda e assim dar valor ao Ponto de Pedido (PP), considerando o nível de serviço desejado.

Para ficar mais claro como é o processo de garantia do nível de serviço, considere a demanda do item “Correia Habasit”, que é 118.7 com Desvio Padrão de 28.2, *Lead Time* de 0.74 (unidade de *Lead Time* em meses) com Desvio Padrão de 0.28. Sendo o Desvio Padrão Global usado na fórmula (2):

$$\text{Desvio} = \sqrt{[(118.7 * 0.28)^2 + (0.74 * 28.2)^2]} = 39.3$$

Como,

$$\text{Demanda} * \text{Lead Time} = 118.7 * 0.74 = 87.82$$

E deseja-se calcular o novo fator de “Consumo durante o *Lead Time*”, calcula-se Alfa e Beta:

$$\text{Alfa} = \frac{87.82^2}{39.3^2} = 5 \qquad \text{Beta} = \frac{39.3^2}{87.82} = 17.55$$

Aplicando a inversa de Gamma no excel (INV.GAMA), usando como nível de serviço 90%, temos que:

$$\text{Demanda} * \text{Lead Time (Gamma 90\%)} = 140.37$$

Lembrando que este é o valor do consumo durante o *Lead Time* que satisfaz 90% das retiradas. Descrito como λ , na equação proposta por Wanke (2013).

Como,

$$\text{PP} = \lambda + k * \sqrt{[(\lambda * \text{desvio}_{LT}/LT)^2 + (LT * \text{desvio}_{DMD})^2]}$$

Temos a partir dos dados levantados que,

$$\text{PP} = 140.37 + 1.29 * \sqrt{\left[\left(140.37 * \frac{0.27}{0.74} \right)^2 + (0.74 * 28.2)^2 \right]} = 215 \text{ Itens}$$

Este valor é real e satisfaz a grande maioria dos experimentos, porém no caso do “Disco de Serra”, o qual tem suas retiradas unitárias elevadas, mesmo a distribuição Gama não satisfaz os critérios de demanda, logo foram necessárias algumas considerações.

4.4 Observações realizadas experimentalmente

Dadas algumas particularidades das demandas dos itens, notou-se que as fórmulas estatísticas não poderiam prever com exatidão alguns comportamentos, como por exemplo um item com demanda mensal de 7 unidades, demanda aonde as 7 unidades podem ser retiradas de uma única vez, logo, ter um estoque semanal de 3 itens que aparentemente satisfaz a Demanda proposta, pode causar furos de estoque, desta forma, algumas considerações tiveram de ser feitas para que o modelo tivesse a funcionalidade proposta:

1. Considerar as retiradas individuais. Ou seja, quanto de um item é retirado de uma única vez. Este aspecto é relevante pois para fazer a demanda mensal são somadas todas as retiradas realizadas em um mês, feito isso para todos os meses é calculada a média dos meses e o desvio padrão, a partir disso sabe-se quanto se consome em média por mês desta peça. A questão é que esse item pode ter retiradas tabeladas, ou seja, as quantidades retiradas de uma única vez, serem sempre as mesmas, ou mesmo únicas, todas as peças serem retiradas de uma vez. Isto pode ocorrer por se tratar de um kit, ou a manutenção acontecer em grupos de máquinas. Logo, a solução encontrada foi o “Consumo durante o *Lead Time*” ser um múltiplo do valor das retiradas individuais. Para encontrar este valor de retiradas individuais do qual o λ será múltiplo, também foi usada a distribuição Gama, utilizando um valor que satisfaz 95% das retiradas, e desta forma, o novo λ pode ser definido como:

$$\lambda_2 = \text{arredondar para cima} \left(\frac{\lambda}{90\% \text{Retiradas Individuais}} \right) * 90\% \text{Retiradas Individuais}$$

E deste modo, ser um múltiplo deste valor vai garantir que o modelo matemático não propicie informações erradas aos encarregados.

2. Para a “Quantidade Sugerida” de compra, que será acionada quando o valor da posição do estoque estiver abaixo do valor do PP, desejamos que o estoque retorne ao PP após a entrega da compra realizada. Sabe-se que o consumo previsto no período é

Demanda**Lead Time*, logo este deverá ser o valor a ser comprado. Outro ponto importante e pouco abordado na literatura é que a quantidade em estoque, ao acionar a compra, pode estar abaixo do Ponto de Pedido, dependendo do tamanho da retirada que levou a ativar a compra. Este saldo pode ser encontrado ao subtrair o PP pelo Estoque Atual, e com isso inclui-lo na compra. Desta forma a fórmula do Lote de Compra fica:

$$LC = \lambda 2 + PP - \text{Estoque Atual}$$

3. Outro aspecto essencial que teve impacto e deu credibilidade ao estudo foi, dadas as incertezas do *Lead Time*, a ferramenta não poderia usar um *Lead Time* estático para sua análise, assim, usou-se como pressuposto valores aleatórios entre:

$$\{LeadTime - 1,29 * DesvPadLT\} \text{ e } \{Lead Time + 1,29 * DesvPadLT\}$$

Para simular a “chegada” dos itens, ou seja, a entrada do item após o pedido é feita de forma aleatória, para mais ou para menos. Para a aleatoriedade dos dados foi escolhido o valor de 1,29 como fator K da distribuição normal, multiplicando-o ao desvio padrão para gerar um intervalo que garantisse 90% de abrangência.

4.4.1 Aplicação do modelo

Com os parâmetros de Ponto de Pedido e Sugestão de Compra formulados, como discutido na introdução teórica e nas considerações, pôde-se fazer uso das seguintes fórmulas:

$$PP = \lambda 2 + k * \sqrt{[(\lambda 2 * desvioLT / LT)^2 + (LT * desvioDMD)^2]}$$

e

$$LC = \lambda 2 + PP - \text{Estoque Aqual}$$

Assim, dado uma demanda real, as perguntas que deverão ser respondidas com esta análise são: O modelo matemático-estatístico de gestão de estoques teria funcionado nesse período? Qual o impacto deste modelo em comparação ao que está sendo administrado? Houve redução de custos entre o real e o simulado? O nível de serviço está compatível com o proposto?

4.5 Resultados

As linhas azuis e cinzas dos gráficos apresentados na figura 12, representam o PP e ES, respectivamente. Para o estudo, o nível de serviço atribuído é de 90% no modelo Gama e 90% no fator “k”. Em primeira análise, como resultado, fica clara a padronização da posição de estoques, sem rupturas.

Figura 12 – Relatórios do modelo simulado





Fonte: Autor, 2018.

Não houve falta e, claramente houve uma nivelção dos estoques. Para os itens de maior movimentação o comportamento no gráfico dente de serra está similar ao de estoques de matéria prima. A figura 13 resume os dados, que serão discutidos nos próximos parágrafos.

Figura 13 – Resumo consolidado dos valores dos itens, modelo novo

Emax	Eméd	Emin
R\$ 18.068,89	R\$ 10.274,94	R\$ 2.955,33

Fonte: O Autor, 2018.

Comparando as Figuras 13 e 8, houve redução de 26% nos estoques máximos e médios, e 31% nos estoques mínimos. Os itens com movimentação entre 8 e 12 vezes no período, assumiram comportamentos gráficos mais esperados para itens de baixo giro, esperados para estoques MRO. Ou seja, os itens “Correia Habasit” e “Disco de Corte”, tiveram comportamentos mais próximos aos de giro normal. Houve também, redução nos níveis de estoques. O que significa que o modelo se adaptou bem ao tipo de demanda destes itens. Nota-se um potencial de melhoria no nível de serviço ofertado. Os níveis de 90% e 95% são os mais recomendáveis, principalmente para uma transição de modelo de gestão. É plausível que os níveis de serviço se aprimorem com o tempo, mediante experimentos, visto que alguns dados podem não ser completamente confiáveis num momento de implementação.

Ao analisar os gráficos, nota-se que o modelo ficou ligeiramente inflado, considerando itens de baixo giro como “Fusível” e “Mola”, visualiza-se a existência de uma lacuna entre a posição de estoque e a linha inferior do Estoque de Segurança. Para o item “Disco de serra”, suas compras são realizadas em caixas de 50 unidades, não foi assumido tal condição no momento da simulação. Com tudo, para fins de usabilidade, é possível anexar um pedido mínimo ao Lote de Compras, diretamente na fórmula. Para que a fórmula atenda a esse requisito, pode ser usada a mesma estratégia que tornou o “Consumo no *Lead Time*” um múltiplo das “retiradas individuais”, só que neste caso fazendo os “Pedidos Mínimos” serem múltiplos dos Lotes de Compra. Por exemplo, para uma sugestão de compra de 9 ud, tendo como valor mínimo, caixas contendo 10 ud, pode-se, ao dividir 9/10, ter o valor de 0.9, que ao arredondar para cima, será 1, e ao multiplicar por 10, será dez. Logo, um múltiplo do pedido mínimo. Pequenas modificações que facilitam o processo de compras, evitando retrabalhos. Em suma, sistematizar a fórmula em formato de ferramenta pode trazer gestão completa ao almoxarifado. Ao ajudar os encarregados a tomarem decisões mais conscientes, apoiados em um modelo matemático que consiga garantir o nível de serviço, reduzindo os custos com estoques, torna-se possível administrar o novo tempo livre para continuar a aplicar o ciclo PDCA, melhorando cada dia mais o ambiente de trabalho.

5 CONCLUSÃO

Com o objetivo principal em mente, que foi aplicar a simulação estatística de gerenciamento de estoques na indústria de fios, mediante estudos bibliográficos, conseguiu-se chegar a uma

fórmula matemática que pode ser sistematizada. Utilizando dados históricos de Demanda e *Lead Time*, conseguiu-se simular um novo modelo em uma situação real de consumo e descobriu-se que os estoques MRO, mesmo contendo diferentes tipos de itens, cada qual com características próprias de consumo, assumiram níveis de serviço desejáveis. Ao simular e comparar os dados, conseguiu-se comprovar que a implementação do modelo no período estudado reduziria os estoques máximos em 26% e os estoques imobilizados em 31%, sendo estes estritamente associados ao custo de oportunidade do negócio. A padronização destes processos possibilita à empresa ter ganhos associados a redução do espaço físico destinado a estoques, diminuição dos custos de oportunidade e redução do capital de giro necessário para o funcionamento do negócio.

Notou-se no estudo uma redução no número de compras, o número de pedidos foi de 75 para 74, o que é uma informação relevante, já que uma grande preocupação poderia ser o aumento dos custos com entregas. Por fim, a maior dificuldade foi encontrar um modelo matemático que se adequasse aos itens MRO. Ao testar os modelos convencionais, notou-se pouca ou nenhuma adaptabilidade. Existem diversos artigos falando sobre estoques, porém poucos incisivos e com aplicabilidade prática. Os autores Wanke (2012) e Yeh (1997), foram as fontes que trouxeram a bagagem necessária para conectar os pontos sobre os diferentes tipos de modelos probabilísticos de consumo.

O estudo sobre estoques é complexo e envolve várias nuances. Para esta análise, o nível de serviço foi considerado como fator crucial. Para futuros estudos recomenda-se o estudo mais aprofundado de Lotes Econômicos de compra para itens MRO. Também um olhar atento a classificação XYZ, de forma a individualizar o nível de serviço desejável. Pois, em alguns casos identificou-se em alguns itens a possibilidade de terem o nível de serviço reduzido, dado a sua demanda sob emergência ser suprida com facilidade.

6 REFERÊNCIAS (colocar sites, disponível em, e data de acesso)

ABEPRO (2018). Áreas da Engenharia de Produção Giro. Acesso em 07 de Maio de 2018, disponível em ABEPRO: <http://www.abepro.org.br/a-profissao/>

Ballou, Ronald H. (2006). Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos - 5.ed.: Logística Empresarial.

BETTS, A et. al. (2008). Gerenciamento de Operações e de Processos: Princípios e Práticas de Impacto Estratégico. Porto Alegre: Bookman.

Corrêa, H. K., Corrêa, C. A. (2012), Administração de Produção e Operações - Manufatura e Serviços - 3ª Ed.

DIAS Marco Aurélio (1996). Gerência de Materiais. São Paulo: Atlas.

DIAS, Marco Aurélio (2005). Administração de Materiais: Princípios Conceitos e Gestão. São Paulo: Atlas.

Eleodoro, L. S., Chaves C. L. E., Bortholin, R. C., Cotian, L. F. P., Cintra, S. F., (2013) Cálculo do lote econômico de compra de matérias-primas utilizadas no processo de tratamento de água considerando os estoques de segurança e o *Lead Time* dos fornecedores. Enegep 2013.

EAVES, A. Forecasting for the ordering and stock-holding of consumable spare parts. 2002. (PhD thesis)-Lancaster University, Department of Management Science, Lancaster, 2002.

Endeavor Brasil (2015). Descubra como a filosofia Kaizen pode ajudar sua gestão a reduzir custos e aumentar a produtividade

Giro. Acesso em 07 de Maio de 2018, disponível em Endeavor:

<https://endeavor.org.br/kaizen/>

Lara M. (2010). Gestão de Estoques MRO

Giro. Acesso em 05 de Maio de 2018, disponível em LogFacil:

http://www.logfacilba.com.br/media/Gestao_Estoues_MRO_MundoLog.pdf

Lima, M. (10 de Novembro de 2014). Gestão de Estoque de Peças de Reposição de Baixo

Giro. Acesso em 12 de Março de 2018, disponível em ILOS:

<http://www.ilos.com.br/web/custos-logisticos-no-brasil/>

Lima, M. C. (2017). Estratégias de Estoque de Peças de Reposição: Um

Estudo de Caso de um OSRV, Rio de Janeiro: UFRJ, Escola Politécnica.

Lutosa, L.; Mesquita, M.A.; Quelhas, O.; Oliveira, R. Planejamento e controle da Produção.

Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2008.

Garcia, E. S., Martin, A., & Lara, M. (2008). Gestão de Estoques MRO: Otimizando a

Logística de Peças de Reposição. Revista Mundo Logística.

Gasnier (2002), Daniel G. A dinâmica dos estoques: guia prático para planejamento, gestão de materiais e logística. São Paulo.

Hines, William W.; Montgomery, Douglas C.; Goldsman, David M. (2006). Probability and Statistics in Engineering, 4th Ed.

Maria. G. B e Novaes A. G. (2011) Determinação do estoque de segurança baseado em confiabilidade produtiva. Enegep 2011.

Rancich, N. (2015) Ponto de Pedido e Lote de Compra, Administração de Estoque e Compras ULBRA

Rosa H.; Mayeerle, S.F. Gonçalves, M. B. Controle de estoque por revisão contínua e revisão periódica: uma análise comparativa utilizando simulação.

Santos, A. M. e Rodrigues, I. A. Controle de estoque de materiais com diferentes padrões de demanda: estudo de caso em uma indústria química.

Slack, Nigel; Chambers, Stuart; Johnston, Robert. (2009) Administração da produção 3ra Edição.

Silva, G. L. (2009). Modelo de Estoque para Peças de Reposição sujeitas à Demanda Intermitente e *Lead Time* Estocástico. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia de Produção.

Tubino, D.F (2009). Planejamento e controle da produção-Teoria e Prática. São Paulo: 2ª ed. Atlas.

Vendrame (2008). F. C. Administração de Recursos Materiais e Patrimoniais.

Wanke, P. (10 de Abril de 2003). Gestão de Estoque de Peças de Reposição de Baixo Giro. Acesso em 12 de Março de 2018, disponível em ILOS:
<http://www.ilos.com.br/web/gestao-de-estoques-de-pecas-de-reposicao-debaixo-giro/>

Wanke, P. (2012). Quadro conceitual para gestão de estoques: enfoque nos itens, Centro de Estudos em Logística, Infraestrutura e Gestão – CELIG, Instituto COPPEAD de Administração, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFR

Yeh, Q. J.; Chang, T. P.; CHANG, H. C. An inventory control model with Gamma distribution. *Microelectronics and Reliability*, v. 37, n. 8, p. 1197-1201, 1997.

