

4

Contexto da Gestão de Estoque na UN-RLAM

Neste capítulo é aduzido o contexto no qual o problema de gestão de estoque levantado na introdução está inserido. Para tanto, faz-se uma apresentação da Refinaria Landulpho Alves-Mataripe, a RLAM, focando no seu porte produtivo e econômico. Em seguida, é mostrado como é desenvolvida a gestão de estoque de sobressalentes, levantando desde diretrizes corporativas às ferramentas utilizadas, bem como os resultados atingidos atualmente. Por fim, é feito o estudo de caso, utilizando o modelo desenvolvido para avaliar a gestão de estoques de sobressalentes escolhidos.

4.1

Refinaria Landulpho Alves – Mataripe

Fundada no ano de 1950, a Refinaria de Mataripe, foi um marco no processo da industrialização nacional. Fruto de uma política voltada para a modernização do país iniciada na primeira metade do século XX, ela foi o primeiro grande investimento estatal no setor petrolífero. Após a campanha pela nacionalização da produção e exploração do petróleo, a qual culminou, em 1953, com a criação da Petróleo Brasileiro S/A – Petrobras –, a Refinaria mudou seu nome para Refinaria Landulpho Alves-Mataripe, RLAM, em homenagem ao homônimo senador baiano, o qual foi um dos principais expoentes da campanha *O Petróleo é Nosso*.

A RLAM, que foi estrategicamente construída no fundo da Baía de Todos os Santos devido à proximidade dos principais poços produtores de petróleo de então, assim como à facilidade de escoamento dos derivados produzidos, tem capacidade atual de processamento de 323 mil barris/dia. A Refinaria conta com 55 unidades de operação e tem como seus principais produtos propano, propeno, iso-butano, gasolina, nafta petroquímica, querosene, querosene de aviação, parafinas, óleos combustíveis e asfaltos.

Segunda maior unidade de refino de petróleo do País, a RLAM é responsável por 14% do PIB baiano e por 30% da arrecadação do ICMS do Estado, soma que gira em torno de R\$ 750 milhões/ano (Vasconcelos, 2006). A RLAM tem como principal mercado o nordeste brasileiro, e seus principais competidores são refinarias situadas no Caribe, além de uma empresa situada no estado da Bahia que produz gasolina a partir de processos petroquímicos (Santos, 2006).

Influenciada pela estrutura do mercado de *commodities* de derivados de petróleo, a RLAM tem sua estratégia competitiva baseada em excelência operacional. De acordo com o planejamento estratégico 2008-2012 da Petrobras e com o plano de negócios do *downstream* da Companhia, estão previstos investimentos vultosos na refinaria baiana, a fim de expandir sua capacidade de refino e de adequar a sua produção aos padrões e tendências de qualidade dos mercados alvos.

4.2

Suprimento de bens na RLAM

Dentre as inúmeras atividades que concorrem para a consecução das estratégias competitivas da RLAM está a atividade de suprimento de materiais. Esta atividade é desenvolvida pela Gerência Setorial de Suprimento de Bens, RLAM/SOP/SU, a qual faz parte da Gerência de Suporte Operacional, RLAM/SOP. Além da gerência setorial de suprimento de bens, a RLAM/SOP conta ainda com mais duas gerências setoriais, a de Contratação de Serviços e a de Infra-Estrutura.

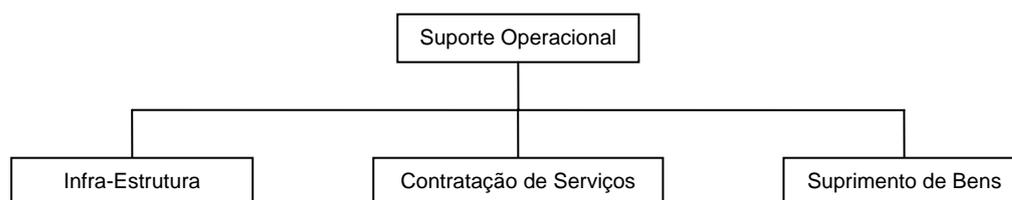


Figura 4.1 – Estrutura da Gerência de Suporte Operacional

A RLAM/SOP/SU realiza as tarefas de armazenamento de sobressalentes de manutenção, materiais de investimentos e produtos químicos; preservação de materiais em estoque; gestão de resíduos e sucatas metálicas; cadastro de materiais; remessa de materiais para reparo; controle de materiais em poder de terceiros; controle e gestão de empréstimo de ferramentas; planejamento de estoques e gestão da demanda de materiais; a emissão de ordens de compra referentes a contratos de fornecimento de materiais; e diligenciamento de compras.

Essa gerência é responsável pelo controle e planejamento do estoque de sobressalentes de manutenção de equipamentos dinâmicos, estáticos, elétricos e de instrumentação, assim como de materiais para investimentos e paradas de manutenção, produtos químicos e reagentes para análise de produtos e controle da qualidade.

O inventário destes materiais gira em torno R\$ 70 milhões. As compras atingiram até novembro de 2007 R\$ 288,7 milhões, e foram emitidas em média 3.245 ordens de compra por mês. Esse volume se reflete em uma movimentação de cerca de 205 itens por dia. Para realizar atividades deste porte, o setor conta com trinta e um funcionários próprios, inclusos supervisor e gerente, e doze funcionários terceirizados.

A gestão de estoque é realizada através do sistema de ERP – *Enterprise Resource Planning* – utilizado pela PETROBRAS, o SAP/R3. Devido ao fato desse sistema ter sido desenvolvido a partir de sistemas MRP para indústrias de manufatura e montagem, o módulo de gestão de materiais do SAP se baseia nessa filosofia de planejamento. O controle de estoque é feito numa base de tempo regular, através de atualizações periódicas no sistema.

A figura abaixo mostra um esquema do fluxo da necessidade de materiais dentro do SAP/R3.



Figura 4.2 – Fluxo do atendimento das necessidades de materiais no SAP/R3

As necessidades são criadas pelos usuários nos módulos de planejamento de manutenção, projetos ou através de solicitações de compra diretas. Essas necessidades são visualizadas pelo RLAM/SOP/SU como reservas emitidas ou requisições de compras. As necessidades são trabalhadas verificando-se as disponibilidades imediatas dos materiais em estoque, a disponibilidade dos materiais em outras unidades de negócio da Companhia, bem como na possibilidade de utilização de materiais similares que se encontrem disponíveis para uso. Em caso da real necessidade de adquirir o material, verifica-se a existência de contratos de fornecimentos de longo-prazo firmados pelos órgãos de compra da Petrobras. Em último caso, as requisições de compra são enviadas para compras *spot*.

O planejamento do atendimento das necessidades dos materiais é encaminhado para a administração dos depósitos, que se encarrega de fazer a entrega dos mesmos para os usuários, bem como realizar o recebimento, conferência e estocagem dos materiais transferidos e comprados.

A gestão do inventário na Refinaria é dividida entre dois grupos de materiais: os que são supridos após a criação de uma necessidade (possuem consumo certo) e são chamados de itens com demanda programada; e itens que são de ressuprimento automático, ou seja, itens que possuem consumo contínuo e estocástico. Neste último grupo, há dois perfis de suprimento: os materiais estratégicos e os itens com ponto de ressuprimento manual. Os primeiros se caracterizam pelo fato de sua falta implicar em grandes prejuízos financeiros, ou por causar sérios danos à segurança das pessoas e do meio ambiente, implicando

assim na necessidade de altos níveis de serviço. Quanto aos segundos, não há necessidades tão altas de atendimento da demanda.

O SAP/R3 possui ferramentas para previsão de demanda e controles relativamente sofisticados de estoque, dentre os quais estão as estimativas para o estoque mínimo e de segurança, estimativas de demanda através de técnicas de amortecimento exponencial e médias móveis. Porém não há recursos no sistema para utilização de métodos de controle de estoque mais sofisticados como níveis de serviço e revisão contínua. Apesar da disponibilidade destas ferramentas no SAP/R3, as mesmas não são utilizadas. A causa para isto é que elas não foram e ainda não são divulgadas nos treinamentos para os usuários. Isso foi decorrente do processo de implantação do sistema, no qual foram ensinadas e desenvolvidas apenas as funcionalidades básicas para a realização das atividades e utilização do SAP/R3.

Atualmente, independentemente do perfil de suprimento do material, seus parâmetros de controle são estabelecidos através da interação entre a RLAM/SOP/SU e seus clientes, a partir da experiência que os colaboradores das áreas possuem sobre o consumo dos itens. É consenso que a experiência e o conhecimento obtidos ao longo dos anos são fundamentais para análise dos estoques e podem servir como um bom indicador de qual deveria ser o nível ideal de inventário. Contudo, a falta de uma avaliação objetiva e científica do problema pode levar à sérias distorções, com os estoques refletindo o objetivo de cada gerência interessada no controle dos mesmos, sem levar em consideração o objetivo da empresa de minimização de seus custos.

Mesmo em relação à utilização dos recursos atualmente existentes no SAP/R3, a aplicação dos modelos de estoques como o proposto no presente trabalho possui vantagens e trazem ganhos significativos para as empresas. De acordo com Porras e Dekker (2007), a utilização de modelos pode representar economias de custos significativos se comparadas com o controle realizado através de recursos disponíveis no SAP/R3, mesmo que se incorra no esforço de se desenvolver modelos para materiais com diferentes características de suprimento.

Os principais clientes do RLAM/SOP/SU são as gerências de Manutenção Industrial (RLAM/MI) e de Engenharia (RLAM/EN).

A RLAM/MI tem atribuição de manter a disponibilidade de equipamentos e sistemas, visando à continuidade operacional. As atividades de manutenção estão relacionadas ao negócio. Apesar de poder variar de indústria para indústria, existem disciplinas comuns, as quais estão subdivididas na em gerências setoriais da estrutura de Manutenção Industrial (Santos, 2006), são elas:

Planejamento de manutenção: faz o planejamento de atividades de rotina e, principalmente, o planejamento de paradas de unidades para manutenção. Possui uma estrutura formada por técnicos e engenheiros oriundos das outras áreas de manutenção.

Mecânica: trabalha com equipamentos que se movimentam, como, por exemplo, bombas, compressores e motores. Tem agregado tecnologia às suas atividades ao longo do tempo, através da utilização de sistemas de monitoração e análise de performance de grandes máquinas.

Caldeiraria/Complementar: trabalha com equipamentos estacionários, como, por exemplo, torres, vasos, linhas, trocadores de calor e pintura industrial. É intensiva em mão-de-obra, considerando o porte dos equipamentos que trabalha. É a disciplina de manutenção que menos tem se aprimorado tecnologicamente, apesar de haver avanços em sistemas de monitoração de corrosão e prevenção de falhas em equipamentos.

Elétrica: trabalha com equipamentos, sistemas e componentes elétricos, como, por exemplo, geradores, motores, transformadores, relés de proteção e baterias estacionárias. Tem tido importantes mudanças de base tecnológica, com a incorporação da eletrônica digital, com destaque para adoção de sistemas de controle central do sistema elétrico.

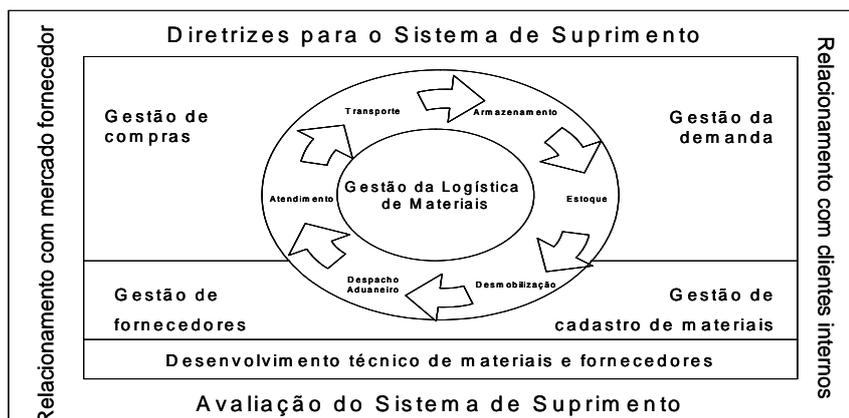
Instrumentação: trabalha com instrumentos, controladores, indicadores, sistemas de segurança, sistemas de análise, sistemas de medição para faturamento. A base tecnológica é a tecnologia digital, a qual passa por constantes mudanças e atualizações.

A Engenharia realiza investimentos em adequação e melhoria de processos produtivos, introdução de novas tecnologias e infra-estrutura física. Para tanto a RLAM/EN conta com orçamento para investimento de mais de R\$ 100 milhões por ano. Os projetos desenvolvidos incluem todas as disciplinas de manutenção.

Ambos os clientes da RLAM/SOP/SU, a princípio, têm interesse em uma maior disponibilidade de materiais, ou seja, maior nível de estoque. Com isto, a

manutenção se tornaria mais rápida e a indisponibilidade dos sistemas produtivos menor. Da mesma forma, os investimentos seriam realizados com mais celeridade. Isso se reafirma pelos altos custos de faltas que podem estar envolvidos na gestão dos estoques, visto que há unidades de processamento na RLAM que geram receita diária na casa de US\$ 1 milhão/dia, assim como existem retornos significativos sobre os investimentos. Em alguns casos, mesmo atrasos causados em atividades simples podem significar frentes de trabalho paradas e prejuízos significativos para a Companhia.

A fim de estabelecer critérios e políticas para a gestão de materiais, atendendo aos diversos interesses dentro da Empresa, a Petrobras possui diretrizes corporativas, normas e padrões a serem seguidos. Essas orientações e procedimentos são desenvolvidos pelo Sistema de Suprimento da Petrobras, o qual engloba gerências de diferentes diretorias da Empresa. A Figura 4.3, representa a gestão deste Sistema.



Fonte: Petrobras

Figura 4.3 – Gestão do Sistema de Suprimento da Petrobras

Conforme o modelo apresentado acima, a gestão da demanda e o planejamento de estoques são dois pontos fundamentais para a gestão de materiais na Empresa. As diretrizes corporativas para estas duas atividades prezam pela identificação, prospecção e planejamento do atendimento à demanda, de maneira a atender da forma mais eficiente e adequada às necessidades dos clientes internos, seja via estoque ou via outras modalidades de fornecimento.

Essas análises devem levar em consideração o nível de serviço exigido no atendimento do material a partir de sua criticidade, o comportamento da demanda, o valor do material, o comportamento do mercado fornecedor e o estágio de ciclo de vida do material.

Segundo as diretrizes corporativas, cabe ao responsável pela gestão dos estoques o monitoramento do atendimento à demanda a partir do acompanhamento e análise dos indicadores e custo dos estoques.

Hoje existem uma série de indicadores que acompanham as atividades de planejamento de estoques. O principal deles é o estoque total de bens (soma dos valores de estoque de materiais para atendimento da rotina operacional e materiais para projetos e paradas). Além desse indicador, são acompanhados a ruptura de estoque, o tempo de atendimento às requisições de compra, percentual de atendimento à data solicitada, nível de adequação do cadastro de materiais, nível de utilização do estoque da Companhia (transferência de materiais inter-órgãos), percentual de utilização de contratos de longo prazo de fornecimento de materiais e giro do estoque. Há também indicadores para a atividade de armazenamento como o tempo médio para entrada do material em estoque, movimentação mensal (número de entradas e fornecimento) e acurácia do inventário.

A definição dos níveis de atendimento deve ser feita em conjunto com os usuários e as análises devem ser feitas no nível do item de material, de forma a levar em conta os prazos mínimos de aquisição. Por sua vez, a análise de custo deve ser feita sob o ponto de vista de custos totais, nos quais devem estar inclusos os custos tributários, custos de aquisição, custo de processamento das solicitações, custos de transporte, custos financeiros, custos de armazenagem e custos de operação e manutenção.

Não por acaso, todos estes aspectos estão contidos no modelo definido no capítulo anterior.

4.3

Estudo de caso

4.3.1

Levantamento de dados de consumo

O levantamento da demanda de materiais na RLAM foi procedido no software ERP da Petrobras, o SAP/R3, assim como no sistema legado de gestão de materiais. A fim de permitir a resolução do modelo tanto para variáveis discretas quanto para variáveis contínuas, a busca pelos materiais analisados ocorreu de duas formas.

A primeira foi a partir da escolha de um equipamento crítico para a refinaria, o qual teria a demanda de sobressalentes levantadas. Os equipamentos críticos são aqueles possuem grande importância operacional para a unidade, ou seja, sua quebra implica em parada de produção ou redução de carga, ou são equipamentos que suas falhas podem ocasionar danos ao meio ambiente ou colocar em risco a segurança das pessoas e instalações. Graças a especificidade dos sobressalentes de equipamentos mecânicos - geralmente aplicados em poucos equipamentos - , a sua demanda é relativamente baixa, adequando-se, via de regra, à distribuição de Poisson.

O equipamento escolhido foi a bomba de carga da unidade responsável pela produção de normal parafina na RLAM. Esta é a única unidade nacional que produz este produto, matéria-prima para a produção de detergentes. O equipamento é a bomba de carga da unidade e que, sem operar, ocasiona sérios prejuízos para a refinaria.

Para a escolha do material que teria seu estoque analisado a partir da resolução do modelo por variáveis contínuas, extraíram-se do sistema todas as saídas de materiais do estoques realizadas entre os meses de outubro de 2004, mês no qual o SAP/R3 foi implantado, e outubro de 2007. Em seguida foi feito um primeiro agrupamento nos dados, segregando os materiais por especialidade de manutenção e então foi feito um segundo agrupamento, separando os materiais pelo grupo de mercadoria, ou seja, em peças de características semelhantes (i.e. válvulas, conexões para tubulações em aço carbono, parte de bombas, etc) .

As saídas, obtidas em periodicidade diária, foram enviadas para planilha eletrônica a fim de serem trabalhadas. Na planilha, os materiais tiveram suas demandas somadas, obtendo-se assim a demanda acumulada nos trinta e seis meses de dados disponíveis. Com isto foi possível identificar os itens de maior consumo nos últimos três anos.

Uma vez identificados os itens que foram demandados para o equipamento escolhido, assim como os itens que tiveram maior consumo em termos de unidades utilizadas e valor, era necessário então fazer uma análise da sua demanda durante o tempo de ressurgimento.

4.3.2

Análise da demanda durante o tempo de ressurgimento

Segundo Hadley e Within (1963), um dos pontos de atenção durante a aplicação de um modelo de gestão de estoques é a análise da demanda. É preciso verificar se a demanda segue realmente as especificações do modelo, sob o risco de se estar fazendo uma inferência errada sobre a realidade.

O modelo apresentado no capítulo anterior faz duas premissas importantes sobre a demanda dos materiais: a primeira é de que a mesma é constante ao longo do tempo, a segunda é de que a demanda possui uma distribuição de probabilidade conhecida. Portanto, a fim de se escolher os materiais que serão utilizados para a resolução do modelo, é necessário se fazer o teste de estabilidade de suas médias, bem como identificar qual distribuição de probabilidade mais se adequa aos dados históricos.

Para a bomba foram identificados quinze sobressalentes consumidos nos últimos oito anos, entre os quais estão acoplamentos, selos mecânicos, engrenagens, juntas, anéis, trocadores, eixos e mancais. A análise do consumo do eixo da bomba, um de seus sobressalentes mais importantes, indica que o mesmo se adequa bastante bem às premissas do modelo. Visto que o prazo de ressurgimento do item foi considerado fixo em dois meses, devido o mesmo fazer parte de contrato de fornecimento com clausula estabelecendo tempo de entrega, os dados foram agregados para averiguar a demanda anual, a qual está indicada na tabela abaixo.

Tabela 4.1 – Histórico de consumo eixo bomba de carga da unidade de parafina

| Ano | Quantidade consumida |
|--------------|----------------------|
| 2001 | 6 |
| 2002 | 4 |
| 2003 | 2 |
| 2004 | 4 |
| 2005 | 3 |
| 2006 | 4 |
| 2007 | 1 |
| Total | 24 |

Apesar de haver apenas sete dados para análise, testes de estabilidade da média, indicam que ela manteve-se estável nesses sete anos. O gráfico apresentado na Figura 4.4 mostra que não houve nenhum consumo fora do limite de três desvios-padrões da demanda média de 3,43 unidades/ano.

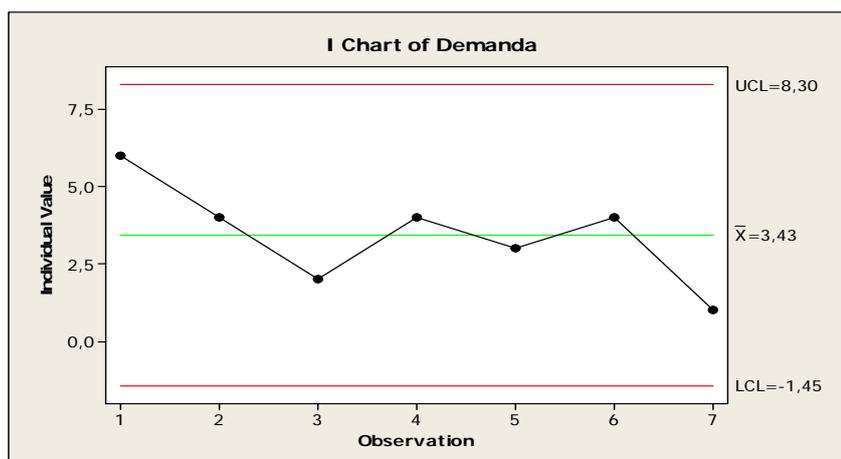


Figura 4.4 – Gráfico CEP da demanda de eixo da bomba de carga da unidade de parafina

Apesar dos poucos dados, o teste qui-quadrado para verificar a aderência dos dados à distribuição é significativo a 95% de confiança. Ou seja, não se poderia rejeitar a hipótese nula dos dados seguirem a distribuição de Poisson com média 3,43.

Para a resolução do modelo com demanda contínua, foi selecionado um joelho de 90° A105. O prazo de ressurgimento deste material foi considerado fixo e igual a trinta dias, visto que este é o prazo estabelecido em contrato para entrega

do material. Os dados foram agregados a fim de que se obtivesse a demanda mensal do item nos trinta e seis meses seguintes à implantação do sistema SAP/R3. A análise da série histórica indica que a demanda é estável ao longo do tempo, atendendo assim a uma premissa do modelo, como pode ser visto no gráfico da Figura 4.5.

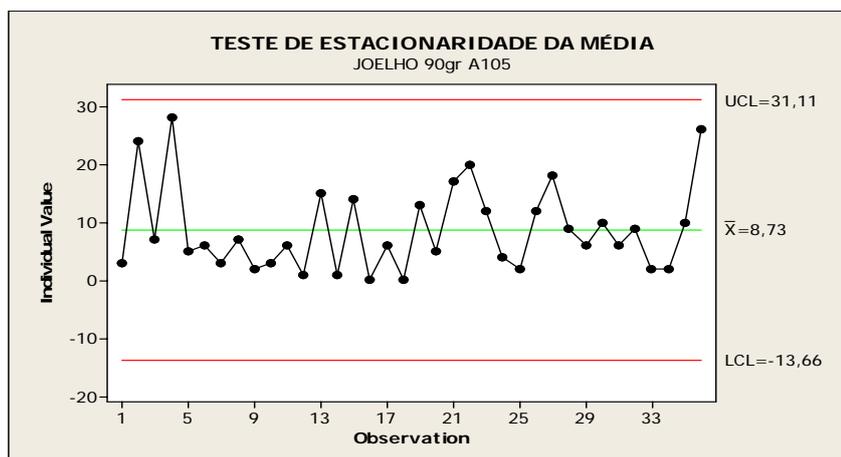


Figura 4.5 – Gráfico CEP da demanda de joelho 90° A105

Falta então atender a outra premissa, qual seja, a de que os dados têm uma distribuição de probabilidade conhecida. O histograma da série, apresentado na Figura 4.6, mostra que os dados possuem uma assimetria à direita, deixando claro que a distribuição normal não é uma escolha adequada. Além disto, o coeficiente da relação entre a média (8,73) e o desvio-padrão (7,44) é maior do que a unidade, indicando assim alta probabilidade de existência de demandas negativas, caso a distribuição seja a escolhida.

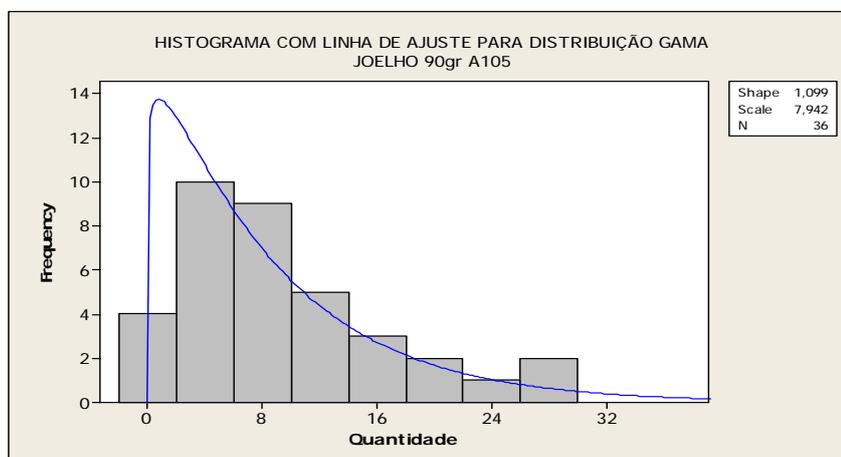


Figura 4.6 – Histograma da demanda por joelho 90° A105

O teste de aderência feito através do método de máxima verossimilhança para a distribuição gama é significativo a 95% de confiança, apresentando uma estatística *p-valor* maior que 0,25 e parâmetros de forma de 1,09895 e escala de 7,94193. O comportamento encontrado é esperado, visto que normalmente é feita a troca de poucas peças por vez, surgindo demandas maiores apenas quando é preciso fazer a manutenção em grande parte de um sistema ou quando é feita a instalação de uma linha extensa. Assumiremos, portanto, que a demanda segue a distribuição gama com os parâmetros encontrados.

4.3.3

Levantamento de custos

A gestão de estoque trata, fundamentalmente, da gestão dos custos de inventário. Uma gestão de estoques eficiente dentro de uma empresa visa obter custos mínimos de inventário. Contudo, outros objetivos estratégicos também podem fazer parte da gestão de estoques. No caso específico da gestão de estoque de sobressalentes de manutenção, um dos principais objetivos é manter a disponibilidade operacional das unidades de produção. Neste sentido, níveis de serviço precisam ser estabelecidos, e passa-se a buscar o nível ótimo de estoque que atenda ao nível de serviço especificado. O problema colocado então é de otimizar o custo da emissão de ordens de compra, os custos de carregamento de estoque e os custos de falta.

Para realizar este empreendimento é necessário, portanto, que se quantifiquem os custos envolvidos na gestão de estoque. Contudo, esta quantificação nem sempre é fácil e é comum que se cometam alguns erros nesta empreitada. Porém, como visto anteriormente, o modelo proposto é robusto aos erros de variação dos custos. Com isto, a não ser que sejam cometidos erros grotescos no levantamento dos custos associados ao estoque, o modelo o resultado irá se aproximar do verdadeiro ótimo.

A quantificação dos custos de estoque da RLAM foi obtida a partir dos custos realizados pela gerência de suprimentos durante o ano de 2007. Isto ocorre porque é no custo desta gerência que são alocados os custos fixos e variáveis de emissão das ordens de compra, assim como os custos de carregamento do estoque.

Todavia seja relativamente fácil obter os custos de estoques, obter os custos de falta pode ser uma tarefa bastante difícil, principalmente no caso de alguns sobressalentes de manutenção que são utilizados por mais de uma unidade operacional e podem acarretar diversos custos de falta, desde frentes de trabalhos paradas, até lucros cessantes e multas por atraso na entrega de produtos. No caso específico do eixo sobressalente da bomba, foi possível obter os custos de falta, pois a receita diária obtida por carga processada na unidade é conhecida, assim como as penalidades incorridas contratualmente por conta no atraso na entrega do produto. Porém este não é o caso da conexão escolhida que, devido a sua ampla utilização, não foi possível levantar os custos de falta. Neste caso, será necessário resolver o modelo aplicando a restrição de nível de serviço.

Por questões de segurança da informação, os custos apresentados não são os custos reais, mas mantém entre si a mesma ordem de grandeza.

4.3.4

Resolução do modelo

Conforme visto no capítulo 3, a resolução do modelo para variáveis discretas é bastante simplificada caso seja usado o algoritmo proposto por Federgruen e Zheng (1992). Este algoritmo pode ser aplicado, por exemplo, para se estimar os parâmetros de controle ótimos do estoque do eixo da bomba. De acordo com o estudo sobre a demanda deste item, sua demanda média anual é de 3,43 unidades ao ano. Como o tempo de ressuprimento é de dois meses, a demanda no tempo de ressuprimento é então dada por:

$$\lambda L = 3,43 \cdot \frac{2}{12} = 0,571$$

No caso em que o custo de manter o estoque h , ou seja, o custo de manter uma unidade em estoque por unidade de tempo (no presente caso, custo anual de manter um eixo em estoque) for igual a R\$ 350,00/ano, o custo anual de falta b for de R\$ 19.162.550,00 e o custo fixo da emissão de uma ordem de compra for igual a R\$ 87,50, pode-se verificar que os custos para o modelo de estoque-base (Equação 3.15) serão:

Tabela 4.2 – Custos de estoque base para eixo da bomba J-3021

| s | $C(s)$ |
|-----|---------------|
| 0 | 10.950.027,38 |
| 1 | 2.609.120,58 |
| 2 | 451.996,79 |
| 3 | 61.672,56 |
| 4 | 7.882,42 |
| 5 | 2.168,70 |
| 6 | 1.949,45 |
| 7 | 2.253,47 |
| 8 | 2.600,22 |

A partir desta tabela, pode-se iniciar a solução do algoritmo.

Passo 0 (inicialização):

$$s^* = 6, q = 1, r = 5.$$

$$C^* = 87,50.3,43 + 1.949,45 = 2.249,58$$

Passo 1:

$$c^* = \min\{C(r); C(r + q + 1)\}$$

$$= \min\{C(5); C(7)\}$$

$$= \min\{2.168,70; 2.253,47\}$$

$$c^* = 2.168,70$$

Passo 2:

$$c^* = 2.168,70 \leq 2.249,58 = C^*, \text{ então, passa-se para o passo 3.}$$

Passo 3:

$$q = 1 + 1 = 2$$

$$C^* = 2.249,58 - (2.249,58 - 2.168,70)/2 = 2.209,14$$

$$r = 5 - 1 = 4$$

Passo 1:

$$c^* = \min\{C(r); C(r + q + 1)\}$$

$$= \min\{C(4); C(7)\}$$

$$= \min\{7.882,42; 2.253,47\}$$

$$c^* = 2.253,47$$

Passo 2:

$c^* = 2.253,47 \geq 2.209,14 = C^*$, então se para com:

$$r^* = 4, q^* = 2, C^* = 2.209,14.$$

Como se pode ver, em apenas duas iterações chega-se aos valores ótimos de r e q , bem como ao custo total anual.

Em relação ao valor ótimo de q , apenas uma redução na ordem de 30% do custo fixo de emissão de ordens de compra teria um impacto sobre os custos, contudo, o mesmo não seria significativo, passando dos atuais R\$ 2.209,14 para R\$ 2.159,54, ou seja, haveria um ganho de menos de R\$ 50 ao ano.

Como foi dito, para a resolução do modelo com demanda contínua, foi selecionado um joelho de 90° A105. O prazo de entrega deste material é de trinta dias. Não foi possível estimar o custo de falta deste item e, portanto, vai-se usar o modelo que especifica o nível de serviço e que foi apresentado na Seção 3.4. A distribuição de probabilidade escolhida foi a gama, cuja função densidade de probabilidade é:

$$f(\alpha, \beta, x) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \text{ para } x \geq 0$$

com $\alpha = 1,09895$ e $\beta = 7,94193$.

O problema formulado foi:

Minimizar

$$H(r) = \frac{k\lambda f}{F^1(r)} + h \left(\frac{[F^1(r)/f] + 1}{2} + r - \lambda L + \frac{f}{F^1(r)} [F^2(r)] \right)$$

Para a distribuição gama foi visto que:

$$F^1(x) = (\alpha\beta - x)F^0(x) + \beta xf(x)$$

$$F^2(x) = \frac{1}{2} \left\{ (\alpha\beta - x)^2 + \alpha\beta^2 \right\} F^0(x) + (\alpha\beta^2 - \beta x + \beta^2) x f(x)$$

Dados do item:

$$\lambda = 104,73 \quad h = 10 \quad k = 87,50 \quad f = 0,05 \quad L = 1/12$$

Para os valores de $r = 1, 2, 3, \dots, 20$, calculou-se os valores e $H(r)$ e construiu-se a Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Valores de $H(r)$ em função de r

| r | $H(r)$ |
|-----------|---------------|
| 1 | 763,07 |
| 2 | 694,27 |
| 3 | 635,42 |
| 4 | 585,91 |
| 5 | 545,12 |
| 6 | 512,48 |
| 7 | 487,47 |
| 8 | 469,69 |
| 9 | 458,77 |
| 10 | 454,47 |
| 11 | 456,62 |
| 12 | 465,14 |
| 13 | 480,03 |
| 14 | 501,40 |
| 15 | 529,43 |
| 16 | 564,43 |
| 17 | 606,78 |
| 18 | 657,00 |
| 19 | 715,71 |
| 20 | 783,67 |

Observando a Tabela 4.3, tem-se que solução encontrada é com $r = 10$, que corresponde a:

$$q = \frac{F^1(r)}{f} = \frac{2,643}{0,05} = 52,86$$

Entretanto, como devemos arredondar para um valor inteiro $q = 53$, o valor da fração da demanda não atendida prontamente (f) será:

$$f = \frac{F^1(r)}{q} = \frac{2,643}{53} = 0,04987.$$

Ambos os resultados apresentam um ganho significativo se comparados com os parâmetros de controle atual. O primeiro item, o eixo da bomba, atualmente segue uma política de estoque base, com o ponto de ressuprimento igual a um, e toda vez que uma unidade é retirada do estoque, é emitida uma compra de uma outra unidade. Com os parâmetros de custos utilizados na simulação, mostra-se que se pode obter um ganho muito significativo utilizando-se a política de estoque com $r = 4$ e $q = 2$. Isto se deve ao fato de que, naquele exemplo, o custo de falta claramente domina os demais componentes do custo total.

No segundo exemplo, atualmente, o joelho não é um item vinculado ao estoque. Ou seja, ele é tratado como item de demanda programada. São comprados na quantidade solicitada pelo usuário, após o registro da necessidade no sistema SAP/R3. Neste caso, os ganhos obtidos se referem aos ganhos proporcionados pelas economias de escala através da diluição dos custos de emissão de pedidos de compra.

Dessa forma, os exemplos acima mostram como pode haver uma melhora significativa da gestão de estoques após a aplicação dos modelos e da análise mais rigorosa sobre o consumo dos materiais.