

OTIMIZAÇÃO DE ESTOQUES EM UMA OFICINA DE MANUTENÇÃO DO SETOR DE ÓLEO E GÁS UTILIZANDO SIMULAÇÃO DISCRETA

Lidiane Borges Silverio (UFF)

lidi.silverio@gmail.com

Edwin Benito Mitacc Meza (UFF)

emitacc@id.uff.br

Iara Tammela (UFF)

iaratammela@vm.uff.br

Dalessandro Soares Vianna (UFF)

dalessandro@ucam-campos.br



As indústrias do setor de petróleo têm recentemente se deparado com o grande desafio de viabilizar a produção em um ambiente de maior complexidade de acesso e restrições operacionais, isto diante de um cenário de redução de custos e aumento da eficiência produtiva. Assim, a atividade de gestão de estoques é cada vez mais importante para a cadeia de suprimentos de forma a minimizar os custos associados. Considerando-se este cenário, este artigo realiza um estudo da gestão de estoques de sobressalentes em uma oficina de manutenção de turbomáquinas do setor de óleo e gás. Os sobressalentes analisados são de gestão complexa, pois possuem demanda errática e intermitente. O artigo realiza a aplicação de simulação discreta para otimização de parâmetros de estoque de sobressalentes da oficina de manutenção, com o objetivo de reduzir custos, mantendo o nível de serviço adequado.

Palavras-chave: Estoques, Manutenção, Simulação Discreta.

1. Introdução

As organizações do mundo corporativo têm multiplicado esforços para otimizar estoques com o objetivo de reduzir custos e aumentar o nível de serviço ao cliente. Entretanto, cenários complexos podem dificultar a escolha de políticas ótimas de estoque. É o que ocorre principalmente na gestão de estoques de manutenção no ambiente *offshore*. Segundo Altay e Literal (2011), a gestão de sobressalentes é complexa e difícil, onde uma falha custa normalmente entre 100 a 10000 vezes o preço das peças ou serviços envolvidos, no entanto, manter em estoque o que é desnecessário gera custos e não contribui para uma cadeia de suprimentos efetiva, eficiente e responsiva.

É importante ressaltar que a indústria de petróleo brasileira possui grande importância para o desenvolvimento econômico e social do país, pois os desafios demandados pelas condições adversas de produção do setor alavancam o desenvolvimento de novas tecnologias e disseminação de conhecimento. Sendo assim, o bom planejamento da manutenção nas indústrias petrolíferas brasileiras é fundamental em função da dificuldade de acessibilidade, das restrições operacionais e requisitos de segurança e meio-ambiente.

O presente trabalho se insere neste contexto, pois estuda a gestão de estoques de sobressalentes numa Oficina de Manutenção de Turbomáquinas que realiza a manutenção de equipamentos dinâmicos responsáveis por comprimir o gás produzido para transporte e gerar a energia necessária à produção das plataformas *offshore*. Os equipamentos mantidos nesta oficina possuem grande gama de peças passíveis de substituição, com custos elevados devidos às características especiais de projeto das turbomáquinas. Muitos dos itens substituídos possuem demanda pouco frequente que ocorre em intervalos irregulares. Os prazos de entrega são longos e as entregas sofrem atrasos. Diante deste cenário complexo, a gestão de estoques de sobressalentes de turbomáquinas é essencial para a redução de custos operacionais da companhia e garantia da continuidade operacional dos poços produtores de petróleo.

Assim, o objetivo é otimizar os parâmetros de ressuprimento da atual política de estoques da citada oficina de manutenção de turbomáquinas, considerando-se os custos de estoques e falta de sobressalentes envolvidos. Será utilizado um modelo de simulação discreta, pois os itens de estoque de manutenção geralmente possuem demanda intermitente e errática (ALTAY; LITERAL, 2011), o que torna mais difícil a proposição de um modelo analítico. Serão selecionados itens de criticidade elevada, que terão seus parâmetros de estoque analisados no que diz respeito aos custos de estoque e nível de serviço.

2. A Gestão de Estoques e os Sobressalentes de Manutenção

A gestão de estoques tem um papel importante para a competitividade das empresas, visto que deve equilibrar os custos do capital imobilizado e os custos da falta do item. De acordo com Chopra e Meindl, (2007), os estoques existem na cadeia de suprimento devido a incompatibilidade entre fornecimento e demanda. Assim, a principal razão para as companhias manterem estoque de sobressalentes é realizar a manutenção de forma a reestabelecer o sistema para que ele possa desempenhar a função requerida, sendo o número de peças em estoque definido pela demanda, causada por uma manutenção corretiva ou preventiva.

Garcia *et al.* (2006), afirmam que as principais decisões de estoque são Quanto Pedir, Quando Pedir e com que Frequência revisar os parâmetros de estoque. São estas particularidades que diferenciam os vários modelos e políticas de estoque existentes. Embora as políticas de gestão de estoques estejam bem consolidadas, os estoques de manutenção possuem uma gestão mais árdua.

De acordo com Santoro e Freire (2008), o aumento da complexidade dos problemas surgidos com modelos ativos de estoque, que consideram também dados de previsão de demanda, favoreceu a utilização da simulação e de modelos de busca como instrumentos de tomada de decisões. Rosa *et al.* (2010) afirmam que, com o desenvolvimento e aprimoramento do controle de estoques, os decisores têm-se utilizado de outras ferramentas como a simulação para a identificação de estratégias ótimas de estoques. A seguir serão apresentados os principais modelos de reposição de estoques e os custos envolvidos.

2.1 Lote econômico de compra (LEC)

O modelo de lote econômico de compra foi o primeiro método de controle de estoques publicado na literatura, se tornando alvo de inúmeras pesquisas que originaram novos modelos. Segundo Rosa *et al.* (2010), o LEC obtém a quantidade ótima a ser solicitada como função dos custos de manutenção do estoque e de realização de um pedido. É um método que foi bastante criticado por tender a aumentar níveis de estoque, visto que minimiza os custos de pedido e manutenção dos estoques. O LEC é calculado usando a seguinte equação:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2KD}{iC}} \quad (1)$$

Onde, Q^* é a quantidade ótima de pedido, K é o custo fixo do pedido, D é a demanda, i é igual a taxa de encargos sobre o estoque e C é o custo unitário do produto.

2.2 Política de reposição contínua

A política de reposição contínua consiste no monitoramento contínuo dos estoques, de forma que a cada movimentação o saldo seja verificado, para determinar se uma nova compra será necessária. De acordo com Rosa *et al.* (2010), o modelo consiste em estabelecer um nível fixo de reposição (r) ou ponto de pedido (PP) que, ao ser atingido, dispara a emissão de um novo pedido de tamanho Q pré-definido. O nível fixo de reposição r é dado pela equação (2), onde d é a demanda por unidade de tempo, o tempo t é o tempo de reposição e Q_s é o estoque de segurança:

$$r = d \times t + Q_s \quad (2)$$

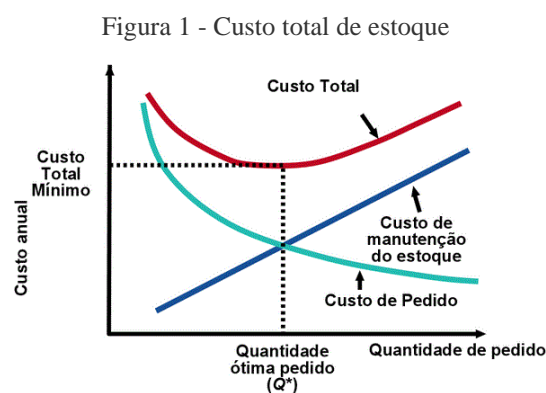
O estoque de segurança Q_s é calculado usando a equação (3), multiplicando-se m , o número de desvios padrão para o nível de serviço especificado pelo desvio padrão da demanda durante o tempo de ressurgimento.

$$Q_s = m\sigma \quad (3)$$

Uma variante desta política é a política de estoque base, que possui apenas um parâmetro de estoque, que é o estoque base. O estoque base, ao ser atingido dispara nova compra com a quantidade necessária para que o estoque base seja repostado.

2.3 Custos de estoque

O conhecimento dos custos dos estoques é essencial para se definir uma boa política de estoques, pois possibilita quantificar a relação de *trade-off* que existe entre a manutenção de itens em estoque e as consequências da falta do item. O ponto ótimo de estoques é atingido quando se equilibra os custos de manutenção de estoques, custos de pedidos e custo da falta de estoques, como mostrado na Figura 1.



Os custos mais importantes que incorrem nos itens em estoque são:

- a) Custos de Manutenção dos Estoques: Podem ser divididos em 1) custos de armazenagem, que contemplam os custos fixos e variáveis associados às instalações de armazenagem, manuseio dos materiais, seguro, perdas, obsolescência, entre outros, e 2) custo de oportunidade, que é o custo do capital imobilizado em estoque;
- b) Custos de Pedidos: São os custos referentes a emissão de ordem de compra ou pedido;
- c) Custo de falta de estoque: O custo de falta ou ruptura dos estoques pode envolver diferentes situações como a perda de receita ocasionada por venda perdida, custo adicional de compra em caráter emergencial e perda de produção devido a parada de equipamentos. Sarker e Haque (2000), citam que os custos da falta de sobressalentes de manutenção podem contemplar a perda de capacidade, equipamentos inoperantes, mão-de-obra ociosa, atrasos em data de entrega de produção e perda de lucro.

3. Descrição do Processo de Manutenção de Equipamentos

Os equipamentos mantidos no setor de manutenção analisado são as chamadas turbomáquinas. Estes equipamentos são rotativos de fluxo contínuo, através do qual passa um fluido que gerará força motriz para algum equipamento acionado como é o caso das turbinas a gás, ou que receberá potência motriz do equipamento acionador e transferirá para o fluido de processo, como é o caso dos compressores centrífugos para compressão do gás produzido. Na oficina de manutenção podem ser realizadas manutenções corretivas, efetuadas após a

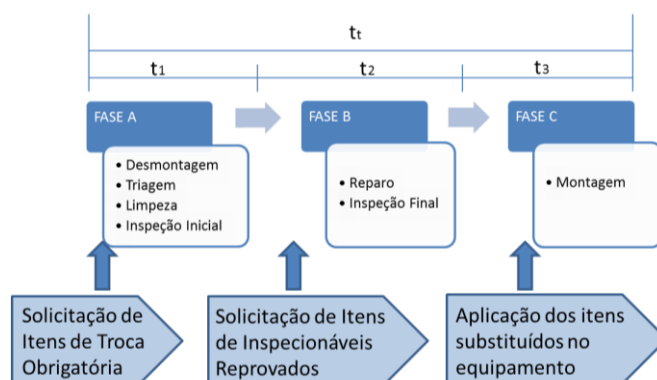
pane, com o objetivo de que o equipamento retorne à operação, ou preventivas, que são feitas de acordo com critérios pré-definidos para evitar falhas ou degradação. A maior parte dos equipamentos mantidos sofrem manutenção preventiva, cuja necessidade é detectada a partir de inspeções preditivas. As manutenções preventivas realizadas na oficina são chamadas de revisão geral e já têm escopo pré-definido. Os sobressalentes envolvidos neste tipo de revisão também são previamente levantados e supridos em estoque.

3.1 Processo de revisão de turbomáquinas

As revisões (manutenções preventivas) consistem em:

- Fase A - Desmontagem, Triagem, Cadastro, Limpeza e Inspeção inicial;
- Fase B - Reparo e Inspeção Final;
- Fase C - Montagem.

Figura 2 - Solicitação e aplicação de sobressalentes durante manutenção.



Na Fase A, conforme pode ser observado na Figura 2, o equipamento recebido é desmontado e suas peças são triadas, cadastradas e limpas de modo a facilitar a próxima etapa de inspeção. Os sobressalentes envolvidos na revisão podem ser de dois tipos:

- Itens de troca obrigatória: Peças que não são inspecionadas e devem ser substituídas obrigatoriamente. Esses sobressalentes são solicitados do estoque assim que a manutenção se inicia. São exemplos de itens de troca obrigatória parafusos, arruelas, anéis de vedação, sensores, entre outros;
- Itens passíveis de inspeção: São materiais que após a desmontagem e limpeza, passam por inspeção, que irá determinar se estão em condições de uso ou se devem ser reparados ou substituídos. Se enquadram neste tipo de item palhetas, diafragmas, selos, etc. São solicitados após o término da Fase A e possuem demanda intermitente.

Após o término das inspeções (Fase A), os materiais que podem ser reparados seguem para reparo e os materiais a serem substituídos por novos são solicitados. Itens de muito pouco uso normalmente não tem parâmetro de ressurgimento de estoque e são comprados sob demanda, já os de uso mais provável são mantidos em estoque. Os itens passíveis de inspeção podem ser subdivididos em dois tipos:

- Itens de Demanda unitária: Quando se utiliza apenas uma unidade do determinado item por equipamento ou quando se utiliza mais do que uma unidade do item por equipamento, mas a reprovação na inspeção inicial se dá sempre por lote, de forma que as peças são sempre substituídas em sua totalidade, podendo ser considerados como demandas unitárias;
- Itens de Demanda errática: Quando se utiliza mais de uma unidade por equipamento e as quantidades consumidas por manutenção podem variar.

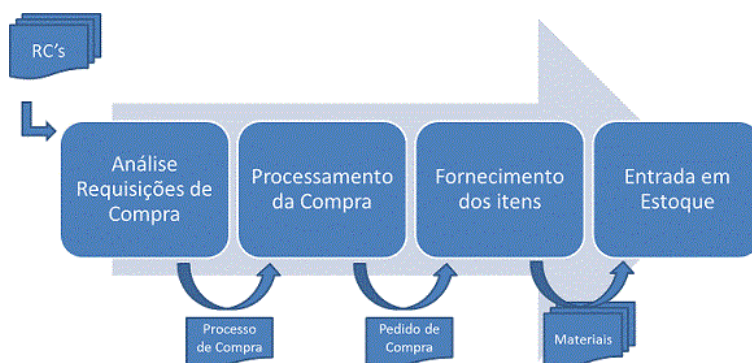
A Fase B, consiste no reparo e inspeção final, quando os materiais que retornam de reparo são inspecionados novamente. Só então os materiais solicitados anteriormente, precisam estar disponíveis para a fase final de montagem. A partir deste ponto a falta de sobressalentes afeta o andamento da revisão do equipamento. Caso a oficina esteja com sua capacidade de manutenção de equipamentos comprometida, quando da chegada de um novo equipamento para revisão, pode-se optar por enviá-lo para outra oficina reparadora.

3.2 Processo de reposição de sobressalentes

Quando é feita uma solicitação de material durante a manutenção, o sistema de planejamento de materiais (MRP), implantado na empresa, irá comparar os parâmetros de estoque cadastrados para o material, com o saldo em estoque e as necessidades colocadas, gerando assim uma Requisição de Compra (RC), caso necessário.

A requisição de compra, logo que é gerada, deve ser analisada por uma equipe responsável, que irá encaminhar para o grupo comprador daquele tipo de item. A partir daí, tem início o processo de compra, que é encerrado com a colocação e envio de pedido de compra para o fornecedor. Decorrido o prazo de fornecimento, o material é entregue e conferido para entrada em estoque. A Figura 3 ilustra este processo.

Figura 3 - Processo de reposição de materiais em estoque.



4. Etapas de um Estudo de Simulação

O processo de simulação segue o método científico, ou seja, formula as hipóteses, prepara o experimento, testa as hipóteses através do experimento e valida as hipóteses através dos resultados obtidos. Segundo Freitas (2008), a simulação é o processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com o propósito de entender seu comportamento e avaliar estratégias para sua operação. Chwif e Medina (2010) apontam alguns passos que devem ser seguidos num projeto de simulação:

- 1) Concepção ou formulação do modelo: Deve-se entender claramente o sistema a ser simulado e seus objetivos, Criar um modelo conceitual, Coletar os dados de entrada;
- 2) Implementação do modelo: Conversão do modelo conceitual para o modelo computacional; Comparação do modelo computacional com o conceitual para avaliar se a operação atende ao que foi estabelecido na etapa de concepção;
- 3) Análise dos resultados do modelo: Realização das rodadas do modelo; Análise e documentação dos resultados.

5. Concepção do Modelo para a Gestão de Estoques

5.1 Premissas

De acordo com o processo mapeado no item 3, foram definidas as premissas para modelagem, medidas de desempenho do sistema, entidades, processos e parâmetros de entrada do modelo. Assim, uma das premissas utilizadas foi a não inclusão no modelo dos recursos e movimentações envolvidas em cada processo, pois o objetivo deste estudo é analisar o comportamento dos estoques e seus parâmetros de ressuprimento, não sendo relevante no presente estudo o detalhe dos processos envolvidos no consumo e ressuprimento dos sobressalentes. Outra premissa utilizada foi a de restringir a modelagem para um único modelo de equipamento.

O modelo foi programado de forma que os equipamentos deixam o sistema na mesma ordem em que entraram. Não há a possibilidade de término de uma manutenção sem que as manutenções de equipamentos anteriores tenham sido finalizadas, no entanto para os itens passíveis de inspeção com demanda unitária é previsto o remanejamento de peças de um equipamento, cuja peça foi aprovada em inspeção, para outro equipamento que necessite da peça prioritariamente.

5.2 Modelo Conceitual

O modelo conceitual foi construído utilizando a simbologia IDEF-SIM proposto em Leal *et al.* (2008), ver Figura 4. As entidades deste diagrama estão relacionadas na Tabela 1. É importante ressaltar que, caso a Oficina de manutenção não tenha capacidade para atendimento de um novo equipamento, ele é enviado para manutenção em oficina externa e sai do sistema. Se houver capacidade, o equipamento segue para a Fase A.

Figura 4 - Modelo Conceitual linguagem IDEF-SIM.

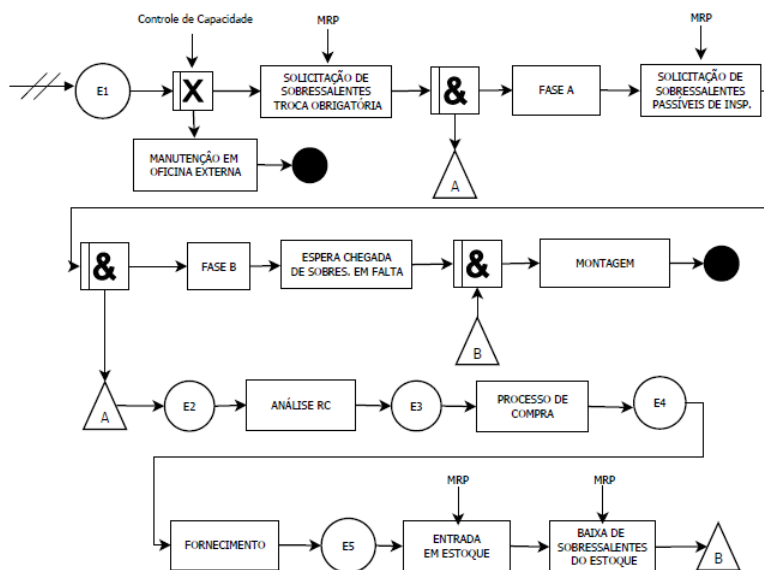


Tabela 1 - Entidades do sistema

Entidade	Descrição	Entidade	Descrição
E1	Equipamento a ser revisado	E4	Pedido de Compra
E2	Requisição de Compra	E5	Item sobressalente
E3	Processo de Compra		

Após o término da Fase A, novos sobressalentes denominados passíveis de inspeção são solicitados e o equipamento segue para a Fase B, momento em que novas requisições poderão ser geradas pelo controle de MRP, de acordo com os parâmetros de ressurgimento cadastrados no modelo. Quando a Fase B termina, se ainda estiver faltando itens solicitados, o equipamento esperará a chegada dos itens pendentes no estoque para realizar a baixa do saldo em estoque de todos os itens necessários e executar a montagem, última fase da manutenção.

Destaca-se que, a função análise de Requisição de Compra (RC) irá agrupar as Requisições de cada material em um processo de compra que terá como resultado a emissão do pedido de compra com os devidos prazos de fornecimento de cada item. Após o fornecimento, a entidade analisada passa a ser o item sobressalente entregue pelo fornecedor, que levará um tempo para processamento e entrada no estoque, após o qual ocorrerá a baixa de estoque, caso seja necessário.

5.3 Parâmetros de entrada do modelo

Os dados de entrada do modelo foram coletados com base em registros históricos do sistema ERP da empresa dos últimos 3 anos. Foram selecionados 10 itens sobressalentes para a simulação, nomeados de A à J, escolhidos com base no histórico de consumo, aliado a grande criticidade dos itens para o modelo de equipamento estudado. Os materiais de A à E são os de troca obrigatória e os de F à J são os do tipo passível de inspeção. Dos 5 materiais passíveis de inspeção, os itens de F à H possuem demanda unitária e os materiais I e J possuem demanda errática. A Tabela 2 apresenta o percentual histórico de utilização para os itens de demanda unitária.

Tabela 2 - Percentual de Utilização Itens de Demanda Unitária

Item	Material F	Material G	Material H
Percentual de Utilização	75%	68,8%	56,3%

Para análise dos dados foi utilizado o pacote ExpertFit do software de Simulação FlexSim. A Tabela 3 apresenta a distribuição de probabilidade obtida para cada dado de entrada. É importante ressaltar que o tempo de processamento não se ajustou a nenhuma distribuição de probabilidade e foi utilizada então uma distribuição empírica. O tempo entre chegada de equipamentos teve dados históricos coletados de um prazo de 10 anos para melhorar a previsão de demanda de manutenção de equipamentos.

Tabela 3 – Distribuições de probabilidade

Dados de entrada	Unidade	Distribuição (Parâmetros Flexsim)
Tempo entre chegadas de equipamento	Dias	Beta (0.61, 405.10, 0.71, 2.15)
Tempo de Processamento Fase A	Dias	Jonhson SB (1.35, 35.77, 0.77, 1.04)
Tempo de Processamento Fase B	Dias	Beta (26.39, 281.81, 0.66, 1.06)
Tempo de Processamento Análise RC	Dias	Negative Binomial (3.00, 17.95)
Tempo de Processamento de Compra	Dias	Empírica
Tempo de Proc. de Ent. de Mat. no estoque	Dias	Log-logistic (0.00, 2.92, 2.27)
Tempo de Fornecimento Material A	Dias	Jonhson SB (84.47, 260.65, -0.03, 0.70)
Tempo de Fornecimento Material B	Dias	Log-Logistic (0.00, 132.96, 3.25)
Tempo de Fornecimento Material C	Dias	Jonhson SB (34.32, 266.09, 0.18, 0.74)
Tempo de Fornecimento Material D	Dias	Jonhson SB (51.88, 297.04, 0.27, 0.53)
Tempo de Fornecimento Material E	Dias	Gama (38.49, 20.92, 4.59)
Tempo de Fornecimento Material F	Dias	Inversa Gaussiana (10.50, 106.75, 304.15)
Tempo de Fornecimento Material G	Dias	Inversa Gaussiana (10.50, 106.75, 304.15)
Tempo de Fornecimento Material H	Dias	Weibull (32.75, 100.86, 1.81)
Tempo de Fornecimento Material I	Dias	Jonhson SB (53.76, 250.70, 0.58, 0.64)
Tempo de Fornecimento Material J	Dias	Jonhson SB (53.76, 250.70, 0.58, 0.64)
Consumo I	Unid.	Binomial Negativa (1.00, 24.17)
Consumo J	Unid.	Binomial Negativa (1.00, 18.03)
Manutenção em oficina externa	Dias	Jonhson SB (128.21, 732.74, -0.34, 0.68)

5.4 Medidas de desempenho

Para efeito de análise de desempenho serão verificados: Custo Total de Pedido, Custo de Manutenção de Estoque, Custo da Falta de Sobressalentes, Número de Ocorrências de Faltas Observadas e Dias de Perda de Produção. O custo Total de Pedido foi calculado de acordo com a equação (4):

$$\text{Custo Total de Pedido} = \sum_{k=A}^J \text{Número de Pedidos}_k \times \text{Custo Unitário Pedido}_k \quad (4)$$

O custo de manutenção de estoques foi calculado a partir dos custos de armazenagem e do custo de oportunidade do capital imobilizado, de acordo com a equação (5), onde l representa a taxa percentual de custos de armazenagem, t_t é igual ao período total da simulação em anos e CMPC é o custo médio ponderado de capital, calculado a partir da média de CMPC de grandes empresas do setor de óleo e gás em 2014.

$$\text{Custo de Manutenção} = \sum_{k=A}^J (\text{Custo Unitário}_k \times \text{Estoque Médio}_k) \times t_t \times (\text{CMPC} + l) \quad (5)$$

O custo da falta foi estimado considerando-se a ociosidade de mão de obra causada pelas manutenções interrompidas por falta de sobressalentes, conforme equação (6), onde se multiplica o custo unitário de HH pelo total de HH perdido do equipamento m , para todos os n equipamentos mantidos durante o período t_t .

$$\text{Custo da Falta} = \text{Custo Unit HH} \cdot \sum_{m=1}^n \text{HH perdido}_m \quad (6)$$

Não foi possível estimar o custo da perda de produção devido ao grande número de unidades de produção, às diferentes funções que o mesmo equipamento pode desempenhar e às diversas variáveis externas envolvidas. Será acompanhado, no entanto, o número médio de dias de perda de produção para cada solução analisada.

6. Implementação Computacional

O modelo conceitual foi implementado utilizando-se a versão acadêmica do software FlexSim 7.3, ver Figura 5. Para encontrar o número ideal de replicações, foram realizadas 20 replicações e avaliados os resultados dos principais parâmetros de saída com confiança de 95%. Segundo Schwif e Medina (2010), o número ideal de replicações é dado pela equação (7), onde n^* é o número de replicações necessárias, n é o número de replicações da amostra piloto, h é a precisão da amostra piloto e h^* é a precisão desejada.

$$n^* = n \times \left(\frac{h}{h^*} \right)^2 \quad (7)$$

A Tabela 4 apresenta os valores calculados de replicações mínimas para o nível de precisão desejado, onde se verifica que devem ser feitas 222 replicações. Também são apresentados na Tabela 4 os resultados médios das 222 replicações. Apesar de algumas das medidas de desempenho ficarem com precisão um pouco acima da desejada, as 222 replicações foram consideradas satisfatórias, os desvios em relação a precisão desejada não foram muito significativos. Foi estipulado um período de simulação de 4 anos para aumentar a precisão do modelo, devido aos longos prazos de ressurgimento e manutenção.

Figura 5 - Modelo construído no software FlexSim.

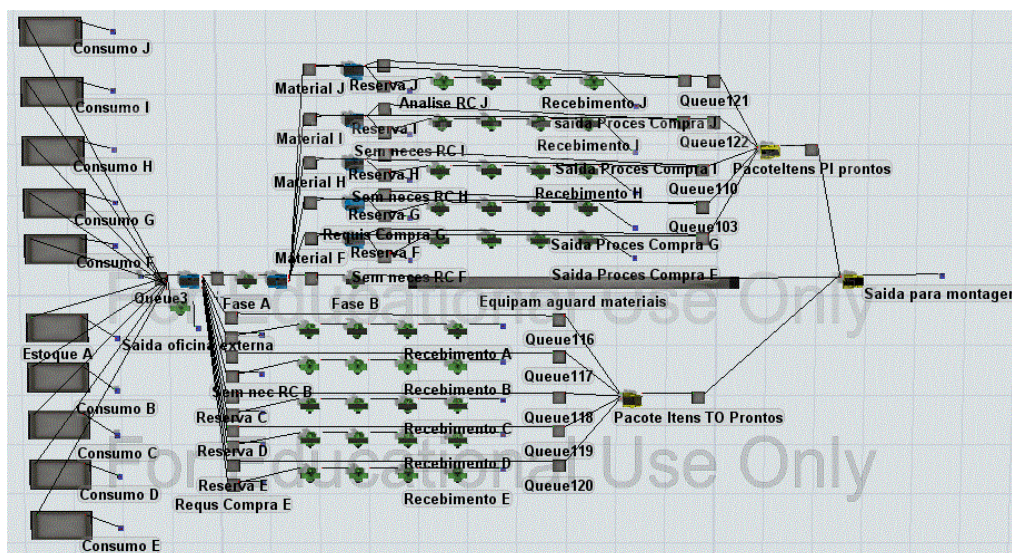


Tabela 4 – Número mínimo de replicações.

Medida de Desempenho	n=20				n=222	
	Média	h	h*	n*	Média	h
Estoque Médio Material A	698	142	50	161	654	53
Estoque Médio Material B	449	68	30	103	455	26
Estoque Médio Material C	501	70	35	80	522	29
Estoque Médio Material D	395	45	25	65	440	17
Estoque Médio Material E	30,5	5	2	125	29,7	1,8
Estoque Médio Material F	121	19	8	113	119,2	6,3
Estoque Médio Material G	64	17	5,5	191	64	6,7
Estoque Médio Material H	2,86	0,42	0,2	88	2,661	0,107
Estoque Médio Material I	5,12	0,7	0,35	80	5,17	0,47
Estoque Médio Material J	10,4	2,8	0,85	217	10,07	0,56
Tempo Médio de Espera por Equipamento	83 dias	30	9	222	66,1 dias	7,7
Média de Equipamento Aguardando Materiais	2,49	0,67	0,25	144	1,97	0,18

A oficina atualmente se utiliza da política de revisão contínua de estoques, com parâmetros de ressuprimento (ponto de pedido) R e quantidade de pedido Q* calculada através do lote econômico de compra conforme citado no item 2.1. A simulação do cenário atual utilizou os parâmetros de ressuprimento R e R+Q* listados na Tabela 5. Os parâmetros foram calculados de acordo com a demanda anual para cada item e média histórica dos tempos de ressuprimento, ajustados de acordo com tamanho de lote aplicado em cada equipamento. O estoque de segurança foi dimensionado para cobertura de 45 dias.

Tabela 5 – Parâmetros de Ressuprimento de Estoque.

Material	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Qs	210	114	91	62	8	29	22	0	1	2
R ajustado	1392	696	588	378	51	176	82	3	6	13
Q*	360	474	714	652	5	5	5	1	1	2
R+Q* ajustado	1856	1160	1176	1008	68	264	164	4	7	15

Os resultados para o cenário atual encontram-se na Tabela 6. É importante ressaltar que após a execução do modelo computacional, que busca de maneira simplificada retratar o cenário atual, foram comparados os resultados desta simulação com os dados levantados pela coleta realizada. Com base nos dados gerados como resultado do modelo de simulação foi possível verificar a aderência destes com a realidade.

Tabela 6 – Medidas de Desempenho Cenário Atual.

Medida de Desempenho	Valor
Custo de Manutenção de Estoques	R\$ 1.322.592,79
Custo Total de Pedidos	R\$ 56.270,44
Custo da Falta de Sobressalentes	R\$36.633.146,02
Número Médio de Ocorrência de Faltas de Itens	63,84
Dias de Perda de Produção Médio	64 dias

7. Otimização dos Parâmetros de Ressuprimento

Com o objetivo de reduzir os custos de estoque e aumentar o nível de serviço, foi utilizado o módulo Optimizer do Software FlexSim, para otimizar os parâmetros da atual política de estoques. O Optimizer é uma ferramenta adicional que permite otimizar ou melhorar o resultado de uma determinada medida de performance através da busca de várias soluções alternativas. A otimização é executada pelo aplicativo OptQuest, otimizador que combina busca tabu, programação inteira e redes neurais para identificar cenários ótimos. As variáveis de

decisão selecionadas para realizar a otimização foram R e Q de cada material, conforme a Tabela 7. A função objetivo para minimização está descrita na equação (8).

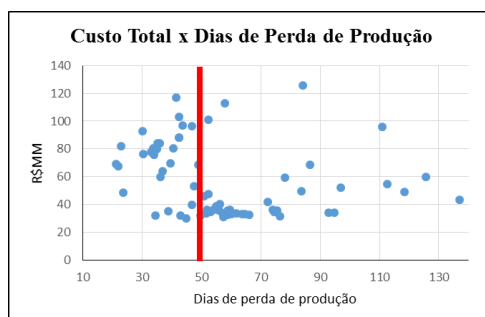
$$\text{Min Custo} = \text{Custo de Manutenção} + \text{Custo Total Pedidos} + \text{Custo da Falta} \quad (8)$$

Foram analisadas 70 soluções, com 222 replicações cada, verificando-se o desempenho das melhores soluções em relação às medidas de desempenho cujo resultado não está relacionado com a função objetivo, que são o número de dias de perda de produção e número de ocorrência de faltas. Verificou-se que soluções com baixo custo total possuíam elevado número de dias de perda de produção, como mostra a Figura 6, que apresenta a relação entre o custo total e dias de perda de produção para cada solução proposta

Tabela 7 – Variáveis de Decisão.

Variável	Tipo de Variável	Limite Inferior	Limite Superior	Solução 1	Solução 2
RA	Discreta	464	10000	1856	1392
RB	Discreta	232	10000	928	928
RC	Discreta	196	5000	784	588
RD	Discreta	126	5000	378	378
RE	Discreta	17	1000	51	51
QA	Discreta	0	10000	0	464
QB	Discreta	0	10000	232	232
QC	Discreta	0	5000	784	784
QD	Discreta	0	5000	730	730
QE	Discreta	0	1000	17	17
RF	Discreta	88	5000	176	176
RG	Discreta	82	5000	82	82
RH	Inteira	1	50	4	3
RI	Inteira	1	500	6	6
RJ	Inteira	1	500	17	13
QF	Discreta	0	5000	88	88
QG	Discreta	0	5000	82	82
QH	Inteira	0	50	1	1
QI	Inteira	0	500	1	0
QJ	Inteira	0	500	5	5

Figura 6 – Relação entre custo total e dias de perda de produção

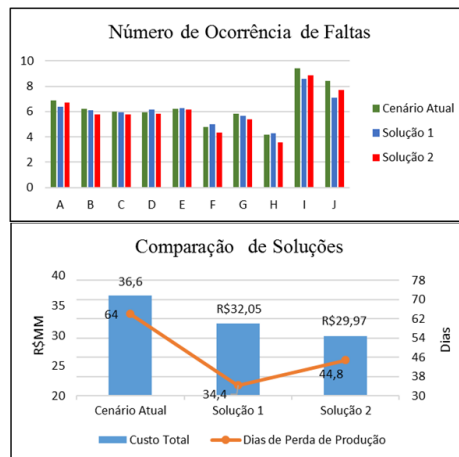


Foram selecionadas então as duas soluções com menor custo total, limitando-se os dias de perda de produção até 50 dias. Os resultados das soluções 1 e 2 estão na Tabela 7 e Figura 7. Verificou-se que os custos encontrados para as soluções 1 e 2 são bem menores do que os custos do cenário atual. A Figura 7 também demonstra que os

melhores resultados alcançados com as soluções otimizadas se devem a redução do nível de ocorrência de faltas dos itens I e J, de demanda errática, demonstrando que as soluções otimizadas ajustaram exatamente os itens que possuíam maior índice de faltas

Como foi determinado o limite inferior de zero para as variáveis de decisão Q_A até Q_J , algumas das soluções apresentaram quantidade $Q=0$, o que significa que para estes itens a política de estoque base é mais satisfatória do que a de revisão contínua.

Figura 7 - Comparação de resultados do cenário atual e das soluções propostas.



8. Conclusões

Observou-se que a otimização realizada para os parâmetros R e Q levaram a melhores resultados de custo e de perda de produção. A quantificação dos custos com estoque e do custo da falta de sobressalentes possibilitou analisar diferentes soluções e se chegar a um custo total menor com redução de até 18% das perdas de produção.

Percebe-se que a ferramenta de otimização, apesar de não garantir a solução ótima, se mostrou eficiente para encontrar soluções alternativas mais próximas da solução ótima. Através dos dados de todas as soluções apresentadas é possível também analisar a tendência e comportamento das variáveis e medidas de performance, auxiliando no entendimento do desempenho do modelo e na tomada de decisão. O modelo possibilitou equilibrar melhor o *trade-off* entre custos de estoque e nível de serviço.

REFERÊNCIAS

ALTAY, Nezh, LITERAL, Lewis. Services Parts Management: Demand Forecasting and Inventory Control, Springer Science & Business Media, London, 2011.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. Supply chain management: Strategy, Planning and Operation. New Jersey: Prentice Hall, 2007.

CHWIF, Leonardo, MEDINA, Afonso. Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações, Elsevier, Rio de Janeiro, 2010.

FREITAS, Filho. Introdução a Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena, 2ª VisualBook, São Paulo, 2008.

GARCIA, Eduardo, REIS, Leticia, MACHADO, Leonardo, FERREIRA FILHO, Virgílio. Gestão de estoques: otimizando a logística e a cadeia de suprimentos. E-papers, Rio de Janeiro, 2006.

LEAL, F., ALMEIDA, D. A., MONTEVECHI, J. A. B. Uma proposta de técnica de modelagem conceitual para a simulação através de elementos do IDEF. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, João Pessoa, 2008.

ROSA, Hobed, MAYERLE, Sérgio, GONÇALVES, Mirian. Controle de estoque por revisão contínua e revisão periódica. Revista Produção, 20(4), 626-638, 2010.

SANTORO, Miguel Cezar, FREIRE, Gilberto. Análise comparativa entre modelos de estoque. Revista Produção, 18(1), 89-98, 2008.

SARKER, Ruhul., & HAQUE, Amanul. Optimization of maintenance and spare provisioning policy using simulation. Applied Mathematical Modelling, 24(10), 751-760, 2000.