

Modelo Probabilístico para Determinação de Níveis de Estoque e Estoque Base para Materiais com Consumo Regular e Irregular

F. C. Tomaz, Tractebel Energia SA; P. C. Lapa, Tractebel Energia SA; J. Coelho, LabPlan/UFSC; J. C. V. Machado, LabPlan/UFSC; P. H. M. Silva; LabPlan/UFSC e M. L. L. Santos, LabPlan/UFSC

RESUMO

Neste artigo, apresentar-se-á uma metodologia para controle de estoque de itens com demanda irregular, baseado em índices de controle, sob a ótica da confiabilidade. Um breve comentário a respeito da classificação da demanda como regular e irregular será realizado, com enfoque maior sobre o Modelo Dinâmico para a Determinação do Estoque de Itens de Consumo Irregular, ou simplesmente, Estoque Base. Este sistema de apoio à decisão, apresentará resultados, utilizando como base de simulação, um banco de dados de um almoxarifado de uma hidrelétrica, que serão discutidos neste artigo, demonstrando a eficácia do método proposto para a gestão e controle de estoques de itens de reposição a ser implementado na empresa. A análise de risco feita pelo tomador da decisão, determinará um certo grau de liberdade ao mesmo, podendo este optar por soluções menos ou mais econômicas para a empresa, ou seja, avaliar o menor ou maior número de unidades em estoque e o risco associado a esta decisão.

PALAVRAS-CHAVE

Confiabilidade; Sistema de Apoio à Decisão; Gestão; Análise de Risco; Engenharia de Manutenção.

I. INTRODUÇÃO

A gestão de materiais de reposição em estoque, está se tornando necessidade no dia-a-dia das muitas empresas do setor elétrico brasileiro. Os itens que se encontrarem sob reserva operativa ou em estoque, devem ser otimizados e controlados. A confiabilidade operacional do sistema, também de vital importância para a empresa, estará comprometida caso haja excesso ou falta destes itens, por esta razão, deve-se controlar o estoque de itens de reposição de maneira adequada.

Contudo, mesmo após haver determinado o número adequado de peças de reposição que se deveria ter em estoque (denominado de Estoque Base [1, 2]), seria interessante fornecer ao gestor de estoques um sistema de apoio à decisão, ou seja, um simulador, que lhe permita variar parâmetros afim de avaliar o risco de se postergar a compra de uma peça para recompor o estoque, reavaliar a qualidade do componente adquirido e seu fornecedor, ou ainda, rever contratos de fornecimento com a finalidade de

diminuir (ou não) o tempo de ressurgimento de seu estoque de compra, bem como avaliar o estado de conservação e a vida útil do equipamento no qual o item de material está sendo utilizado.

Este é o objetivo do artigo: a análise e discussão dos resultados de um simulador que permite variar o risco de itens que possuem demanda irregular, baseando-se em índices probabilísticos. Variando-se índices tais como Tempo Médio de Vida do item, Tempo de Reposição, Grau de Importância e Número de Peças Instaladas em operação no sistema, pode-se obter o risco que o gestor assumirá frente a determinadas situações. Por exemplo, adotar um estoque menor que o Estoque Base [2] fornecido pelo programa computacional CEST[3], prevendo que as condições climáticas serão favoráveis este ano, e as peças quebrarão menos que o normal.

II. CONSUMO REGULAR OU IRREGULAR?

A classificação da demanda tem por objetivo, separar os itens de consumo regular dos itens de consumo irregular. Deste modo, foi adotado o seguinte critério de divisão [1]:

1. Um Coeficiente de Variação anual do item (desvio padrão do consumo anual/ média do consumo anual) igual ou inferior a 20%, determina que o consumo será considerado regular. O controle de estoques neste caso, será efetuado pelo algoritmo de **Controle por Níveis** também conhecido como modelo “Dente de Serra” [6].
2. Um Coeficiente de Variação anual do item superior a 20%, determina que o consumo será considerado como irregular (de natureza aleatória) e não poderá ser calculado através da algoritmo “Dente de Serra”. Deve-se aplicar uma metodologia específica (Modelo Dinâmico para Determinação do Estoque de Itens que apresentam Consumo Irregular [1, 2]), determinando seu **Estoque Base** (de natureza probabilística).

Em seguida serão apresentadas, de forma resumida, algumas características de cada tipo de demanda e uma breve análise de suas principais equações.

Este trabalho foi apoiado pela Tractebel Energia SA.

A. Demanda Irregular

As variáveis levadas em consideração são: Número de Peças Instaladas (NPI) ou que estão em operação, o Tempo de Reposição (TR) desta peça quando ocorrer quebra, o Tempo de Vida Médio (TVM) que dura uma peça e o Grau de Importância (GI) ou Criticidade que uma peça possui perante o processo.

Determina-se a probabilidade de quebra (p) do item através de uma curva de distribuição Normal, utilizando-se equações citadas em [1, 6]. Com esta probabilidade de quebra obtida, pode-se calcular o Estoque Base (EB) com a seguinte equação:

$$EB = k \cdot \sqrt{NPI \cdot p \cdot (1 - p)} + NPI \cdot p \quad (1)$$

É conveniente apresentar um fluxograma operativo do software CEST, no qual está contido o simulador em estudo, contido no módulo Visualizar Demanda Irregular.

Fluxograma Operativo



A classificação do Grau de Importância do item, é mostrado na tabela 1.

TABELA 1

Comportamento do Grau de Importância

A falta do componente no estoque ocasiona	Grau de Importância GI Valores de k Associados
Paralisação de uma ou mais fases produtivas; compromete a integridade de alguém ou de algum equipamento; é de importância VITAL para a empresa (Categoria Z), com nível de serviço maior que 99%.	GI = 1 k > 2,33
Paralisação de atividade secundária e/ou irrelevante; é de importância média (ou intermediária – Categoria Y), com nível de serviço entre 95 e 99%.	GI = 2 1,65 < k < 2,33
Não ocasiona parada nem ônus; uso de equivalente existente na empresa ou com rápida e fácil reposição (Categoria X), com nível de serviço entre 90 e 95%.	GI = 3 1,28 < k < 1,65

Observa-se na equação 1 que, quanto maior o Grau de Importância (k) da peça bem como a Probabilidade de Quebra da mesma, maior deverá ser o Estoque Base.

B. Demanda Regular

O método conhecido como Dente de Serra utiliza as seguintes variáveis: Limite de Segurança (LS) para absorver variações nas quantidades de demanda acima e/ou no Tempo de Reposição, Limite de Ressuprimento (LR) nível no qual se inicia o processo de reposição de um item de material, Intervalo de Ressuprimento (IR), tempo entre duas datas consecutivas de ressuprimento, Frequência de Reposição (FR), número de aquisições no período, Lote de Compra (LC) ou quantidade adquirida em cada processo de ressuprimento, Estoque Máximo (EM_{max}) ou máxima quantidade esperada em estoque e o Estoque Médio (EM) ou quantidade média de material em estoque em um determinado período.

O primeiro passo é efetuar a classificação ABC que reflete a importância ou prioridade de cada item de material tal como o Grau de Importância Criticidade (k) no consumo irregular, o que se pode observar na TABELA 2.

TABELA 2

Classificação ABC

Classificação	Significado
A	Grande Valor de Consumo
B	Médio Valor de Consumo
C	Pequeno Valor de Consumo

Também com a metodologia apresentada em [1], obtém-se os Lotes Mínimo, Máximo e de Compra, a partir do Tempo de Reposição (TR) dos itens, e das variáveis citadas acima.

Sua obtenção é proveniente da equação 2. Esta equação retrata de forma simplificada todo o procedimento de obtenção dos lotes (Mínimo, Máximo e de Compra). Existe uma tabela chamada de Tabela de Níveis, responsável por atribuir pesos (valores) a cada classe (A, B ou C), dependendo do seu Tempo de Reposição (15, 30, 45, 60, 90 ou 120 dias). Este valor é então multiplicado pelo consumo médio do item no período estudado, fornecendo o valor do lote que se deseja encontrar. Para cada lote que se queira (Mínimo, Máximo, ou de Compra), existe uma Tabela de Níveis associada.

$$Lote = \overline{Consumo} \times f(TR; Classe) \quad (2)$$

Onde: significa Consumo Médio do item no período estudado.

Cabe salientar que, nesta modalidade o Lote Mínimo é o próprio Estoque Base, o Lote de Compra é sempre unitário, uma vez que basta a saída de uma peça para desencadear um processo de reposição e o Lote Máximo é, em princípio igual ao Lote Mínimo ou, pelo menos, nunca superior ao Número de Peças Instaladas (nível de serviço igual a 100%).

Observe-se que a variável Tempo de Reposição reflete a importância da origem do material, por exemplo, peças importadas demorarão mais a serem repostas.

III. ANÁLISE DO RISCO ATRAVÉS DO SIMULADOR

O simulador tem por objetivo, mostrar o comportamento de algumas variáveis responsáveis pelo Estoque Base calculado para itens de consumo irregular, ou seja, itens com consumo aleatório.

Logo após a classificação da demanda como irregular pelo software CEST, estes itens serão listados em uma janela em separado (FIGURA 1). Nesta janela, pode-se escolher o item a ser analisado e acionar o simulador.

Todo item de demanda dita irregular, possui algumas variáveis que deverão ser levadas em consideração. Estas variáveis estão apresentadas no simulador, sob forma de campos habilitados a serem alterados (Figura 3). Uma vez alterado qualquer um destes campos, pode-se observar o comportamento do estoque da peça em questão, realizando-se a simulação (botão Simular – FIGURA 1).

Utilizando-se a massa de dados do Banco de Dados de uma usina termelétrica pertencente à Tractebel Energia para exemplificar a utilização do simulador, pode-se perceber a potencialidade nesta aplicação. A Figura 2 corresponde à parte de uma massa de dados de uma central termelétrica selecionada como exemplo.

Pode-se determinar através da simulação um estoque base fictício para cada cenário desejado. O ambiente do simulador é apresentado na FIGURA 3.

O item de código 2883 da massa de dados (apresentado na FIGURA 2) foi simulado e está apresentado na FIGURA 3. Nota-se que as variáveis necessárias a simulação do estoque, estão devidamente apresentadas neste ambiente de simulação, referenciadas como *Valores Originais*. São estas variáveis [4, 5]:

- Número de Peças Instaladas (NPI) – 08;
- Tempo de Reposição (TR) em dias – 60;
- Tempo Médio de Vida (TMV) em anos – 3;
- Grau de Importância (GI) – 01;
- Saldo original em estoque – 3 peças.
- Estoque Base para Valores Originais – 3.

As variáveis acima estão com os valores originais, que foram retirados do Banco de Dados (*Oracle*) da empresa antes de se realizarem as simulações.

Verificou-se que este item está devidamente adequado à política de controle de estoque abordada neste artigo, proporcionando um Risco Original de 0,3%, não mostrado na Figura. Assim, há um risco de apenas 0,3% de haver necessidade de reposição de material e não haver unidades disponíveis em estoque.

A. Simulação da Variação do Saldo em Estoque

Como se pode perceber na FIGURA 3, existe uma outra coluna que será preenchida com os novos valores a serem simulados (denominados de *Valores Simulados*). É nesta coluna que são digitados os valores desejados pelo usuário. Após alterados os valores desta coluna, os resultados da simulação aparecerão em uma terceira coluna chamada de *Resultados*.

Código	Descrição do Item	TMV	TR	GI	NPI	Risco	Saldo
1187	DISJUNTOR BAIXA TENSÃO, MAGNETICO, 3, 15A/4	0	90	-	25	-	0
1234	BLOCO CONTATO, 600V, 10A, 2NA+2NF, INSTANT	0	60	-	151	-	19
1237	BLOCO CONTATO, 660V, 10A, 1NA+1NF, TEMPO	0	90	-	0	-	6
1256	TERMOPAR, DGT-C-732	0	90	-	40	-	2
1262	DISJUNTOR BAIXA TENSÃO, HIDRÁULICO MAGNET	0	360	-	12	-	1
1366	VALVULA GLOBO PASSAGEM RETA, ACO CARBONI	0	360	-	0	-	21
1372	ROLAMENTO ROLOS ESFERICOS RADIAL, 23034, :	0	90	-	0	-	0
1376	ROLAMENTO ROLOS ESFERICOS RADIAL, 22230, :	0	90	-	0	-	0
1444	TERMOMETRO DE EXPANSÃO, 0-350, C, 1, 5%, CIR	0	90	-	0	-	0
1449	VALVULA ESFERICA, ACO INOXIDAVEL, 1/2IN, 81M	0	90	-	16	-	4
1458	DISJUNTOR BAIXA TENSÃO, TERMOMAGNETICO, :	0	90	-	4	-	0
1469	TUBO, PIREX, VIDRO, SEM COSTURA, 16MM, 2,5MM	0	90	-	0	10%	3
1475	CONTATOR AUXILIAR, 10ACA/10ACC, 660VCA/66	0	60	-	0	-	8
1503	DISJUNTOR BAIXA TENSÃO, MAGNETICO, 3, 150A	0	90	-	1	-	1
1539	RETENTOR, COM MOLA DE APERTO, BORRACHA N	0	90	-	18	-	0
1540	ANEL LUBRIFICACAO DGT-C-0739	6	90	-	4	-	2
1556	CONTATOR AUXILIAR, 10ACA/10ACC, 660VCA/66	0	90	-	2	-	1
1557	ROLAMENTO ESFERAS RADIAL, 6203, FIXO, 17MM	0	60	-	32	-	4
1568	BLOCO CONTATO, 660VCA, 10A, 1NA+1NF, TEMPC	5	60	-	3	-	2
1893	ROLAMENTO ESFERAS RADIAL, 6211, FIXO, 55MM	0	360	-	0	-	6
2736	ROLETE, DGT-X-0165 ITEM 3, RETORNO C/ANEIS I	0	90	-	130	-	10
2747	CORREIA PARA TRANSMISSAO DE FORÇA, PLANF	0	90	-	0	-	0
2750	TELHA DGT-A-0966 ITEM 01	1	90	-	184	-	231

FIGURA 1 – Itens Aptos a Serem Simulados

COD_ITEM	DESCRICAO_ITEM	UNIDADE_MEDIDA	GI	PRECO_UNITARIO
1540	ANEL LUBRIFICACAO DGT-C-0739	UNIDADE	1	308
1568	BLOCO CONTATO.660VCA.10A.1NA+1NF.TE	UNIDADE	3	94,9
2750	TELHA DGT-A-0966 ITEM 01	UNIDADE	1	37,5
2783	CORRENTE ARRASTE DGT-A-0959 ITENS 01	METRO	1	298,92
2879	MOLA.PRATO.ACO CARBONO.111,5MM.DIA	UNIDADE	3	0,63
2883	CUNHA AJUSTE DGT-A-0723 ITEM 02	UNIDADE	1	183
2888	ANEL.DGT-B-1156.SUPERIOR	UNIDADE	1	21773,68
2889	ANEL.DGT-B-1155.INFERIOR	UNIDADE	1	21396,86

FIGURA 2 - Parte do Banco de Dados de uma Usina Termetétrica

FIGURA 3 - Simulação do Risco Variando o Saldo de 3 para 1 Unidade

1) Variação do Saldo em Estoque

Iniciando-se a simulação deste item, alterou-se o *Saldo* atual (que era de 03 peças em estoque), para 02 peças em estoque. O *Risco Simulado* do estoque em questão sobe consideravelmente de 0,3% para 2,66%. Logo, percebe-se a importância que a falta de um item deste tipo reflete no estoque da empresa. Se o saldo deste item em estoque ainda fosse alterado para 1 peça, o *Risco Simulado* subiria ainda mais, representando 14,99% de risco para a empresa, conforme mostrado na Figura 3.

2) Variação do Tempo de Reposição (TR).

Retomando-se o *Saldo* original de 03 peças em estoque, alterou-se o *Tempo de Reposição* (TR) do item em questão (que era de 60 dias – Figura 3) para 90 dias. Os reflexos desta mudança aparecerão não somente no *Risco Simulado*, mas também no *Estoque Base* deste item.

Trinta dias a mais no *Tempo de Reposição* deste item, representará um acréscimo de uma peça no *Estoque Base*, sinalizando uma necessidade de 4 peças em estoque (ao invés de 3 peças). E por fim, o *Risco Simulado* que o tomador da decisão assumir será de 1,31%, representando um aumento de 1,01 pontos percentuais com relação ao apresen-

tado quando o TR era de 60 dias. Vale frisar que a situação inversa também ocorre, ou seja, se o TR fosse reduzido para 30 dias, os valores acima seriam respectivamente:

Estoque Base: 2 peças e *Risco Simulado*: 0,02%, confirmando uma drástica redução em todos os índices.

3) Variação do Tempo Médio de Vida (TMV).

Reduzindo-se o TMV deste item para 2 anos, os valores apresentados para os índices (*Estoque Base* e *Risco*) seriam praticamente os mesmos do caso acima (para um TR de 90 dias). Por outro lado, se o TMV fosse reduzido para 1 ano, os valores aumentariam consideravelmente. O *Estoque Base* deveria ser de 5 peças e o *Risco Simulado* representaria 12,47%. A situação inversa também se verifica neste caso.

4) Variação do Grau de Importância (GI).

O Grau de Importância do item tem influência direta, na determinação do *Estoque Base* e também, no *Risco Referente ao Grau de Importância*. Caso o item em análise fosse classificado como sendo de importância GI – 02 ao invés de GI – 01, percebe-se que o *Estoque Base* passa a valer apenas 2 peças ao invés de 3 peças. O *Risco Referente ao Grau de Importância* também sofrerá alteração,

tendo um acréscimo de 3,95 pontos percentuais em relação ao caso base (inicial – GI - 01), passando a valer 4,94%. Assim, a classificação do Grau de Importância pela empresa determinará uma maior ou menor quantidade de itens armazenados.

IV. CONCLUSÕES

Através da variação/simulação do risco, pôde-se notar a variação refletida na obtenção do estoque, mostrando-se assim uma eficaz ferramenta na tomada de decisões no tocante à gestão de estoques de itens de reserva. O Simulador pode também ser utilizado para avaliar contratos e licitações para compra de material.

O Simulador visa este tipo de análise, ou seja, fornecer ao usuário a oportunidade de quantificar o risco de manter um número maior ou menor de itens em estoque, avaliar “performance” dos equipamentos, alterar contratos e prazos de fornecimento, assim como fazer licitações de compra de material de melhor qualidade, exigindo, por exemplo, Tempo Médio de Vida maiores.

A análise de risco fará com que o tomador de decisões da empresa tenha a capacidade de analisar o comportamento das variáveis de decisão elencadas no simulador e quantificar se o risco é aceitável ou não.

V. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as contribuições de toda a equipe de trabalho do Grupo de Gestão de Estoques de Equipamentos de Itens de Reposição da Tractebel Energia SA, que durante o período de desenvolvimento do projeto colaborou com o bom andamento dos trabalhos.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARTIGOS APRESENTADOS EM CONFERÊNCIAS (Não publicados):

- [1] J. Coelho, J. C. Machado, F. C. Tomaz, P. C. Lapa, P. H. M. Silva, M. L. L. Santos. “Uma Metodologia para Gestão de Estoques de Peças Sobressalentes”. XVII SNPTEE, Uberlândia – MG. Outubro de 2003;

RELATÓRIOS TÉCNICOS:

- [2] J. C. V. Machado, V. A. Martins, C. A. W. Rabello “Modelo Dinâmico para Determinação do Estoque Base do Material Reserva que Apresenta Consumo Irregular”. Centrais Elétricas do Sul do Brasil S.A. – Primeiro Seminário Interno de Manutenção. Grupo Gestão da Manutenção; 1994;
- [3] CEST – Relatório Interno do Programa CEST – Controle Probabilístico de Estoques – Tractebel Energia, 2002;

LIVROS:

- [4] J. J. Viana “Administração de Materiais - Um Enfoque Prático”. São Paulo: Atlas, 2000;
- [5] S. Vieira. “Estatística para a Qualidade – Como Avaliar com Precisão a Qualidade em Produtos e Serviços”. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

APOSTILA:

- [6] J. C. V. Machado, “Administração de Recursos Materiais e Patrimoniais”. Apostila Didática para o curso de Administração de Recursos Materiais e Patrimoniais. UNIVALI, 1994.