# DETERMINAÇÃO DO ESTOQUE DE SEGURANÇA BASEADO EM CONFIABILIDADE PRODUTIVA

**Guilherme Braga Aguiar De Maria (MLog-USP)**
guibraga@terra.com.br
**Antonio Galvao Naclerio Novaes (MLog-USP)**
novaes@deps.ufsc.br

*A perda de vendas por falta de estoque é um problema muito conhecido por empresas na qual seus ramos de atividade se caracterizam por apresentarem fontes de ofertas muito pulverizadas, sendo assim, a falta de estoque é facilmente suprida peela sua concorrência. Devido a esse fato, é fundamental que políticas de estoque sejam aplicadas nesse ambiente para que se evite essa situação. Diversas abordagens já foram desenvolvidas para a gestão de estoque considerando incertezas de demanda, problemas de qualidade ou atraso de fornecedores. Porém, a indisponibilidade produtiva por quebras de equipamentos também é uma fonte potencial de falta de estoque. Sendo assim, esse trabalho apresenta uma proposta de aplicação dos conceitos Manutenção Centrada na Confiabilidade na gestão dos estoques, a fim de garantir cobertura de estoque para problemas de quebra de equipamentos.*

*Palavras-chaves: Gestão de estoques, estoque de segurança, confiabilidade*

## 1. Introdução

Segundo Ballou (2006) estoques são acúmulos de matérias-primas, suprimentos, componentes, materiais em processo e produtos acabados distribuídos ao longo da cadeia de suprimentos. O custo da manutenção desses estoques pode representar de 20 a 40% do seu valor por ano. Hillier e Lieberman (2005) informam que o valor total dos estoques somente nos Estados Unidos ultrapassa um trilhão de dólares, ou seja, mais de 4 mil dólares são investidos em estoque para cada cidadão estadunidense. Isso mostra a importância de se administrar corretamente o estoque.

Considerando esses fatos, a gestão dos estoques envolve algumas das mais importantes decisões a serem tomadas pelas empresas. Uma boa política de estoques pode ser fator determinante para o sucesso no cenário competitivo atual. E nesse cenário, na qual todos os produtos já possuem nível de qualidade similar após anos de desenvolvimento e aplicação das ferramentas da qualidade, a disponibilidade de produto ganha importância como fator de decisão de compra para o cliente.

Para garantir a disponibilidade de produto, as empresas recorrem à manutenção de estoques de segurança em diversos pontos da cadeia de suprimentos. De acordo com Martins e Laugeni (2005) e o estoque de segurança é uma proteção contra possíveis problemas considerando a incerteza na demanda ou na reposição do estoque. Makridakis (1993) demonstra que a fonte de incerteza na demanda está relacionada com a acurácia dos modelos de previsão. Já a fonte de incerteza na reposição do estoque está relacionada com a disponibilidade de equipamentos, problemas de qualidade ou atrasos de entrega de fornecedores (GARCIA, LACERDA E BENÍCIO, 2001).

A literatura já apresentou diversas abordagens para tratar das incertezas da demanda conforme Makridakis e Hibon (1979). Além disso, Sari (2008) mostra que, com o avanço da tecnologia da informação, inúmeras metodologias foram desenvolvidas para minimizar os efeitos da incerteza na reposição devido a atrasos de fornecedores como CPFR - *Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment* e VMI – *Vendor-Managed Inventory*. E por fim, Pinto, Carvalho e Ho (2006) apresentam os avanços das empresas no uso das principais ferramentas da qualidade como TQM e Seis Sigma, o que contribui para minimizar as incertezas por problemas de qualidade.

No caso da disponibilidade de equipamento, as fontes de incerteza já foram largamente estudadas para aplicação na gestão da manutenção. Segundo Lafraia (2001) e Siqueira (2005) a gestão da manutenção evoluiu do foco no reparo para o foco na confiabilidade, também chamada de Manutenção Centrada na Confiabilidade (MMC). Porém, conforme já foi citada, a disponibilidade de equipamento tem forte impacto no tempo de reposição do estoque, ou seja, a confiabilidade de um equipamento pode influenciar na determinação do estoque de segurança de um produto produzido pelo mesmo.

Esse trabalho procura demonstrar uma relação entre a confiabilidade de um equipamento e a determinação do estoque de segurança, apoiado nos conceitos da Manutenção Centrada na Confiabilidade e seu caráter estocástico, podendo ser facilmente adaptado aos modelos já conhecidos de estoque. Ao final, é comprovado através de simulação estocástica que o uso do fator de confiabilidade garante uma melhor determinação do estoque de segurança em cenários onde a falta de estoque pode gerar perda de vendas futuras.

## 2. Modelos quantitativos de estoque

A gestão dos estoques é uma área na qual a pesquisa operacional tem tido um impacto significante. O principal objetivo dos modelos quantitativos de controle de estoque é de minimizar o custo total envolvido na sua manutenção (LEE E NAHMIAS, 1993).

Segundo Hillier e Lieberman (2005) os custos envolvidos na gestão dos estoques são o custo de pedido, custo de manutenção, custo de capital e o custo da falta de estoque. O custo de pedido é um custo variável associado à compra de uma unidade de produto. O custo de manutenção engloba os custos de armazenagem e movimentação. Já o custo de capital refere-se ao capital investido em estoques que poderia ser destinado a outro investimento com um retorno calculado sobre uma taxa meta de oportunidade. De acordo com Winston (2003) para taxas de oportunidade altas o custo de capital anual pode chegar de 20 a 40% do custo de aquisição de uma unidade de produto. E por fim, o custo de falta de estoque na qual pode ser associado a uma perda de receita de venda, nos casos em que não será possível atender a demanda posteriormente.

Ainda segundo Hillier e Lieberman (2005) os modelos de estoque são classificados em determinísticos ou estocásticos de acordo com a natureza da demanda e da reposição do estoque ou *lead time*. Outra classificação dos modelos de estoque considera o método de revisão, na qual pode ser contínuo ou periódico.

Nas subseções que seguem serão apresentados os principais modelos quantitativos de estoque.

### 2.1. Modelos de estoque determinísticos de revisão contínua

De acordo com Lee e Nahmias (1993), para o modelo básico do EOQ – *Economic Order Quantity* ou Lote Econômico de Pedido algumas premissas devem ser consideradas conforme segue:

a) A demanda é determinística e ocorre a uma taxa constante $D$;
b) Faltas de estoque não são permitidas;
c) O lead time para reposição do estoque é nulo;
d) Os custos envolvidos são o custo por pedido $K$ e custo por unidade adquirida $h$.

Seguindo essas premissas, o objetivo do modelo EOQ básico é minimizar o custo total por uma unidade de tempo sobre um horizonte infinito de planejamento:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2KD}{h}} \qquad \text{(Eq. 2.1)}$$

Considerando $I(t)$ o nível de estoque no instante $t$, podemos observar graficamente o comportamento do modelo EOQ básico:

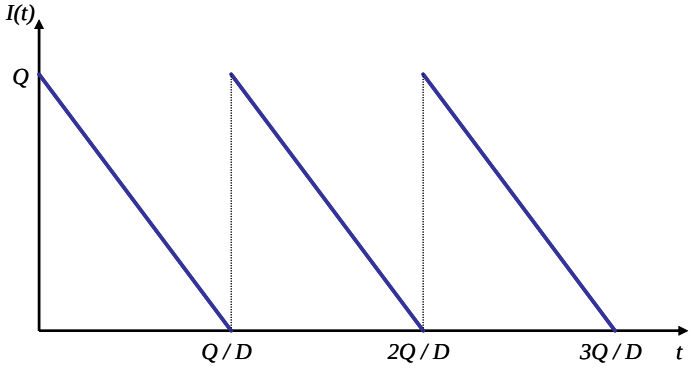

Figura 1 – Comportamento de *I(t)* no modelo EOQ básico

Hillier e Lieberman (2005) apresentam uma variação do EOQ básico na qual a premissa de não permitir falta de estoque deixa de ser exigida, ou seja, a demanda que não foi atendida deverá ser considerada para o cálculo da quantidade de pedido para o próximo período. Essa parcela de demanda não atendida, também chamada de *backorders*, envolve um custo *p* por unidade não vendida. Nesse modelo, como a natureza da demanda ainda é determinística e constante, podemos considerar que se trata de uma falta de estoque planejada, onde esse modelo é normalmente aplicado quando de manutenção do estoque costuma ser maior do que o custo da falta de estoque.

Sua formulação inclui além do custo de falta *p*, o nível de estoque *S*, onde *Q-S* é a quantidade de falta em unidades de produto:

$$S^* = \sqrt{\frac{2KD}{h}}\sqrt{\frac{p}{p+h}} \qquad \text{(Eq. 2.2)}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2KD}{h}}\sqrt{\frac{p+h}{p}} \qquad \text{(Eq. 2.3)}$$

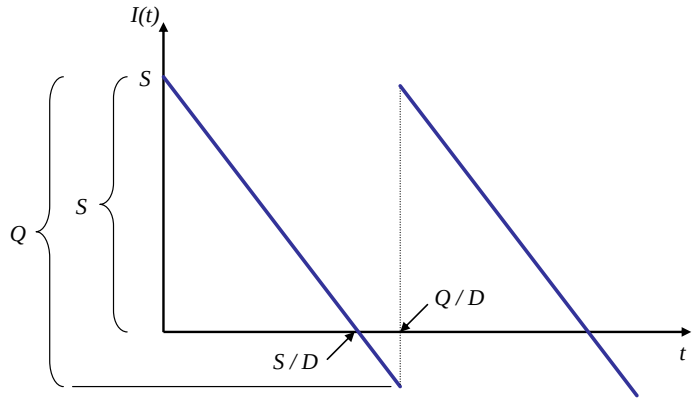


Figura 2 – Modelo EOQ com falta de estoque planejada

O modelo EOQ básico também pode ser modificado considerando descontos por quantidade adquirida. Nesse caso, Hillier e Lieberman (2005) demonstram que no modelo EOQ com desconto por quantidade o custo unitário de um produto agora depende do tamanho do pedido, ou seja, esse custo decresce na medida em que aumenta o tamanho do lote.

Considerando $c_j$ o custo unitário associado a um *j* tamanho de pedido, podemos calcular o custo total $T_j$ como sendo:

$$T_j = \frac{DK}{Q} + Dc_j + \frac{hQ}{2} \qquad \text{(Eq. 2.4)}$$

## 2.2. Modelo estocástico de estoque de revisão contínua

De acordo com Hillier e Lieberman (2005), o modelo estocástico de revisão contínua é baseado em dois parâmetros críticos: o tamanho do lote Q; e o ponto de pedido P. Devido a esse fato, é comum esse modelo ser denominado também de modelo (Q, R). As principais premissas para aplicação desse modelo são:

a) Considera um *lead time* de reposição do estoque $L > 0$;

b) Demanda conhecida ou estimada e representada por uma distribuição de probabilidade *D*;
c) São considerados para cálculo de custo total o custo por pedido *K*, custo por unidade adquirida *h* e o custo de falta de estoque *p*.

A fórmula para determinar *Q* é similar ao modelo EOQ com falta de estoque planejada, diferindo apenas do fato da demanda determinística *D* ser substituída pela demanda média no horizonte de planejamento *E(D)*:

$$Q = \sqrt{\frac{2 \cdot K \cdot E(D)}{h}} \sqrt{\frac{p+h}{p}} \qquad \text{(Eq. 2.5)}$$

Hillier e Lieberman (2005) explicam que para determinação do ponto de pedido *R* é necessário escolher um nível de serviço desejado, ou seja, como será tratada a ocorrência de falta de estoque. Isso também influenciará na quantidade de estoque de segurança necessário.

Admitindo que uma falta de estoque não ocorra entre o tempo de um pedido colocado e um pedido recebido, e que a demanda *D* é representada por uma distribuição uniforme com parâmetros a e b, o ponto de pedido pode ser calculado como:

$$R = a + L(b-a) \qquad \text{(Eq. 2.6)}$$

O estoque de segurança *ES* é calculado como *R-E(D)*. Considerando *D* uma distribuição uniforme, a média *E(D)* é:

$$E(D) = \frac{a+b}{2} \qquad \text{(Eq. 2.7)}$$

Substituindo Eq. 2.7 em *ES=R-E(D)*, tem-se (para uma distribuição uniforme):

$$ES = \left(L - \frac{1}{2}\right) \cdot (b-a) \qquad \text{(Eq. 2.8)}$$

Caso a demanda seja uma distribuição normal com média $\mu$ e variância $\sigma^2$, o ponto de pedido e o estoque de segurança são determinados como:

$$R = \mu + K_{1-L} \cdot \sigma \qquad \text{(Eq. 2.9)}$$

$$ES = R - \mu = K_{1-L} \cdot \sigma \qquad \text{(Eq. 2.10)}$$

### 2.3. Modelo estocástico de período simples e demanda discreta – *The newsboy model*

Lee e Nahmias (1993) explicam que o modelo *Newsboy* é utilizado em situações onde os produtos são muito perecíveis como por exemplo jornais, flores, entre outros. Isso se deve ao fato do modelo calcular tamanho de pedido para um curto espaço de tempo.

Conforme Hillier e Lieberman (2005), as premissas para aplicação desse modelo são:

a) Aplicável a apenas um único produto em um único período;
b) Não há estoque inicial no período avaliado;
c) A demanda durante o período é conhecida ou estimada e representada por uma distribuição de probabilidade *D*;
d) São considerados para cálculo de custo total o custo por unidade adquirida *h*, o custo de falta de estoque *p* e é adicionado ao cálculo o custo por unidade comprada ou produzida *c*.
e) A quantidade do pedido a ser adquirido é representada pela variável *y*.

A determinação de *y* é fortemente dependente da distribuição de probabilidade da demanda *D*:

$$min\{D,y\} = \begin{cases} D & se\, D > y \\ y & se\, D \leq y \end{cases} \qquad \text{(Eq. 2.11)}$$

Aproximando a variável aleatória discreta *D* para uma variável aleatória contínua e determinando em seguida a função de distribuição acumulada *Φ(a)* (F.D.A.), tem-se:

$$\varphi_D(\xi) = F.D.P.\, de\, D \qquad \text{(Eq.2.12)}$$

$$\Phi(a) = \int_0^a \varphi_D(\xi) \cdot d\xi \qquad \text{(Eq. 2.13)}$$

A quantidade de pedido $y^*$ para o nível de serviço ótimo pode ser encontrada pela equação:

$$\Phi(y^*) = \frac{p-c}{p+h} \qquad \text{(Eq. 2.14)}$$

Como exemplo, caso a demanda possua uma distribuição exponencial de parâmetro $\lambda$, $y^*$ pode ser obtido da relação:

$$y^* = -\lambda \cdot \ln \frac{c+h}{p+h} \qquad \text{(Eq. 2.15)}$$

## 2.4. Modelo de estoque (s, S)

Segundo Hillier e Lieberman (2005), trata-se de um caso especial do modelo apresentado anteriormente – *The newsboy model*. No modelo anterior, o custo de pedido e o estoque inicial não eram considerados. Nesse modelo será considerado o custo de pedido *K* e o estoque inicial *x*. Sendo *L(y)* a falta de estoque esperado mais o custo por unidade adquirida, o objetivo do modelo é:

a) Definir S como o valor de *y* que minimiza $cy + L(y)$
b) Definir s como o menor valor de y que satisfaça $cs + L(s) = K + cS + L(S)$

Por isso esse modelo é chamado também de política de estoque (S, s). O valor se *S* pode ser obtido com a relação abaixo:

$$\Phi(S) = \frac{p-c}{p+h} \qquad \text{(Eq. 2.16)}$$

Para uma demanda com distribuição exponencial de parâmetro $\alpha$, *S* pode ser obtido como:

$$S = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{h+p}{h+c} \qquad \text{(Eq. 2.17)}$$

## 2.5. Modelos estocásticos de estoque com revisão periódica

De acordo com Hillier e Lieberman (2005) os modelos de revisão periódica se caracterizam pelo fato do nível de estoque ser monitorado por um período definido de tempo.

Ballou (2006) afirma que os modelos de revisão periódica são muito semelhantes aos de revisão contínua sob condições de incerteza na demanda. Porém, no caso do modelo de revisão periódica, é necessário contar com alguma proteção contra incertezas no *lead time* de entrega, pois nos modelos de revisão contínua apenas a incerteza na demanda é considerada para o cálculo do estoque de segurança. Isso faz com que os modelos de revisão periódica possuam uma formulação mais complexa. Mesmo assim, já existem soluções aproximadas razoáveis.

Em um modelo de estoque de revisão periódica para um único item, o nível de estoque é revisado em um intervalo *T*. A quantidade de pedido *Q* a ser colocada é a diferença entre de um valor de estoque máximo *M* e o estoque disponível no momento da revisão. Essa situação pode ser observada com mais detalhes na figura 3.

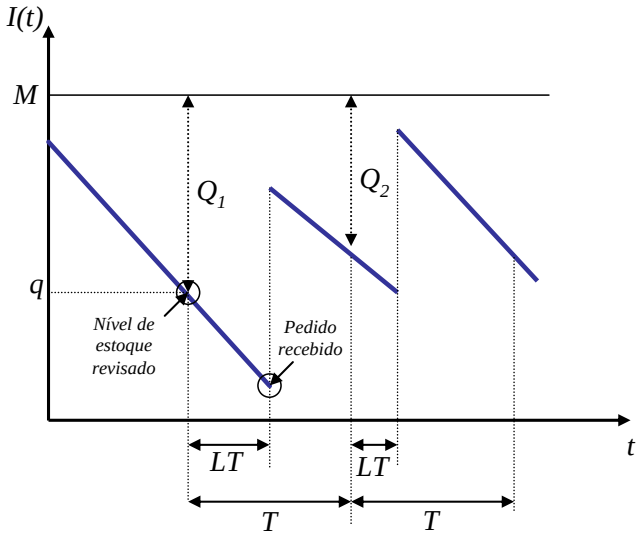


Figura 3 – Modelo estocástico de revisão periódica para um item. Adaptado de Ballou (2006)

Dessa forma, o objetivo do modelo é determinar os valores ótimos $T^*$ e $M^*$. Ballou (2006) sugere uma aproximação razoável do intervalo de revisão ótimo $T^*$ usando a formulação básica do EOQ, ou seja:

$$T^* = \frac{Q^*}{D} \qquad \text{(Eq. 2.17)}$$

Agora, admitindo que o *lead time LT* seja constante e que a demanda no intervalo entre pedidos mais o *lead time* dada por $D_{(T^*+LT)}$ está normalmente distribuída, $M^*$ pode ser calculado como sendo:

$$M^* = d(T^* + LT) + z(S'_d) \qquad \text{(Eq. 2.18)}$$

$S'_d$ é o desvio-padrão de $D_{(T^*+LT)}$ enquanto que $d(T^*+LT)$ é a mediana de $D_{(T^*+LT)}$.

## 3. Estoque de segurança

Conforme foi visto na seção anterior, os modelos de estoque podem ser classificados conforme o a natureza da demanda ou do *lead time*, podendo ser determinísticos ou estocásticos.

A definição mais direta sobre o estoque de segurança, segundo Ballou (2006), é de que se trata de certa quantidade de estoque necessária para suprir a demanda dada a incerteza na própria demanda e no *lead time*. Portanto, o estoque de segurança só é aplicado aos modelos de estoque estocásticos.

Buzzacott e Shanthikumar (1994) afirmam que nos modelos estocásticos, o estoque de segurança tem como finalidade balancear o custo de estoque com o custo da falta de estoque. Esse balanço, segundo Winston (2003), também é chamado de nível de serviço.

De acordo com Baker (1985), admitindo que as incertezas influenciam o nível de serviço são normalmente distribuídas, um fator de serviço *K* é atribuído para um nível de serviço

desejado, ou seja, o fator *K* é o múltiplo de desvios-padrão da fonte de incerteza, e pode ser obtido através do escore *z* da distribuição normal padrão. Por exemplo, para um nível de serviço desejado de 90%, o fator *K* seria de 1,28 desvios-padrão da incerteza envolvida.

Segundo Santos e Rodrigues (2006), quando a demanda é incerta e normalmente distribuída, a relação entre a quantidade de estoque de segurança necessária para um nível de serviço desejado é definida por:

$$ES = \sigma_d \cdot K \qquad \text{(Eq. 3.1)}$$

Onde:

– $\sigma_d$ = desvio-padrão da demanda durante o *lead time*
– *K* = fator de segurança, determinado pelo escore *z* para um dado nível de serviço

Pela abordagem apresentada, não ter estoque de segurança significa trabalhar com um nível de serviço de 50% (*K*=0). Nesse caso, o *lead time* é constante, o que em muitos casos não representa a realidade. Considerando um *lead time* também com distribuição normal, o cálculo do estoque de segurança se resume em:

$$ES = \sqrt{LT \cdot (\sigma_d)^2 + d^2 \cdot (\sigma_{LT})^2} \cdot K \qquad \text{(Eq. 3.2)}$$

Onde:

– *d* = demanda média
– *LT* = *lead time* médio
– $\sigma_{LT}$ = desvio-padrão do *lead time*

Pela formulação apresentada fica fácil concluir que valores muito altos de nível de serviço podem gerar uma necessidade de estoque de segurança muito alta, tornando-se muitas vezes impeditiva sua implementação. Por outro lado, os custos da falta de estoque também costumam ser altos, principalmente quando o cenário não permite que a demanda não atendida possa ser suprida futuramente (não é permitido *backorder*).

Além da dificuldade de se determinar o nível de serviço que proporcione o mínimo custo total, Eppen e Martin (1988) mostraram que nem sempre a demanda se comporta como uma distribuição normal, o que pode causar erros na determinação do estoque usando a abordagem acima mencionada.

Chopra, Reinhardt e Dada (2004) apresentam os efeitos da incerteza do *lead time* no estoque de segurança, comparando *lead times* com distribuições normal e gama.

Garcia, Lacerda e Benício (2001) afirmam que umas das fontes de incerteza no *lead time*, na qual pode causar alterações na necessidade de estoque de segurança, é a quebra de equipamentos de produção.

## 4. Confiabilidade de equipamentos baseado no conceito MMC

Segundo Lafraia (2001) a confiabilidade é a probabilidade de que um componente, equipamento ou sistema exercerá sua função sem falhas, por um período de tempo previsto, sob condições de operação específicas. Intuitivamente, pode-se afirmar que o inverso da confiabilidade é a probabilidade de um componente, equipamento ou sistema falhar. A freqüência com que as falhas ocorrem, em um certo intervalo de tempo é denominada taxa de falhas $\lambda$.

Siqueira (2005) apresenta uma modelagem estocástica para a confiabilidade. Sendo:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \qquad \text{(Eq. 4.1)}$$

Onde *f(t)* é a função densidade de probabilidade de falha e *F(t)* a distribuição de probabilidade acumulada de falha. Com isso, chega-se à confiabilidade *C(t)*:

$$C(t) = \int_{t}^{\infty} f(t) \cdot dt = 1 - \int_{-\infty}^{t} f(t) \cdot dt = 1 - F(t) \qquad \text{(Eq. 4.2)}$$

Ainda segundo Siqueira (2005), a confiabilidade C(t), a densidade de probabilidade de falha f(t) e a probabilidade acumulada de falha podem ser expressas simultaneamente pela função de taxa de falha do equipamento $\lambda(t)$:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{C(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{d \log C(t)}{dt} \qquad \text{(Eq. 4.3)}$$

De acordo com Lafraia (2001) a confiabilidade de sistemas depende da confiabilidade individual de cada componente que compõe e da forma de associação.

Em uma associação em série a falha de qualquer componente provoca a falha de todo o sistema, ficando este totalmente inoperante. A relação entre a confiabilidade do sistema $C_S(t)$ e a confiabilidade de seus componentes é dada por:

$$C_S(t) = C_1(t) \times C_2(t) \times \ldots \times C_n(t) \qquad \text{(Eq. 4.4)}$$

Ou seja, na associação de componentes em série, a confiabilidade do sistema é menor que a do componente menos confiável.

Já na associação de componentes em paralelo, o sistema somente irá falhar quando todos os componentes falharem. A confiabilidade do sistema em paralelo $C_p(t)$ é dada por:

$$C_p(t) = 1 - \{[1 - C_1(t)] \times [1 - C_2(t)] \times \ldots \times [1 - C_n(t)]\} \qquad \text{(Eq. 4.5)}$$

Na associação em paralelo, a confiabilidade do sistema é maior que a do componente mais confiável. Em manutenção, a associação em paralelo também é chamada de redundância.

## 5. Apresentação do problema

Na seção 2 foram mostrados diversos modelos de estoque, nos quais podem ser classificados basicamente como determinísticos ou estocásticos, de acordo com a natureza da demanda e do *lead time*. No caso dos modelos estocásticos, a incerteza na demanda e no *lead time* cria a exigência de considerar um estoque adicional. Esse estoque adicional, ou estoque de segurança, foi mostrado na seção 3, na qual verificou-se a sensibilidade na sua determinação frente às incertezas de *lead time* e que um das fontes desse tipo de incerteza é justamente a quebra de equipamentos, comprometendo a reposição do estoque. Já na seção 4 foi apresentado o conceito de Manutenção Centrada na Confiabilidade, na qual se utiliza de dados históricos de falhas do equipamento sendo assim possível determinar sua confiabilidade do equipamento, ou seja, a probabilidade do equipamento operar em um dado intervalo de tempo, e assim planejar políticas ótimas de manutenção.

Empresas na qual o ambiente de negócio não permite trabalhar com falta de estoque, ou seja, toda a demanda não atendida no período resulta em custos de estoque não utilizado mais perda de receita de venda, a determinação do estoque de segurança deve ser a mais assertiva possível. Nesse cenário, uma falta de estoque pode ser causada por indisponibilidade produtiva. Sendo assim, havendo possibilidade de estimar a probabilidade de ocorrência de

qualquer indisponibilidade produtiva, é prudente que seja reservada uma parcela de estoque de segurança para cobrir essa chance de falta.

Alguns trabalhos anteriores já abordaram a relação entre o estoque de segurança e a quebra de equipamentos. Cheung e Hausman (1997) iniciaram os estudos envolvendo a relação entre a manutenção preventiva e o estoque de segurança. Das e Sarkar (1999) apresentam os efeitos da manutenção preventiva em um modelo de estoque baseado na política (s, S). Já os trabalhos de Dohi, Okamura e Osaki (2001) e Salameh e Ghattas (2001) relacionam a manutenção preventiva com o estoque de segurança em ambientes *JIT*. Rezg, Xie e Mati (2004) aplicam simulação para obter uma política ótima de estoques e manutenção preventiva. Gharbi, Kenné e Beit (2007) apresentam um modelo ótimo para determinação de estoque de segurança baseado em manutenção preventiva com restrições mais realistas comparado aos trabalhados anteriores.

Devido à importância e relevância do problema aqui apresentado, esse estudo procura mostrar como a confiabilidade de um equipamento pode influenciar na determinação do estoque de segurança do bem produzido pelo mesmo.

## 6. Metodologia de pesquisa

Para avaliar os efeitos da confiabilidade de equipamentos na determinação do estoque de segurança, será utilizada a simulação discreta estocástica. Um modelo foi desenvolvido em simulador Arena, contendo as seguintes premissas:

a) Modelo de estoque estocástico de revisão contínua, com revisão diária do estoque;
b) A demanda seguirá uma distribuição normal, com média $D$ = 30 e desvio-padrão $\sigma_d$ = 5;
c) Para fins de simplificação, a reposição do estoque será instantânea e a quantidade a ser reposta no estoque considerará a demanda do último período de revisão;
d) Toda a demanda não atendida no período será perdida, ou seja, não será permitido formar *backorder*.

Para a modelagem da confiabilidade do equipamento foi utilizado um bloco de programação *Decide* parametrizado como *2-way by Chance*, na qual o valor lógico verdadeiro representa a confiabilidade calculada pelo método MMC descrito na seção 4.

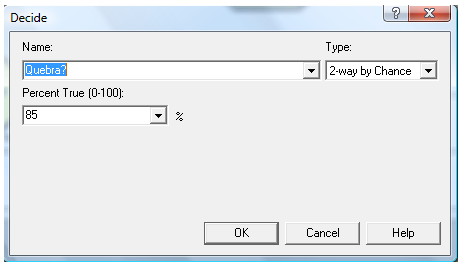


Figura 6.1 – Bloco de programação para modelagem da confiabilidade do equipamento

O estoque de segurança foi modelado como uma constante *ES*, e para o caso de só haver incerteza na demanda, pode ser determinado como sendo:

$$ES_D = \sigma_d \times K \qquad \text{(Eq. 6.1)}$$

No caso da confiabilidade, no modelo ela representada como a chance de sucesso de uma variável aleatória, ou seja, para uma confiabilidade $C$ = 90%, o equipamento possui uma probabilidade igual a 0,9 de estar disponível quando houver alguma necessidade. Sendo assim, quanto maior a confiabilidade do equipamento, menor a necessidade de estoque de

segurança. Sendo assim, o estoque de segurança considerando a confiabilidade de equipamento foi definido como:

$$ES_C = \frac{\overline{D}}{C} - \overline{D} \qquad \text{(Eq. 6.2)}$$

Para executar a simulação, foram considerados os seguintes cenários e parâmetros (nível de serviço $NS$ = 90%; ponto de reposição $RP$ = 38; estoque inicial $E_i$ = 45):

| Cenário | Descrição | ES | Confiabilidade |
|---|---|---|---|
| 1 | Sem considerar estoque de segurança | zero | 75% |
| 2 | ES para incerteza na demanda | 7 | 75% |
| 3 | ES para cobrir confiabilidade | 10 | 75% |
| 4 | ES para ambos os casos dos cenário (2) e (3) | 17 | 75% |
| 5 | Aumento de confiabilidade com ES do cenário (2) | 7 | 85% |
| 6 | Aumento de confiabilidade e cálculo de novo ES | 12 | 85% |

Tabela 6.1 – Cenários do modelo de simulação

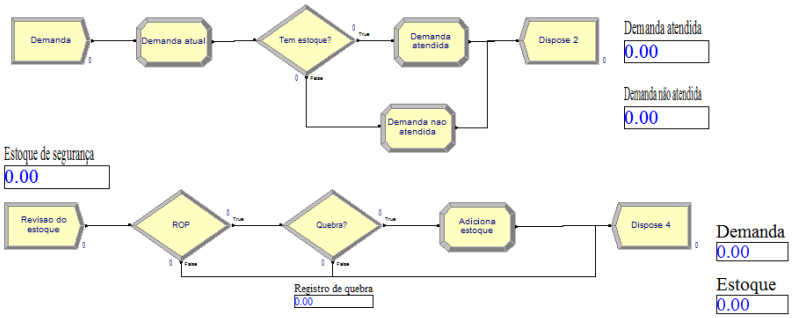


Figura 6.2 – Modelo de simulação para avaliação do efeito da confiabilidade no estoque de segurança

O período simulado foi de 30 dias, com 10 replicações para cada cenário. Tabela apresenta os resultados de cada cenário:

| Cenário | Média de demanda atendida | Média de demanda não atendida | Média de quebra |
|---|---|---|---|
| 1 | 270 | 162 | 4,2 |
| 2 | 292 | 141 | 4,2 |
| 3 | 300 | 133 | 4,2 |
| 4 | 316 | 117 | 4,2 |
| 5 | 333 | 100 | 2,3 |
| 6 | 345 | 87 | 2,3 |

Tabela 6.2 – Cenários do modelo de simulação

## 7. Conclusão

Conforme os dados apresentados na simulção, considerar a confiabilidade do equipamento para a determinação do estoque de segurança, no ambiente modelado, é vantajoso pelo fato por garantir uma cobertura maior de estoque contra problemas de indisponibilidade por quebras, comprovado comparando-se os cenários (3) e (4).

Comparando os cenários (5) e (2), com o aumento da confiabilidade do equipamento melhorou a média de demanda atendida em 12%. Mesmo assim, calculando-se um valor de estoque de segurança para a nova confiabilidade, caso do cenário (6), a melhora em relação ao cenário (2) será de 15%.

O presente artigo procurou demonstrar que a aplicação dos métodos de confiabilidade, já largamente difundidos na gestão da manutenção, pode ser explorada na gestão dos estoques. Claro que aproximar as variáveis aleatórias em distribuições normais não apresenta resultados próximos aos da realidade, nem era intenção desse estudo se aprofundar nesse aspecto. O objetivo foi atingido pelo fato de demonstrar que exitem possibilidade de estudos futuros abordando com mais profundidade o uso da confiabilidade na gestão dos estoques. Uma sugestão para trabalhos futuros é a aplicação de outras distribuições de probabilidade que se aderem melhor a dados reais.

## Referências

**BAKER, K. R.** *Safety Stocks and Component Commonality.* Journal of Operations Management Vol.6, n.1, p.13-22, 1985.

**BALLOU, R.H.** *Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial*. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

**BUZACOTT, J. A. & SHANTHIKUMAR, J. G.** *Safety Stocks versus Safety Time in MRP Controlled Production Systems.* Management Science Vol. 40, n.12, p.1678-1689, 1994.

**CHEUNG, K. L. & HAUSMAN, W. H.** *Joint Determination of Preventive Maintenance and Safety Stocks in an Unreliable Production Environment.* Naval Research Logistics Vol. 44, p.257-272, 1997.

**CHOPRA, S.; REINHARDT, G. & DADA, M.** *The Effect of Lead Time Uncertainty on Safety Stocks.* Decision Sciences Vol. 35, n.1, 2004.

**DAS, T. K. & SARKAR, S.** *Optimal preventive maintenance in a production inventory system.* IIE Transactions Vol. 31, p.537-551, 1999.

**DOHI, T.; OKAMURA, H. & OSAKI, S.** *Optimal control of preventive maintenance schedule and safety stocks in an unreliable manufacturing environment.* International Journal of Production Economics Vol. 74, p.147-155, 2001.

**EPPEN, G. D. & MARTIN, R. K.** *Determining Safety Stock in the Presence of Stochastic Lead Time and Demand.* Management Science Vol. 34, n.11, p.1380-1390, 1988.

**GARCIA, E. S.; LACERDA, L. S. & BENÍCIO, R. A.** *Gerenciando Incertezas no Planejamento Logístico: O papel do Estoque de Segurança.* Revista Tecnologística, Fevereiro 2001, São Paulo, Disponível em: http://www.tfscomunicacao.com.br/imgs/sala_estudo/273_arquivo.pdf. Acesso em 09 de abril de 2011.

**GHARBI, A.; KENNÉ, J. P. & BEIT, M.** *Optimal safety stocks and preventive maintenance periods in unreliable manufacturing systems.* International Journal of Production Economics Vol. 107, p.422-434, 2007.

**HILLER, F.S. & LIEBERMAN, G.J.** *Introduction to Operations Research*. 8 ed.: McGraw-Hill, 2005.

**LAFRAIA, J. R. B.** *Manual de Confiabilidade, Mantenabilidade e Disponibilidade.* Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

**LEE, H.L. & NAHMIAS, S.** *Single-Product, Single-Location Models.* S. C. Graves et al. Handbooks in OR & MS Vol. 4, Charpter 1, 1993.

**MAKRIDAKIS, S.** *Accuracy measures: theoretical and practical concerns.* International Journal of Forecasting, n.9, p.527-529, 1993.

**MAKRIDAKIS, S. & HIBON, M.** *Accuracy of Forecasting: An Empirical Investigation.* Journal of the Royal Statistical Society Vol. 142, n.2, p.97-145, 1979.

**MARTINS, P.G. & LAUGENI, F.P.** *Administração da Produção*. 2 ed.: Saraiva, 2005.

**PINTO, S. H. B.; CARVALHO, M. M. & HO, L.L.** *Implementação de Programas de Qualidade: Um Survey em Empresas de Grande Porte no Brasil.* Gestão & Produção Vol. 13, n.2, p.191-203, 2006.

**REZG, N.; XIE, X. & MATI, Y.** *Joint optimization of preventive maintenance and inventory control in a production line using simulation.* International Journal of Production Research Vol. 42, n.10, p.2029-2046, 2004.

**SALAMEH, M. K. & GHATTAS, R. E.** *Optimal just-in-time buffer inventory for regular preventive maintenance.* International Journal of Production Economics Vol. 74, p.157-161, 2001.

**SANTOS, A. M. & RODRIGUES, I. A.** *Controle de Estoque de Materiais com Diferentes Padrões de Demanda: Estudo de Caso na Indústria Química.* Gestão & Produção Vol. 3, n.2, p.221-231, 2006.

**SARI, K.** *On the benefits of CPFR and VMI: A comparative simulation study.* International Journal of Production Economics n.113, p.575-586, 2008.

**SIQUEIRA, I. P.** *Manutenção Centrada na Confiabilidade: manual de implementação.* Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

**WINSTON, W. L.** Operations Research – Application and Algorithms. 4 ed.: Duxbury Press, 2003.