



SPOLM 2007

ISSN 2175-6295

Rio de Janeiro- Brasil, 08 e 09 novembro de 2007.

# GESTÃO DE ESTOQUES DE PEÇAS DE REPOSIÇÃO DE SISTEMAS CONSTRUÍDOS COM TECNOLOGIA COTS UTILIZANDO SIMULAÇÃO

**Cleber Almeida de Oliveira**

Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA

Praça Marechal Eduardo Gomes 50, Vila das Acácias São José dos Campos, SP, Brasil

[cleber@ita.br](mailto:cleber@ita.br)

**Joana Ramos Ribeiro**

Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA

Praça Marechal Eduardo Gomes 50, Vila das Acácias São José dos Campos, SP, Brasil

[joana@ita.br](mailto:joana@ita.br)

**Amanda Cecília Simões da Silva**

Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA

Praça Marechal Eduardo Gomes 50, Vila das Acácias São José dos Campos, SP, Brasil

[amanda@ita.br](mailto:amanda@ita.br)

**Mischel Carmen N. Belderrain**

Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA

Praça Marechal Eduardo Gomes 50, Vila das Acácias São José dos Campos, SP, Brasil

[carmen@ita.br](mailto:carmen@ita.br)

## Resumo

O objetivo do presente artigo é contribuir para o aprimoramento do processo de tomada de decisão para a construção de políticas de estoques que visem a melhorar a disponibilidade de sistemas baseados em tecnologia *Commercial Off-The-Shelf* (COTS).

Neste intuito, um modelo de simulação para observar o comportamento de diversos cenários ou estratégias de políticas de estoque de itens sobressalentes de baixo consumo foi desenvolvido com a finalidade de facilitar a análise de sensibilidade dos parâmetros ou fatores de entrada do problema. A investigação dos efeitos de múltiplos parâmetros sobre a variável de saída e a determinação do parâmetro de entrada que maximiza os resultados foi realizada utilizando um planejamento de experimento de simulação com enfoque na metodologia “ $2^k$  Fatorial”.

**Palavras-Chaves:** COTS, Simulação, Planejamento de Experimentos, Política de Estoque.

## Abstract

The goal of this paper is to contribute for the improvement of the decision making process in the construction of stock policies which improves the availability of systems based on Commercial-Off-The-Shelf (COTS) technology.

In this context, a simulation model to observe the results of many scenarios or strategies of stock policies for low consumption spare parts was developed aiming to facilitate

the sensibility analysis of the input parameters. The investigation of the effects of multiple input parameters on an output variable (response) and the determination of the input parameter that maximizes results was provided by using “ $2^k$  Fatorial” design of experiments.

**Keywords:** COTS, Simulation, Design of Experiments, Stock Policies.

## 1. INTRODUÇÃO

Com o objetivo de minimizar os custos e o tempo de desenvolvimento de sistemas digitais tanto militares quanto civis, há uma tendência mundial de passar a utilizar produtos COTS (*Commercial-Off-The-Shelf*). Esta sistemática resume-se em adquirir módulos, cartões eletrônicos e software disponíveis no mercado por diversos fornecedores, freqüentemente denominados “componentes comerciais de prateleira”, não mais sendo necessário desenvolver soluções próprias de hardware e software. Entretanto, a obsolescência precoce desses produtos COTS e o fato da manutenção ser realizada pelo fabricante representam os pontos críticos no aspecto logístico para a gestão destas peças de reposição de baixo consumo.

Segundo Ballou (2006), a gestão de estoque de itens de baixo consumo é uma das peças chave na estratégia logística para que a organização permaneça competitiva no mercado. Isto porque os elevados custos de aquisição, *lead time* longo para suprimento e os baixos giros, bem como os limites estipulados para investimentos, são armadilhas presentes na tomada de decisão de quanto pedir, quando pedir e quanto manter em estoque de segurança.

Segundo Wanke (2003), a impossibilidade de assumir o consumo de peças de reposição como aderente à distribuição normal torna mais complexa a resposta à seguinte questão: qual deve ser o ponto de pedido e o estoque de segurança de determinada peça de reposição para que a probabilidade da falta seja tão pequena quanto se desejar?

Segundo Bhat (1984), a gestão de estoques de peças de reposição de bens de capital de baixo consumo constitui um capítulo à parte na literatura, principalmente quando há alguma probabilidade de reparo dos itens avariados.

Este estudo abordará apenas o aspecto da manutenibilidade pelo fabricante e a atuação do sistema de compra durante o período médio de vida do produto COTS. A gestão completa de produtos COTS implicaria em acrescentar no modelo proposto a necessidade de considerar o ciclo de vida destes produtos e, conseqüentemente, determinar a melhor política de estoque e de compra a ser utilizada visando a minimizar os custos de adaptação do sistema para o componente substituído do item obsoleto.

O objetivo do presente artigo é contribuir para o aprimoramento do processo de tomada de decisão para a construção de políticas de estoques que visem a melhorar a disponibilidade de sistemas baseados em tecnologia COTS. Neste intuito, um modelo de simulação para observar o comportamento de diversos cenários ou estratégias de políticas de estoque de itens sobressalentes de baixo consumo foi desenvolvido com a finalidade de facilitar a análise de sensibilidade dos parâmetros ou fatores de entrada do problema. A investigação dos efeitos de múltiplos parâmetros sobre a variável de saída e a determinação do parâmetro de entrada que maximiza a disponibilidade foi realizada utilizando um planejamento de experimento de simulação com enfoque na metodologia “ $2^k$  Fatorial”. Esta disponibilidade de sobressalentes reflete diretamente na capacidade de manutenibilidade e, conseqüentemente, na operacionalidade do sistema.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: Na seção 2 são descritos os conceitos de COTS, gerenciamento de estoques, gestão de estoques de peças de reposição de baixo consumo e projeto de experimento de simulação. Na seção 3 é apresentado o estudo de caso, que trata da experiência da Marinha do Brasil (MB) na utilização de tecnologia COTS no Programa de Modernização das Fragatas (ModFrag), bem como a modelagem utilizada para a simulação. Na seção 4 são apresentadas as conclusões e perspectivas futuras para análise do referido problema.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. DEFINIÇÃO DE COTS

O termo COTS, de acordo com Morisio (2000), é definido como sendo o item que não será desenvolvido pelo usuário e cuja propriedade e utilização possa ser vendida, alugada ou licenciada para o público em geral.

A característica que envolve o maior risco na utilização de produtos COTS é o fato do componente ser desenvolvido e mantido por uma fonte incontrollável, ou seja, o usuário não interfere no tempo pelo qual o fabricante manterá o produto na linha de produção, e na estrutura de manutenção do item. O desenvolvimento de sistemas com base em tecnologia COTS produz vantagens e desvantagens apresentadas na tabela 1.

Tabela 1- Vantagens e desvantagens do uso da tecnologia COTS

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"><li>• Custo de compra e o tempo necessário para ter disponível a funcionalidade é normalmente uma fração do estipulado para o desenvolvimento;</li><li>• Redução da quantidade de recursos materiais e humanos no desenvolvimento do sistema;</li><li>• A funcionalidade do produto já foi testada e utilizada por terceiros; e</li><li>• A manutenção é realizada pelo fabricante – o custo de manutenção global é normalmente uma fração do custo de manutenção própria.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Nenhum controle sobre os requisitos para os produtos COTS;</li><li>• Baixo controle na manutenção do produto COTS – o fabricante decide quando e se irá reparar ou não determinadas falhas;</li><li>• Documentação pode ser inconsistente;</li><li>• Nenhum controle sobre atualização dos itens COTS ou do seu ciclo de vida - diferentes versões podem não ser compatíveis;</li><li>• A curva de aprendizagem ainda é necessária – embora não haja desenvolvimento, faz-se necessário estudo sobre o produto de modo a possibilitar a sua integração no sistema.</li></ul>

Fonte: Morisio (2000)

### 2.2. GERENCIAMENTO DOS ESTOQUES

Existem duas filosofias para gerenciamento dos níveis de estoque: “Empurrar” (*push*) e “Puxar” (*pull*). A filosofia de “empurrar” ocorre quando as economias de escala de compra ou produção suplantam os benefícios dos níveis mínimos de estoques coletivos conseguidos pelo método de puxar. A filosofia de “puxar” (*pull*) prevê a demanda e determina a quantidade ótima para estoque.

Na filosofia de “puxar”, os métodos de controle de estoques utilizados são: o método do ponto de pedido e o método de revisão periódica. Uma variação do método do ponto de pedido é o método Min-Máx ou política (s-S), onde a demanda é estocástica e está associada com os itens de movimentação lenta. Além disso, o método Min-Máx considera que um pedido é colocado quando o nível de estoque alcança um valor mínimo e a quantidade a ser pedida é determinada pela diferença entre a quantidade-alvo M (nível máximo e ótimo) e a quantidade em mãos no estoque. Na literatura, a filosofia ‘puxar’ aplicando o método ponto de pedido – Min-Máx é a mais empregada para gestão de estoques de peças de baixo consumo.

### 2.3. GESTÃO DE ESTOQUES DE PEÇAS DE REPOSIÇÃO DE BAIXO CONSUMO

As peças de reposição que são requeridas lentamente durante o ano pelo sistema são classificadas por empresas e acadêmicos como itens de baixo e baixíssimo consumo. Os itens de baixíssimo consumo seriam aqueles que apresentam consumo médio histórico inferior a uma unidade por ano. Já os de baixo consumo são aqueles itens cujo consumo médio histórico varia entre 1 a 300 unidades por ano, ou seja, no máximo uma unidade por dia.

A gestão de estoque de peças de reposição pode corresponder a uma parcela significativa dos custos corporativos das empresas. Segundo Wanke (2003), apesar desta gestão representar significativa imobilização de capital, ainda é pouco elucidado no ambiente

gerencial. Os resultados de uma má gestão de estoques de peças de reposição são os mesmos encontrados na gestão de estoques de produtos acabados ou de matéria-prima, sendo eles apresentados na tabela 2.

Tabela 2- Resultados de políticas de gerenciamento de estoque de peças de reposição

Excesso de estoques	Resultado de uma política de antecipação ao uso futuro, implicando em elevados custos de oportunidade de manter estoques e custos de obsolescência
Falta de estoques	Resultado de uma política conservadora em relação à taxa real de utilização dos estoques, implicando na deterioração de seus níveis de disponibilidade

Fonte: Wanke (2002)

Portanto, o propósito da gestão de estoques de peças de reposição é semelhante a da gestão de matérias-primas, produtos em processamento e produtos acabados: Reduzir os níveis de estoque sem comprometer a sua disponibilidade.

O modelo recomendado pela literatura para os itens de baixo consumo é a política de estoques baseada na definição do nível de reposição, que considera a probabilidade de não faltar peças em estoque durante o tempo de resposta, ou seja, o tempo entre a imposição do pedido de compra até a entrega do item. A quantidade de reposição (pedido) deve considerar o balanço entre custos de oportunidade de manter estoque, os custos associados ao pedido, bem como o limite de investimentos.

Em muitas empresas, é prática comum estimar ou arbitrar um nível de custos associado à indisponibilidade da peça no estoque para uso imediato. Este custo será maior ou mais relevante quanto maior for a importância do sistema para a empresa.

Dois fatores importantes devem ser considerados ao estabelecer níveis de estoque: a) Custo de manutenção do estoque, representado em sua maioria pelo custo de oportunidade, é a parcela do capital da organização que poderia ser capital de giro para pagamentos de despesas correntes ou ser investida em negócios mais lucrativos, porém se encontra imobilizada no estoque, e b) O custo da falta de estoque de peças de reposição de bens de capital que pode causar a paralisação de uma área de trabalho por dias e até meses, dependendo do tempo de reposição da peça em falta.

O principal objetivo da gestão de estoque de peças de reposição é garantir que o produto esteja disponível. Esta disponibilidade de peças pode ser medida com base na probabilidade de atendimento do pedido ou nível de serviço que, para apenas um determinado item, pode ser obtido como:

$$\text{Nível de Serviço} = 1 - \frac{\sum \text{Tempo Inoperância devido à Falta}}{\text{Tempo Total Ciclo de Vida do Sistema}} \quad (1)$$

Conhecer o nível de serviço da gestão de estoque torna-se fundamental para que ações possam ser tomadas em busca de melhorias nos serviços para unidades requerentes.

#### 2.4. PROJETO DE EXPERIMENTO DE SIMULAÇÃO

Segundo Shannon (1975), a simulação consiste no processo de elaborar um modelo de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo, tendo como propósito a compreensão do comportamento do sistema ou a avaliação de diversas estratégias (dentro do limite imposto por um critério ou um conjunto de critérios).

Uma maneira de observar o efeito de determinado fator de entrada é fixar os demais fatores em um determinado valor e realizar corridas variando-se os valores do fator de interesse e observar a resposta gerada (enfoque *ONE-WAY*). Entretanto, este planejamento não é muito eficiente, haja vista que a condução dos experimentos não permite medir interações entre os fatores. A condução dos experimentos deve ser realizada baseada em uma metodologia capaz de investigar os efeitos das múltiplas variáveis dos *INPUTS* na variável de *OUTPUT* (resposta). O planejamento de experimentos consiste em montar uma matriz de corridas, ou de testes, na qual são definidos os cenários ou as estratégias por meio de

alterações nos valores das variáveis ou fatores de entrada. Cada linha desta matriz corresponde a um experimento e após a sua condução são registrados os resultados das variáveis de saída. O efeito de um determinado fator, neste método, será obtido de uma combinação aritmética dos resultados de cada corrida. O objetivo da aplicação deste método é obter o máximo possível de informações sobre os fatores de entrada, sobre seus efeitos na resposta e sobre suas eventuais inter-relações, ao menor custo possível. (Montgomery, 1991). O projeto de experimento de simulação é fundamental para o entendimento dos resultados e, conseqüentemente, para a análise de sensibilidade dos parâmetros ou fatores do sistema. A figura 1 apresenta um diagrama de experimento que representa a importância da definição dos fatores ou parâmetros de entrada, que são as variáveis que afetam o desempenho do sistema.

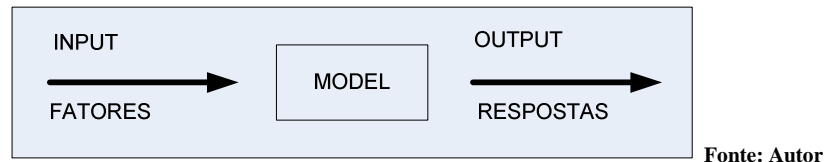


Figura 1 – Diagrama de Experimento

A figura 2 apresenta um diagrama esquemático da análise de sensibilidade dos parâmetros que permite o seu refinamento ou simplificação.

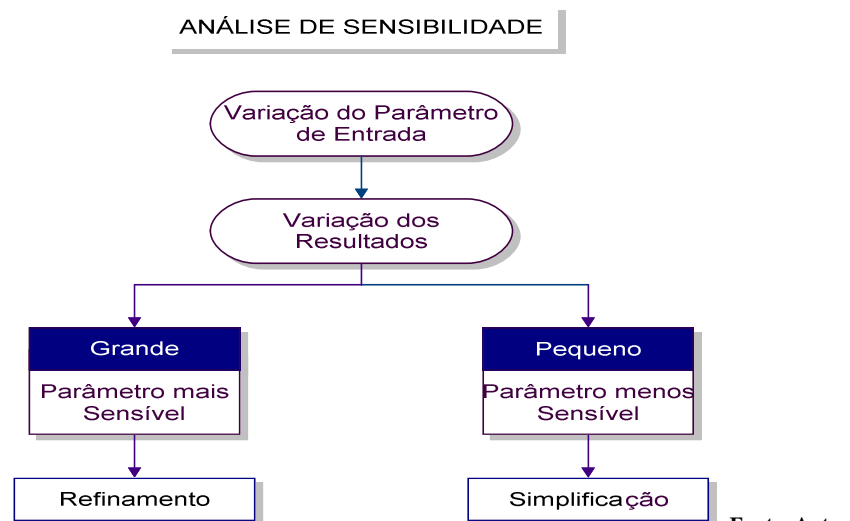


Figura 2 – Diagrama Esquemático da Análise de Sensibilidade

O planejamento do experimento tem como característica básica o estudo simultâneo de vários fatores em contrapartida da idéia de variar um fator de cada vez (Montgomery, 1991). É desejado observar se um fator interage com o outro, ou seja, se o efeito de um fator depende do nível que o outro fator esteja. Desta forma o sistema atua como uma função, inicialmente desconhecida, agindo sobre as variáveis de entrada (parâmetros) e produzindo como saída as respostas observadas que serão analisadas. Portanto, o planejamento do experimento consiste em definir os fatores com seus respectivos níveis, e a melhor metodologia para a aplicação da análise de sensibilidade. Dentre as metodologias de planejamento de experimentos, a mais divulgada é a '2<sup>k</sup> Fatorial', onde o 2 (dois) indica o número de níveis para cada fator de entrada e o expoente K representa o número de fatores de controle empregados, ou seja, um planejamento do tipo 2<sup>3</sup> existem 3 fatores de controle e 2 níveis ou valores pré-estabelecidos para cada fator.

Como ilustração suponha a matriz apresentada na Tabela 3 para um planejamento fatorial 2<sup>3</sup>:

Tabela 3- Exemplo de matriz de planejamento

Combinação de Fatores	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Resposta
1	-	-	-	R1
2	+	-	-	R2
3	-	+	-	R3
4	+	+	-	R4
5	-	-	+	R5
6	+	-	+	R6
7	-	+	+	R7
8	+	+	+	R8

Para se obter o efeito principal de um determinado fator ( $e_j$ ) deve-se realizar a soma das diferenças das respostas obtidas movendo o fator ( $e_j$ ) do nível (+) para o nível (-) enquanto todos outros fatores estão fixos e dividir por  $2^{k-1}$ , assim temos:

$$\text{Efeito do fator 1} = e_1 = \frac{(R2 - R1) + (R4 - R3) + (R6 - R5) + (R8 - R7)}{4}$$

$$\text{Efeito do fator 2} = e_2 = \frac{(R3 - R1) + (R4 - R2) + (R7 - R5) + (R8 - R6)}{4}$$

$$\text{Efeito do fator 3} = e_3 = \frac{(R5 - R1) + (R6 - R2) + (R7 - R3) + (R8 - R4)}{4}$$

Observe que para o cálculo de  $e_j$  utilizamos as médias das variações dos efeitos considerando os outros fatores em níveis diferenciados.

Para se obter o grau de interação entre dois fatores calcula-se o efeito das mudanças nas respostas (enfoque *TWO-WAY*) da seguinte maneira:

$$\text{Interação entre os fatores 1 e 2} = e_{12} = \frac{1}{2} \left[ \frac{(R4 - R3) + (R8 - R7)}{2} - \frac{(R2 - R1) + (R6 - R5)}{2} \right]$$

$$\text{Interação entre os fatores 1 e 3} = e_{13} = \frac{1}{2} \left[ \frac{(R6 - R5) + (R8 - R7)}{2} - \frac{(R2 - R1) + (R4 - R3)}{2} \right]$$

$$\text{Interação entre os fatores 2 e 3} = e_{23} = \frac{1}{2} \left[ \frac{(R7 - R5) + (R8 - R6)}{2} - \frac{(R3 - R1) + (R4 - R2)}{2} \right]$$

Para se obter o grau de interação entre os três fatores calcula-se o efeito das mudanças nas respostas da seguinte maneira:

$$\text{Interação entre os fatores 1, 2 e 3} = e_{123} = \frac{1}{2} \left[ \frac{(R8 - R7) - (R6 - R5)}{2} - \frac{(R4 - R3) - (R2 - R1)}{2} \right]$$

Naturalmente, existem software tais como o MINITAB e ESTATÍSTICA que montam a matriz de experimento e realizam os cálculos necessários para a obtenção dos efeitos dos fatores e suas interações.

### 3. ESTUDO DE CASO

No Programa de Modernização das seis Fragatas da Classe “Niterói” iniciado em 1994 e finalizado em 2005, conhecido como ModFrag, foi adotado pela primeira vez na Marinha do Brasil (MB) a tecnologia COTS (*Commercial Off-The-Shelf*), que consiste na utilização, sempre que possível, de produtos comerciais de prateleira para aplicação em sistemas militares. A adoção da política COTS pela MB permitiu minimizar os custos de investimento e o tempo de desenvolvimento dos sistemas da ModFrag.

Brick & Rosa (2001) realizaram estudo comparativo entre sistemas construídos com tecnologias COTS e customizada para cada cliente, obedecendo a um padrão MIL-SPEC e ressaltaram os seguintes questionamentos na utilização da política COTS: a) a produção e manutenção de item COTS possuem vida curta, em torno de 2 a 5 anos. Entretanto, o ciclo de vida de sistemas militares dura em média 15 anos. Como lidar com a obsolescência precoce de produtos comerciais e adequar os sistemas à elevada frequência de atualização destes produtos? ; b) o custo de adequação do sistema para o recebimento do item COTS atualizado compromete o custo reduzido de aquisição do item? Embora o componente atualizado seja do mesmo fabricante, nem sempre é compatível com a versão anterior; e c) como estruturar um apoio logístico eficaz, que seja flexível o suficiente para lidar com tais atualizações?

Com fulcro na questão (c) advinda do estudo de Brick&Rosa (2001), este trabalho visa a contribuir para o aprimoramento do processo de tomada de decisão para a construção de políticas de estoques que visem a melhorar a disponibilidade de sistemas baseados em tecnologia COTS na Marinha do Brasil (MB). O modelo de simulação desenvolvido permite replicar diversos cenários com a finalidade de facilitar a análise de sensibilidade dos parâmetros do problema.

### 3.1. COLETA DE DADOS

Este estudo de caso utilizou o mesmo problema de Brick&Rosa (2001), no qual a unidade de análise foi o Console de Controle de Armas Acima D'Água (CCA), que realiza o controle do canhão de 4.5 polegadas das Fragatas Modernizadas. As fontes primárias para a coleta dos dados referentes aos itens COTS foram os respectivos fabricantes, CETM e os livros de registro de avarias das duas primeiras Fragatas que foram incorporadas ao setor operativo. Os demais dados foram obtidos junto à Diretoria-Geral de Material da Marinha através de publicações e entrevistas com especialistas do setor de projetos de modernização.

Por intermédio do Livro de Registro de Avarias foi possível calcular o tempo médio entre falhas (MTBF - *Mean Time Between Failure*). O MTBF é importante, pois permite o dimensionamento de estoques de reposição e planos de manutenção. Além disso, observou-se que o MTBF obedece a uma distribuição exponencial com taxa de 2 por ano.

Outras “grandezas” consideradas relevantes para o estudo estão na tabela 4. Tais grandezas são importantes para estabelecer um planejamento adequado que possibilite uma disponibilidade de sobressalentes para o sistema.

RCT (*Repair cycle time*) – Tempo médio de um ciclo de reparo no fabricante, considerando o ciclo desde o momento do envio ao fabricante até o retorno do componente reparado. O tempo de reparo será estocástico aderente à distribuição uniforme;

PLT (*Procurement Lead Time*) – Tempo médio de espera para a obtenção de um sobressalente junto ao fornecedor. O tempo de obtenção será estocástico aderente à distribuição uniforme;

NRTS (*Non Repairable This Station*) – Probabilidade de um sobressalente não ser reparado pelo fabricante ou ter retornado ao Brasil ainda com defeito. Esta variável aleatória será determinística; e

Quantidade Mínima e Máxima de itens no sistema também será uma variável determinística.

Tabela 4 - Dados relevantes para o estudo

Paradigma	RCT (dias)	PLT (dias)	NRTS (Fabricante)
COTS	540	365	20%

### 3.2. MODELAGEM POR EVENTO

A modelagem utilizada neste trabalho foi por eventos e será apresentada nas figuras 3, 4 e 5. Os eventos identificados são: Chegada de uma Falha; Término de Reparo; e Término de Compra.

O evento chegada de uma falha é apresentado na figura 3 cabendo as seguintes observações: 1) quando a quantidade de itens no sistema<sup>1</sup> for menor que o mínimo estipulado, então a Central de Compras é acionada para realizar uma compra na quantidade igual ao valor

máximo de itens no sistema menos a quantidade de itens no momento do pedido; e 2) quando o estoque é igual a zero, o sistema entra no estado de inoperante, ou seja, não há peça de reposição para a falha gerada. Logo, o sistema voltará ao estado operante quando o estoque for maior que zero.

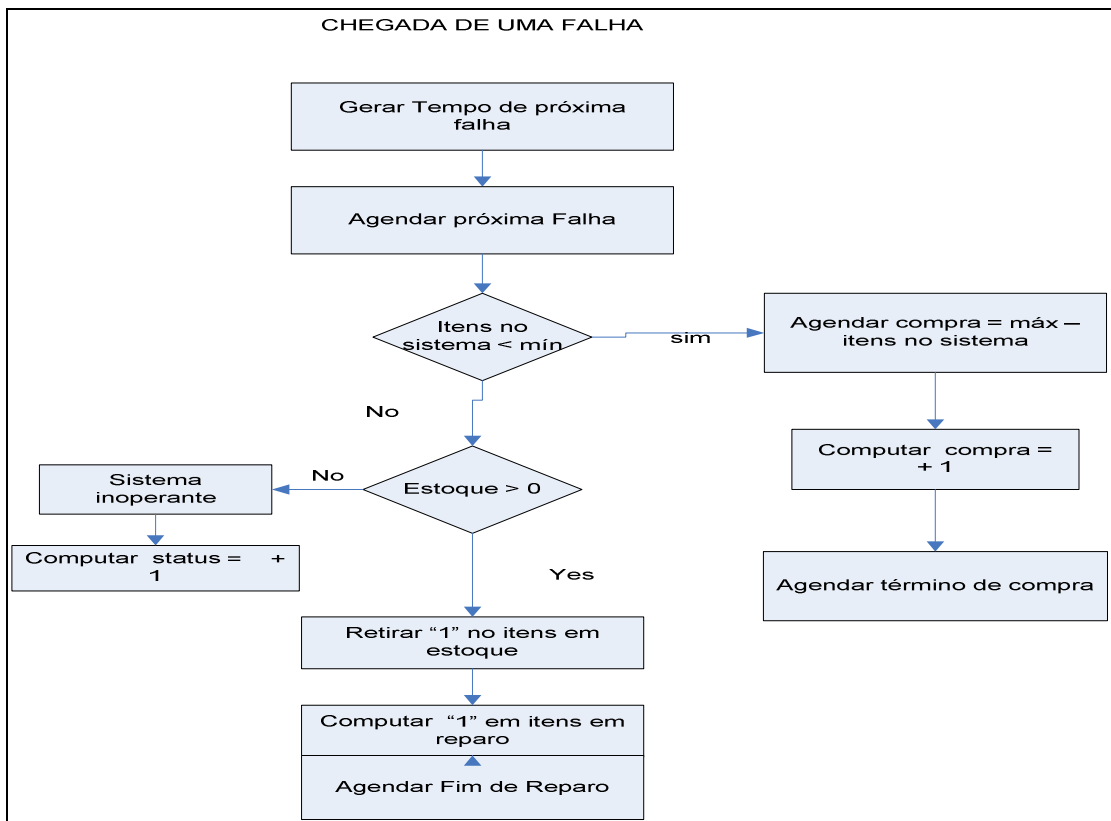


Figura 3: Modelagem por evento chegada de uma falha

O evento término de reparo é apresentado na figura 4. Conforme estudos passados, a probabilidade de uma peça não ser reparada é de 10% a 20%. Caso não haja reparo a peça é descartada.

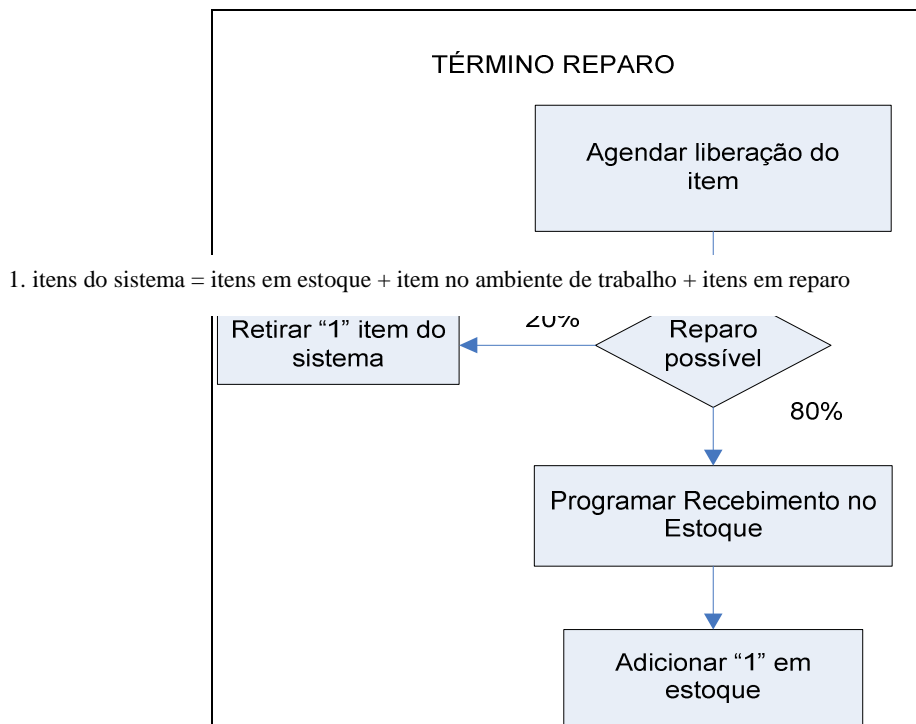


Figura 4: Modelagem por evento término de reparo



O evento término de compra é apresentado na figura 5. Três passos importantes devem ser executados: adicionar o montante comprado na variável “itens no sistema”; Como a compra efetuada é enviada diretamente para o almoxarifado, adicionar o mesmo montante para variável “itens em estoque”; e verificar se o sistema estava inoperante, caso afirmativo, mudar o *status*, pois o estoque agora é maior que zero.

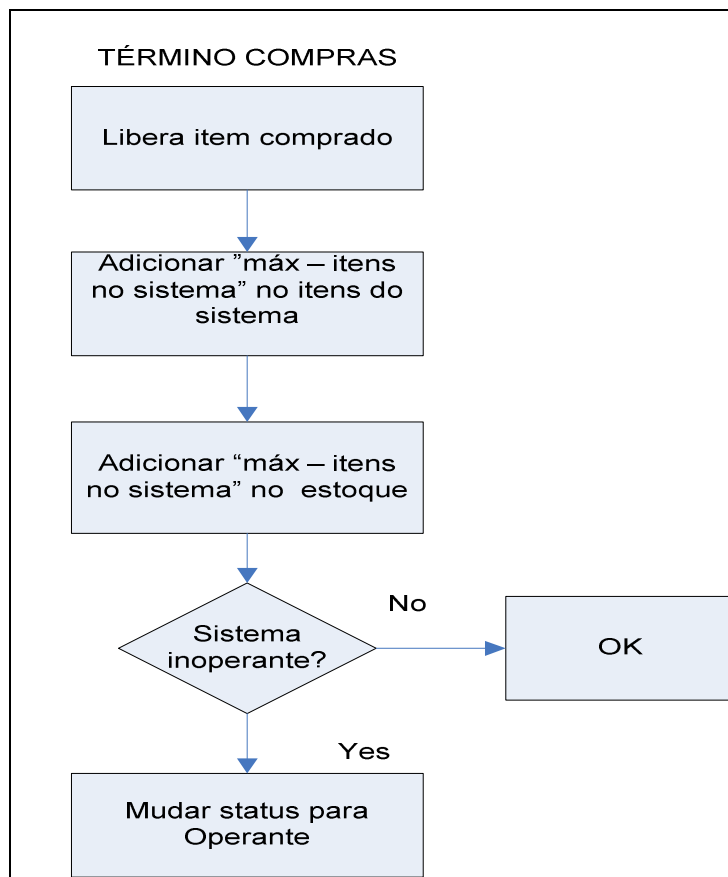


Figura 5: Modelagem por evento término de compras

### 3.3. PROJETO DE EXPERIMENTO E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A tabela 5 apresenta os fatores, os níveis e a resposta considerados para o estudo.

Tabela 5 - Fatores e Níveis

Fatores	Descrição	Nível (-)	Nível (+)	Resposta
e <sub>1</sub>	Quantidade Máxima de Itens no Sistema	4	6	Disponibilidade de Itens para o Sistema.
e <sub>2</sub>	Nível Mínimo de Itens no Sistema	2	3	
e <sub>3</sub>	Probabilidade item não ser reparado (Fabricante).	20%	10%	
e <sub>4</sub>	Tempo Médio de Reparo	540 ± 40	500 ± 40	
e <sub>5</sub>	Tempo Médio de Compra	365 ± 15	300 ± 15	

Os valores dos níveis (-) de cada fator foram determinados baseados na política atual do item analisado. Os valores dos níveis (+) de cada fator foram estimados baseados na conclusão do estudo de Brick&Rosa (2001) que propunha um aumento do número de itens COTS em estoque e redução dos tempos médios de reparo e de compra.

Utilizou-se o programa MINITAB para a construção da matriz de planejamento do experimento composta do total de combinações possíveis dos fatores e níveis, descrita na Tabela 6, e a definição da aleatoriedade dos experimentos.

Tabela 6 – Matriz de Planejamento do Experimento

Combinação de Fatores	Qte Máx. Itens (e <sub>1</sub> )	Qte Mín. Itens (e <sub>2</sub> )	Prob. Reparo (e <sub>3</sub> )	Tempo Reparo (e <sub>4</sub> )	Tempo Compra (e <sub>5</sub> )	Resposta
R1	-	-	-	-	-	94,6
R2	+	-	-	-	-	97,7
R3	-	+	-	-	-	97,5
R4	+	+	-	-	-	99,3
R5	-	-	+	-	-	97,0
R6	+	-	+	-	-	99,3
R7	-	+	+	-	-	98,7
R8	+	+	+	-	-	99,6
R9	-	-	-	+	-	95,4
R10	+	-	-	+	-	98,0
R11	-	+	-	+	-	98,4
R12	+	+	-	+	-	99,3
R13	-	-	+	+	-	97,6
R14	+	-	+	+	-	99,4
R15	-	+	+	+	-	99,0
R16	+	+	+	+	-	99,8
R17	-	-	-	-	+	95,5
R18	+	-	-	-	+	97,6
R19	-	+	-	-	+	97,8
R20	+	+	-	-	+	99,4
R21	-	-	+	-	+	96,3
R22	+	-	+	-	+	99,2
R23	-	+	+	-	+	98,7
R24	+	+	+	-	+	99,6
R25	-	-	-	+	+	96,0
R26	+	-	-	+	+	98,4
R27	-	+	-	+	+	98,5
R28	+	+	-	+	+	99,3
R29	-	-	+	+	+	96,9
R30	+	-	+	+	+	99,5
R31	-	+	+	+	+	99,2
R32	+	+	+	+	+	99,7

Cada combinação de fatores representada por cada linha na matriz de planejamento do experimento foi simulada no programa desenvolvido no ambiente MATLAB. Por exemplo, na simulação de R1 os seguintes valores dos fatores foram introduzidos no programa: Quantidade máxima de itens=4; Quantidade mínima de itens=2; Impossibilidade de reparo=20%; Tempo médio para reparo= 540; Tempo médio para compra=365. O tempo de simulação de 15 anos foi repetido 100 vezes para cada combinação de fatores tendo sido obtido o resultado de disponibilidade do item para o sistema = 94,6.

A disponibilidade do item durante o ciclo de vida do sistema foi calculada com base na probabilidade de atendimento do pedido ou nível de serviço que pôde ser obtido através da fórmula (1).

### 3.3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após a obtenção dos resultados de disponibilidade por meio da simulação, utilizou-se o programa MINITAB para calcular o efeito de cada fator e a interação dos fatores sobre as respostas.

Observando-se o Diagrama de Pareto na figura 6, podemos verificar que o fator A, quantidade máxima de itens no sistema, possui um efeito maior sobre a disponibilidade do item. Dentre os 30 maiores efeitos, apenas 8 são significantes. Fatores ou interações de fatores que obtiveram efeitos maiores do que 0,2.

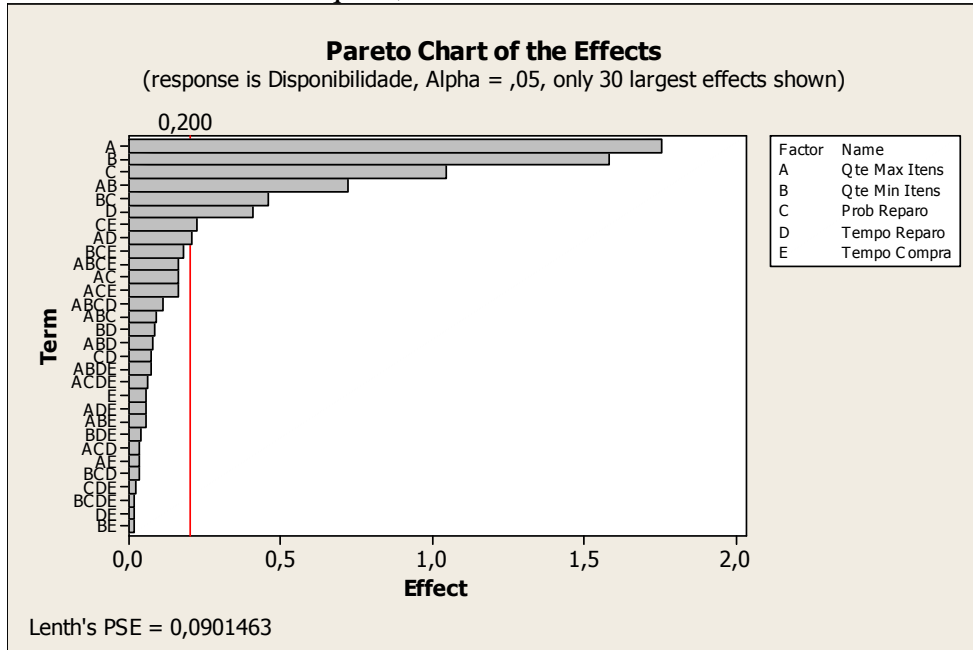


Figura 6 – Diagrama de Pareto

Na figura 7 observamos que os parâmetros mais sensíveis analisados isoladamente são A e B. Os efeitos das interações quando apresentam resultados negativos, significa que os efeitos serão maiores quando caminham na mesma direção.

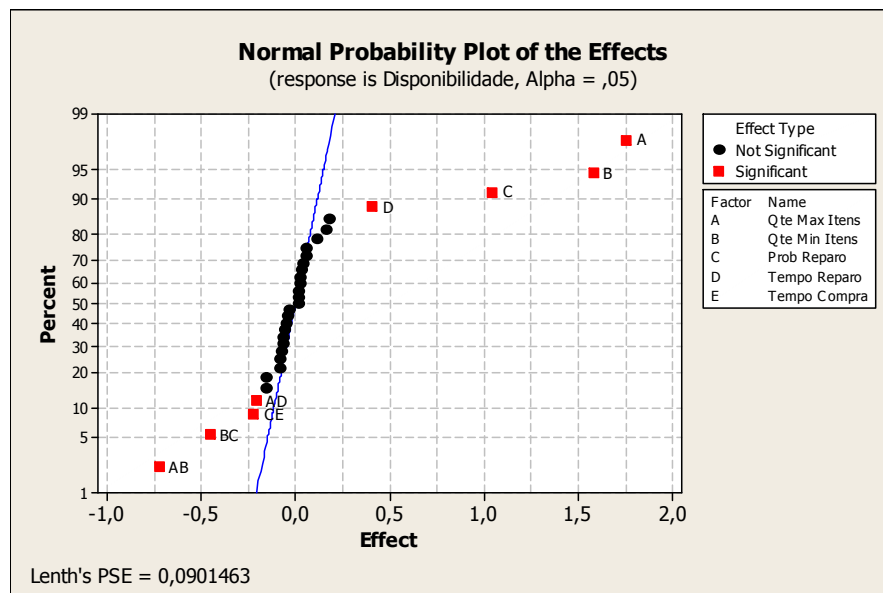
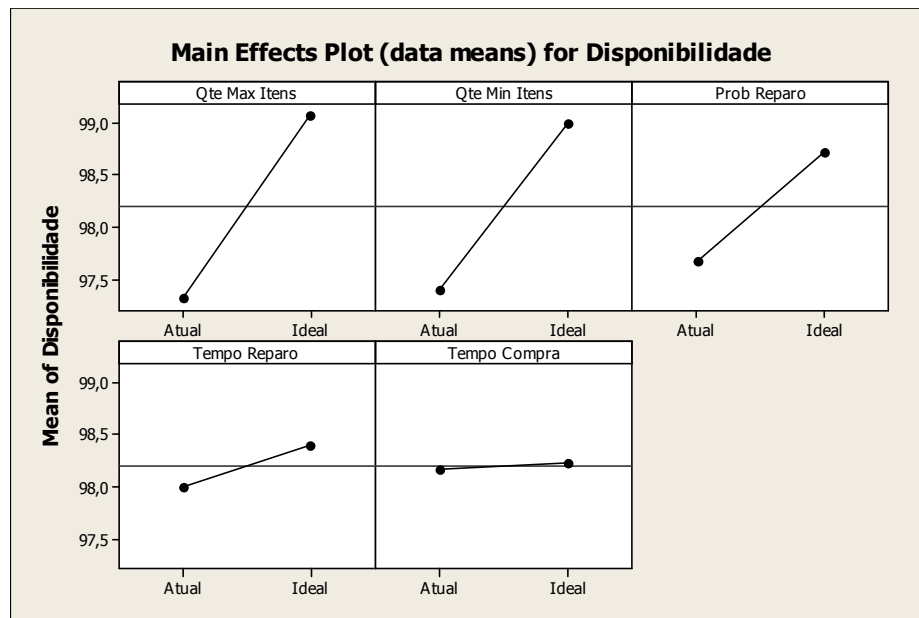


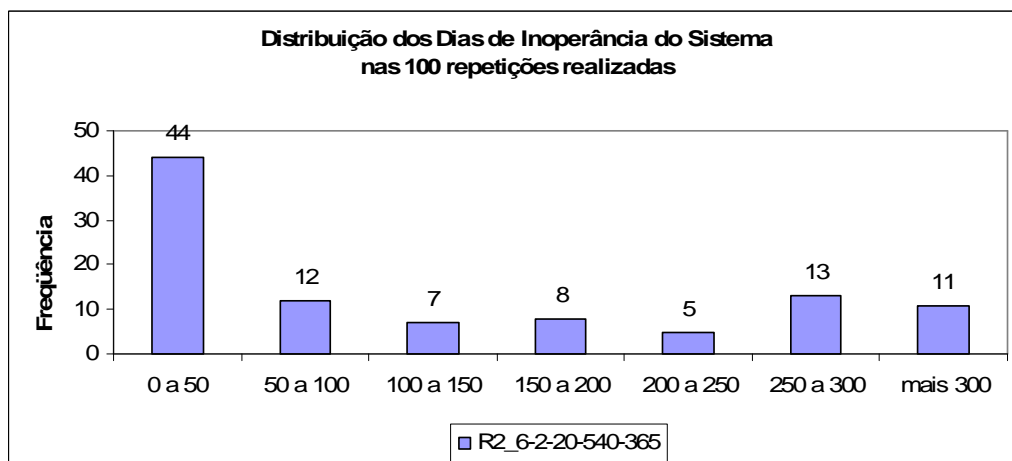
Figura 7 – Gráfico Plotagem da Normal

Na Figura 8 podemos observar que a alteração do Tempo de Compra pouco alterou a disponibilidade do sistema. Tal fato corrobora as informações geradas nos gráficos das figuras 6 e 7. Ressalta-se o efeito ocasionado na disponibilidade com a alteração da quantidade mínima de itens no sistema. Tal procedimento associado ao tempo restante de vida útil do sistema global pode ser de grande utilidade para a determinação de uma nova política de estoque.

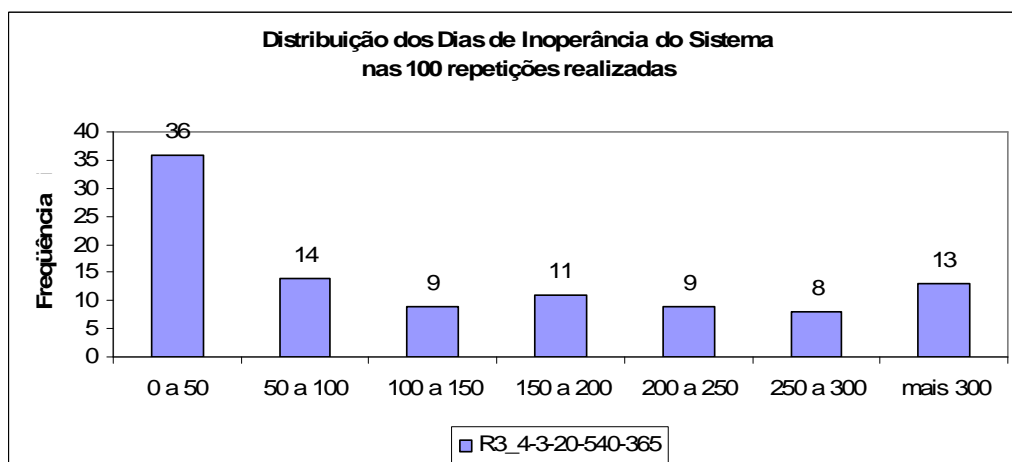


**Figura 8 – Efeito na Disponibilidade**

As figuras 9 e 10 ilustram as distribuições dos dias de inoperância do sistema considerando as combinações de fatores R2\_6-2-20-540-365 e R3\_4-3-20-540-365, respectivamente (vide Tabela 5). Pode-se observar que 44% e 36% das vezes foram obtidos tempos de inoperância inferiores a 50 dias.



**Figura 9 - Distribuição dos dias de inoperância (R2\_6-2-20-540-365)**



**Figura 10 -Distribuição dos dias de inoperância (R3\_4-3-20-540-365)**

#### 4. CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS

Verificou-se que a simulação associada a uma metodologia de planejamento de experimentos proporciona uma excelente compreensão dos fatores logísticos envolvidos na gestão de estoques de peças de baixo consumo, e facilita a análise de sensibilidade dos fatores de entrada do sistema.

Ressaltou-se, como principal contribuição deste artigo para o aprimoramento do processo de tomada de decisão para a construção de futuras políticas de estoque COTS, o efeito ocasionado na disponibilidade com a alteração da quantidade mínima de itens no sistema. Tal procedimento associado ao tempo restante de vida útil do sistema global pode ser de grande utilidade para a determinação de uma política que maximize a disponibilidade do sistema.

Os fatos pertinentes oriundos das análises efetuadas demonstraram que o fator que maximiza o efeito sobre a disponibilidade do sistema é a elevação da quantidade de itens do sistema, seguido da elevação da quantidade mínima de itens no sistema. A interação entre estes dois fatores também maximiza a disponibilidade. O fato do grau de interação entre estes fatores apresentar valor negativo significa que ambos devem seguir na mesma direção para maximizar o efeito sobre a disponibilidade.

As perspectivas futuras para a simulação do referido problema seriam: a) considerar um decréscimo do número de itens à proporção que o sistema aproxima-se do fim do seu ciclo de vida, inibindo, conseqüentemente, o processo de compra; e b) considerar os custos totais envolvidos como resposta da combinação dos fatores.

## **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] BHAT, U. N, “Elements of Applied Stochastic Processes.” – Texas – Wiley&Sons, 1984.
- [2] BRICK, E. S.; ROSA, A. J., “Impacto da utilização de soluções comerciais (COTS) no apoio logístico integrado (ALI) de sistemas”. Pesquisa Naval N° 14, outubro de 2001.
- [3] BALLOU, R.H., “Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial” – Porto Alegre – Bookman, 2006.
- [4] MONTGOMERY, D.C., “Design and Analysis of Experiments”. Wiley, 2000.
- [5] MORISIO, M., “Investigating and Improving a COTS-Based Software Development Process”. ICSE'00, Limerick, Ireland, 2000.
- [6] SHANNON, R.E. System Simulation – The art and Science, Prentice-hall, Englewood Cliffs, 1975.
- [7] WANKE, P., “Gestão de Estoques na Cadeia de Suprimento: Decisões e Modelos Quantitativos” – São Paulo – Atlas, 2003.
- [8] WANKE, P., “Gestão de Estoques de Peças de Reposição de Baixo Giro” – São Paulo – Atlas, 2002.