

### 3

## Proposta de Mudança

Estudos realizados por várias organizações privadas e públicas têm demonstrado que partes dos estoques são gerados para proteger do excesso de tempo gasto para procuras e compras, para proteger de penalidades severas por faltas de itens quando da necessidade de manutenção, proteger da falta do item no mercado, além da própria tendência de maiores compras quando há dúvida quanto à incerteza na previsão da demanda. Estes fatores têm provocado crescimento excessivo nos estoques de itens sobressalentes. O Departamento de Defesa Americano (DOD) informou que na década de 1980 a 1990, o estoque de sobressalentes sob sua gerência passou de U\$ 43 Bilhões para U\$ 102 Bilhões e que este crescimento teve como maiores provocadores os fatores anteriormente mencionados. O Relatório do DOD informou que parte considerável das unidades estocadas não foi utilizada dentro do prazo estimado para uso, o que foi constatado praticamente quando estudados os estoques sobressalentes de uma Base Aérea americana, onde, o índice de não uso atingiu a 65% das unidades estocadas.

A gestão de estoques de sobressalentes é um dos elementos destaques da logística de manutenção. Dentre as Organizações que estudam melhoramentos nos processos de gestão, destaca-se o Instituto de Gerência Logística (LMI) que por intermédio de seus membros têm empenhado tempo de pesquisa para desenvolvimento de modelos matemáticos e estatísticos para empregos práticos e realísticos.

O Dr. Craig Sherbroke, membro do LMI, desenvolveu e publicou trabalhos que disponibilizaram modelos para solucionar problemas no segmento de gestão de estoque de sobressalentes. O modelo intitulado “Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control” (METRIC) para a gestão de estoques de múltiplos itens em múltiplos escalões foi um dos produtos gerados, que tem sido aplicado com eficiência, em várias organizações ao redor do mundo. A teoria, metodologia e equações matemáticas desenvolvidas para o modelo METRIC

foram e são bases para o desenvolvimento de várias outras extensões deste modelo, dentre os quais, o “MOD-METRIC” e o “VARI-METRIC”.

Condições de excessos e faltas de estoque são também encontradas no SISCEAB. Observando estes fatores, nasceu à idéia de propor ao SISCEAB mudança no tipo de modelo usado para o cálculo de estoque inicial de sobressalentes, sugerindo assim o uso de modelo baseado nas técnicas do METRIC, com o objetivo de melhorar a otimização dos estoques a serem disponibilizados nos diversos escalões.

### 3.1

#### **Conceitos básicos para Modelagem do “METRIC”**

Este modelo trata os parâmetros demanda, tempo de reparo, e tempo de atendimento de requisição e transporte para itens sobressalentes reparáveis de maneira harmônica e entrelaçada por intermédio de procedimentos estatísticos e matemáticos para estimar a menor quantidade de demandas não atendidas dentro dos limites orçamentários. Modelo deste tipo permite ao gestor de estoques e gestor de manutenção tomar decisões e ajustarem possíveis falhas que resultarão numa melhor disponibilidade dos equipamentos instalados. Assim, o modelo apresentado visa criar uma metodologia que não mais só dependa do conhecimento de cada especialista, mas sim dos dados levantados e parametrizados para aplicação com um determinado procedimento. Isto torna às decisões mais homogêneas e dependentes, de fato, dos dados de projeto procedentes dos fabricantes, da estrutura operacional, da estrutura de manutenção e da estrutura de suporte logístico disponibilizada.

Nos subitens a seguir será mostrada a matemática que envolve os parâmetros usados pelo modelo, destacando os cálculos e a distribuição em escalões dos sobressalentes reparáveis necessários para atender a uma determinada disponibilidade operacional de um sistema de equipamentos eletrônicos.

### 3.1.1

#### Estrutura e definição de variáveis para o modelo “METRIC”

O METRIC foi estruturado para definir estoques de sobressalentes a serem alocados nos diversos escalões de manutenção para suportar uma definida configuração de itens de um sistema de equipamentos instalados nos sítios operacionais.

Considerações postuladas pelo modelo:

- Todos os itens da configuração são igualmente importantes para o sistema;
- Quando um item não está disponível a estação está fora de operação; e
- Não é admitida canibalização de equipamentos para realizar reparos em outros equipamentos do sistema.

O modelo trabalha os parâmetros demanda ( $m$ ), tempo de reparo ( $T$ ) e tempo de atendimento de requisição e transporte ( $O$ ) por intermédio de equações matemáticas usando dos conceitos de média e variância para uma distribuição de probabilidade para produzir um nível de estoque que atenda a uma determinada taxa de atendimento (Fill Rate -  $FR$ ) ou produzirá um número de solicitações não atendidas (Backorders -  $BO$ ), com isto possibilitando medir o desempenho do sistema por intermédio da disponibilidade (Availability -  $A$ ).

Visando consubstanciar conhecimentos, a seguir serão apresentadas as fórmulas e definições para as grandezas mencionadas anteriormente, onde estará sendo usada a simbologia como apresentada na literatura consultada.

### 3.1.2

#### Demanda

Num sistema de gestão de estoque para itens reparáveis, o termo demanda é usado intercambiado com falha. Na realidade, só haverá uma demanda, caso exista uma falha ou uma previsão de troca de um item dos equipamentos do sistema que demande uma unidade do estoque para repará-lo.

A previsão de demanda para um determinado período é componente importante para a determinação de estoque. O melhor modelo de gestão de

estoque não produzirá bons resultados, caso a previsão de demanda seja imprecisa.

Para melhorar a precisão das previsões de demandas, técnicas de ensaios usando modelagem estatística foram desenvolvidas pelos fabricantes e outras instituições que as aplicam em novos projetos e desta maneira produzindo dados mais próximos da realidade. Estes dados são de suma importância quando se deseja calcular uma lista inicial de sobressalentes para os equipamentos de um novo sistema. Algumas décadas passadas muito se usavam dos conhecimentos de especialistas, mas com o aumento da complexidade dos sistemas, estas fontes de informações passaram a ficar imprecisas.

A demanda quanto ao seu tipo, pode ser dependente ou independente. Por definição, um item de suprimento tem uma demanda dependente quando sua requisição está diretamente relacionada à necessidade de seu conjunto maior, Colin (1973). Um item apresenta demanda independente quando não é possível diretamente correlacionar sua demanda a seu conjunto maior, Orlicky (1975). A demanda dependente exhibe padrões muito diferentes daqueles da demanda independente e devem ser gerenciadas por diferentes técnicas, Silver (1998). Demanda dependente pode ser facilmente resolvida pelo uso do método de Planejamento e Requisição de Material (MRP) e seus métodos derivados que podem facilmente responder o que, quanto e quando é necessário determinado item, no sentido de completamente atender necessidades futuras, Silver (1998). Exemplo: A demanda por fonte de energia para fabricar 10 televisores, sabendo que cada televisor usa uma fonte, são 10 fontes. Esta demanda é influenciada por condições de mercado, tais como, promoções, sazonalidades, novos lançamentos e etc., condições bem previsíveis.

O planejamento de estoque para suporte a manutenção de itens reparáveis dos equipamentos de um sistema requer o uso de técnicas para demandas independentes. Os itens de primeiro nível de endentação, tais como, a CPU de computador, o rádio transmissor da estação VHF e etc. são considerados itens de demanda independente. As suas demandas são influenciadas pelas condições da qualidade da manutenção, pela qualidade de energia usada, pela qualidade da climatização do ambiente onde estão instalados, pela proteção contra descargas atmosféricas, pela dinâmica no tempo de uso e etc.. Em resumo, a demanda

independente não está só diretamente relacionada à decisão de estoque para a montagem de seu conjunto maior, depende de outras condições operacionais nas quais o item está inserido, Orlicky (1975). Pela grande quantidade de fatores que influencia este tipo de demanda, pode-se deduzir o grau de dificuldade para produzir dados confiáveis para o gerenciamento de estoque.

### 3.1.3

#### **Política de Manutenção, Tempo de Reparo e Atividades de Manutenção**

Todo equipamento está sujeito a falhas. A primeira preocupação quando se planeja um sistema de gestão de estoques de itens reparáveis deve ser a política de manutenção. A política de manutenção envolve, dentre outras coisas, definir quem executará e onde serão executadas as atividades de reparos e também onde serão alocados os sobressalentes para suportarem as atividades de manutenção. As decisões sobre a manutenção são importantes, uma vez que, elas impactam diretamente no desempenho do sistema e por conseqüência na sua disponibilidade.

De acordo com Blanchard, na política de manutenção, três níveis são normalmente considerados: organizacional, intermediário e Parque/ fabricante, Blanchard (1998). No capítulo dois deste trabalho foram apresentados mais detalhes sobre este assunto.

Tempo de reparo ( $T$ ) é o período que um item de um equipamento passa sob atividades de manutenção. A taxa de falha (demanda) e o tempo de reparo formam os parâmetros básicos de toda previsão de manutenibilidade, Green (1991).

Atividades de manutenção compreendem as ações tomadas para conservar o sistema em seu estado de operação. De acordo com Blanchard, elas consistem da diagnose, reparação ou prevenção de falhas do sistema. Elas são classificadas em duas grandes categorias: manutenção corretiva e manutenção preventiva, Blanchard (1998).

### 3.1.4

#### Média e Variância

A estruturação do METRIC e suas extensões usam constantemente dos conceitos estatísticos da média e variância, por isso serão apresentadas as fórmulas matemáticas usadas e colhidas da literatura especializada.

Valor esperado de uma variável aleatória  $X$  é dado por,

$$E[X] = \sum_{x=1}^{\infty} x \cdot Pr\{X = x\}, \quad (3.1)$$

Onde,

$X \rightarrow$  é uma variável aleatória; e

$Pr \rightarrow$  é uma distribuição de probabilidade aplicada a ser definida.

A variância de  $X$  é o valor da dispersão desta variável em torno da média, e é dada por:

$$Var[X] = E[X - E[X]]^2 = E[X^2] - (E[X])^2, \quad (3.2)$$

Onde,

$$E[X^2] = \sum_{x=1}^{\infty} x^2 \cdot Pr\{X = x\}$$

### 3.1.5

#### Distribuição de Poisson

A distribuição de Poisson é a distribuição de probabilidade originalmente usada nos modelos para calcular a probabilidade de demandas de itens sobressalentes eletrônicos num certo período de tempo, e é dada pela fórmula:

$$p(x) = (mT)^x \cdot \frac{e^{-mT}}{x!}, \quad (3.3)$$

Onde,

$x = 0, 1, 2, \dots$  (valores discretos)

$m \rightarrow$  taxa média de demanda anual;

$T \rightarrow$  Tempo médio de reparo em anos;

$x \rightarrow$  Número de demandas.

Sabe-se que, para a distribuição de Poisson,

$$E[X] = Var[X] = mT \quad (3.4)$$

Outras características importantes desta distribuição são:

A distribuição de Poisson não é afetada pela unidade de tempo usada para  $m$  e  $T$ , porque a média só depende do produto  $mT$ .

Quando o tempo entre demanda é dada por uma distribuição exponencial, o número de demandas num período fixo de tempo é dado por uma distribuição de Poisson. A distribuição exponencial é sem “memória”, ou seja, o tempo em que ocorreu a última demanda não tem influência no tempo da próxima demanda e nem é influenciado pelo tempo em que ocorreu a demanda anterior.

O modelo em apresentação usará muito a distribuição de Poisson, por isso é interessante notar que a representação  $p(x|mT)$  indica uma distribuição de Poisson condicional a média que é definida por  $mT$ .

### 3.1.6

#### Teorema de PALM

O fundamento da teoria de gestão de estoque para item reparável está embasada nas definições apresentadas pelo teorema de filas de PALM. Sua importância é que ele nos habilita a estimar o estado estável da distribuição de probabilidade do número de unidades em reparo em função da distribuição de probabilidade do processo de demanda e da média da distribuição do tempo reparo.

Teorema:

“Se a demanda por um item é dada por um processo de Poisson com taxa média anual  $m$  e se o tempo de reparo para cada unidade falhada é independentemente e identicamente distribuída de acordo com alguma distribuição com média  $T$  anos, então a distribuição de probabilidade do estado permanente para o número de unidades em reparo tem uma distribuição de Poisson com média  $mT$ ”.

Este teorema é chamado de canal infinito para as filas de unidades de itens em reparos, porque não há realmente filas ou interação nos tempos de reparos entre as várias unidades. Não obstante, o teorema é notável em mostrar que não é necessário medir a forma da distribuição de reparo. Para algum tempo médio  $T$  especificado, independente da distribuição, o resultado da distribuição de probabilidade para o número de unidades em reparo é Poisson com média  $mT$ .

Conforme explica Sherbrooke (1992), é notório que os meios e condições aplicados para atender os reparos de itens não são infinitos, mas devido a fatores compensativos no atendimento e execução, a proximidade da condição de independência tem se mantido.

### 3.1.7

#### Nível de estoque

A teoria da gestão de estoque de sobressalentes objetiva calcular o nível ótimo de unidades em estoque para cada item componente de uma configuração.

Considere-se um item em falha num sítio, e que o mesmo possa ser reparado num tempo estipulado por uma distribuição de probabilidade com média  $T$ . Assume-se que o item é sempre reparado e não há condenação.

A equação que representa as condições apresentadas acima é:

$$s = OH + DI - BO \quad (3.5)$$

Onde,

$s \rightarrow$  Nível de unidades em estoque de um item, valor constante;

$OH \rightarrow$  Unidades em estoque em condições operacionais;

$DI \rightarrow$  Unidades em trânsito nos canais de suprimento para reparo ou em suprimento;

$BO \rightarrow$  Requisições não atendidas (faltas).

A simplicidade do mecanismo apresentado para a equação é devida ao fato de que a quantidade econômica de uma requisição,  $Q$ , para reparo é de valor um. Condição embasada no fato de que os itens reparáveis tendem a ser de alto custo unitário e baixa demanda. Assim, o reparo é feito por unidade e o ponto de requisição é feito normalmente em  $s-1$ . Na literatura da teoria de inventário esta

política de estoque é representada por  $(s-1,s)$ , ou seja, quando o nível do estoque cai de uma unidade uma requisição é colocada no escalão superior neste valor.

A equação acima é referência crítica para a teoria do METRIC. Este conhecimento em combinação com o nível de estoque,  $s$ , determinam a distribuição de probabilidade para estoque na prateleira (OH) e a distribuição de probabilidade para as requisições não atendidas (BO). Quando o número de unidades em reparo (DI) é menor do que,  $s$ , há unidade em estoque na prateleira, quando este número é maior do que,  $s$ , há demandas não atendidas.

### 3.1.8

#### Medidas de desempenho para Item e Sistema

Para entender o valor esperado de faltas (EBO – Número Esperado de Faltas), primeiro é necessário expor o que é uma requisição não atendida. Sherbrooke apresenta uma explanação usando uma aeronave como referência, dizendo: “quando um mau funcionamento é diagnosticado num avião, o item em falha é removido da aeronave para o suprimento da Base. Se um sobressalente está disponível, ele é disponibilizado e instalado no avião. Caso contrário, uma requisição é aberta e ela fica pendente (há uma falta - BO) até haver uma unidade do item disponível para atendimento, Sherbrooke (1992). Assim, a falta resulta da combinação de demandas e disponibilidade de suprimento. O valor calculado é o número esperado de faltas (EBO), definido como o número de itens em faltas para um específico sítio sobre um especificado período de tempo. EBO é uma previsão, um valor esperado do número de faltas, portanto, uma variável randômica, a qual pode ser descrita por técnicas estatísticas usando de apropriada distribuição de probabilidades.

Para melhor fixar o entendimento sobre o significado do EBO, veja o exemplo a seguir: Imagine que alguém queira calcular o EBO para um item durante um período de dez dias. Após pesquisas de campo, foram coletados os dados mostrados na Tabela 3.1, Fulk (1999).

Os dias em falta para cada falta ocorrida foram marcados com X. Note-se que neste exemplo conceitual, quatro faltas ocorreram. Não há falta para o

primeiro e oitavo dia e devido à duração de cada falta, no dia 4 são encontradas 3 faltas simultâneas.

**Tabela 3.1** – Dados coletados sobre Faltas

Descrição da falta	Dias									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Falta 1		x	x	x	x	x				
Falta 2		x	x	x						
Falta 3				x	x	x	x			
Falta 4									x	x

Usando estes dados, pode-se calcular o EBO para o período, usando a fórmula a seguir mostrada:

$$EBO = \sum_{d=1}^{10} \frac{X}{n}, \quad (3.6)$$

Onde,

$d$  = número de dias do período definido, variando de 1 até 10;

$X$  = variável que representa o número de faltas para cada dia;

$n$  = constante que representa o total de dias no período.

Resolvendo a fórmula para os dados da Tabela 3.1, tem-se:

$$EBO = \frac{0}{10} + \frac{2}{10} + \frac{2}{10} + \frac{3}{10} + \frac{2}{10} + \frac{2}{10} + \frac{1}{10} + \frac{0}{10} + \frac{1}{10} + \frac{1}{10} = 1,4$$

Logo, o número esperado de faltas para o período é 1,4. Observa-se que o valor calculado do EBO levou em consideração não somente o número de faltas, mas também a duração do período. Assim, o EBO calculado representa o número esperado de faltas diárias para uma distribuição discreta de faltas.

Uma vez que o EBO não é a mesma coisa que faltas, porque alguém gostaria de reduzir EBO, ao invés de reduzir o real número de faltas? Enquanto o número de faltas mede uma dimensão da insuficiência do suprimento (quantidade de falta do item), o EBO leva em consideração a quantidade e a duração da

insuficiência de suprimento para um dado item. Tentar reduzir faltas diretamente, por improvisação de aspectos de suprimento, tais como nível de serviço e/ ou taxa média de atendimento (Fill rate), pode conduzir às situações de má alocação de recursos. Resultados conseguidos de simulação e também de teste real de campo feito pela RAND Corporation para USAF, em George AFB no período de 1965 a 1966, mostrou que o uso do EBO como uma métrica, comparada ao nível de serviço, pode ao mesmo tempo reduzir custo e incrementar a disponibilidade do sistema de equipamentos, Sherbrooke (1992).

Assim, reduzindo o valor do EBO, pode-se encontrar que não só as faltas, mas também a duração do tempo de faltas será reduzida. Conseqüentemente, como será mostrada brevemente, a disponibilidade do equipamento/ sistema será incrementada.

## **3.2**

### **Modelos para Definição de Estoques de Itens Reparáveis**

Desde os anos 1960, vários modelos matemáticos para gestão de estoque de itens reparáveis foram desenvolvidos. Basicamente, estes modelos buscam calcular o número esperado de faltas no sentido de melhor decidir sobre que itens comprar, que quantidade e onde armazená-los. Dois modelos serão discutidos neste trabalho. O Modelo de Estoque Base (MEB) e o “Muiti-Echelon Technique for Recoverable Item Control” (METRIC).

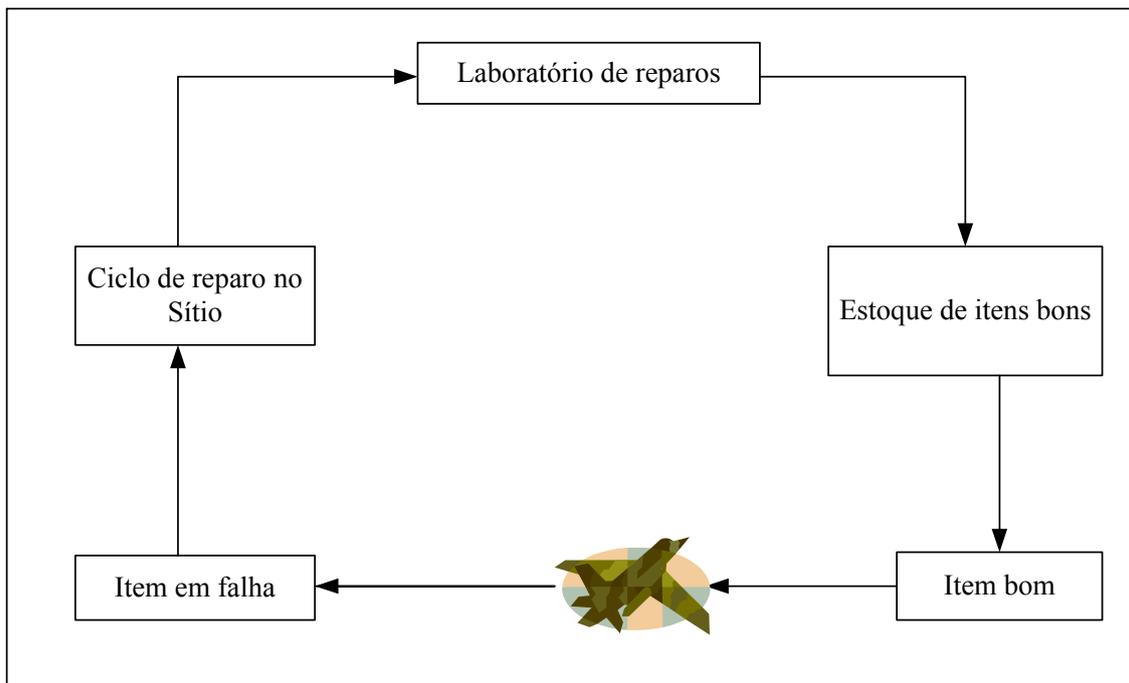
#### **3.2.1**

##### **Modelo de Estoque Base**

Em 1965, a “RAND Corporation” desenvolveu um modelo que introduziu a técnica de otimização por minimização do valor esperado de faltas (EBO) em “System Approach”.

O mecanismo para o Modelo de Estoque Base consiste de: quando um item falha, uma demanda por um item bom vai para o Suprimento e, se o nível de estoque é maior ou igual a um, a demanda é atendida. Caso contrário, uma solicitação é emitida e mantida aberta no suprimento aguardando pela próxima

unidade disponível que vem do laboratório de reparo do sítio. Este modelo está apresentado na Figura 3.1.



**Figura 3.1** - Cenário do Modelo de Estoque Base  
Fonte – Sherbrooke, 1992.

O valor esperado de faltas como uma função do nível de estoque é dado pela função:

$$EBO(s) = \sum_{x=s+1}^{\infty} (x-s) \cdot Prob(X=x), \quad (3.7)$$

Onde,

$EBO(s)$  → Valor esperado da demanda não atendida em função de  $s$ ;

$s$  → Nível de estoque;

$x$  → Variável randômica que representa a quantidade de unidades (em reposição ou reparo) de um item no canal de suprimento (Pipeline);

$Prob(X=x)$  → Probabilidade de uma variável randômica  $X$  assumir um valor igual a  $x$ .

O valor esperado de faltas é dado pela somatória das probabilidades de ocorrências quando o número de unidades de um item no canal de suprimento (demandas ( $x$ )) excede ao nível de estoque (provisão ( $s$ )) disponível.

O modelo assume canal de reparo infinito e demandas por unidades de itens vindas de uma população infinita. Adicionalmente, as demandas por unidades de itens são assumidas independentes do tempo de reparos para os itens e vice-versa. Assim, o número esperado de unidades de um item no canal de suprimento (Pipeline) seria calculado pela fórmula (“Little’s Law”),

$$\mu = m * T , \quad (3.7.a)$$

Onde,

$\mu \rightarrow$  número médio de unidades nos canais de suprimento “Pipeline”;

$m \rightarrow$  Número médio de unidades demandas por período de tempo; e

$T \rightarrow$  Tempo médio para reparo (mesma unidade de tempo da demanda).

Uma vez que a demanda é assumida ser distribuída segundo Poisson, o número de unidades do item no canal de suprimento (Pipeline) deve seguir a mesma distribuição (conseqüência do Teorema de PALM). Assim, a probabilidade do número de unidades do item no canal de suprimento (Pipeline) é definida pela fórmula,

$$Prob(x) = \frac{(m.T)^x . e^{-m.T}}{x!} , \quad (3.8)$$

Onde,

$Prob(x) \rightarrow$  Define a função densidade de probabilidade das quantidades de unidades no canal de suprimento (pipeline);

$x \rightarrow$  Variável randômica referente a quantidade de unidades no canal de suprimento (pipeline), assumida distribuição de Poisson;

$m \rightarrow$  Número médio de unidades demandadas de um item num período de tempo;

$T \rightarrow$  Tempo médio para reparo de uma unidade, distribuído segundo um tipo de distribuição a ser definida;

$e \rightarrow$  Base do logaritmo Neperiano.

O objetivo do Modelo de Estoque Base é minimizar o número esperado de faltas  $EBO(s)$  para uma dada localidade, limitada ao orçamento disponível.

O Modelo de Estoque Base trata com múltiplos itens, único escalão, única localidade e único nível de endentação.

O tratamento matemático para este modelo é dado a seguir.

O modelo será montado para dois itens, logo se tem:

$$\min W(s_1, s_2) = EBO_1(s_1) + EBO_2(s_2), \quad (3.9)$$

Onde,

$\min W(s_1, s_2) \rightarrow$  minimização da função objetivo  $W$ ;

$EBO_1(s_1) \rightarrow$  número esperado de faltas para o item 1 em função de  $s_1$ ;

$s_1 \rightarrow$  nível de estoque do item 1;

$EBO_2(s_2) \rightarrow$  número esperado de faltas para o item 2 em função de  $s_2$ ;

$s_2 \rightarrow$  nível de estoque do item 2.

A função objetivo acima se destina a minimizar um total esperado de faltas para dois itens, mas nada impede que os itens sejam aumentados. Observa-se, ainda, que para compor o sistema de equações, a função objetivo deve estar limitada pelas seguintes condições:

$$c_1 s_1 + c_2 s_2 \leq C, \quad (3.10)$$

Onde,

$c_1 \rightarrow$  custo do item 1;

$s_1 \rightarrow$  nível de estoque do item 1;

$c_2 \rightarrow$  custo do item 2;

$s_2 \rightarrow$  nível de estoque do item dois; e

$C \rightarrow$  valor total do orçamento disponível.

Conforme registrado na literatura consultada, o Modelo de Estoque Base nunca foi aplicado na prática, mas seu embasamento conceitual foi usado como suporte para o desenvolvimento de vários outros modelos.

### 3.2.2

#### METRIC

O modelo “Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control (METRIC)” é considerado um melhoramento do Modelo de Estoque Base (MEB).

O METRIC usa da mesma lógica do MEB, só que mais ampliada para permitir modelar outros escalões na cadeia de suprimento. O processo de otimização do METRIC é amplo, ele avalia o sistema de suprimento por completo. O modelo pode calcular requisitos e redistribuir estoque mais adequadamente quando comparado com o MEB.

O mecanismo do METRIC consiste de: quando uma unidade de um item falha no nível Sítio ou Base, uma requisição solicitando uma unidade boa é colocada no suprimento da Base e, se o nível de estoque ( $s$ ) para o item é maior ou igual a 1 (um), a demanda é atendida. Caso contrário uma requisição é mantida aberta no suprimento da Base até que uma unidade esteja disponível. Ao mesmo tempo, a unidade do item em falha vai para o laboratório da Base, onde há uma probabilidade ( $r$ ) de que a unidade do item será reparada localmente, e uma probabilidade de  $(1-r)$  que a unidade do item será reparada no próximo escalão superior (Regional). Se a unidade do item é reparada localmente, o suprimento da Base aguarda pelo seu reparo (ou por algum outro que já esteja sendo reparado). Alternativamente, a unidade do item em falha vai para o canal de reparo (Pipeline) do Regional. Neste caso, o serviço de suprimento da Base emite uma requisição solicitando uma unidade operacional do item para o suprimento do Regional. No Regional, a requisição pela unidade operacional do item vai para o suprimento do Regional e, se o nível de estoque ( $s$ ) para o item é maior ou igual a 1, a demanda é atendida. Caso contrário, a requisição solicitando uma unidade operacional ao Regional é mantida aberta aguardando pela próxima unidade operacional do item a ser disponibilizada pelo laboratório de reparo do Regional. O atendimento pelo Regional seguirá a ordem de chegada da demanda, a primeira que chegar será a primeira a ser atendida. Quando a Base solicita um item do Regional, um período de tempo será esperado para que a Base receba a unidade solicitada. Este tempo é contado a partir da emissão da requisição até o recebimento pela Base da unidade solicitada, ou seja, nesta totalização estão inclusos os tempos de emissão e envio da requisição, mais os tempos de preparo administrativo, embalagem, transporte e entrega da unidade à Base (“ordering&ship time” - OST). Esta duração é um fator importante que afeta o trânsito do item no canal de suprimento (Pipeline) e por consequência influencia na quantidade do estoque a ser determinado.

Na Figura 3.2 está retratado o cenário para o modelo METRIC.

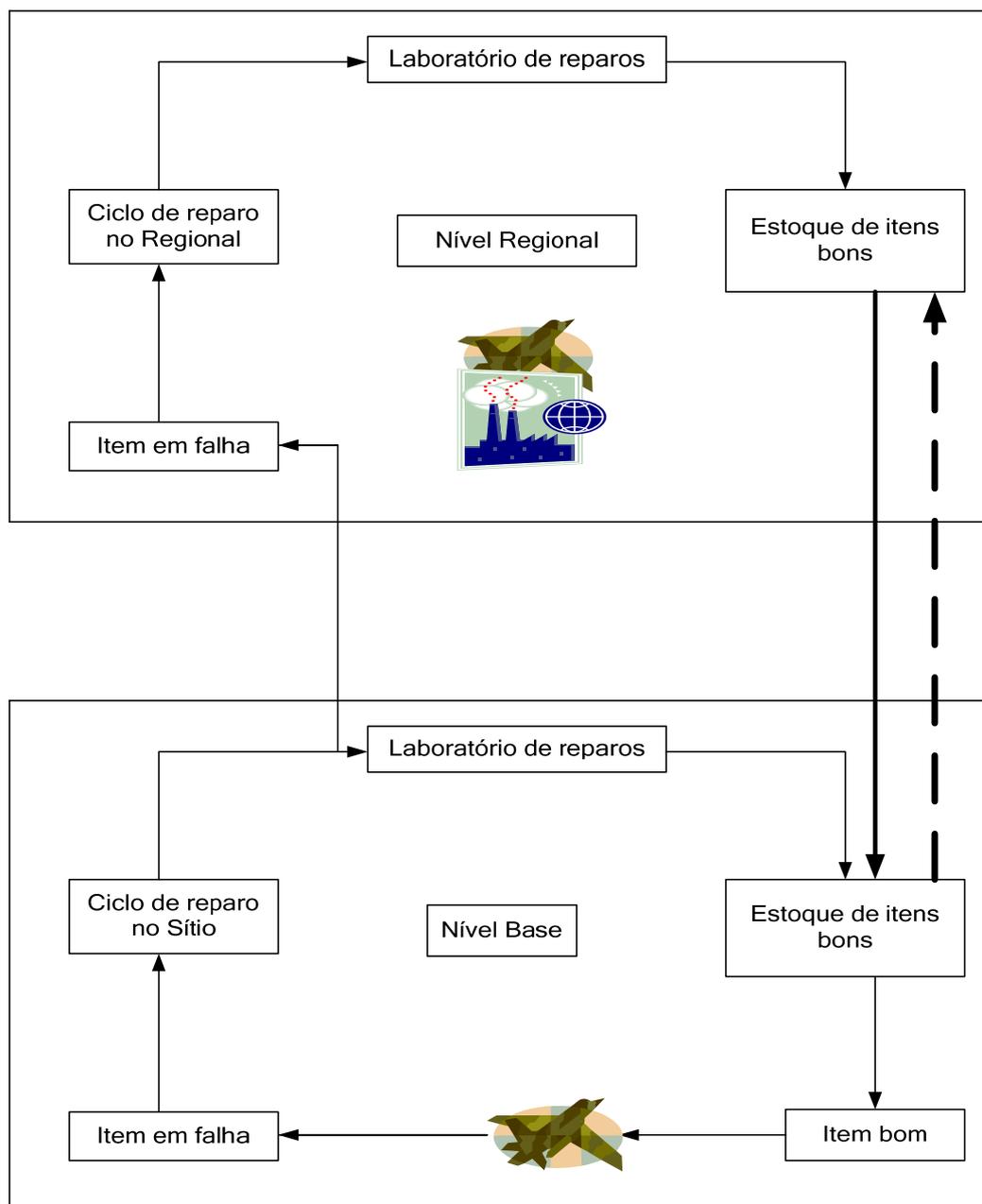


Figura 3.2 - Cenário do "METRIC"  
 Fonte - Sherbrooke, 1992.

A seta em tracejado na Figura 3.2 representa uma requisição enviada da Base para o Regional. A seta cheia representa um item sendo enviado do Regional para a Base.

O objetivo do Modelo METRIC é similar ao Modelo de Estoque Base. Ele procura minimizar o número esperado de faltas de um conjunto especificado de itens, sujeito a uma restrição orçamentária. As faltas no Regional só são consideradas quando elas afetam negativamente o atendimento das faltas da Base, Muckstadt (1973).

Nos tópicos a seguir serão dados maiores detalhes sobre o modelo.

#### A. Considerações assumidas pelo METRIC

Estas são as principais considerações:

- ✓ A decisão sobre a execução da reparabilidade de um item na Base não depende do nível de estoque ou carga de trabalho nesta Base. Uma fração dos itens a serem reparados será feita na Base conforme uma constante de probabilidade ( $r$ ), e a outra parte será feita no escalão superior (Regional) segundo uma probabilidade de  $(1-r)$ . Observa-se que o tempo de reparo inclui uma parcela de tempo relativa à espera na execução de procedimentos no suprimento e uma parcela de tempo na fila do processo de reparo. Adicionalmente, o processo de reparo segue a regra de reparar unidade a unidade, não acumulando lotes de unidades de itens para dar início às atividades de reparo.
- ✓ O METRIC assume processo de regime estacionário para a demanda e parâmetro de tempo. A demanda é descrita por um processo logaritmo de Poisson.
- ✓ O METRIC não considera fornecimento lateral de outras Bases; o Regional é a única organização permitida a suprir as Bases subordinadas.
- ✓ A política de inventário  $(s-1,s)$  é apropriada para todos itens em todos escalões.
- ✓ Não é considerada condenação.
- ✓ Os itens bons e falhos são igualmente importantes para o sistema.

- ✓ A duração requerida para reparo de uma unidade de um item é independente do número de demandas.

As considerações acima têm sido feitas para comodidade de uma modelagem analítica e podem não serem realísticas em muitas das vezes. Como um resultado, a precisão do modelo pode ser prejudicada. Por exemplo, a consideração sobre o uso do processo de Poisson para as demandas muitas vezes não é uma boa aproximação. Sherbrooke sugere que alguns itens apresentam tempo entre demandas que não decrescem uniformemente como numa distribuição exponencial. Ao invés disto, eles têm um valor de pico à direita da origem como nas distribuições Gamma, Weibull ou Lognormal. Diferentes distribuições para o tempo entre demandas podem conduzir a diferentes resultados para o EBO, neste caso, o modelo deverá ser adequadamente modificado para levar em consideração às nuances das distribuições de tempo entre demandas.

#### B. Cálculo do Estoque Médio em Trânsito (no “Pipeline”)

Com base nos parâmetros e variáveis já apresentados, mostra-se que a taxa de demanda de todas as Bases para cada item no Regional e o número médio de unidades de item no canal de suprimento de uma Base são dados pelas seguintes expressões, respectivamente:

$$m_{i,0} = \sum_{j=1}^J m_{i,j}(1 - r_{i,j}) \quad (3.11)$$

e,

$$\mu_{i,j} = m_{i,j}(r_{i,j}T_{i,j} + (1 - r_{i,j})\{O_{i,j} + EBO[s_{i,0} | m_{i,0}T_{i,0}] / m_{i,0}\}) \quad (3.12)$$

Onde,

$\mu_{i,j}$  = número médio de demanda do item  $i$  nos canais de suprimento da Base  $j$  ( $j > 0$ );

$m_{i,j}$  = demanda média anual do item  $i$  na base  $j$ ;

$m_{i,0}$  → Taxa de demanda média no Regional para o item  $i$ .

$T_{i,j}$  = tempo médio de reparo (em anos) do item  $i$  na base  $j$ ;

$r_{i,j}$  = probabilidade de reparo do item  $i$  na Base  $j$ ;

$O_{i,j}$  = tempo médio gasto para a Base  $j$  requerer e receber o item  $i$  do Regional;

Por convenção, adota-se  $j = 0$  quando a localidade for o Regional e  $j = 1, 2, 3, \dots, J$  quando as localidades identificadas forem as Bases ou Sítios.

O tempo gasto nos canais de suprimento entre Regional e Sítio é dado pela fórmula:

$$T_{pipe} = r_{ij}T_{ij} + (1 - r_{ij}) \left[ O_{ij} + \frac{EBO(s_{i0} | m_{i0}T_{i0})}{m_{i0}} \right] \quad (3.13)$$

### C. Valor Esperado de Faltas (EBO) e Disponibilidade de Sistema

Sistema de equipamentos utilizado na proteção ao vôo, sistema de armas de guerra, frota de aeronaves, sistemas de equipamentos hospitalares devem sempre estar em alta disponibilidade para atender ao objetivo para o qual foi projetado. Assim, as disponibilidades dos Sistemas devem sempre ser preocupação da logística.

O conceito de disponibilidade, entretanto, pode ser visto sobre vários aspectos. Genericamente, a disponibilidade pode ser calculada pela relação entre o tempo de operação sobre a soma do tempo de operação mais o tempo do sistema inoperante, como mostrado pela expressão a seguir, Green (1991).

$$Disponibilidade = \frac{Tempo\_On}{Tempo\_on + Tempo\_off} \quad (3.14)$$

Outros caminhos para calcular a disponibilidade são também descritos por Green.

A Disponibilidade Inerente ( $A_i$ ) representa a probabilidade que o sistema operará por um estimado período de tempo, sob um ambiente de suporte ideal. O suporte incluirá todos os recursos necessários para a manutenção, tais como, sobressalentes, equipamento de testes, pessoal treinado e etc, Green (1991).

A disponibilidade inerente não considera ações de manutenção preventivas, tempo de suprimento e tempo por atraso administrativo e é dada pela fórmula:

$$A_i = 100 \cdot \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}, \quad (3.15)$$

Onde,

$MTBF \rightarrow$  é o tempo médio entre falhas; e

$MTTR \rightarrow$  é o tempo médio para reparo.

A Disponibilidade Operacional ( $A_o$ ) considera em seu cenário tempos outros que envolvem atividades de manutenção e suprimento. A expressão a seguir permite seu cálculo:

$$A_o = 100 \cdot \frac{MTBM}{MTBM + MDT}, \quad (3.16)$$

Onde,

$MDT \rightarrow$  tempo médio de manutenção, calculado em função dos tempos gastos para providenciar sobressalentes, manutenção corretiva e preventiva e outros atrasos resultantes das ações necessárias para a implementação da manutenção; e

$MTBM \rightarrow$  é o tempo médio entre manutenção.

Assim,

$$MDT = MCMT + MPMT + MSD, \quad (3.17)$$

Onde,

$MCMT \rightarrow$  é o tempo médio para manutenção corretiva;

$MPMT \rightarrow$  é o tempo médio para manutenção preventiva; e

$MSD \rightarrow$  atraso médio de suprimento.

É fácil entender que a disponibilidade de um sistema é influenciada pelos eventos que causam tempo de inoperância, dentre estes eventos está a falta de sobressalente e a duração desta falta. Assim, o melhor caminho para contabilizar a disponibilidade do sistema em termos de níveis de suprimento é considerar o número de faltas de sobressalentes e também suas durações. Estes fatores estão inclusos na formulação dada para o cálculo do EBO, o qual considera a influência do canal de suprimento (Pipeline) na demanda e assim melhor relacionando a disponibilidade do sistema às faltas de itens.

Para facilitar o entendimento da disponibilidade em função do EBO será usado um exemplo apresentado por Sherbrooke. Ele considerou como base para explicação um sistema de armas embarcado numa frota de aeronaves. Assim, ele

notou que seria possível estender o resultado do EBO do METRIC no sentido de obter medida de disponibilidade de uma aeronave. Ele definiu disponibilidade de uma aeronave de uma frota de aeronaves como a probabilidade de um sistema de arma não estar em falha em um único item reparável, dada por:

$$A = 100 \cdot \prod_{i=1}^I \{1 - EBO_i(s_i)/(NZ_i)\}^{Z_i}, \quad (3.18)$$

Onde,

$A \rightarrow$  Disponibilidade da aeronave;

$i \rightarrow$  cada item diferente no sistema de armas;

$I \rightarrow$  número total de itens diferentes no sistema de armas;

$N \rightarrow$  número de aeronaves na frota;

$Z_i \rightarrow$  quantidade do item  $i$  na aeronave;

$s_i \rightarrow$  nível de estoque do item  $i$ ;

$EBO_i(s_i) \rightarrow$  número esperado de faltas (“BackOrder”) para o item  $i$  em função do nível de estoque.

Da expressão, pode-se observar que com a minimização do número esperado de demandas não atendidas, há uma maximização da disponibilidade.

Observa-se, ainda, que a relação  $EBO_i(s_i)/N*Z_i$  para o item  $i$  deve ser  $\leq 1$  para qualquer item do sistema.

A lógica desta fórmula afirma que existe  $N*Z_i$  localizações para um específico item do sistema, e a probabilidade de um buraco em algumas destas localizações é a taxa  $EBO_i(s_i)/N*Z_i$  para cada item. Segue-se que uma aeronave só estará disponível se não há buraco para as  $Z_i$  ocorrências do item  $i$ , e desta maneira para todos os itens da configuração. A disponibilidade é expressa como uma percentagem da frota. Assume-se independência das falhas, igual importância para todos os itens da configuração na disponibilidade do sistema, os sistemas são seriais, e não há canibalização. Assim, com a minimização do total de faltas (“backorders”) pode-se encontrar a maximização da disponibilidade do sistema de armas e, por conseguinte a disponibilidade da frota de aeronaves.

### 3.3

#### Exemplo de aplicação do METRIC

Com o intuito de exemplificar o mecanismo de aplicação do modelo METRIC, será mostrada a solução de um problema real, cujos dados foram modificados devido às exigências de regras de sigilo.

##### Problema

O Parque de Material Aeronáutico de São Paulo (PAMASP) está ampliando a frota das aeronaves F-5 e, em decorrência do aumento no número de aeronaves, um estudo sobre 5 (cinco) itens reparáveis está em curso na subdivisão de Planejamento do Parque.

Para o referido estudo, serão analisados os seguintes itens da aviônica da aeronave: “receiver, transmitter, encoder, decoder e coupler”.

Atualmente, a aeronave é utilizada em duas bases aéreas: Base Aérea de Canoas, no RS, e Base Aérea de Santa Cruz, no Rio de Janeiro. Ambas as bases são apoiadas logisticamente pelo PAMASP.

Há um armazém central localizado no PAMASP e armazéns remotos, um em cada Base Aérea. No Parque, há oficinas com capacidade de reparo pleno para todos os itens. Em ambas as Bases, há um esquadrão de Suprimento e Manutenção (ESM), com alguma capacidade de reparo definidas por índices de probabilidades conforme mostrados na Tabela 3.2.

Estudos em parceria foram implementados pelas equipes técnica e logística do PAMASP e do fabricante nos itens do sistema da aviônica. Até o momento, têm-se levantado e disponibilizado os dados apresentados na Tabela 3.2, os quais serão empregados para a determinação da quantidade e distribuição de cada item que será adquirido e estocado em cada Base e no PAMASP.

Os tempos para requisição, despacho, transporte e recebimento em cada Base são os apresentados a seguir, onde são considerados iguais para todos os itens, e não foi considerada a influência do peso e volume de cada item.

PAMASP para Base de Santa Cruz ( $O_{01}$ ) – 0,06027 anos (aproximadamente 22 dias).

**Tabela 3.2 – Dados para o Problema – METRIC**

Nr	Descrição	Itens Analisados					Símbolo
		Receiver	Transmitter	Encoder	Decoder	coupler	
1	Preço	5.000,00	7.500,00	1.500,00	1.850,00	2.500,00	$c$
2	Tempo de reparo no PAMASP [Anos]	0,0557	0,04387	0,0632	0,04983	0,05283	$T_{i,0}$
3	Demanda em Santa Cruz [unid/ano]	24	26	5	24	36	$m_{i,j}$
4	Prob. Reparo Santa Cruz	0,22	0,15	0,12	0,53	0,87	$r_{i,j}$
5	Tempo de reparo Santa Cruz [anos]	0,2531	0,2744	0,6	0,1644	0,0895	$T_{i,j}$
6	Demanda em Canoas [unid/ano]	20	32	4	25	33	$m_{i,j}$
7	Prob. Reparo Canoas	0,15	0,21	0,1	0,45	0,75	$r_{i,j}$
8	Tempo reparo canoas [anos]	0,2385	0,22375	0,5483	0,21387	0,07384	$T_{i,j}$

Fonte: Dados modificados - Responsabilidade do Autor.

PAMASP para Base de Canoas ( $O_{02}$ ) – 0,09041 anos (aproximadamente 30 dias).

Assim considerando, responda as seguintes perguntas:

1. Assumindo que não há unidade em giro para quaisquer dos cinco itens. Qual o número esperado de itens faltantes para os referidos itens na Base de Santa Cruz? Na Base de Canoas? Em toda a frota?
2. Considerando o crédito de \$ 20.000,00, que itens o analista logístico recomendaria a aquisição e em que armazéns os mesmos devem ser localizados?
3. Com a aquisição dos itens da questão dois, como ficaria o número esperado de itens faltantes na Base de Santa Cruz? E na Base de Canoas? E em toda frota?
4. Considerando que o sistema da aviônica é de suma importância para operação da aeronave, onde um item estando em falha a aeronave não decola e que o  $EBO_{sist}$  do sistema pode variar entre 0 e 1, qual será o orçamento aproximado para atender que no máximo, em média, haverá uma requisição não atendida no sistema quando considerados os itens em estudo?

Solução:

A solução deste problema usará o modelo METRIC, cujas condições básicas foram anteriormente apresentadas neste capítulo.

Como suporte para os cálculos foi usado o Software “MATHCAD 2001 – Professional da MathSoft, Inc” – Versão acadêmica.

Passo 1:

Definição e preparação dos valores dos parâmetros a serem tratados. Observe-se que a formulação está de acordo com a formatação exigida pelo MATHCAD.

Taxa de demanda para cada item nas Bases.

$m_{11} := 24$	Demanda do Receiver na BASC
$m_{12} := 20$	Demanda do Receiver na BACO
$m_{21} := 26$	Demanda do Transmitter na BASC
$m_{22} := 32$	Demanda do Transmitter na BACC
$m_{31} := 5$	Demanda do Encoder na BASC
$m_{32} := 4$	Demanda do Encoder na BACO
$m_{41} := 24$	Demanda do Decoder na BASC
$m_{42} := 25$	Demanda do Decoder na BACO
$m_{51} := 36$	Demanda do Coupler na BASC
$m_{52} := 33$	Demanda do Coupler na BACO

Onde,

$m_{ij} \rightarrow$  é taxa de demanda anual para o item  $i$  na localidade  $j$ . As definições para  $i$  e  $j$  são mantidas ao longo de toda aplicação deste exemplo.

Tempos de reparos nas Bases.

Foram estimados em função da equipagem dos laboratórios instalados, da capacidade do pessoal técnico e considerando que sempre há disponibilidade de suprimento para execução do reparo das unidades (itens sobressalentes).

$T_{11} := 0.25310$	Tempo de reparo do Receiver na BASC
$T_{12} := 0.23850$	Tempo de reparo do Receiver na BACO
$T_{21} := 0.27440$	Tempo de reparo do Transmitter na BASC
$T_{22} := 0.22375$	Tempo de reparo do Transmitter na BACC
$T_{31} := 0.60000$	Tempo de reparo do Encoder na BASC
$T_{32} := 0.54383$	Tempo de reparo do Encoder na BACO
$T_{41} := 0.16440$	Tempo de reparo do Decoder na BASC
$T_{42} := 0.21387$	Tempo de reparo do Decoder na BACO
$T_{51} := 0.08950$	Tempo de reparo do Coupler na BASC
$T_{52} := 0.07384$	Tempo de reparo do Coupler na BACO

Probabilidade de reparos nas Bases.

Dimensionada com base na capacidade técnica instalada em cada Base e no grau de dificuldade apresentado pela documentação técnica.

$r_{11} := 0.22$	Probabilidade de reparo do Receiver na BASC
$r_{12} := 0.15$	Probabilidade de reparo do Receiver na BACO
$r_{21} := 0.15$	Probabilidade de reparo do Transmitter na BASC
$r_{22} := 0.21$	Probabilidade de reparo do Transmitter na BACO
$r_{31} := 0.12$	Probabilidade de reparo do Encoder na BASC
$r_{32} := 0.10$	Probabilidade de reparo do Encoder na BACO
$r_{41} := 0.53$	Probabilidade de reparo do Decoder na BASC
$r_{42} := 0.45$	Probabilidade de reparo do Decoder na BACO
$r_{51} := 0.87$	Probabilidade de reparo do Coupler na BASC
$r_{52} := 0.75$	Probabilidade de reparo do Coupler na BACO

Tempo de despacho entre Parque e Base:

$O_{01} := 0.06027$	Tempo de despacho do PAMASP para a BASC
$O_{02} := 0.09041$	Tempo de despacho do PAMASP para a BACO

Tempo de reparo no Regional para cada item (PAMASP)

Estes tempos foram estimados nos mesmos moldes conforme definidos para os tempos de reparos nas Bases.

$T_{10} := 0.05570$	Tempo de reparo do Receiver no PAMASP
$T_{20} := 0.04387$	Tempo de reparo do Transmitter no PAMASP
$T_{30} := 0.06320$	Tempo de reparo do Encoder no PAMASP
$T_{40} := 0.04983$	Tempo de reparo do Decoder no PAMASP
$T_{50} := 0.05283$	Tempo de reparo do Coupler no PAMASP

Passo 2.

#### Demanda dos itens no PAMASP

Os valores aqui calculados para a taxa da demanda no Regional subordinante dependem da probabilidade de reparo do item e da taxa de demanda em cada Base. Neste caso, duas Bases, mas o modelo não está limitado a esta quantidade de sítios.

Receiver	$m_{10} := (1 - r_{11}) \cdot m_{11} + (1 - r_{12}) \cdot m_{12}$	$m_{10} = 35.72$
Transmitter	$m_{20} := (1 - r_{21}) \cdot m_{21} + (1 - r_{22}) \cdot m_{22}$	$m_{20} = 47.38$
Encoder	$m_{30} := (1 - r_{31}) \cdot m_{31} + (1 - r_{32}) \cdot m_{32}$	$m_{30} = 8$
Decoder	$m_{40} := (1 - r_{41}) \cdot m_{41} + (1 - r_{42}) \cdot m_{42}$	$m_{40} = 25.03$
Coupler	$m_{50} := (1 - r_{51}) \cdot m_{51} + (1 - r_{52}) \cdot m_{52}$	$m_{50} = 12.93$

#### Quantidade de itens no canal de suprimento (“Pipeline”) do PAMASP

Este cálculo fornece a quantidade média de cada item demanda do suprimento do Regional durante o tempo de reparo e a demanda média total para todos os itens.

$\mu_{10} := m_{10} \cdot T_{10}$	$\mu_{10} = 1.99$
$\mu_{20} := m_{20} \cdot T_{20}$	$\mu_{20} = 2.079$
$\mu_{30} := m_{30} \cdot T_{30}$	$\mu_{30} = 0.506$
$\mu_{40} := m_{40} \cdot T_{40}$	$\mu_{40} = 1.247$
$\mu_{50} := m_{50} \cdot T_{50}$	$\mu_{50} = 0.683$
$\mu_{\text{pamasp}} := \mu_{10} + \mu_{20} + \mu_{30} + \mu_{40} + \mu_{50}$	
$\mu_{\text{pamasp}} = 6.504$	

A seguir são apresentadas as fórmulas e procedimentos para o cálculo das quantidades esperadas de demandas não atendidas de cada item no PAMASP em função do nível de estoque neste Parque.

$$EBO_{\text{pamasp1}}(s_{10}) := \mu_{10} - s_{10} + \sum_{x=0}^{s_{10}} (s_{10} - x) \cdot \text{dpois}(x, \mu_{10})$$

$$EBO_{\text{pamasp2}}(s_{20}) := \mu_{20} - s_{20} + \sum_{x=0}^{s_{20}} (s_{20} - x) \cdot \text{dpois}(x, \mu_{20})$$

$$EBO_{\text{pamasp3}}(s_{30}) := \mu_{30} - s_{30} + \sum_{x=0}^{s_{30}} (s_{30} - x) \cdot \text{dpois}(x, \mu_{30})$$

$$EBO_{\text{pamasp4}}(s_{40}) := \mu_{40} - s_{40} + \sum_{x=0}^{s_{40}} (s_{40} - x) \cdot \text{dpois}(x, \mu_{40})$$

$$EBO_{\text{pamasp5}}(s_{50}) := \mu_{50} - s_{50} + \sum_{x=0}^{s_{50}} (s_{50} - x) \cdot \text{dpois}(x, \mu_{50})$$

$$EBO_{\text{total}}(s_{10}, s_{20}, s_{30}, s_{40}, s_{50}) := \left( \begin{array}{l} \text{sp1} \leftarrow EBO_{\text{pamasp1}}(s_{10}) \\ \text{sp2} \leftarrow EBO_{\text{pamasp2}}(s_{20}) \\ \text{sp3} \leftarrow EBO_{\text{pamasp3}}(s_{30}) \\ \text{sp4} \leftarrow EBO_{\text{pamasp4}}(s_{40}) \\ \text{sp5} \leftarrow EBO_{\text{pamasp5}}(s_{50}) \\ \text{sp1} + \text{sp2} + \text{sp3} + \text{sp4} + \text{sp5} \end{array} \right)$$

### Tempo no Canal de Suprimento (“Pipeline”)

As fórmulas a seguir apresentadas calculam os tempos que um determinado item procedente de uma determinada Base gasta nos canais de suprimento (Base e/ou Parque) desde o início de sua falha até ser reparado e colocado em disponibilidade operacional em função do nível de estoque deste item no Parque.

$$\begin{aligned}
\text{Pipe}_{11}(s_{10}) &:= r_{11} \cdot T_{11} + (1 - r_{11}) \cdot \left( O_{01} + \frac{\text{EBO}_{\text{pamasp1}}(s_{10})}{m_{10}} \right) & \text{Pipe}_{12}(s_{10}) &:= r_{12} \cdot T_{12} + (1 - r_{12}) \cdot \left( O_{02} + \frac{\text{EBO}_{\text{pamasp1}}(s_{10})}{m_{10}} \right) \\
\text{Pipe}_{21}(s_{20}) &:= r_{21} \cdot T_{21} + (1 - r_{21}) \cdot \left( O_{01} + \frac{\text{EBO}_{\text{pamasp2}}(s_{20})}{m_{20}} \right) & \text{Pipe}_{22}(s_{20}) &:= r_{22} \cdot T_{22} + (1 - r_{22}) \cdot \left( O_{02} + \frac{\text{EBO}_{\text{pamasp2}}(s_{20})}{m_{20}} \right) \\
\text{Pipe}_{31}(s_{30}) &:= r_{31} \cdot T_{31} + (1 - r_{31}) \cdot \left( O_{01} + \frac{\text{EBO}_{\text{pamasp3}}(s_{30})}{m_{30}} \right) & \text{Pipe}_{32}(s_{30}) &:= r_{32} \cdot T_{32} + (1 - r_{32}) \cdot \left( O_{02} + \frac{\text{EBO}_{\text{pamasp3}}(s_{30})}{m_{30}} \right) \\
\text{Pipe}_{41}(s_{40}) &:= r_{41} \cdot T_{41} + (1 - r_{41}) \cdot \left( O_{01} + \frac{\text{EBO}_{\text{pamasp4}}(s_{40})}{m_{40}} \right) & \text{Pipe}_{42}(s_{40}) &:= r_{42} \cdot T_{42} + (1 - r_{42}) \cdot \left( O_{02} + \frac{\text{EBO}_{\text{pamasp4}}(s_{40})}{m_{40}} \right) \\
\text{Pipe}_{51}(s_{50}) &:= r_{51} \cdot T_{51} + (1 - r_{51}) \cdot \left( O_{01} + \frac{\text{EBO}_{\text{pamasp5}}(s_{50})}{m_{50}} \right) & \text{Pipe}_{52}(s_{50}) &:= r_{52} \cdot T_{52} + (1 - r_{52}) \cdot \left( O_{02} + \frac{\text{EBO}_{\text{pamasp5}}(s_{50})}{m_{50}} \right)
\end{aligned}$$

Para o cálculo dos EBO's, usando o MATCHCAD, há necessidade de estimar a faixa de variação das variáveis de controle de nível de estoque ( $s_{ij}$ ) de cada item. Esta estimativa visa limitar o tempo de uso da máquina, o que é prudente nos cálculos que envolvem milhares de itens.

Logo, define-se:

$$\begin{array}{ccccc}
s_{10} := 0, 1.. 8 & s_{20} := 0, 1.. 8 & s_{30} := 0, 1.. 8 & s_{40} := 0, 1.. 8 & s_{50} := 0, 1.. 8 \\
s_{11} := 0, 1.. 8 & s_{21} := 0, 1.. 8 & s_{31} := 0, 1.. 8 & s_{41} := 0, 1.. 8 & s_{51} := 0, 1.. 8 \\
s_{12} := 0, 1.. 8 & s_{22} := 0, 1.. 8 & s_{32} := 0, 1.. 8 & s_{42} := 0, 1.. 8 & s_{52} := 0, 1.. 8
\end{array}$$

Então para calcular o número esperado de requisições (demandas) não atendidas nas Bases para cada item em função dos níveis de estoques nas Bases e Parque, aplica-se:

$$EBO_{11}(s_{10}, s_{11}) := m_{11} \cdot \text{Pipe}_{11}(s_{10}) - s_{11} + \sum_{x=0}^{s_{11}} (s_{11} - x) \cdot \text{dpois}[x, (m_{11} \cdot \text{Pipe}_{11}(s_{10}))]$$

$$EBO_{12}(s_{10}, s_{12}) := m_{12} \cdot \text{Pipe}_{12}(s_{10}) - s_{12} + \sum_{x=0}^{s_{12}} (s_{12} - x) \cdot \text{dpois}[x, (m_{12} \cdot \text{Pipe}_{12}(s_{10}))]$$

$$EBO_{21}(s_{20}, s_{21}) := m_{21} \cdot \text{Pipe}_{21}(s_{20}) - s_{21} + \sum_{x=0}^{s_{21}} (s_{21} - x) \cdot \text{dpois}[x, (m_{21} \cdot \text{Pipe}_{21}(s_{20}))]$$

$$EBO_{22}(s_{20}, s_{22}) := m_{22} \cdot \text{Pipe}_{22}(s_{20}) - s_{22} + \sum_{x=0}^{s_{22}} (s_{22} - x) \cdot \text{dpois}[x, (m_{22} \cdot \text{Pipe}_{22}(s_{20}))]$$

$$EBO_{31}(s_{30}, s_{31}) := m_{31} \cdot \text{Pipe}_{31}(s_{30}) - s_{31} + \sum_{x=0}^{s_{31}} (s_{31} - x) \cdot \text{dpois}[x, (m_{31} \cdot \text{Pipe}_{31}(s_{30}))]$$

$$EBO_{32}(s_{30}, s_{32}) := m_{32} \cdot \text{Pipe}_{32}(s_{30}) - s_{32} + \sum_{x=0}^{s_{32}} (s_{32} - x) \cdot \text{dpois}[x, (m_{32} \cdot \text{Pipe}_{32}(s_{30}))]$$

$$EBO_{41}(s_{40}, s_{41}) := m_{41} \cdot \text{Pipe}_{41}(s_{40}) - s_{41} + \sum_{x=0}^{s_{41}} (s_{41} - x) \cdot \text{dpois}[x, (m_{41} \cdot \text{Pipe}_{41}(s_{40}))]$$

$$EBO_{42}(s_{40}, s_{42}) := m_{42} \cdot \text{Pipe}_{42}(s_{40}) - s_{42} + \sum_{x=0}^{s_{42}} (s_{42} - x) \cdot \text{dpois}[x, (m_{42} \cdot \text{Pipe}_{42}(s_{40}))]$$

$$EBO_{51}(s_{50}, s_{51}) := m_{51} \cdot \text{Pipe}_{51}(s_{50}) - s_{51} + \sum_{x=0}^{s_{51}} (s_{51} - x) \cdot \text{dpois}[x, (m_{51} \cdot \text{Pipe}_{51}(s_{50}))]$$

$$EBO_{52}(s_{50}, s_{52}) := m_{52} \cdot \text{Pipe}_{52}(s_{50}) - s_{52} + \sum_{x=0}^{s_{52}} (s_{52} - x) \cdot \text{dpois}[x, (m_{52} \cdot \text{Pipe}_{52}(s_{50}))]$$

Assim, os valores esperados de requisições não atendidas para cada Base e para o sistema (Bases e Parque) para todos os itens em função dos níveis de estoques, são dados por:

$$EBO_{\text{base}}(s_{10}, s_{11}, s_{20}, s_{21}, s_{30}, s_{31}, s_{40}, s_{41}, s_{50}, s_{51}) := \begin{cases} f1 \leftarrow EBO_{11}(s_{10}, s_{11}) \\ f2 \leftarrow EBO_{21}(s_{20}, s_{21}) \\ f3 \leftarrow EBO_{31}(s_{30}, s_{31}) \\ f4 \leftarrow EBO_{41}(s_{40}, s_{41}) \\ f5 \leftarrow EBO_{51}(s_{50}, s_{51}) \\ f1 + f2 + f3 + f4 + f5 \end{cases}$$

$$EBO_{\text{baco}}(s_{10}, s_{12}, s_{20}, s_{22}, s_{30}, s_{32}, s_{40}, s_{42}, s_{50}, s_{52}) := \begin{cases} k1 \leftarrow EBO_{12}(s_{10}, s_{12}) \\ k2 \leftarrow EBO_{22}(s_{20}, s_{22}) \\ k3 \leftarrow EBO_{32}(s_{30}, s_{32}) \\ k4 \leftarrow EBO_{42}(s_{40}, s_{42}) \\ k5 \leftarrow EBO_{52}(s_{50}, s_{52}) \\ k1 + k2 + k3 + k4 + k5 \end{cases}$$

$$EBO_{\text{sis}}(s_{10}, s_{11}, s_{12}, s_{20}, s_{21}, s_{22}, s_{30}, s_{31}, s_{32}, s_{40}, s_{41}, s_{42}, s_{50}, s_{51}, s_{52}) := \begin{cases} t1 \leftarrow EBO_{\text{basc}}(s_{10}, s_{11}, s_{20}, s_{21}, s_{30}, s_{31}, s_{40}, s_{41}, s_{50}, s_{51}) \\ t2 \leftarrow EBO_{\text{baco}}(s_{10}, s_{12}, s_{20}, s_{22}, s_{30}, s_{32}, s_{40}, s_{42}, s_{50}, s_{52}) \\ t1 + t2 \end{cases}$$

Teoricamente observa-se que não há limite para o número de Bases e itens nestas fórmulas.

Passo 3.

Determinação dos valores numéricos conforme perguntas do problema.

Zerar variáveis de controle de níveis de estoque para uso na minimização da função objetivo.

$$\begin{array}{ccccc} s_{10} := 0 & s_{20} := 0 & s_{30} := 0 & s_{40} := 0 & s_{50} := 0 \\ s_{11} := 0 & s_{21} := 0 & s_{31} := 0 & s_{41} := 0 & s_{51} := 0 \\ s_{12} := 0 & s_{22} := 0 & s_{32} := 0 & s_{42} := 0 & s_{52} := 0 \end{array}$$

Resposta a pergunta 1.

Cálculo do número esperado de requisições não atendidas (valor médio da demanda não atendida) para cada item na BASC quando não há item em estoque:

Receiver	Transmitter	Encoder	Decoder	Coupler
$EBO_{11}(s_{10}, s_{11}) = 3.507$	$EBO_{21}(s_{20}, s_{21}) = 3.372$	$EBO_{31}(s_{30}, s_{31}) = 0.903$	$EBO_{41}(s_{40}, s_{41}) = 3.333$	$EBO_{51}(s_{50}, s_{51}) = 3.332$

Total

$$EBO_{\text{basc}}(s_{10}, s_{11}, s_{20}, s_{21}, s_{30}, s_{31}, s_{40}, s_{41}, s_{50}, s_{51}) = 14.448$$

Cálculo do número esperado de requisições não atendidas para cada item na BACO quando não há item em estoque:

Receiver	Transmitter	Encoder	Decoder	Coupler
$EBO_{12}(s_{10}, s_{12}) = 3.199$	$EBO_{22}(s_{20}, s_{22}) = 4.898$	$EBO_{32}(s_{30}, s_{32}) = 0.771$	$EBO_{42}(s_{40}, s_{42}) = 4.334$	$EBO_{52}(s_{50}, s_{52}) = 3.009$
Total				
$EBO_{\text{baco}}(s_{10}, s_{12}, s_{20}, s_{22}, s_{30}, s_{32}, s_{40}, s_{42}, s_{50}, s_{52}) = 16.212$				

Cálculo do número esperado total de requisições não atendidas no Sistema em função do nível de estoque para cada item nas BASC e BACO e no Parque quando não há unidade em estoque para os diversos itens.

$$EBO_{\text{sist}}(s_{10}, s_{11}, s_{12}, s_{20}, s_{21}, s_{22}, s_{30}, s_{31}, s_{32}, s_{40}, s_{41}, s_{42}, s_{50}, s_{51}, s_{52}) = 30.659$$

Resposta a pergunta 2.

Observa-se que os números de demandas não atendidas nas Bases e no sistema conforme calculadas anteriormente são elevados. Assim, para que o sistema possa atender determinado índice de disponibilidade, algum valor de orçamento há que ser disponibilizado para compra de sobressalentes, os quais deverão ser distribuídos nos suprimentos das Bases e Parque.

Para encontrar estas quantidades e as referidas distribuições o METRIC possibilita a realização da otimização do número de “Backorders” no sistema. A otimização será feita minimizando a função  $EBO_{\text{sist}}$  em função das variáveis de controle de níveis de estoques. A minimização está sujeita a restrição orçamentária. Pode-se observar que para a diminuição do valor esperado de faltas do sistema ( $EBO_{\text{sist}}$ ) há necessidade do aumento do nível de estoque e “Ceteris paribus”. Com este procedimento a disponibilidade operacional aumenta e também os consequentes gastos de orçamento (esta é uma possibilidade de otimização).

As funções objetivo ( $EBO_{\text{sist}}$ ) e Custo estão formuladas a seguir:

$$EBO_{\text{basc}}(s_{10}, s_{11}, s_{20}, s_{21}, s_{30}, s_{31}, s_{40}, s_{41}, s_{50}, s_{51}) := \begin{cases} o1 \leftarrow EBO_{11}(s_{10}, s_{11}) \\ o2 \leftarrow EBO_{21}(s_{20}, s_{21}) \\ o3 \leftarrow EBO_{31}(s_{30}, s_{31}) \\ o4 \leftarrow EBO_{41}(s_{40}, s_{41}) \\ o5 \leftarrow EBO_{51}(s_{50}, s_{51}) \\ o1 + o2 + o3 + o4 + o5 \end{cases}$$

$$EBO_{\text{baco}}(s_{10}, s_{12}, s_{20}, s_{22}, s_{30}, s_{32}, s_{40}, s_{42}, s_{50}, s_{52}) := \begin{cases} p1 \leftarrow EBO_{12}(s_{10}, s_{12}) \\ p2 \leftarrow EBO_{22}(s_{20}, s_{22}) \\ p3 \leftarrow EBO_{32}(s_{30}, s_{32}) \\ p4 \leftarrow EBO_{42}(s_{40}, s_{42}) \\ p5 \leftarrow EBO_{52}(s_{50}, s_{52}) \\ p1 + p2 + p3 + p4 + p5 \end{cases}$$

$$EBO_{\text{sist}}(s_{10}, s_{11}, s_{12}, s_{20}, s_{21}, s_{22}, s_{30}, s_{31}, s_{32}, s_{40}, s_{41}, s_{42}, s_{50}, s_{51}, s_{52}) := \begin{cases} k1 \leftarrow EBO_{\text{basc}}(s_{10}, s_{11}, s_{20}, s_{21}, s_{30}, s_{31}, s_{40}, s_{41}, s_{50}, s_{51}) \\ k2 \leftarrow EBO_{\text{baco}}(s_{10}, s_{12}, s_{20}, s_{22}, s_{30}, s_{32}, s_{40}, s_{42}, s_{50}, s_{52}) \\ k1 + k2 \end{cases}$$

$$\text{Custo}(s_{10}, s_{11}, s_{12}, s_{20}, s_{21}, s_{22}, s_{30}, s_{31}, s_{32}, s_{40}, s_{41}, s_{42}, s_{50}, s_{51}, s_{52}) := \begin{cases} b1 \leftarrow 5000(s_{10} + s_{11} + s_{12}) \\ b2 \leftarrow 7500(s_{20} + s_{21} + s_{22}) \\ b3 \leftarrow 15000(s_{30} + s_{31} + s_{32}) \\ b4 \leftarrow 18500(s_{40} + s_{41} + s_{42}) \\ b5 \leftarrow 2500(s_{50} + s_{51} + s_{52}) \\ b1 + b2 + b3 + b4 + b5 \end{cases}$$

Com base nas funções definidas anteriormente e usando das facilidades disponibilizadas pelo MATCHCAD para minimização da função objetivo, podem-se calcular os níveis e distribuições de estoques para os valores de disponibilidade e orçamentários desejados.

Assim, para responder a segunda questão, onde foi determinado um orçamento de \$ 20.000,00, pode-se estruturar a seguinte solução:

Condições iniciais para as variáveis controladoras de níveis de estoques.

$$\begin{array}{ccccc} s_{10} := 0 & s_{20} := 0 & s_{30} := 0 & s_{40} := 0 & s_{50} := 0 \\ s_{11} := 0 & s_{21} := 0 & s_{31} := 0 & s_{41} := 0 & s_{51} := 0 \\ s_{12} := 0 & s_{22} := 0 & s_{32} := 0 & s_{42} := 0 & s_{52} := 0 \end{array}$$



Resposta a pergunta 3.

Após a disponibilização das quantidades sugeridas na respostas da pergunta anterior, vê-se que os números de requisições não atendidas caíram, mas ainda, continuam elevados.

$$EBO_{\text{baco}}(0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 3) = 12.921$$

$$EBO_{\text{basc}}(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 3) = 11.991$$

$$EBO_{\text{sist}}(0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 3, 3) = 24.912$$

Resposta a pergunta 4.

Para responder esta pergunta serão usados os conhecimentos apresentados anteriormente para construir uma curva otimizada das EBO's do sistema em função dos valores orçados. Como já mencionado, esta curva apresentará valores de EBO's tendendo para zero, com valores orçados aumentando e “ceteris paribus”, logo, para algum valor de orçamento a curva interceptará o ponto de número esperado de demandas não atendidas menor ou iguais a 1.

Usando das equações e procedimentos apresentados na resposta 2 e aumentando o limite orçamentário a partir de \$ 20.000 a passos, por exemplo, de \$ 50.000,00, poder-se-á chegar aos valores de níveis de estoques, distribuição, EBO e nível de orçamento conforme listados na Tabela 3.3.

Da Tabela 3.3, observa-se que o modelo usado tende a colocar mais itens próximos às instalações. Neste caso, nas Bases.

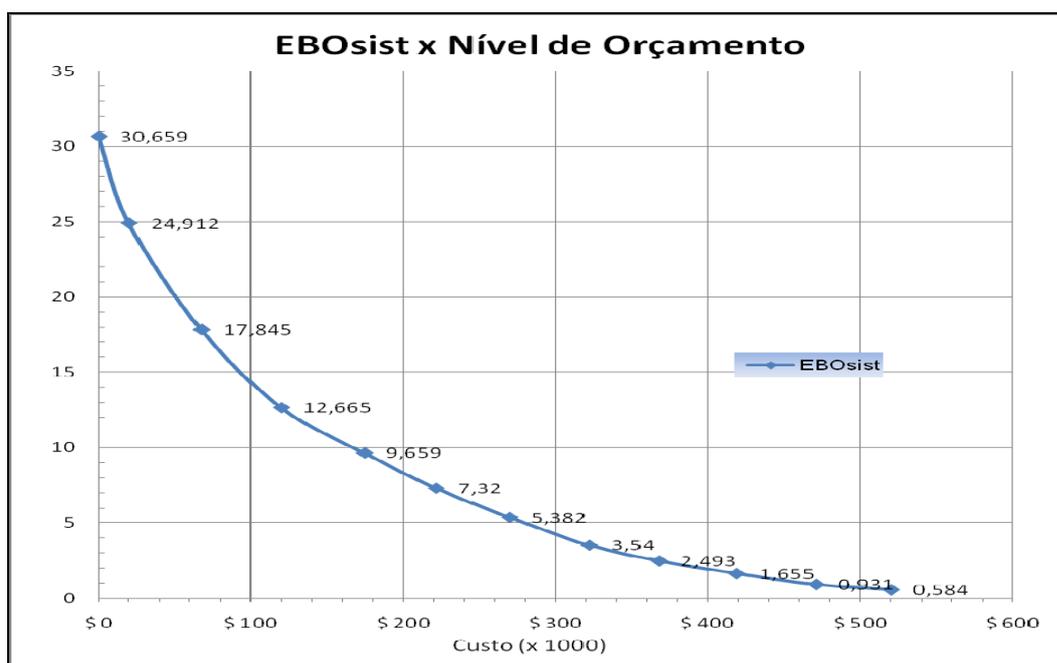
Pode-se observar também que o modelo tende a indicar compra em maior quantidade dos itens com preços unitários menores.

No Gráfico da Figura 3.3 verifica-se nitidamente a tendência de queda da média das requisições não atendidas no sistema ( $EBO_{\text{sist}}$ ) com o aumento da disponibilidade de orçamento.

**Tabela 3.3 – Resumo da Quantidade e Distribuição de Estoque**

Ponto	Nível de Estoque por Localidade															Orçamen to (x10 <sup>3</sup> )	Custo (x10 <sup>3</sup> )	EBO <sub>sist</sub>
	S <sub>10</sub>	S <sub>11</sub>	S <sub>12</sub>	S <sub>20</sub>	S <sub>21</sub>	S <sub>22</sub>	S <sub>30</sub>	S <sub>31</sub>	S <sub>32</sub>	S <sub>40</sub>	S <sub>41</sub>	S <sub>42</sub>	S <sub>50</sub>	S <sub>51</sub>	S <sub>52</sub>			
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	\$0,00	\$0,00	30,659
2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	\$20,00	\$20,00	24,912
3	1	2	2	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	4	4	\$70,00	\$67,50	17,845
4	1	3	3	0	3	5	0	0	0	0	0	0	0	5	5	\$120,00	\$120,00	12,665
5	2	4	3	1	3	5	0	0	0	0	0	2	0	5	5	\$170,00	\$174,50	9,659
6	1	4	4	1	4	5	0	0	0	0	2	2	0	6	5	\$220,00	\$221,50	7,32
7	2	4	4	1	4	6	0	1	0	0	2	3	0	6	5	\$270,00	\$270,00	5,382
8	1	5	4	1	4	6	0	1	1	0	3	4	0	6	6	\$320,00	\$322,00	3,54
9	2	5	5	1	5	7	0	1	1	0	4	4	1	6	6	\$370,00	\$368,00	2,493
10	2	5	5	3	5	7	0	2	1	0	4	5	1	7	6	\$420,00	\$419,00	1,655
11	2	6	5	1	5	8	0	2	2	0	5	6	1	7	7	\$470,00	\$471,00	0,931
12	3	6	5	2	5	8	0	2	2	0	6	7	2	7	6	\$520,00	\$520,50	0,584

Notas: 1)  $s_{ij}$  significa nível de estoque do item  $i$  na localidade  $j$ ;  
 2)  $i$  varia de 1 a 5.  $j = 0 \rightarrow$  Regional,  $j = 1 \rightarrow$  BASC e  $j = 2 \rightarrow$  BACO.

**Figura 3.3 – Gráfico do EBO do Sistema por Nível de Orçamento**

Logo, a resposta para a pergunta 4 é a seguinte: para os itens em estudo, o nível médio de requisições não atendidas no sistema menor que 1 poderá ser obtido quando for disponibilizado um orçamento de aproximadamente \$ 471.000,00. Este resultado pode ser visto na linha ponto 11 da Tabela 3.3. Nesta

Tabela também estão apresentadas as quantidades de sobressalentes calculadas para cada item e a respectiva localização de destino (Bases e Parque).

A título de certificação dos resultados gerados pelo modelo METRIC, Sherbrooke (1992) relatou que Graves (1984) comparou resultados obtidos com o modelo METRIC em relação a situações de ótimo e constatou ao longo de sua experiência que em somente 11% dos casos o METRIC diferenciou seu estoque em pelo menos uma unidade do ótimo.

Os tópicos a seguir apresentarão um resumo da formulação da teoria aplicada para o desenvolvimento da extensão do modelo METRIC para VARI-METRIC, objetivando suportar a solução do caso estudado na seção 2.5.3 deste trabalho usando da potencialidade da extensão do modelo.

### 3.4

#### VARI-METRIC

Quando o METRIC foi desenvolvido, era sabido que ele subdimensionava as demandas não atendidas no sítio, mas à época julgou-se que era mais importante a simplicidade do modelo do que a precisão na previsão de faltas.

Os estudos sobre o METRIC continuaram a ser desenvolvidos e publicados. Slay (1984) desenvolveu um melhoramento para o METRIC que recebeu o nome de VARI-METRIC, e Graves (1985) publicou uma derivação dessa aproximação que facilitava o uso de meios informatizados para a sua aplicação. O VARI-METRIC se propagou, e hoje é a base de vários modelos utilizados tanto na iniciativa privada quanto pública.

Com o advento da técnica do VARI-METRIC, Graves mostrou que em 11% dos casos, os níveis de estoques calculados pelo METRIC diferiam em pelo menos uma unidade do resultado ótimo e que usando a técnica de modelagem do VARI-METRIC, a diferença é encontrada em somente 1% dos casos.

O embasamento do VARI-METRIC está na consideração do uso dos valores médios e variâncias para o cálculo das demandas dos itens sobressalentes nos canais de suprimento entre os diversos sítios componentes da estrutura do sistema logístico. Este modelo possibilita obter melhores estimativas das demandas não atendidas (BackOrders), usando do emprego da combinação da

teoria de múltiplos escalões e múltiplas endentações conforme publicado por Sherbrooke (1992).

A lógica aplicada para a estruturação logística neste modelo considera a definição dos Sítios operacionais, onde estão instalados os equipamentos/ sistema e a definição dos Sítios suportes, onde são feitos os reparos e há estoques de sobressalentes. Um Sítio suporte pode atender vários sítios operacionais. Dependendo da configuração estrutural, os sítios operacionais podem ser também suporte para determinados itens partes da configuração dos equipamentos/ sistema neles instalados. O VARI-METRIC tenderá a relaxar a estrutura fixa de escalão nas aplicações práticas, podendo desta maneira ter qualquer quantidade de escalões entre o sítio operacional e o fabricante.

A demanda na Base (Base tem o mesmo significado de Sítio operacional) por unidade de item de primeira endentação (Line-Replaceable Unit - LRU), tratada em combinação com parâmetros, tais como, probabilidade de reparo, tempo de reparo, tempo de solicitação e transporte dentro da estrutura logística (entre Bases e Sítios suportes) permitem nos calcular as demandas por LRU nos diversos sítios e também às demandas por item de segunda endentação (Second-indenture Shop-Replaceable Unit - SRU) usando das técnicas formuladas e disponibilizadas pelo VARI-METRIC.

### 3.4.1

#### **Teoria para Múltiplos Escalões**

A condição basilar é calcular a média e variância do número de unidades demandadas no canal de suprimento entre os diversos sítios, usando dos conceitos empregados para múltiplos escalões.

Considera-se que o tempo para a Base solicitar e receber o sobressalente do sítio suporte é representado por,  $O$ , e que este tempo é constante para todas as Bases e que o atraso para o suprimento de alguma Base, num tempo arbitrário,  $t$ , é função do nível de estoque no sítio suporte no tempo  $t - O$ . Considera-se, ainda, que o Sítio suporte atende às demandas por ordem de chegadas, que às demandas pendentes para a base  $j$ , condicionais ao total de demandas pendentes têm uma distribuição binomial e que o número de unidades demandadas,  $x_j$ , no canal de

suprimento para a base  $j$  está relacionado ao número de unidades demandadas,  $x_0$ , no canal de suprimento do sítio suporte.

Logo, conforme deduzido na literatura de apoio consultada, o número esperado de unidades no canal de suprimento da base  $j$  condicionada ao número de unidades em reparo no sítio suporte é dado por:

$$E[X_j] = \sum_{x_0=0}^{\infty} E[X_j | X_0] \Pr\{X_0 = x_0\} \quad (3.19)$$

A variância é dada por:

$$\text{Var}[X_j] = \sum_{x_0=0}^{\infty} \text{Var}[X_j | X_0] \Pr\{X_0 = x_0\} + \sum_{x_0=0}^{\infty} (E[X_j | X_0] - E[X_j])^2 \Pr\{X_0 = x_0\} \quad (3.20)$$

Onde,

$X_j$  = número de unidades demandadas no canal de suprimento da base  $j$ ;

$X_0$  = número de unidades em reparo no sítio suporte; e

$\Pr\{.\}$  = distribuição de probabilidade considerada para a demanda.

As equações (3.19) e (3.20) devem ser avaliadas em função da estrutura de múltiplos escalões.

Para a equação (3.19), tem-se:

$$E[X_j | x_0] = m_j O \quad \text{se } x_0 \leq s_0.$$

Onde,

$s_0$  = nível de estoque do item no sítio suporte;

$j > 0$  identifica as Bases operacionais

$j = 0$  identifica o Sítio suporte.

Neste caso não há demanda pendente no Sítio suporte atrasando o suprimento da solicitação da Base.

Quando há demanda pendente no Sítio suporte, a equação (3.19) engloba mais uma parcela que representa a quantidade de unidades acrescidas relativas ao atraso provocado pelo Sítio suporte. Assim, a equação (3.19) fica:

$$E[X_j | x_0] = m_j O + m_j (x_0 - s_0) / m_0, \quad \text{se } x_0 > s_0.$$

Logo, utilizando da expressão para o cálculo do valor esperado de faltas relativo ao nível de estoque no sítio suporte, tem-se:

$$E[X_j] = m_j O + m_j \text{EBO}(s_0) / m_0 \quad (3.21)$$

Onde,

$m_j$  = taxa de demanda da base j;

$m_0$  = taxa de demanda pelo item no sítio suporte; e

$EBO(s_0)$  = valor esperado de demanda não atendida em função do nível de estoque no sítio suporte.

Para a equação (3.20), utilizando do mesmo raciocínio feito para o valor esperado, tem-se:

$$\text{Var}[X_j | x_0] = \begin{cases} m_j O & \text{se } x_0 \leq s_0 \\ m_j O + (m_j / m_0)(1 - m_j / m_0)(x_0 - s_0) & \text{se } x_0 > s_0 \end{cases}$$

E, considerando-se:

$$\text{Var}[E(X_j | X_0)] = m_j^2 \text{VBO}(s_0) / m_0^2 \quad (3.22)$$

Tem-se que,

$$\text{Var}[X_j] = m_j O + (m_j / m_0)(1 - m_j / m_0)EBO(s_0) + m_j^2 \text{VBO}(s_0) / m_0^2 \quad (3.23)$$

Onde,

$\text{VBO}(s_0)$  = variância das demandas não atendidas em função do nível de estoque do Sítio suporte.

Para o cálculo de  $\text{VBO}(s_0)$  na expressão matemática (3.23), deve-se usar as fórmulas a seguir:

$$\text{VBO}(s_0) = E(B^2(x | s_0)) - (EBO(s_0))^2, \quad (3.24)$$

Onde,

$$E(B^2(x | s_0)) = \sum_{x=s_0+1}^{\infty} (x - s_0)^2 \text{Pr}(X = x), \quad (3.25)$$

E,

$$EBO(s_0) = \sum_{x=s_0+1}^{\infty} (x - s_0) \text{Pr}(X = x) \quad (3.26)$$

### 3.4.2

#### Procedimentos e Definições para uso do VARI-METRIC

O VARI-METRIC combinando as informações de múltiplos endentamentos e múltiplos escalões começa quando uma LRU falha no conjunto maior (end item) e é trazida para o suprimento da Base. Se o suprimento tem uma LRU sobressalente, ela é disponibilizada e o conjunto maior é reparado; caso contrário uma solicitação (demanda) não atendida é aberta na Base. A LRU falha tem a probabilidade de ser reparada na Base, caso o reparo seja complexo, a LRU é enviada para o Sítio suporte para reparo e uma requisição de suprimento da LRU é colocada no Sítio suporte.

Se a LRU é reparada na Base, assume-se que somente uma SRU componente da LRU estará em falha. Se uma SRU sobressalente está disponível na Base, ela é colocada na LRU e o reparo está terminado. A SRU tem uma probabilidade de ser reparada na Base, caso contrário ela é enviada para o Sítio suporte e uma requisição de suprimento da SRU é colocada no Sítio suporte.

Quando um reparo ou suprimento de uma LRU é completado, uma requisição não atendida é satisfeita, ou o estoque em armazém é aumentado de uma unidade. Se a LRU não é reparada na Base, um similar processo de reparo ao da SRU ocorre no Sítio suporte. Assume-se que todas SRU serão reparadas no Sítio suporte, mas essa condição será relaxada nas aplicações práticas do VARI-METRIC, onde também poderá ser considerado o fabricante.

Por necessidade de convenções no uso do modelo VARI-METRIC, adotar-se-á que  $i$  igual a 1, 2, 3, ... $I$  representará um item SRU e que  $i$  igual a 0 será uma LRU. As Bases ou Sítios operacionais serão representados por  $j$  igual a 1, 2, 3 ... $J$  e que  $j$  igual a 0 representará um o Sítio suporte de mais alto nível.

Logo,

$m_{ij}$  = taxa de demanda média pela SRU  $i$  na Base (ou sítio operacional)  $j$ ;

$T_{ij}$  = tempo médio de reparo da SRU  $i$  na Base (ou sítio operacional)  $j$ ;

$r_{ij}$  = probabilidade que a falha da SRU  $i$  na Base (ou sítio operacional)  $j$  pode ser reparada nesta Base;

$q_{ij}$  = probabilidade condicional que uma LRU sendo reparada na Base (ou sítio operacional)  $j$  foi devida a troca somente da SRU  $i$  falhada, onde  $\sum_{i=1}^I q_{ij} = 1$ ;

$O_i$  = tempo constante gasto para que uma Base emita uma solicitação requerendo uma SRU  $i$  do sítio suporte e a receba, caso o Sítio suporte tenha o item disponível. Em casos práticos, a condição de tempo constante por Base (ou sítio operacional) será relaxada para ser representada por uma distribuição de probabilidade; e

$s_{ij}$  = nível de estoque da SRU  $i$  na Base  $j$ .

Para a modelagem do processo combinado no VARI-METRIC, há necessidade de definir uma variável estocástica ( $X_{ij}$ ) que represente o número de unidades demandadas da SRU  $i$  da Base  $j$  que estão em reparo ou em suprimento nos canais de suprimento num ponto aleatório do tempo,  $t$ .

A seguir será verificado que para os cálculos do valor esperado ( $E(X_{ij})$ ) e da variância ( $Var(X_{ij})$ ) para as unidades demandadas de um item nos canais de suprimento, aparecerão parcelas, para as quais serão necessário calcular o valor esperado ( $EBO$ ) e a variância ( $VBO$ ) referente às demandas não atendidas. A média ( $\mu$ ) e variância ( $Var$ ) da distribuição de probabilidade adotada serão usadas nos referidos cálculos.

Assim considerando, as representações das fórmulas do valor esperado e variância para as demandas não atendidas usarão as seguintes notações:

$EBO(s | \mu, Var)$   $\rightarrow$  número esperado de falhas não atendidas, dado um nível de estoque  $s$ , onde a distribuição de probabilidade das falhas não atendidas têm média  $\mu$  e variância  $Var$ .

O mesmo ocorrerá para a variância, logo a notação será:

$VBO(s | \mu, Var)$ .

Quando a distribuição de probabilidade para as demandas não atendidas é Poisson, a média é igual à variância é igual, neste caso o segundo argumento é suprimido das notações.

Considerando as nuances mostradas anteriormente, a seguir serão formulados os cálculos das taxas de demandas, da média e da variância referentes às unidades ( $X_{ij}$ ) demandadas nos canais de suprimento, conforme estrutura logística anteriormente definida.

### 1. Taxas de demandas

A taxa de demanda ( $m_{ij}$ ) pela SRU  $i$  no sítio operacional  $j$  é calculada pela equação definida a seguir:

$$m_{ij} = m_{0j} \cdot r_{0j} \cdot q_{ij} \quad \text{-----} > \text{ para } i \text{ e } j > 0. \quad (3.27)$$

Onde,

$m_{0j}$  = taxa de demanda pela LRU no sítio operacional  $j$ ;

$r_{0j}$  = probabilidade que a LRU é reparada no sítio operacional  $j$ ; e

$q_{ij}$  = probabilidade que o reparo da LRU do sítio operacional  $j$  resulte na demanda da SRU  $i$ .

A taxa de demanda por LRU no sítio suporte é a soma das demandas de LRU no sítio operacional (Base) que resulta em requisição de LRU procedentes do sítio suporte. Esta taxa é dada pela equação:

$$m_{00} = \sum_{j=1}^J m_{0j} (1 - r_{0j}) \quad (3.28)$$

A taxa de demanda no sítio suporte por SRU  $i$  é dada pela demanda de cada sítio operacional subordinado mais a taxa de demanda por SRU devida ao resultado dos reparos de LRU no sítio suporte. Esta taxa é dada pela equação:

$$m_{i0} = \sum_{j=1}^J m_{ij} (1 - r_{ij}) + m_{00} q_{i0} \quad i > 0 \quad (3.29)$$

Na Figura 3.3 estão apresentadas as seqüências de cálculos das demandas ( $x_{ij}$ ) e das demandas não atendidas (BO) para LRU e SRU.

### 2. Média e variância para o número de LRU em demanda no Sítio suporte

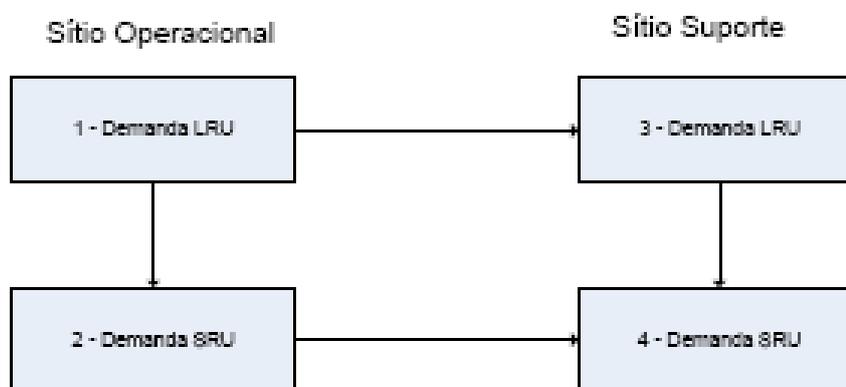
A fração da demanda por SRU  $i$  devido ao reparo de LRU no sítio suporte é dada por:

$$f_{i0} = m_{00} q_{i0} / m_{i0} \quad \text{-----} > \text{ para } i > 0 \quad (3.30)$$

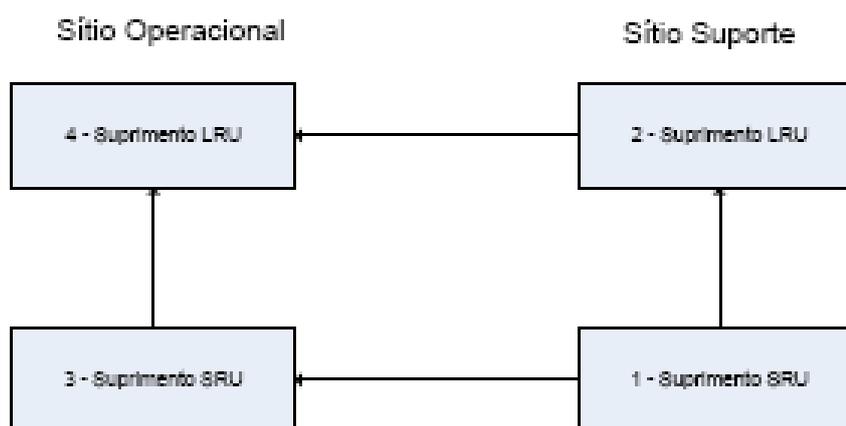
As LRU em demanda no Sítio suporte podem ser divididas em dois grupos:

- ✓ LRU em reparo no sítio suporte que não tem atraso no fornecimento de SRU; e

- ✓ LRU em reparo no sítio suporte que são atrasadas devido à indisponibilidade de SRU no estoque.



a – seqüência da demanda sítio operacional - Sítio Suporte



b - Seqüência cálculo das faltas

**Figura 3.4** – Sentido de cálculo das demandas e faltas

As atividades de manutenção aplicadas nestes dois grupos são consideradas independentes.

A probabilidade de atraso no reparo de uma LRU no sítio suporte devido a uma demanda não atendida de uma particular SRU é  $f_{i0}$ . E tem uma probabilidade  $1-f_{i0}$  de atrasar o suprimento de uma LRU para uma demanda do sítio operacional. Observa-se, ainda, que conforme informado na literatura consultada, o número total de demandas não atendidas de SRU  $i$  no sítio suporte que estão atrasando

reparos de LRU tem uma distribuição binomial. Logo a média e variância do número de LRU em demanda no sítio suporte, são dadas pelas expressões:

$$E(X_{00}) = m_{00}T_{00} + \sum_{i=1}^I f_{i0}EBO(s_{i0} | m_{i0}T_{i0}) \quad (3.31)$$

E,

$$Var(X_{00}) = m_{00}T_{00} + \sum_{i=1}^I f_{i0}(1-f_{i0})EBO(s_{i0} | m_{i0}T_{i0}) + \sum_{i=1}^I f_{i0}^2VBO(s_{i0} | m_{i0}T_{i0}) \quad (3.32)$$

### 3. Média e Variância para o número de SRU em demanda pelo Sítio operacional

Considere-se que  $f_{ij}$  representa a fração de SRU  $i$  demandada pelo Sítio operacional ao Sítio suporte e que é dada pela expressão:

$$f_{ij} = m_{ij}(1-r_{ij})/m_{i0} \text{ ----- } > \text{sendo } i, j > 0 \quad (3.33)$$

Considerando as equações (3.29), (3.30) e (3.33), observamos que o somatório das frações das taxas de demanda da SRU  $i$  para cada sítio do sistema é igual a 1.

$$\sum_{j=0}^J f_{ij} = 1 \quad i > 0 \quad (3.34)$$

Para os cálculos do valor esperado e da variância da demanda pela SRU  $i$  de um determinado sítio operacional, deve-se considerar também:

- A quantidade de unidades da SRU  $i$  reparadas no sítio operacional;
- A quantidade de unidades da SRU  $i$  supridas pelo sítio suporte que são transportadas para o sítio operacional (aqui se deve considerar as demandas atendidas “on time” e as demandas que não são atendidas “on time” devido a indisponibilidade de unidades da SRU  $i$  no sítio suporte no momento da requisição – Esta indisponibilidade gera as demandas não atendidas (BackOrder - BO)); e
- E por último verifica-se que o tempo de indisponibilidade de SRU no Sítio suporte pode ser regido por uma distribuição binomial, uma vez que o tempo de transporte entre o sítio suporte e o Sítio operacional é considerado constante ( $O_i$ ). Esta consideração será relaxada.

Com base nestas considerações, tem-se:

$$E(X_{ij}) = m_{ij}[(1-r_{ij})O_i + r_{ij}T_{ij}] + f_{ij}EBO(s_{i0} | m_{i0}T_{i0}) \quad i, j > 0 \quad (3.35)$$

E,

$$Var(X_{ij}) = m_{ij}[(1-r_{ij})O_i + r_{ij}T_{ij}] + f_{ij}(1-f_{ij})EBO(s_{i0} | m_{i0}T_{i0}) + f_{ij}^2VBO(s_{i0} | m_{i0}T_{i0}) \quad (3.36)$$

Onde,  $i, j > 0$ .

#### 4. Média e Variância para o número de LRU em demanda pelo Sítio operacional

Similar ao desenvolvido nos itens anteriores, considere-se que  $f_{0j}$  represente a fração de unidades da LRU que é demanda pelo sítio operacional do sítio suporte e que é calculada pela expressão:

$$f_{0j} = m_{0j}(1-r_{0j})/m_{00}, \quad j > 0 \quad (3.37)$$

Da expressão (3.28), verifica-se que o somatório de todas as frações de demandas procedentes dos Sítios operacionais que chegam ao Sítio suporte é igual a 1.

Logo,

$$\sum_{j=1}^J f_{0j} = 1 \quad (3.38)$$

Para calcular o valor esperado e variância das demandas por LRU ( $X_{0j}$ ) no sítio operacional, deve-se considerar também:

- O número de unidades de LRU em transporte no canal de suprimento para o sítio operacional quando não há faltas para o atendimento da demanda no sítio suporte;
- As unidades atrasadas devido à falta de LRU no sítio suporte (BackOrder);
- O número de unidades de LRU com reparo atrasado devido à falta de SRU não disponível no Sítio operacional (BackOrder – BO); e
- Assumir que a falha na LRU é provocada por somente uma SRU.

Logo,

$$\begin{aligned}
E(X_{0j}) &= m_{0j} [(1-r_{0j})O_0 + r_{0j}T_{0j}] \\
&+ f_{0j} EBO(s_{00} | E(X_{00}), Var(X_{00})) \quad j > 0 \quad (3.39) \\
&+ \sum_{i=1}^I EBO(s_{ij} | E(X_{ij}), Var(X_{ij}))
\end{aligned}$$

E,

$$\begin{aligned}
Var(X_{0j}) &= m_{0j} [(1-r_{0j})O_0 + r_{0j}T_{0j}] \\
&+ f_{0j} (1-f_{0j}) EBO(s_{00} | E(X_{00}), Var(X_{00})) \\
&+ f_{0j} VBO(s_{00} | E(X_{00}), Var(X_{00})) \quad j > 0 \quad (3.40) \\
&+ \sum_{i=1}^I VBO(s_{ij} | E(X_{ij}), Var(X_{ij}))
\end{aligned}$$

Observando as equações desenvolvidas nas seções (3.4.2.1, 2, 3 e 4) para o cálculo do valor esperado e da variância para as demandas por LRU e SRU no Sítio Suporte e no Sítio Operacional, verifica-se que o valor esperado só será igual ao da variância quando o nível de estoque de LRU e SRU em todos os sítios for igual a zero.

Assim, conforme proposição do VARI-METRIC, verifica-se que o cálculo da variância é influente na determinação das demandas previstas para os sítios operacionais e suportes. A identificação do tipo do item (mecânico, eletromecânico ou eletrônico; se consumível ou reparável e etc.) é importante para a definição do tipo de distribuição (Gama, Weibull, binomial negativa, etc.) a ser usada quando do cálculo do valor esperado e variância da demanda não atendida. Estes procedimentos quando aplicados de maneira avaliada produzem uma melhor precisão nos resultados de níveis de estoques iniciais estimados. A literatura sugere a distribuição binomial negativa como recomenda para itens que têm o coeficiente de variância pela média maior que 1. E Poisson quando este coeficiente for igual a 1. Para itens cuja falha ocorre por desgaste, coeficiente considerado é menor que 1 e a distribuição binomial é aceitável para representação nos cálculos. As distribuições apresentadas dispõem de propriedades que se identificam com às situações em estudo, tais como, distribuição discreta para argumentos positivos, generalização da distribuição de Poisson, distribuição com dois parâmetros que são fáceis de estimar e por possuir fórmulas recorrentes fáceis de usarem.

No caso deste trabalho, para itens eletrônicos, a distribuição de Poisson apresenta boa solução.

### 3.4.3

#### Disponibilidade ( $A_0$ )

A disponibilidade operacional no Sítio  $j$  é dada pela expressão:

$$A_j = 100 \{1 - EBO(s_{0j} | E(X_{0j}), Var(X_{0j})) / (N_j Z_0)\}^{Z_0}, \quad j > 0 \quad (3.41)$$

Sujeita a seguinte restrição:

$$EBO(s_{0j}) \leq N_j Z_0,$$

Onde,

$A_j$  = disponibilidade operacional no Sítio  $j$  em função das faltas esperadas para a LRU e suas SRU;

$Z_0$  = número de ocorrência da LRU no equipamento;

$N_j$  = número de equipamentos no sítio  $j$  que tem a LRU.

Se o equipamento possui diferentes tipos de LRU, o mesmo procedimento feito acima deve ser feito para cada família de LRU. O resultado multiplicado entre si para obter a disponibilidade ( $A_j$ ) do Sítio operacional  $j$ .

A disponibilidade operacional ( $A_0$ ) do sistema (vários sítios operacionais) é obtida usando a fórmula a seguir:

$$A_0 = \frac{\sum_{j=1}^J A_j N_j}{\sum_{j=1}^J N_j}, \quad (3.42)$$

Onde,

$N_j$  = número de equipamentos (end items) em cada Sítio operacional.

### 3.4.4

#### Otimização

O procedimento de otimização consiste na maximização da função disponibilidade (3.42) de um sistema. Esta maximização é determinada quando os níveis de estoques de LRU e SRU são aumentados de modos que os níveis esperados de faltas ( $EBO(s)$ ) são diminuídos até encontrar a disponibilidade desejada. Normalmente, o resultado é encontrado traçando uma curva de disponibilidade ascendente pelo custo. Pela escolha de um determinado ponto na curva de disponibilidade, tem-se em consequência as informações otimizadas para os níveis de estoques, a disponibilidade do sistema e o orçamento gasto.

Um exemplo da curva ( $EBO_{sist} \times$  Custo) está apresentado no Gráfico da Figura 3.3.

Na seção a seguir será aplicado o modelo VARI-METRIC para a solução do caso estudado pelo modelo CISCEA na seção 2.5.3 deste trabalho.

### 3.5

#### Solução do Caso Sistema Rádio VHF pelo Modelo VARI-METRIC

Nesta seção a quantificação e distribuição de estoque inicial para o caso Sistema Rádio VHF será resolvido aplicando as técnicas mostradas para o modelo VARI-METRIC, visando comparar a eficiência dos resultados entre este e o modelo CISCEA.

Para facilitar os cálculos será usado o programa intitulado VMETRIC-XL, versão 3.7, desenvolvido pelo Grupo TFD de Monterey – Califórnia. Este software compila a formulação e postulados dados ao longo deste trabalho, possibilitando o dimensionamento dos estoques a serem alocados nos vários sítios para cada tipo de item. O dimensionamento dos estoques estará sujeito a objetivos pré-definidos como metas para o Sistema, tais como, disponibilidade operacional do Sistema, “fill rate”, disponibilidade orçamentária, atraso médio de atendimento e limite da taxa de inclinação da curva da disponibilidade operacional.

### 3.5.1

#### Preparação dos dados para VARI-METRIC

O uso do VMETRIC requer preparação dos dados de entradas como será mostrado nas próximas seções.

Os dados e estrutura usados serão os mesmos disponibilizados na Seção 2.5.3 para aplicação com o modelo CISCEA.

##### a) Estrutura da endentação dos equipamentos do Sistema Rádio

Na Tabela 3.4 estão apresentados os níveis de endentamentos para a estação rádio da aeronave ALX que são similares aos das estações do AMX e F5 e as variáveis de entradas a serem tratadas pelo modelo, seguindo a representação usada pelo software VMETRIC XL, cujas definições são dadas a seguir:

QPA(n) = é uma variável de entrada necessária que representa o número de unidades de um item no seu conjunto maior imediato;

QRA(k) = é uma variável de entrada opcional que representa o número de LRU que podem falhar sem que o sistema falhe;

MRR6 = é uma variável de entrada que representa a estimativa da quantidade de unidades substituídas de um determinado item do sistema por milhão de horas de operação. Esta informação considera já passada a mortalidade infantil dos equipamentos do sistema;

PLT = é uma variável de entrada que representa o tempo gasto para obter uma unidade de item no Mercado. Ele é composto pelo tempo de atraso administrativo e o tempo de produção, é medido em dias;

VMRatio = é uma variável de entrada que especifica a taxa entre a variância e a média da demanda não atendida por item;

Duty Cycle (DC) = é uma variável de entrada que representa a fração de tempo de operação de um item em relação ao tempo de operação de seu conjunto maior;

NFF = é uma variável de entrada opcional que representa a porção da demanda por sobressalentes que nasce de outra razão que não seja falha;

RIP = é uma variável de entrada opcional que representa a proporção de falhas de um item que não requer sua remoção para restaurar o conjunto maior;

EST- ALX = é a estação rádio que equipa a aeronave ALX;

EST-AMX = é a estação rádio que equipa a aeronave AMX; e

EST-F5 = é a estação rádio que equipa a aeronave F5.

Na endentação estruturada para este modelo, as estações acima definidas são consideradas itens finais.

**Tabela 3.4 – Estruturação e dados sobre os equipamentos**

Endentação	Nº de Referência	Tipo de Material	QPA (n)	QRA (k)	Preço Unit.	MRR6	PLT	Criticidade	VMRatio	Peso	Canibalização	MTBF *	Duty Cycle	NFF	RIP
EST-ALX															
XT6313D	LRU1	ELETRONIC-G1	1	1	95.750,00		180	1	1	15	No	1.317,00	1.000	0,01	0
Complete Housing	SRU9	ELETRONIC-G2	1		6.705,00		180	1	1	2	No	253.807,00	1.000	0,005	0
Interface	SRU8	ELETRONIC-G2	1		7.692,00		180	1	1	2	No	21.574,00	1.000	0,005	0
Power Supply	SRU7	ELETRONIC-G2	1		3.705,00		180	1	1	3	No	29.403,00	1.000	0,005	0
Protection Processor	SRU2	ELETRONIC-G2	1		50.378,00		180	1	1	2	No	12.525,00	1.000	0,05	0
Radio Control	SRU1	ELETRONIC-G2	1		7.532,00		180	1	1	2	No	120.192,00	1.000	0,005	0
Receiver	SRU4	ELETRONIC-G2	1		8.674,00		180	1	1	2	No	13.676,00	1.000	0,005	0
Synthesizer	SRU3	ELETRONIC-G2	1		9.005,00		180	1	1	2	No	31.181,00	1.000	0,005	0
Transmitter Amplifier	SRU5	ELETRONIC-G2	1		7.186,00		180	1	1	2	No	36.818,00	1.000	0,005	0
Transmitter Control	SRU6	ELETRONIC-G2	1		2.405,00		180	1	1	2	No	109.170,00	1.000	0,005	0
XT6013	LRU2	ELETRONIC-G1	1	1	48.900,00		180	1	1	15	No	4.213,00	1.000	0,01	0
Complete Housing	SRU9	ELETRONIC-G2	1		6.705,00		180	1	1	2	No	253.807,00	1.000	0,005	0
Interface	SRU8	ELETRONIC-G2	1		7.692,00		180	1	1	2	No	21.574,00	1.000	0,005	0
Power Supply	SRU7	ELETRONIC-G2	1		3.705,00		180	1	1	3	No	29.403,00	1.000	0,005	0
Radio Control	SRU1	ELETRONIC-G2	1		7.532,00		180	1	1	2	No	120.192,00	1.000	0,005	0
Receiver	SRU4	ELETRONIC-G2	1		8.674,00		180	1	1	2	No	13.676,00	1.000	0,005	0
Synthesizer	SRU3	ELETRONIC-G2	1		9.005,00		180	1	1	2	No	31.181,00	1.000	0,005	0
Transmitter Amplifier	SRU5	ELETRONIC-G2	1		7.186,00		180	1	1	2	No	36.818,00	1.000	0,005	0
Transmitter Control	SRU6	ELETRONIC-G2	1		2.405,00		180	1	1	2	No	109.170,00	1.000	0,005	0

## b) Escalonamento

Na Tabela 3.5 está apresentado o escalonamento adotado dividido em três níveis e representados por dois tipos de sítios: sítios operacionais e sítios suportes. Estes divididos em Regionais e Parque.

**Tabela 3.5 – Escalonamento e Tipo de Estação**

Sítio e Estação	QTDE	Essencialidade	Preço/ Peso	Preço/Volume	Horas Op. /semana	Disp. Manut.
CONTRACTOR						
PAME	1	1	0	0		
DACTA 1	1	1	0	0		
BACG	1	1	0	0		
EST-ALX	19				6	1
BASC	1	1	0	0		
EST-AMX	21				3	1
EST-F5	23				3	1
DACTA 2	1	1	0	0		
BACO	1	1	0	0		
EST-F5	23				3	1
BASM	1	1	0	0		
EST-AMX	32				3	1
DACTA 3	1	1	0	0		
BANT	1	1	0	0		
EST-ALX	19				6	1
DACTA 4	1	1	0	0		
BABV	1	1	0	0		
EST-ALX	19				6	1
BAPV	1	1	0	0		
EST-ALX	19				6	1

Na Tabela 3.5 são também informadas as quantidades de cada tipo de sítio e estações, o número de horas de operação por semana para cada tipo de estação e a disponibilidade manutenção. Há possibilidade de também definir a necessidade de transporte por item, calculando custo considerando volume e peso. Estas facilidades não serão usadas neste trabalho.

Na Tabela 3.6 estão definidos os tempos de requisição e transporte (OST), o tempo do ciclo de reparo (RCT) e a probabilidade de não reparo de cada tipo de item (NRTS).

**Tabela 3.6 – Escalonamento e Tempos de Serviços**

Sítio	ELETRÔNICO-G1			ELETRÔNICO-G2		
	OST	NRTS	RCT	OST	NRTS	RCT
CONTRACTOR						
PAME	PLT	1	0	PLT	0	120
DACTA 1	30	0	60	30	0,9	60
BACG	20	1	0	20	1	-
BASC	20	1	0	20	1	-
DACTA 2	30	0	60	30	0,9	60
BACO	20	1	0	20	1	-
BASM	20	1	0	20	1	-
DACTA 3	30	0	60	30	0,9	60
BANT	20	1	0	20	1	-
DACTA 4	30	0	60	40	0,9	60
BABV	20	1	0	20	1	-
BAPV	20	1	0	20	1	-

Deve-se observar que nas versões mais atuais do modelo VARI-METRIC não se usa a probabilidade de reparo, conforme mostrado anteriormente neste trabalho, mas a probabilidade de não reparo do item no sítio especificado (NRTS), isto porque, em estudos mais recentes, descobriu-se que a não probabilidade de reparo do item num determinado sítio só depende das condições laboratoriais do sítio, independente de qualquer outra condição, o que não acontece na proposição da probabilidade de reparo, onde há influência de vários fatores dependentes entre si, dificultando os cálculos.

Observa-se, também, na coluna “Sítios” da Tabela 3.6 a subordinação exclusiva de uma dada Base a um Regional e deste Regional ao Parque, justificando a condição anteriormente definida de que não há suprimento lateral, condição que afeta os cálculos do estoque inicial. O modelo em uso permite escolher com ou sem suprimento lateral (Ex. uma Base atendendo requisições de outra Base).

Observa-se que tempo na coluna OST é definido em função das condições estruturais (armazenagem, processamento de documentação, embalagem, expedição, transporte, e etc.) existentes para o Sítio suporte e o sítio suprido, não levando em consideração características como peso e volume, próprias de cada item.

c) Condições iniciais de distribuição de sobressalentes

O VMETRIC permite para cada item da configuração, em cada Sítio, definir:

- ✓ Estoque inicial;
- ✓ Estoque mínimo; e
- ✓ Estoque máximo.

Para este caso, o estoque inicial de cada item foi considerado zero, estoque mínimo zero e o estoque máximo não definido.

Como já mencionado neste trabalho, a política de suprimento adotada para emissão de solicitação de suprimento é do tipo ( $s-I, S$ ).

É importante registrar que se não estiver disponível a informação da variável  $MRR6$ , a mesma será calculada usando das informações das variáveis  $DC, RIP, MTBF$  e  $NFF$  por intermédio da fórmula:

$$MRR6 = 1.000.000 * (DC(1 - RIP) / MTBF(1 - NFF)) \quad (3.43)$$

E a demanda anual média da por:

$$DA = \frac{MRR6 * PHR * 52 * QPEI * NSS}{1.000.000} \quad (3.44)$$

Onde,

$DA$  = Demanda anual;

$PHR$  = pico de horas trabalhadas nas semanas do ano;

$QPEI$  = quantidade de LRU no sistema; e

$NSS$  = número de sistema por Sítio ou Base (no Caso em estudo é o número de aeronaves por Base).

Nas Tabelas 3.7, 3.8, 3.9 e 3.10 estão apresentadas as condições calculadas ou levantadas para as variáveis  $MRR6, NTRS, RCT$  e  $OST$ , respectivamente.



**Tabela 3.8 – Valores dos “NRTS”**

Item	Nº Ref.	Tipo Mat.	BABV	BACG	BACO	BANT	BAPV	BASC	BASM	DACTA 1	DACTA 2	DACTA 3	DACTA 4	PAME
Complete Housing	SRU9	ELET-G2	1	1	1	1	1	1	1	0,9	0,9	0,9	0	0
Interface	SRU8	ELET-G2	1	1	1	1	1	1	1	0,9	0,9	0,3	0,3	0
Power Supply	SRU7	ELET-G2	1	1	1	1	1	1	1	0,9	0,9	0,3	0,3	0
Protection Processor	SRU2	ELET-G2	1	1	1	1	1	1	1	0,9	0,9	0,3	0,3	0
Radio Control	SRU1	ELET-G2	1	1	1	1	1	1	1	0,9	0,9	0,3	0,3	0
Receiver	SRU4	ELET-G2	1	1	1	1	1	1	1	0,9	0,9	0,3	0,3	0
Synthesizer	SRU3	ELET-G2	1	1	1	1	1	1	1	0,9	0,9	0,3	0,3	0
Transmitter Amplifier	SRU5	ELET-G2	1	1	1	1	1	1	1	0,9	0,9	0,3	0,3	0
Transmitter Control	SRU6	ELET-G2	1	1	1	1	1	1	1	0,9	0,9	0,3	0,3	0
XT6013	LRU2	ELET-G1	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98		0	0	0	0	1
XT6313D	LRU1	ELET-G1	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0	0	0	0	1

**Tabela 3.9 – Valores do "Repair Cycle Time - RCT"**

Item	Nº Ref.	Tipo Mat.	BABV	BACG	BACO	BANT	BAPV	BASC	BASM	DACTA 1	DACTA 2	DACTA 3	DACTA 4	PAME
Complete Housing	SRU9	ELET-G2	-	-	-	-	-	-	-	60	60	60	60	120
Interface	SRU8	ELET-G2	-	-	-	-	-	-	-	60	60	60	60	120
Power Supply	SRU7	ELET-G2	-	-	-	-	-	-	-	60	60	60	60	120
Protection Processor	SRU2	ELET-G2	-	-	-	-	-	-	-	60	60	60	60	120
Radio Control	SRU1	ELET-G2	-	-	-	-	-	-	-	60	60	60	60	120
Receiver	SRU4	ELET-G2	-	-	-	-	-	-	-	60	60	60	60	120
Synthesizer	SRU3	ELET-G2	-	-	-	-	-	-	-	60	60	60	60	120
Transmitter Amplifier	SRU5	ELET-G2	-	-	-	-	-	-	-	60	60	60	60	120
Transmitter Control	SRU6	ELET-G2	-	-	-	-	-	-	-	60	60	60	60	120
XT6013	LRU2	ELET-G1	0	0	0	0	0	0	-	60	60	60	60	0
XT6313D	LRU1	ELET-G1	0	0	0	0	0	0	0	60	60	60	60	0

**Tabela 3.10 – Valores dos "Order & Ship Time"**

Item	Nº Ref.	Tipo Mat.	BABV	BACG	BACO	BANT	BAPV	BASC	BASM	DACTA 1	DACTA 2	DACTA 3	DACTA 4	PAME
Complete Housing	SRU9	ELET-G2	20	20	20	20	20	20	20	30	30	30	40	30
Interface	SRU8	ELET-G2	20	20	20	20	20	20	20	30	30	30	40	30
Power Supply	SRU7	ELET-G2	20	20	20	20	20	20	20	30	30	30	40	30
Protection Processor	SRU2	ELET-G2	20	20	20	20	20	20	20	30	30	30	40	30
Radio Control	SRU1	ELET-G2	20	20	20	20	20	20	20	30	30	30	40	30
Receiver	SRU4	ELET-G2	20	20	20	20	20	20	20	30	30	30	40	30
Synthesizer	SRU3	ELET-G2	20	20	20	20	20	20	20	30	30	30	40	30
Transmitter Amplifier	SRU5	ELET-G2	20	20	20	20	20	20	20	30	30	30	40	30
Transmitter Control	SRU6	ELET-G2	20	20	20	20	20	20	20	30	30	30	40	30
XT6013	LRU2	ELET-G1	20	20	20	20	20	20	-	30	30	30	30	30
XT6313D	LRU1	ELET-G1	20	20	20	20	20	20	20	30	30	30	30	30

Uma vez definidos os dados de entrada e carregados, o modelo pode ser executado.

Na seção (3.5.2) serão mostrados os resultados obtidos para o Caso em estudo, seguindo quatro objetivos especificados.

### 3.5.2

#### Resultados obtidos pelo VARI-METRIC

Modelo será executado para os objetivos definidos na Tabela 3.11, com os dados do Caso em estudo, no sentido de mostrar as possíveis variações de resultados em função da escolha do objetivo que na prática influenciará de maneira decisiva na geração do estoque inicial a ser adquirido.

Para este trabalho será perseguido o objetivo 4.

**Tabela 3.11 – Condições objetivo para o Projeto**

Objetivo	“Fill Rate”	Disponibilidade ( $A_0$ )	“Average Delay”
1	90%	-	-
2	-	90%	-
3	-	90%	15 dias
4	-	99%	15 dias

#### a) Objetivo 1 – “Fill Rate” de 90%

Com um “Fill Rate” definido igual a 90% e os dados anteriormente disponibilizados, obtêm-se os resultados apresentados nas Tabelas 3.12 a 3.15 e no Gráfico da Figura 3.5, onde está plotada curva dos “Fill Rate” em função do custo.

**Tabela 3.12 – Resumo das saídas para o Projeto**

	Objetivo	Valor Inicial	Valor Final	Diferença
Orçamento (Custo)	0	0	2.930.359	2.930.359
“Fill Rate”	0,9	0	0,90862	0,90862
“Average Delay”	0	139,37	1,74	-137,63
Disponibilidade Operacional	0	0,91964	0,99898	0,07934
Disponibilidade c/ Canibalização			0,99898	
Custo Anual				
	TOTAL	Consumo	Estocagem	Requisição
	0	0	0	0

**Tabela 3.13 – Resumo das saídas do Projeto para “Fill Rate” de 90%**

Sítio	QTDE. Sítio	Essencialidade	A <sub>o</sub>	Ao c/ Canibaliz.	“Fill Rate”	“Avg Delay”	Custo / Sítio	Custo Total
BABV	1	1	0,9992	0,99918	0,93231	0,95	240.400	240.400
BACG	1	1	0,9992	0,99919	0,93166	0,94	240.400	240.400
BACO	1	1	0,9982	0,99823	0,81282	4,12	144.650	144.650
BANT	1	1	0,9982	0,99817	0,90767	2,12	385.050	385.050
BAPV	1	1	0,9992	0,99918	0,93231	0,95	240.400	240.400
BASC	1	1	0,9997	0,99971	0,935	0,75	240.400	240.400
BASM	1	1	0,9986	0,99863	0,7553	4,18	95.750	95.750
Operacionais	7		0,999	0,99898	0,89912	1,74		1.587.050
DACTA 1	1	1			0,80334		445.266	445.266
DACTA 2	1	1			0,72319		296.751	296.751
DACTA 3	1	1			0,27396		46.199	46.199
DACTA 4	1	1			0,81551		451.811	451.811
PAME	1	1			0,5495		103.282	103.282
Suportes	5				0,67894			1.343.309
TOTAL	12		0,999	0,99898	0,7574	1,74		2.930.359

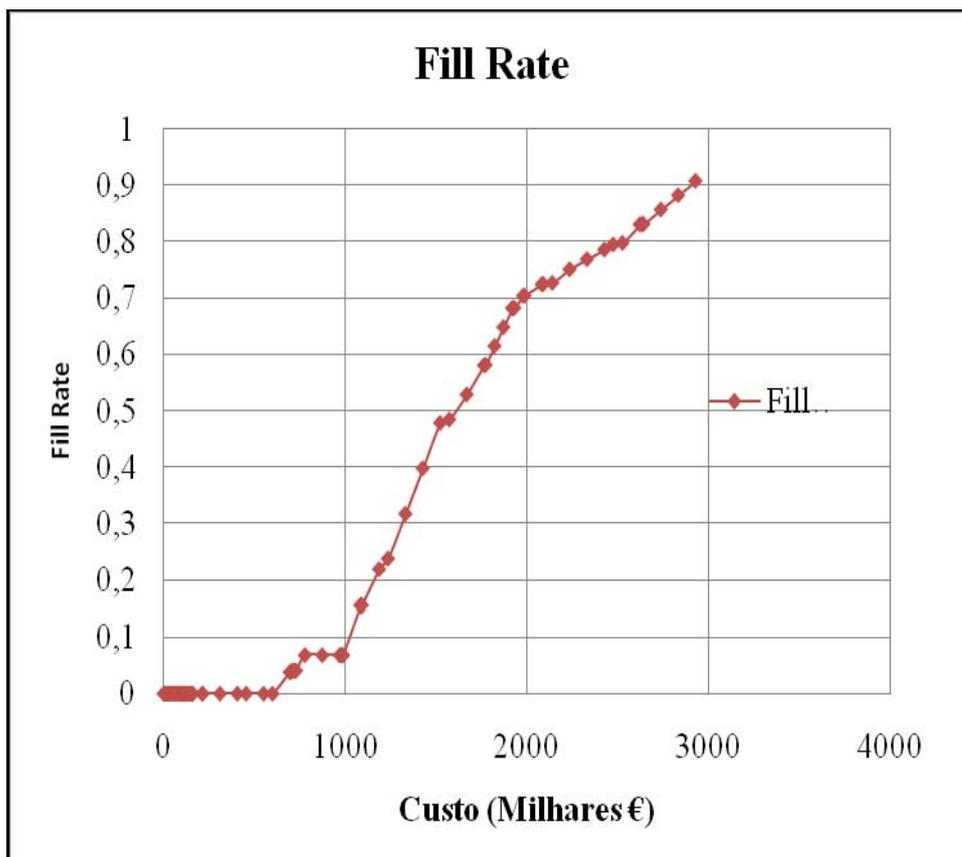
**Tabela 3.14 – Sobressalentes por Sítio**

Item	Nº Ref.	BABV	BACG	BACO	BANT	BAPV	BASC	BASM	DACTA 1	DACTA 2	DACTA 3	DACTA 4	PAME
Complete Housing	SRU9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Interface	SRU8	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	1
Power Supply	SRU7	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	2	1
Protection Processor	SRU2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1
Radio Control	SRU1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Receiver	SRU4	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	2	1
Synthesizer	SRU3	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Transmitter Amplifier	SRU5	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Transmitter Control	SRU6	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
XT6013	LRU2	1	1	1	2	1	1	0	1	0	0	1	0
XT6313D	LRU1	2	2	1	3	2	2	1	3	2	0	3	0

**Tabela 3.15 – Saídas por Interação**

Iter	A <sub>o</sub>	Custo Estoque	“Fill Rate”	“Avg. Delay”	QTDE. Comprada	Nome Sítio	Item
0	0,9196	0	0	139,37			
1	0,9217	3.705	0	135,73	1	PAME	Power Supply
2	0,9252	12.379	0	129,55	1	PAME	Receiver
3	0,9278	20.071	0	124,95	1	PAME	Interface
4	0,9284	22.476	0	123,79	1	PAME	Transmitter Control
5	0,9302	29.662	0	120,75	1	PAME	Transmitter Amplifie
6	0,9321	38.667	0	117,27	1	PAME	Syntheszyzer
7	0,9328	42.372	0	116,03	2	DACTA 4	Power Supply
8	0,9343	51.046	0	113,36	2	DACTA 4	Receiver
9	0,9358	59.720	0	110,74	3	DACTA 1	Receiver
10	0,9364	63.425	0	109,71	3	DACTA 1	Power Supply
11	0,9374	71.117	0	108	2	DACTA 4	Interface
12	0,9382	78.809	0	106,49	3	DACTA 1	Interface
13	0,9391	87.483	0	104,93	4	DACTA 2	Receiver
14	0,9395	91.188	0	104,32	4	DACTA 3	Power Supply
15	0,9402	99.862	0	102,93	5	DACTA 3	Receiver
16	0,9406	103.567	0	102,34	5	DACTA 2	Power Supply
17	0,9412	111.099	0	101,29	1	PAME	Radio Control
18	0,9417	118.285	0	100,3	2	DACTA 4	Transmitter Amplifier
19	0,9419	120.690	0	99,98	2	DACTA 4	Transmitter Control
20	0,9426	129.695	0	98,81	2	DACTA 4	Syntheszyzer
21	0,9431	137.387	0	97,94	4	DACTA 2	Interface
22	0,9436	145.079	0	97,09	5	DACTA 3	Interface
23	0,944	152.265	0	96,31	3	DACTA 1	Transmitter Amplifier
24	0,9446	161.270	0	95,35	3	DACTA 1	Syntheszyzer
25	0,9473	211.648	0	90,55	1	PAME	Protection Processor
26	0,9475	214.053	0	90,33	3	DACTA 1	Transmitter Control
27	0,9522	309.803	0	82,15	1	DACTA 1	XT6313D
28	0,9568	405.553	0	74,19	2	DACTA 4	XT6313D
29	0,9591	454.453	0	70,22	1	DACTA 4	XT6013
30	0,9632	550.203	0	63,14	3	DACTA 2	XT6313D
31	0,9652	599.103	0	59,72	2	DACTA 1	XT6013
32	0,969	694.853	0,03832	53,07	4	BANT	XT6313D
33	0,9692	702.039	0,03928	52,66	4	DACTA 3	Transmitter Amplifier
34	0,9693	704.444	0,03959	52,54	4	DACTA 3	Transmitter Control
35	0,9696	713.449	0,04078	52,06	4	DACTA 3	Syntheszyzer
36	0,9698	720.154	0,04106	51,68	1	PAME	Complete Housing
37	0,97	728.828	0,04106	51,36	6	DACTA 1	Receiver
38	0,9715	777.728	0,06842	48,64	3	BANT	XT6013
39	0,9746	873.478	0,06842	43,39	5	DACTA 1	XT6313D
40	0,9775	969.228	0,06842	38,44	6	DACTA 4	XT6313D
41	0,9777	976.414	0,06842	38,09	5	DACTA 2	Transmitter Amplifier
42	0,978	985.419	0,06842	37,66	5	DACTA 2	Syntheszyzer

43	0,978	987.824	0,06842	37,56	5	DACTA 2	Transmitter Control
44	0,9802	1.083.574	0,15514	33,84	7	BASC	XT6313D
45	0,9803	1.091.106	0,15514	33,7	2	DACTA 4	Radio Control
46	0,9824	1.186.856	0,21859	30,01	8	BASM	XT6313D
47	0,9835	1.235.756	0,23741	28,25	4	BACO	XT6013
48	0,9854	1.331.506	0,31708	24,9	9	BACG	XT6313D
49	0,9873	1.427.256	0,39783	21,65	10	BABV	XT6313D
50	0,9892	1.523.006	0,47857	18,39	11	BAPV	XT6313D
51	0,9894	1.573.384	0,48463	18	2	DACTA 1	Protection Processor
52	0,9911	1.669.134	0,52915	15,13	12	BANT	XT6313D
53	0,9928	1.764.884	0,58101	12,26	13	BACO	XT6313D
54	0,9929	1.773.558	0,58173	12,13	7	DACTA 4	Receiver
55	0,9936	1.822.458	0,61518	10,97	5	BABV	XT6013
56	0,9942	1.871.358	0,64864	9,82	6	BAPV	XT6013
57	0,9949	1.920.258	0,68233	8,72	7	BACG	XT6013
58	0,9949	1.923.963	0,68253	8,71	6	DACTA 4	Power Supply
59	0,9949	1.931.655	0,68291	8,68	6	DACTA 1	Interface
60	0,9953	1.980.555	0,70429	8	8	BASC	XT6013
61	0,9953	1.987.260	0,70465	7,98	2	DACTA 4	Complete Housing
62	0,996	2.083.010	0,72496	6,85	14	DACTA 2	XT6313D
63	0,996	2.090.542	0,72518	6,83	3	DACTA 2	Radio Control
64	0,9961	2.140.920	0,72741	6,7	3	DACTA 2	Protection Processor
65	0,9966	2.236.670	0,75155	5,77	15	BANT	XT6313D
66	0,9971	2.332.420	0,76948	4,89	16	DACTA 1	XT6313D
67	0,9976	2.428.170	0,7867	4,01	17	DACTA 4	XT6313D
68	0,9979	2.477.070	0,79566	3,59	9	BANT	XT6013
69	0,998	2.527.448	0,79844	3,46	4	DACTA 4	Protection Processor
70	0,9983	2.623.198	0,83131	2,94	18	BASC	XT6313D
71	0,9983	2.630.730	0,83154	2,93	4	DACTA 3	Radio Control
72	0,9983	2.639.404	0,83185	2,9	8	DACTA 2	Receiver
73	0,9983	2.643.109	0,83194	2,9	7	DACTA 1	Power Supply
74	0,9985	2.738.859	0,85779	2,49	19	BACG	XT6313D
75	0,9988	2.834.609	0,8832	2,12	20	BABV	XT6313D
76	0,999	2.930.359	0,90862	1,74	21	BAPV	XT6313D



**Figura 3.5 – “Fill Rate”**

Observa-se para os resultados obtidos que o custo é similar ao encontrado pelo modelo CISCEA. Quanto à distribuição das quantidades dos itens nos diversos sítios, o modelo VARI-METRIC as definiu de uma maneira mais aderente aos dados de entradas (MTBF, tempo de solicitação e transporte, quantidades de equipamentos, e etc).

**b) Objetivo 2 – Disponibilidade Operacional (90%) e “Average Delay” livre**

Com uma previsão de Disponibilidade Operacional do Projeto igual a 90% e “Average Delay” livre e com os dados de entrada disponibilizados para o estudo de Caso, obtêm-se os resultados apresentados nas Tabelas 3.16 e 3.17.

**Tabela 3.16 – Resumo das saídas para o Projeto**

	Objetivo	Valor Inicial	Valor Final	Diferença
Orçamento (Custo)	0	0	0	0
“Fill Rate”	0	0	0	0
“Average Delay”	0	139,37	139,37	0
Disponibilidade Operacional	0,9	0,91964	0,91964	0
Disponibilidade c/ Canibalização			0,91964	
Custo Anual				
	Total	Consumo	Estocagem	Requisição
	0	0	0	0

**Tabela 3.17 – Resumo das Saídas do Projeto para Disponibilidade Operacional de 90%**

Sítios	QTDE	Essencialidade	A <sub>o</sub>	Ao c/ Canibaliz.	“Fill Rate”	“Avg Delay”	Custo / Sítio	Custo Total
BABV	1	1	0,8922	0,89218	0	127,97	0	0
G	1	1	0,8692	0,86915	0	156,31	0	0
O	1	1	0,9336	0,93357	0	156,31	0	0
T	1	1	0,893	0,893	0	126,98	0	0
V	1	1	0,8922	0,89218	0	127,97	0	0
C	1	1	0,9437	0,94374	0	148,5	0	0
M	1	1	0,9549	0,95488	0	137,28	0	0
acionais	7		0,9196	0,91964	0	139,37		0
TA 1	1	1			0		0	0
TA 2	1	1			0		0	0
TA 3	1	1			0		0	0
TA 4	1	1			0		0	0
PAME	1	1			0		0	0
Suportes	5				0			0
TOTAL	12		0,9196	0,91964	0	139,37		0

Observar-se que para este objetivo de disponibilidade nenhum estoque de sobressalente é necessário, as condições intrínsecas do projeto já possibilitam uma disponibilidade operacional (91,96%) que supera o objetivo (90%), só que com um atraso médio de atendimento ao sítio operacional elevado (139 dias).

- c) Objetivo 3 – Disponibilidade Operacional (90%) e “Average Delay” de até 15 dias

Com este objetivo para o Projeto, os resultados obtidos estão apresentados nas Tabelas 3.18 a 3.20 e no gráfico da Figura 3.6, onde estão plotadas as curvas da disponibilidade, do “average delay” e das “Fill rate” equivalentes.

**Tabela 3.18 – Resumo das saídas para o Projeto**

	Objetivo	Valor Inicial	Valor Final	Diferença
Orçamento (Custo)	0	0	1.764.884	1.764.884
“Fill Rate”	0	0	0,58101	0,58101
“Average Delay”	15	139,37	12,26	-127,11
Disponibilidade Operacional	0,9	0,91964	0,99281	0,07317
Disponibilidade c/ Canibalização			0,99281	
Custos Anuais				
	TOTAL	Consumo	Estocagem	Requisições
	0	0	0	0

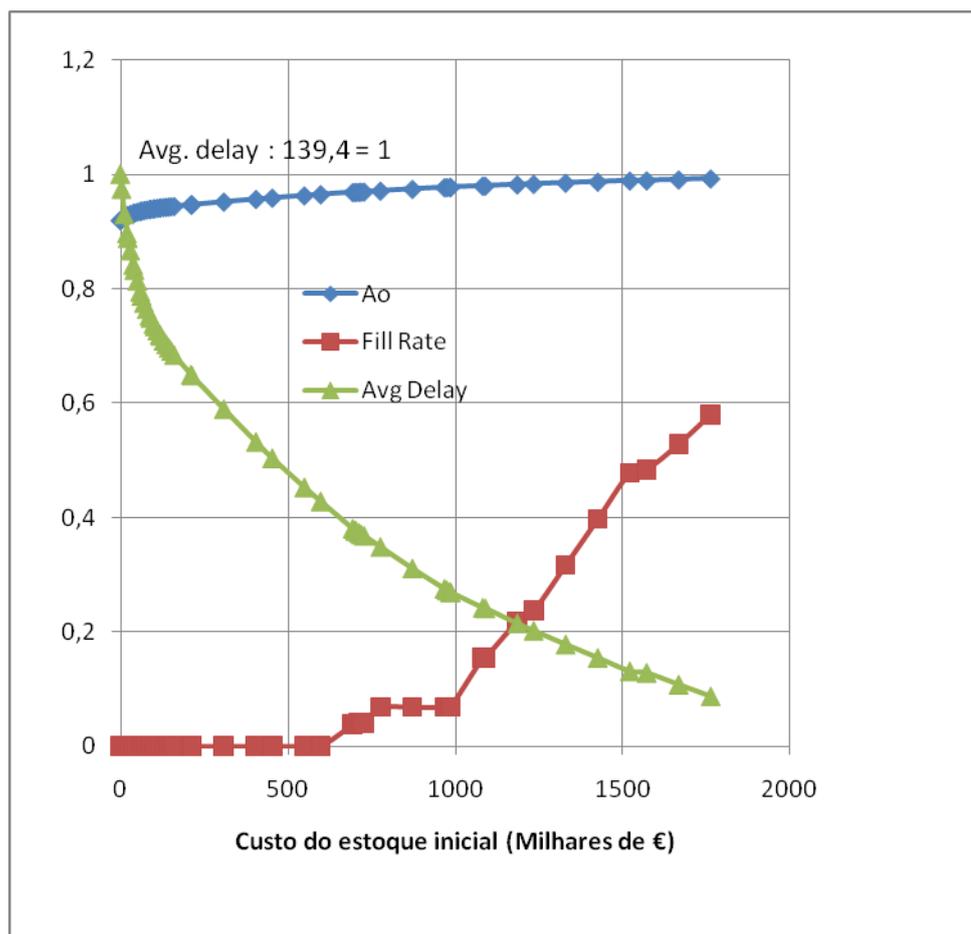
**Tabela 3.19 – Resumo das saídas do Projeto para A<sub>0</sub> - 90% e “Avg. Delay” – 15 dias**

Sítio	QTDE	Essencialidade	A <sub>0</sub>	A <sub>0</sub> c/ Canib.	“Fill Rate”	“Avg Delay”	Custo / Sítio	Custo Total
BABV	1	1	0,9877	0,98774	0,501	14,25	95.750	95.750
BACG	1	1	0,9889	0,98894	0,5112	12,86	95.750	95.750
BACO	1	1	0,9961	0,99611	0,7244	9,02	144.650	144.650
BANT	1	1	0,9908	0,99078	0,7008	10,7	240.400	240.400
BAPV	1	1	0,9877	0,98774	0,501	14,25	95.750	95.750
BASC	1	1	0,9957	0,9957	0,5451	11,24	95.750	95.750
BASM	1	1	0,996	0,99598	0,6153	12,24	95.750	95.750
<b>Operacional</b>	<b>7</b>		<b>0,9928</b>	<b>0,99281</b>	<b>0,5749</b>	<b>12,26</b>		<b>863.800</b>
DACTA 1	1	1			0,6502		338.119	338.119
DACTA 2	1	1			0,4014		134.417	134.417
DACTA 3	1	1			0,2633		38.667	38.667
DACTA 4	1	1			0,5819		286.599	286.599
PAME	1	1			0,5495		103.282	103.282
<b>Suporte</b>	<b>5</b>				<b>0,5231</b>			<b>901.084</b>
<b>TOTAL</b>	<b>12</b>		<b>0,9928</b>	<b>0,99281</b>	<b>0,5416</b>	<b>12,26</b>		<b>1.764.884</b>

**Tabela 3.20 – Saídas por Interação**

Iter	Custo Estoque	A <sub>o</sub>	“Fill Rate”	“Avg. Delay”	QTDE. Comprada	Sítio	Item	Nº Ref.
0	0	0,91964	0	139,4				
1	3.705	0,92169	0	135,7	1	PAME	Power Supply	SRU7
2	12.379	0,92518	0	129,6	1	PAME	Receiver	SRU4
3	20.071	0,92778	0	125	1	PAME	Interface	SRU8
4	22.476	0,92844	0	123,8	1	PAME	Transmitter Control	SRU6
5	29.662	0,93016	0	120,8	1	PAME	Transmitter Amplifier	SRU5
6	38.667	0,93213	0	117,3	1	PAME	Synthesizer	SRU3
7	42.372	0,93283	0	116	2	DACTA 4	Power Supply	SRU7
8	51.046	0,93432	0	113,4	2	DACTA 4	Receiver	SRU4
9	59.720	0,93581	0	110,7	3	DACTA 1	Receiver	SRU4
10	63.425	0,9364	0	109,7	3	DACTA 1	Power Supply	SRU7
11	71.117	0,93735	0	108	2	DACTA 4	Interface	SRU8
12	78.809	0,93822	0	106,5	3	DACTA 1	Interface	SRU8
13	87.483	0,93912	0	104,9	4	DACTA 2	Receiver	SRU4
14	91.188	0,93946	0	104,3	4	DACTA 3	Power Supply	SRU7
15	99.862	0,94024	0	102,9	5	DACTA 3	Receiver	SRU4
16	103.567	0,94058	0	102,3	5	DACTA 2	Power Supply	SRU7
17	111.099	0,94118	0	101,3	1	PAME	Radio Control	SRU1
18	118.285	0,94173	0	100,3	2	DACTA 4	Transmitter Amplifier	SRU5
19	120.690	0,94191	0	99,98	2	DACTA 4	Transmitter Control	SRU6
20	129.695	0,94257	0	98,81	2	DACTA 4	Synthesizer	SRU3
21	137.387	0,94308	0	97,94	4	DACTA 2	Interface	SRU8
22	145.079	0,94356	0	97,09	5	DACTA 3	Interface	SRU8
23	152.265	0,944	0	96,31	3	DACTA 1	Transmitter Amplifier	SRU5
24	161.270	0,94455	0	95,35	3	DACTA 1	Synthesizer	SRU3
25	211.648	0,94734	0	90,55	1	PAME	Protection Processor	SRU2
26	214.053	0,94747	0	90,33	3	DACTA 1	Transmitter Control	SRU6
27	309.803	0,95222	0	82,15	1	DACTA 1	XT6313D	LRU1
28	405.553	0,95681	0	74,19	2	DACTA 4	XT6313D	LRU1
29	454.453	0,95906	0	70,22	1	DACTA 4	XT6013	LRU2
30	550.203	0,96321	0	63,14	3	DACTA 2	XT6313D	LRU1

31	599.103	0,96515	0	59,72	2	DACTA 1	XT6013	LRU2
32	694.853	0,96898	0	53,07	4	BANT	XT6313D	LRU1
33	702.039	0,96922	0	52,66	4	DACTA 3	Transmitter Amplifier	SRU5
34	704.444	0,96929	0	52,54	4	DACTA 3	Transmitter Control	SRU6
35	713.449	0,96957	0	52,06	4	DACTA 3	Synthesizer	SRU3
36	720.154	0,96978	0	51,68	1	PAME	Complete Housing	SRU9
37	728.828	0,96997	0	51,36	6	DACTA 1	Receiver	SRU4
38	777.728	0,97153	0,1	48,64	3	BANT	XT6013	LRU2
39	873.478	0,97461	0,1	43,39	5	DACTA 1	XT6313D	LRU1
40	969.228	0,97749	0,1	38,44	6	DACTA 4	XT6313D	LRU1
41	976.414	0,9777	0,1	38,09	5	DACTA 2	Transmitter Amplifier	SRU5
42	985.419	0,97795	0,1	37,66	5	DACTA 2	Synthesizer	SRU3
43	987.824	0,97801	0,1	37,56	5	DACTA 2	Transmitter Control	SRU6
44	1.083.574	0,98019	0,2	33,84	7	BASC	XT6313D	LRU1
45	1.091.106	0,98027	0,2	33,7	2	DACTA 4	Radio Control	SRU1
46	1.186.856	0,98244	0,2	30,01	8	BASM	XT6313D	LRU1
47	1.235.756	0,98346	0,2	28,25	4	BACO	XT6013	LRU2
48	1.331.506	0,98541	0,3	24,9	9	BACG	XT6313D	LRU1
49	1.427.256	0,98731	0,4	21,65	10	BABV	XT6313D	LRU1
50	1.523.006	0,98921	0,5	18,39	11	BAPV	XT6313D	LRU1
51	1.573.384	0,98944	0,5	18	2	DACTA 1	Protection Processor	SRU2
52	1.669.134	0,99113	0,5	15,13	12	BANT	XT6313D	LRU1
53	1.764.884	0,99281	0,6	12,26	13	BACO	XT6313D	LRU1



**Figura 3.6 – Saídas para o Objetivo 3**

Observa-se que os resultados obtidos para o Objetivo 3 são similares aos resultados a serem encontrados para o Objetivo 4, onde foi alterado 0,9% na condição alvo da disponibilidade do Projeto.

d) Objetivo 4 – Disponibilidade Operacional (99%) e “Average Delay” de até 15 dias

Com as condições do Objetivo 4, disponibilidade do Projeto de 99% e “average delay” de 15 dias, tem-se os resultados apresentados nas tabelas 3.21 a 3.23 e no gráfico da Figura 3.7, onde estão plotadas as curvas da disponibilidade, do “average delay” e das “Fill rate” equivalentes.

**Tabela 3.21 – Resumo das saídas para o Projeto**

	Objetivo	Valor Inicial	Valor Final	Diferença
Orçamento (Custo)	0	0	1.764.884	1.764.884
“Fill Rate”	0	0	0,58101	0,58101
“Average Delay”	15	139,37	12,26	-127,11
Disponibilidade Operacional	0,99	0,91964	0,99281	0,07317
Disponibilidade c/ Canibalização			0,99281	
Custos Anuais				
	TOTAL	Consumo	Estocagem	Requisições
	0	0	0	0

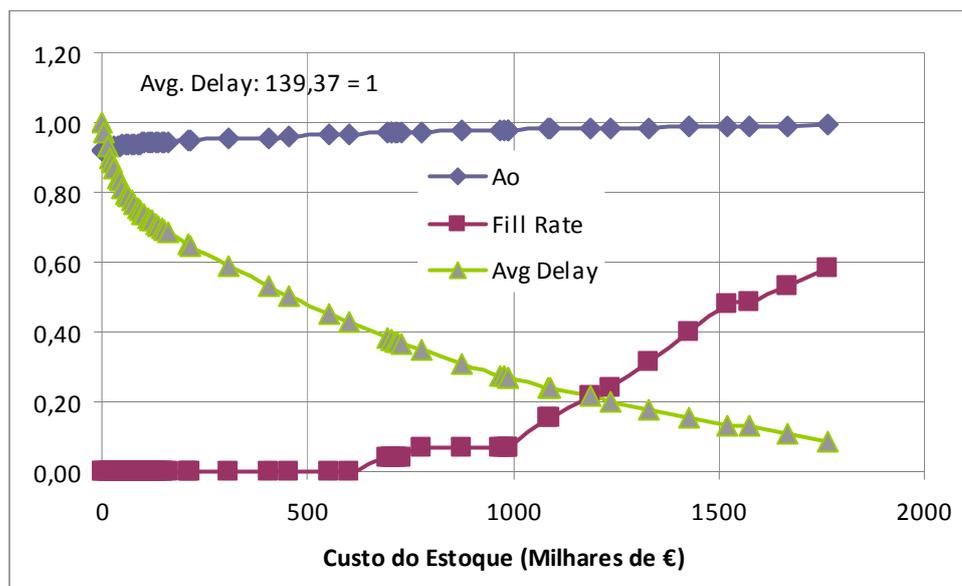
**Tabela 3.22 – Saídas por Interação**

Iter	Custo Estoque	A <sub>o</sub>	“Fill Rate”	“Avg. Delay”	Qtde. Comprada	Sítio	Item	Nº Ref.
0	0	0,91964	0	139,37				
1	3.705	0,92169	0	135,73	1	PAME	Power Supply	SRU7
2	12.379	0,92518	0	129,55	1	PAME	Receiver	SRU4
3	20.071	0,92778	0	124,95	1	PAME	Interface	SRU8
4	22.476	0,92844	0	123,79	1	PAME	Transmitter Control	SRU6
5	29.662	0,93016	0	120,75	1	PAME	Transmitter Amplifier	SRU5
6	38.667	0,93213	0	117,27	1	PAME	Synthesizer	SRU3
7	42.372	0,93283	0	116,03	2	DACTA 4	Power Supply	SRU7
8	51.046	0,93432	0	113,36	2	DACTA 4	Receiver	SRU4
9	59.720	0,93581	0	110,74	3	DACTA 1	Receiver	SRU4
10	63.425	0,9364	0	109,71	3	DACTA 1	Power Supply	SRU7
11	71.117	0,93735	0	108	2	DACTA 4	Interface	SRU8
12	78.809	0,93822	0	106,49	3	DACTA 1	Interface	SRU8
13	87.483	0,93912	0	104,93	4	DACTA 2	Receiver	SRU4
14	91.188	0,93946	0	104,32	4	DACTA 3	Power Supply	SRU7
15	99.862	0,94024	0	102,93	5	DACTA 3	Receiver	SRU4
16	103.567	0,94058	0	102,34	5	DACTA 2	Power Supply	SRU7
17	111.099	0,94118	0	101,29	1	PAME	Radio Control	SRU1
18	118.285	0,94173	0	100,3	2	DACTA 4	Transmitter Amplifier	SRU5
19	120.690	0,94191	0	99,98	2	DACTA 4	Transmitter Control	SRU6
20	129.695	0,94257	0	98,81	2	DACTA 4	Synthesizer	SRU3
21	137.387	0,94308	0	97,94	4	DACTA 2	Interface	SRU8
22	145.079	0,94356	0	97,09	5	DACTA 3	Interface	SRU8

23	152.265	0,944	0	96,31	3	DACTA 1	Transmitter Amplifier	SRU5
24	161.270	0,94455	0	95,35	3	DACTA 1	Synthesizer	SRU3
25	211.648	0,94734	0	90,55	1	PAME	Protection Processor	SRU2
26	214.053	0,94747	0	90,33	3	DACTA 1	Transmitter Control	SRU6
27	309.803	0,95222	0	82,15	1	DACTA 1	XT6313D	LRU1
28	405.553	0,95681	0	74,19	2	DACTA 4	XT6313D	LRU1
29	454.453	0,95906	0	70,22	1	DACTA 4	XT6013	LRU2
30	550.203	0,96321	0	63,14	3	DACTA 2	XT6313D	LRU1
31	599.103	0,96515	0	59,72	2	DACTA 1	XT6013	LRU2
32	694.853	0,96898	0,03832	53,07	4	BANT	XT6313D	LRU1
33	702.039	0,96922	0,03928	52,66	4	DACTA 3	Transmitter Amplifier	SRU5
34	704.444	0,96929	0,03959	52,54	4	DACTA 3	Transmitter Control	SRU6
35	713.449	0,96957	0,04078	52,06	4	DACTA 3	Synthesizer	SRU3
36	720.154	0,96978	0,04106	51,68	1	PAME	Complete Housing	SRU9
37	728.828	0,96997	0,04106	51,36	6	DACTA 1	Receiver	SRU4
38	777.728	0,97153	0,06842	48,64	3	BANT	XT6013	LRU2
39	873.478	0,97461	0,06842	43,39	5	DACTA 1	XT6313D	LRU1
40	969.228	0,97749	0,06842	38,44	6	DACTA 4	XT6313D	LRU1
41	976.414	0,9777	0,06842	38,09	5	DACTA 2	Transmitter Amplifier	SRU5
42	985.419	0,97795	0,06842	37,66	5	DACTA 2	Synthesizer	SRU3
43	987.824	0,97801	0,06842	37,56	5	DACTA 2	Transmitter Control	SRU6
44	1.083.574	0,98019	0,15514	33,84	7	BASC	XT6313D	LRU1
45	1.091.106	0,98027	0,15514	33,7	2	DACTA 4	Radio Control	SRU1
46	1.186.856	0,98244	0,21859	30,01	8	BASM	XT6313D	LRU1
47	1.235.756	0,98346	0,23741	28,25	4	BACO	XT6013	LRU2
48	1.331.506	0,98541	0,31708	24,9	9	BACG	XT6313D	LRU1
49	1.427.256	0,98731	0,39783	21,65	10	BABV	XT6313D	LRU1
50	1.523.006	0,98921	0,47857	18,39	11	BAPV	XT6313D	LRU1
51	1.573.384	0,98944	0,48463	18	2	DACTA 1	Protection Processor	SRU2
52	1.669.134	0,99113	0,52915	15,13	12	BANT	XT6313D	LRU1
53	1.764.884	0,99281	0,58101	12,26	13	BACO	XT6313D	LRU1

**Tabela 3.23 – Sobressalentes por Sítio**

Item	Nº Ref.	BABV	BACG	BACO	BANT	BAPV	BASC	BASM	DACTA 1	DACTA 2	DACTA 3	DACTA 4	PAME
Complete Housing	SRU9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Interface	SRU8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Power Supply	SRU7	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Protection Processor	SRU2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Radio Control	SRU1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Receive	SRU4	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	1
Synthesizer	SRU3	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Transmitter Amplifier	SRU5	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Transmitter Control	SRU6	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
XT6013	LRU2	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0
XT6313D	LRU1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	0	2	0



**Figura 3.7 – Saídas para o Objetivo 4**

Ao longo da Sessão 3.5.2, considerando os objetivos definidos, pode-se verificar o seguinte:

Com os objetivos especificados na letra (a), o custo para aquisição do lote inicial de sobressalentes foi orçado em €\$ 2.930.359,00, valor semelhante aquele calculado quando usado o modelo CISCEA na Sessão 2.5.3. A semelhança de resultados vem colaborar na justificativa da exatidão dos cálculos quando usada esta metodologia.

Para os objetivos da letra (b), verifica-se que não há necessidade de estoque de sobressalentes, se a disponibilidade operacional do Projeto for de 90% e o tempo médio de atraso para atender uma estação rádio estiver entre 127 e 157 dias, desde de que os demais serviços de suporte funcionem dentro dos limites previstos. Neste passo do processo já é possível ver a qualidade do Projeto e tecer gestão para que haja a máxima economia de estoque sem perder a disponibilidade projetada.

Para os objetivos da letra (c), verificou-se que para uma disponibilidade operacional de 90% e “Average Delay” de até 15 dias para atender uma determinada Estação rádio com uma LRU, o custo para aquisição do estoque inicial de sobressalentes foi orçado em €\$ 1.764.884,00. Estas condições objetivo foram as condições iniciais definidas no Caso em estudo. Vê-se neste passo que o

“average delay” de 15 dias trás consigo uma melhoria significativa da disponibilidade do Sistema (99,28%), o que será confirmado nos resultados colhidos para o próximo objetivo.

Para os objetivos da letra (d), verificou-se que para uma disponibilidade operacional de 99% e “Average Delay” de até 15 dias para atender uma determinada Estação rádio com uma LRU requerida, o custo para aquisição do estoque inicial de sobressalentes foi orçado também em valores de €\$ 1.764.884,00, o que justifica o já mencionado para o objetivo anterior. A essência deste resultado é que não pretendemos confiar única e exclusivamente nos serviços suportes disponibilizados como falado nas condições da letra (a) acima. Preferimos, como já discutido neste trabalho, colocar um estoque adicional, elevando a disponibilidade do Sistema para 99%.

Quando comparados os resultados obtidos pelo modelo CISCEA e pelo modelo VARI-METRIC, ambos aplicados para os mesmos dados de entradas, pode-se verificar que os resultados obtidos pelo modelo VARI-METRIC, nas condições objetivas definidas nas letras (c) e (d) anteriores, estão significativamente otimizados, produzindo uma disponibilidade sistêmica de 99%, com um tempo de reparo de uma Estação em no máximo 15 dias e com uma diminuição do custo do lote inicial de sobressalentes em aproximadamente 40% quando comparado com o custo obtido pelo modelo CISCEA, melhorando às condições objetivo predefinidas para o Projeto em ambos os casos.

Os resultados obtidos neste trabalho confirmam relatos de condições similares apresentadas pela literatura consultada, onde foi dito que empresas privadas e organizações públicas em vários países têm conseguido colher bons resultados com a aplicação da metodologia adotada pelo VARI-METRIC.