

Este documento faz parte do material que compõe o livro:

Planejamento, Programação e Controle da Produção
MRP II / ERP: Conceitos, Uso e Implantação

Henrique L. Corrêa, Irineu G. N. Gianesi, Mauro Caon
Editora Atlas – 4^a edição – 2001
ISBN 85-224-2502-7

Este e outros documentos associados ao livro estão disponíveis em:
<http://www.salaviva.com.br/livro/ppcp>

USO DE SIMULAÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO E GESTÃO DE ESTOQUES DE PEÇAS SOBRESSALENTES¹

GEORGE PAULUS PEREIRA DIAS
HENRIQUE LUIZ CORRÊA, PhD, CPIM

Professor da FGV-SP e Consultor da Corrêa & Associados (<http://www.correa.com.br>)

SUMÁRIO

1. Introdução
2. Considerações sobre simulação computacional
 - 2.1. Vantagens da simulação
 - 2.2. Desvantagens da simulação
 - 2.3. Papel dos computadores na simulação
 - 2.4. Passos envolvidos em um estudo de simulação
3. Aplicação de simulação na gestão de peças sobressalentes de equipamentos produtivos
 - 3.1. Definição do problema
 - 3.2. Apresentação das variáveis importantes associadas ao problema
 - 3.3. Construção do modelo
 - 3.4. Definição de cenários alternativos para simulação
 - 3.5. Execução da simulação
 - 3.6. Análise dos resultados da simulação
4. Conclusão
5. Bibliografia

1 INTRODUÇÃO

Os negócios tem assumido configurações cada vez mais complexas nos últimos anos. Uma das razões para isso é a grande aumento na diversidade de produtos e serviços que as empresas têm disponibilizado ao mercado.

Os gestores desses negócios precisam continuamente desenvolver suas ferramentas para tomada de decisão. Não basta o aprendizado ou a experiência, são necessárias técnicas formais e eficientes que ajudem a fundamentar as decisões.

Nesse contexto surgem as soluções analíticas para os mais diversos problemas de gestão. No caso do gerenciamento dos estoques existem várias técnicas, por exemplo, de determinação de pontos (ou momentos) a ressuprir os estoques e quantidades a ressuprir, como os modelos de *Lote Econômico*, de *Revisão Periódica* e *Ponto de Reposição* entre outros (veja por exemplo ARNOLD, 1999, para uma boa coletânea). Ocorre, entretanto que esse tipo de técnica muitas vezes assume uma série de hipóteses sobre as variáveis que trata. Por exemplo, o modelo de *Lote Econômico* considera que a demanda é constante e que as variáveis envolvidas são determinísticas (e.g. considera o custo de capital fixo ao longo do período analisado e os custos de fazer um pedido conhecidos e fixos). Em algumas situações práticas, essas hipóteses tonam os modelos distantes da realidade, e portanto seus resultados menos robustos e confiáveis para tomada

¹ Artigo apresentado no II Simpoi (Simpósio de Produção e Operações Internacionais da EAESP-FGV, 1999)

de decisão, chegando até a inviabilizar a utilização da técnica. É para esse tipo de problema que a simulação computacional aparece como uma alternativa de bom potencial.

Nesse trabalho é apresentada uma proposta de solução para um particular problema de gestão de estoques para o qual as técnicas tradicionais não apresentam resultados satisfatórios. Trata-se da gestão de determinado tipo de peças sobressalentes de equipamentos produtivos.

As peças sobressalentes são itens de demanda independente, ou seja, cuja demanda não guarda relação de dependência com a demanda de nenhum outro item ou atividade da organização, a demanda das quais, portanto tem de ser prevista por algum método. Embora não se trate de itens incorporados aos produtos em si, são itens de grande importância para algumas organizações, pois a falta deles pode representar perdas substanciais, já que pode acarretar parada e por vezes indisponibilidade por longos períodos de equipamentos importantes. Pode-se argumentar (com certa razão) que nem toda a demanda por peças sobressalentes pode ser classificada como independente, já que para os sobressalentes que são usados em manutenção preventiva (aquela em que a substituição das peças se dá regularmente, baseado nas horas de uso do equipamento – um exemplo é o óleo do motor de veículos, trocado a cada tantos quilômetros, independentemente do estado específico em que se encontra), sua demanda pode ser calculada com base no programa de manutenção preventiva dos equipamentos. A rigor, a demanda independente para sobressalentes ocorre apenas para as peças envolvidas nas manutenções corretivas (aquelas em que a reposição de peças ocorrem quando ocorre uma falha – por exemplo a reposição de lâmpadas).

2 CONSIDERAÇÕES SOBRE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A simulação é a tentativa de replicação de um sistema real. Através da construção de um modelo matemático tão parecido quanto possível com a realidade. A idéia geral é:

- Imitar uma situação real matematicamente
- Estudar seu comportamento, e
- Tirar conclusões e tomar decisões com base na simulação

Em contraposição aos métodos analíticos que encontram as melhores soluções possíveis para o problema (ou soluções ótimas), a simulação procura modelar um sistema e observar como as variações nos parâmetros (entradas) do sistema afetam suas variáveis de saída. O resultado da simulação é a compreensão e quantificação da inter-relação das variáveis do sistema modelado. Essa compreensão não leva necessariamente à solução ótima, mas existem técnicas e procedimentos para gerar resultados mais próximos do suposto ponto ótimo. A escolha que se deve fazer é entre um método analítico que gera soluções ótimas, mas tem um modelo bastante simplificado em relação ao problema real, e outro método (a simulação) que não garante soluções estritamente ótimas, mas permite que o modelo utilizado seja mais próximo da realidade. De acordo com (RUSSEL, 1998) especialistas acreditam que até mesmo os problemas que possuem métodos analíticos de solução podem e às vezes até devem ser simulados, pois a simulação permite uma experimentação mais fácil do problema.

2.1 VANTAGENS DA SIMULAÇÃO

1. A modelagem de sistemas reais obriga a organização a entender o papel de cada componente do sistema e as possíveis interações entre elas.
2. O desenvolvimento do modelo de simulação ajuda a organização a separar os parâmetros controláveis daqueles que não são controláveis e estudar a influência de cada um deles sobre o sistemas.
3. O resultado da simulação permite que a gerência avalie os recursos necessários, ou ainda como os recursos disponíveis devem ser alocados.
4. É uma técnica flexível com relação às limitações impostas aos modelos.
5. Aplica-se à análise de problemas de grande escala e complexidade que não podem ser resolvidos por técnicas tradicionais de gestão de operações.
6. Particularidades da situação real podem ser consideradas, como por exemplo a utilização de qualquer curva de probabilidade que o problema exija, e que seja diferente do padrão assumido por técnicas analíticas.
7. Permite a análise de longos períodos num curto espaço de tempo.
8. Permite a análise de sensibilidade do tipo *what-if* (*o que aconteceria se...*). Várias políticas de decisão pode ser testadas e comparadas rapidamente.
9. A simulação possibilita o estudo individual de cada componente ou variável do modelo para determinar qual é realmente importante.
10. Em suma, para aqueles problemas que na prática são resolvidos por regras intuitivas (*rules of the thumb*) a simulação é uma ferramenta forte para o apoio a decisão permitindo que soluções potencialmente boas sejam encontradas.

2.2 DESVANTAGENS DA SIMULAÇÃO

1. Um bom modelo de simulação pode se tornar caro e levar vários meses para desenvolvimento, especialmente quando os dados são de difícil obtenção.
2. Apesar dos novos *software* de simulação possuírem ferramentas de busca que podem ajudar na obtenção de bons resultados, a simulação não é uma técnica otimizante.
3. A simulação não gera bons resultados sem *inputs* adequados. A construção e a alimentação do modelo requerem um trabalho árduo e criterioso.
4. Cada modelo de simulação é único. Geralmente não é possível a utilização de um modelo em diferentes situações, prejudicando a possibilidade de ganhos de escala.

2.3 PAPEL DOS COMPUTADORES NA SIMULAÇÃO

A utilização da simulação no ambiente empresarial tem se tornado viável com a evolução da informática. Com o poder computacional ampliado dos computadores pessoais a simulação de problemas mais complexos tornou-se computacionalmente possível.

Esse fato impulsionou o avanço dos aplicativos de simulação que hoje apresentam soluções dos mais variados tipos. Aplicações de simulações podem ser feitas utilizando desde planilhas eletrônicas até *software* específicos de simulação.

Os *software* com animação gráfica possibilitaram que a simulação se associasse a ferramentas visuais para tomada de decisão. As interfaces mais amigáveis e as linguagens de programação menos complicadas (de mais alto nível) também têm contribuído para a popularização da simulação como uma técnica de apoio a decisão. Uma relação dos principais *software* de simulação pode ser encontrada em LIONHEART PUBLISHING, INC (veja a seção de bibliografia).

2.4 PASSOS ENVOLVIDOS EM UM ESTUDO DE SIMULAÇÃO

De acordo com HEIZER; RENDER (1999) o uso de simulação deve seguir as seguintes etapas (Figura 1):

1. Definir o problema;
2. Apresentar as variáveis importantes associadas ao problema;
3. Construir o modelo;
4. Definir possíveis cenários para teste;
5. Executar a simulação;
6. Analisar os resultados da simulação (ajustar o modelo);
7. Tomar as decisões;

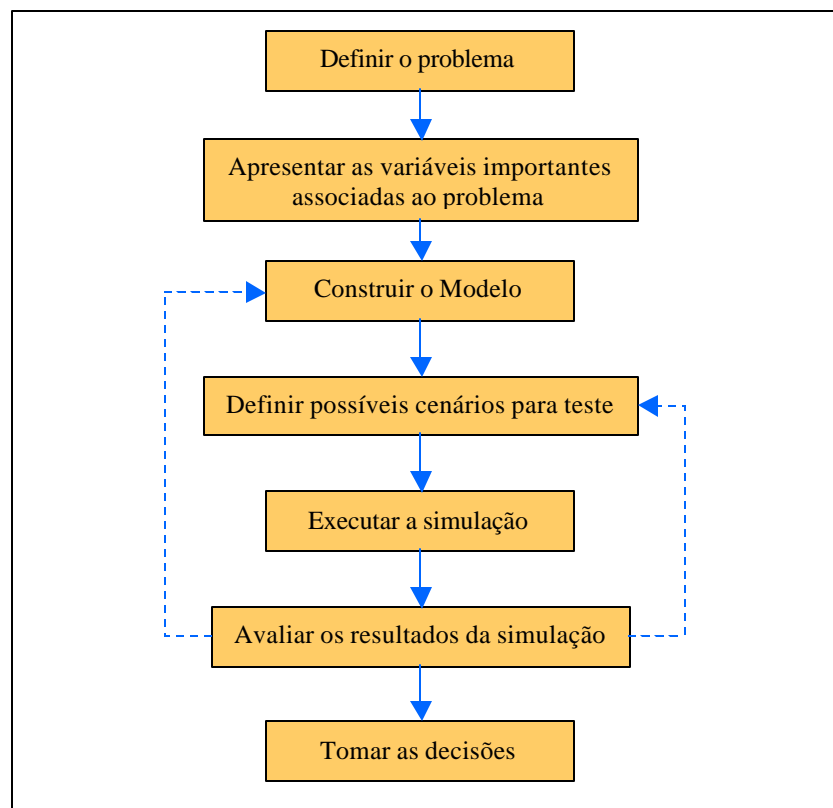


Figura 1 - Etapas de um Processo de Simulação, HEIZER; RENDER (1999)

3 APLICAÇÃO DE SIMULAÇÃO NA GESTÃO DE PEÇAS SOBRESSALENTES DE EQUIPAMENTOS PRODUTIVOS

A idéia de utilizar a técnica de simulação para apoio à tomada de decisão gerencial sobre gestão de estoques de peças sobressalentes surgiu quando os autores realizavam um projeto

para uma empresa de grande porte com o objetivo de redução do nível de estoques de peças sobressalentes. Notou-se que para determinada quantidade das peças consideradas, as hipóteses assumidas pelos modelos mais "clássicos" encontrados na literatura poderiam ser aceitas como aderentes. Por exemplo, para itens de demanda mais regular, como O-rings, rolamentos ditos "de prateleira" e outros, a análise da demanda passada, embora carregando diferentes graus de flutuação aleatória, mostrou que esta flutuação se dava em torno de um patamar, permitindo que a hipótese de permanência (demanda constante) pudesse ser considerada plausível. Já outras peças, de demanda chamada irregular, apresentavam um comportamento passado de demanda que, além de não ser constante, não parecia apresentar nenhum padrão de comportamento modelável por distribuições probabilísticas usuais. A Figura 2 representa um exemplo real do perfil de demanda dessas peças. Estas peças, também, eram aquelas responsáveis pelo volume predominante de recursos investidos em estoque (considerado muito alto), demandando assim algum tipo de ação urgente. A gestão deste tipo de peça (basicamente a definição de qual é o nível de estoque no qual deveria ser disparada uma ação de ressurgimento e, quando disparada esta ação, qual a quantidade a comprar) era feita de forma intuitiva. Havia a forte impressão dos gestores que melhorias substanciais poderiam ser obtidas com uma abordagem mais sistemática (CORREA e DIAS, 1998). Na falta absoluta de modelos analíticos, mas na presença de dados abundantes de demanda passada, resolveu-se que esta poderia ser uma situação de bom potencial para o uso de modelos de simulação.

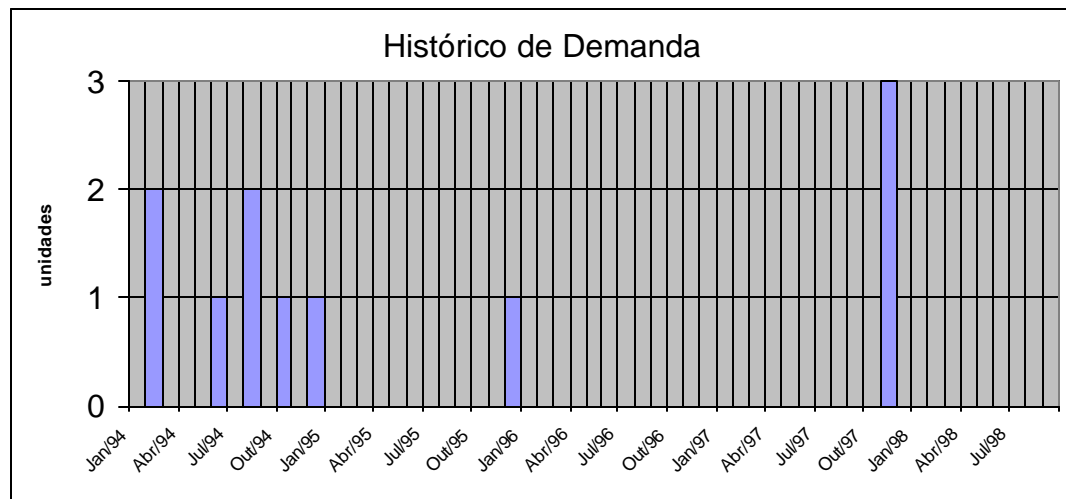


Figura 2 - Exemplo de Demanda Irregular

A metodologia utilizada será a sugerida por HEIZER; RENDER (1999) com a ressalva de que estamos ainda sugerindo a utilização da simulação para solução do problema e algumas atividades ainda não foram executadas.

3.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O objetivo da simulação será a formulação de uma política para gestão dos estoques de peças sobressalentes de equipamentos produtivos que tenham demanda passada irregular. O modelo terá como função a redução dos custos de falta das peças e seus custos de estocagem. Em outras palavras, a política formulada deverá servir de ferramenta para que a empresa decida *quanto capital será imobilizado em estoques para garantir determinado nível de serviço para manutenção dos equipamentos*. Mais especificamente, no nível das

peças individuais, as decisões apoiadas serão aquelas referentes ao modelo geral de gestão adotado, descrito abaixo.

O modelo geral utilizado é o de *ponto de reposição com lote fixo* que está representado na Figura 3 (com a ressalva, evidentemente, de que a demanda do tipo de peça de que estaremos tratando não é tão bem comportada como na Figura 3). A formulação da política será na verdade a definição de dois parâmetros, o ponto de reposição e o tamanho do lote que são as variáveis controláveis na situação. A taxa de demanda e os *lead times* serão considerados como variáveis não controladas.

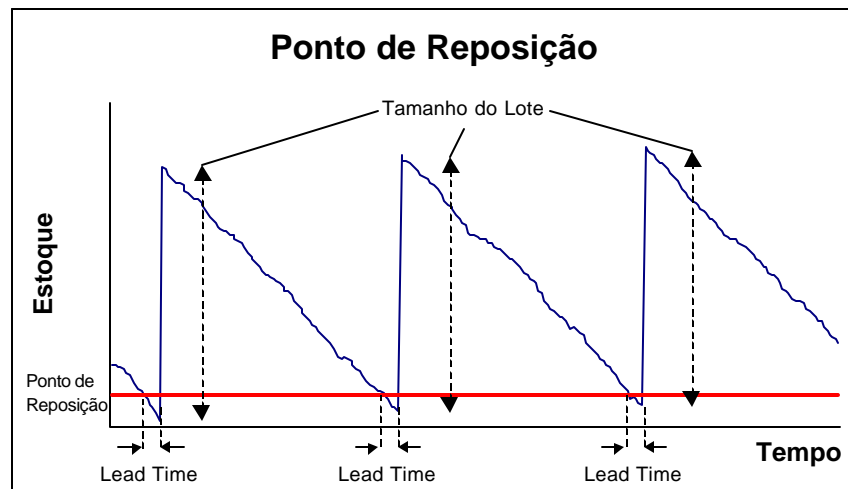


Figura 3 - Modelo de Ponto de Reposição com Lote Fixo

3.1.1 CARACTERÍSTICAS DA DEMANDA INDEPENDENTE DE PEÇAS SOBRESSALENTES

As fontes da demanda independente de peças sobressalentes ocorre principalmente pelas manutenções corretivas, ou seja, nas quebras (inesperadas) de peças.

Poder-se-ia afirmar que a quebra das peças sobressalentes ocorre segundo uma função de probabilidade associada a vida média das peças. Entretanto, além desta função não ser em absoluto determinística para a maioria das peças, durante uma manutenção corretiva quando a máquina já está parada, o mecânico usualmente aproveita para substituir outros itens. Essa característica da manutenção tem como efeito um comportamento irregular quando analisamos os dados históricos desses itens.

Não foi possível enquadrar o comportamento encontrado nos dados históricos em nenhuma das funções de densidade de probabilidade tradicionais. Isso nos obriga a executar a simulação de uma maneira diferente da usual: não será possível a execução da simulação com várias replicações uma vez que não conhecemos uma função que represente o comportamento da demanda. A alternativa será a simulação de diferentes políticas para os dados históricos de demanda. Com isso poderemos fazer a seguinte afirmação: "*Caso a política X tivesse sido adotada no passado então Y seria o resultado*".

A utilização de simulação com apenas um conjunto de dados é desaconselhada por (KLAFFEHN et al., 1996) e por (EMSHOFF; SISSON, 1970). É verdade que essa alternativa diminui a generalidade do modelo de simulação, mas ainda assim está-se

assumindo aqui que esta "modalidade" de simulação pode ser uma ferramenta útil para apoiar a tomada de decisão dada a complexidade do problema em questão.

3.2 APRESENTAÇÃO DAS VARIÁVEIS IMPORTANTES ASSOCIADAS AO PROBLEMA

Além do histórico de demanda cujas características foram exploradas no item anterior, as informações necessárias para o modelo são:

- Lead time de cada peça - tempo entre o surgimento da necessidade e a disponibilização da peça para o departamento de Manutenção;
- Custos associados à falta de cada peça;
- Custos de armazenagem das peças - custos operacionais de manter uma peça em estoque e custo de oportunidade do capital imobilizado;
- Custo de pedido - custo administrativo relacionado à emissão de um pedido;

Essas informações são entradas para o modelo como pode ser visto no próximo item.

3.3 CONSTRUÇÃO DO MODELO

O modelo para solução do problema é relativamente simples, seu fluxograma pode ser visto na Figura 4. Inicialmente serão armazenadas as informações de entrada para a peça que estiver sendo analisada: o histórico de demanda, o lead time de obtenção da peça e os valores de ponto de reposição e tamanho de lote que deverão ser testados (políticas viáveis).

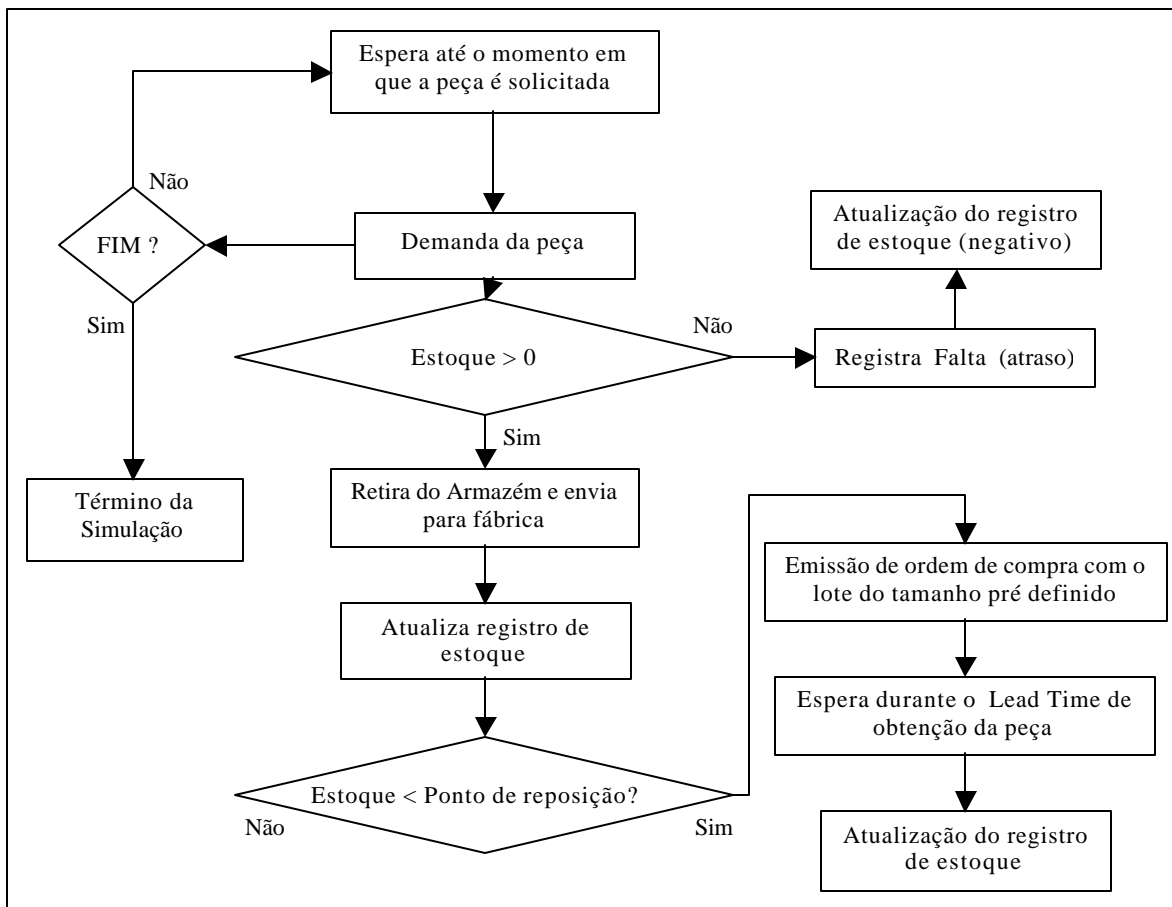


Figura 4 - Modelo do Problema Analisado

O estoque inicial será igual ao ponto de reposição testado. A partir daí inicia-se a simulação: quando a primeira necessidade ocorrer verifica-se a disponibilidade da peça no estoque em caso afirmativo então a demanda é atendida e o registro de estoque atualizado. Quando a demanda não for atendida então registra-se uma falta e atualiza-se o registro de estoque negativamente considerando um atraso, ou seja, a demanda ainda deverá ser atendida.

Voltando à situação em que o estoque estava disponível, uma peça é retirada do estoque e seu valor final é comparado com o ponto de reposição. Caso o nível de estoque fique inferior ao ponto de reposição, então uma ordem de compra de quantidade igual ao tamanho de lote é emitida e espera-se o tempo correspondente ao lead time. Nesse instante o registro de estoque é atualizado para representar o recebimento do pedido.

Após a demanda de cada peça é feito um teste para verificar se o arquivo de demanda chegou ao fim. Caso afirmativo então a simulação é encerrada, se negativo espera-se até o instante da próxima demanda.

3.3.1 PROGRAMAÇÃO DO MODELO EM UM SOFTWARE DE SIMULAÇÃO

O modelo foi programado utilizando o Promodel que é um dos vários pacotes de simulação disponíveis no mercado. Para uma lista desses tipo de aplicativo consulte LIONHEART PUBLISHING, INC.

Na Figura 5 podemos observar a representação gráfica do modelo construído. Nele foram considerados os seguintes pontos:

- 1 - Representa o armazém com um medidor (*gauge*) que permite a visualização do nível do estoque durante a simulação.
- 2 - Representa a requisição da peça por parte do Departamento de Manutenção para execução de manutenções corretivas nos equipamentos da fábrica.
- 3 - Representa a liberação do material requisitado assim que ele estiver disponível no armazém.
- 4 - Quando o nível do estoque for menor do que o ponto de reposição então um pedido é emitido. Este detalhe do modelo serve para que o tempo interno de emissão de pedidos possa ser considerado separadamente quando isso for relevante.
- 5 - Representa o fornecedor, seu estoque e sua expedição. No modelo construído o fornecedor é confiável com relação a disponibilidade e qualidade, ou seja, as peças estão sempre disponíveis em estoque e com boa qualidade. Nada impede que um modelo de simulação considere também taxas e distribuições médias de possíveis problemas de qualidade. Os modelos de simulação são flexíveis nesse sentido.

6 - Representa o lead time de entrega da peça. Este valor assume valores de acordo com uma função densidade de probabilidade, ou seja, as entregas variam em torno de uma média podendo chegar com antecedência ou atraso.

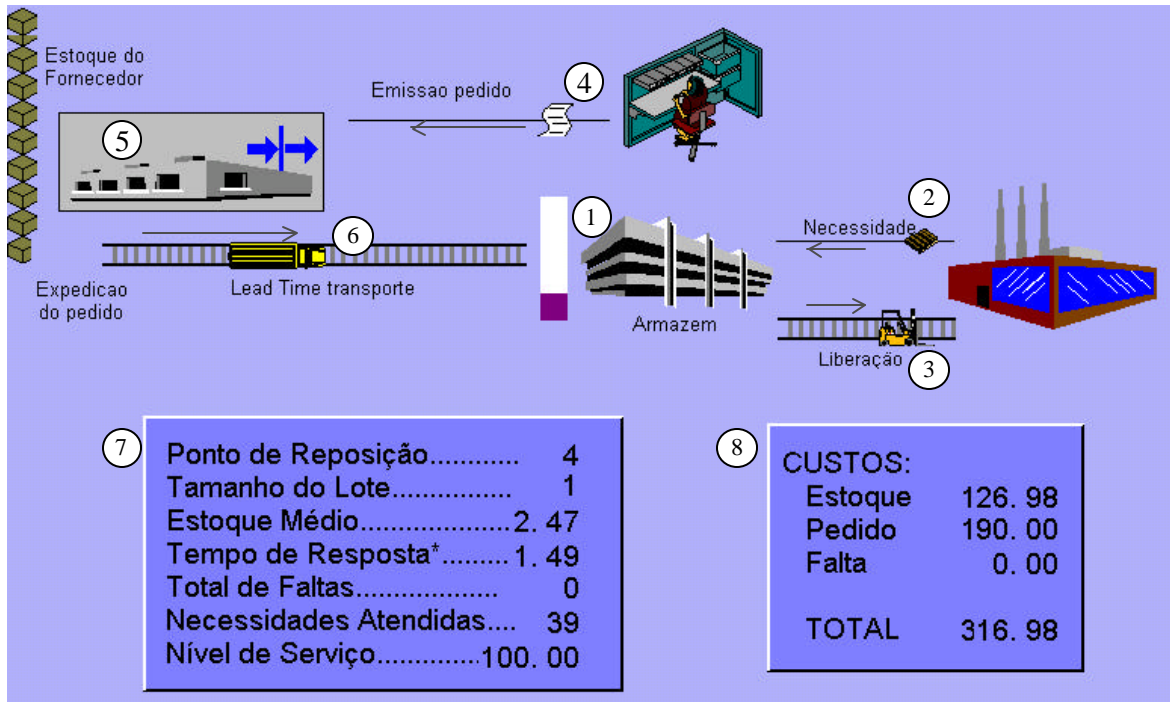


Figura 5 - Representação Gráfica do Modelo

7 - Apresenta um resumo dos dados da simulação com destaque para política simulada (ponto de reposição e tamanho do lote) e o nível de serviço (porcentagens das necessidades da Manutenção atendidas prontamente pelo Armazém).

8 - Apresenta a evolução dos custos de estoque, de pedir e de faltar durante a simulação.

3.4 DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS ALTERNATIVOS PARA SIMULAÇÃO

Como a simulação será feita para determinação da política de estoques, cada "rodada" da simulação deverá ser feita com diferentes valores de ponto de reposição e tamanho de lote. Para isso deverá existir um cadastro com os valores de lote mínimo e as faixas para variação do ponto de reposição para cada peça.

3.5 EXECUÇÃO DA SIMULAÇÃO

A execução da simulação será feita com dois softwares. Além do software de simulação será utilizado um outro aplicativo que direcionará a busca da melhor política.

Como pode ser visto na Figura 6, ao software de simulação caberá a determinação do desempenho da política simulada através do cálculo do nível de serviço, do estoque médio e dos custos associados. Já a seqüência de políticas a serem simuladas será definida por um software de busca chamado SimRunner. A cada política simulada este aplicativo define

quais devem ser os próximos valores de tamanho de lote e ponto de reposição a serem testados, na busca da política de menor custo.

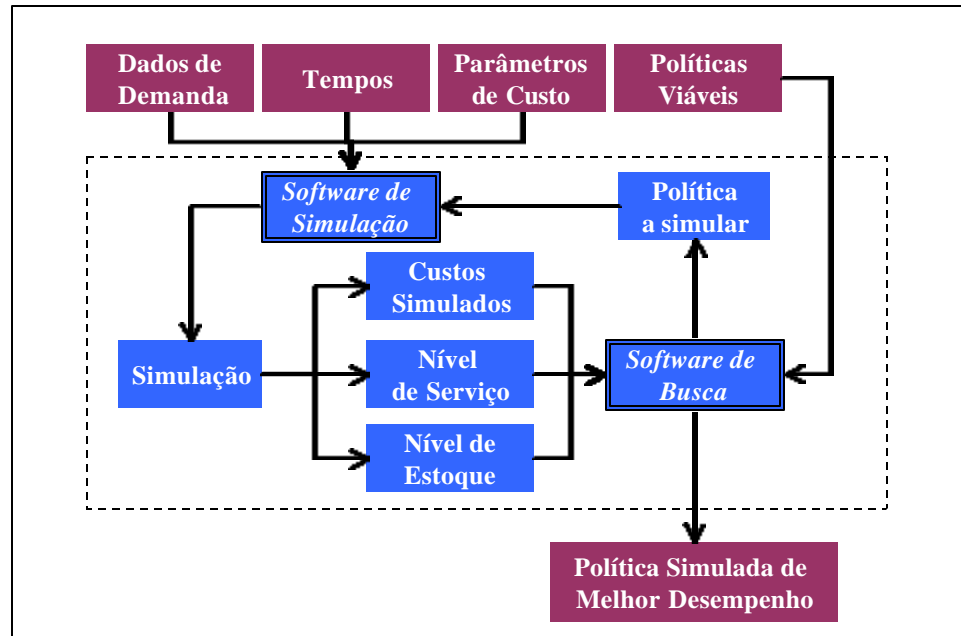


Figura 6 - Lógica de Execução da Simulação

3.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

O modelo construído com apoio dos software retornará diretamente a política de melhor desempenho. Esse formato é útil especialmente para os casos em que o número de peças de sobressalentes é grande, e revisões individuais para todos itens não são possíveis.

Entretanto a gerência responsável pela decisão pode querer fazer uma análise qualitativa sobre aquelas peças, sob algum aspecto, mais críticas para a operação.

Na Figura 7 há dois exemplos de informações que podem ser utilizadas em uma análise mais detalhada de um item. No primeiro gráfico está o custo total de cada política simulada. Eventualmente a gerência escolha uma política de desempenho intermediário por questões qualitativas, como por exemplo, a expectativa de falta de uma determinada peça no mercado.

No segundo gráfico está o nível de serviço para cada política. Essa informação já foi considerada na função de custos uma vez que foi computado o custo de falta. Entretanto a informação de quanto custa a falta de uma peça não é de fácil determinação, podendo inclusive variar ao longo do ano. Caso em algumas épocas do ano haja ociosidade dos equipamentos, nesses períodos o custo de falta de uma peça de sobressalente é praticamente nulo, pois sua falta não vai prejudicar o volume de produção necessário para o período. Desta forma é quase sempre apropriado que se avalie o nível de serviço das políticas de custo próximos ao da escolhida pelo simulador.

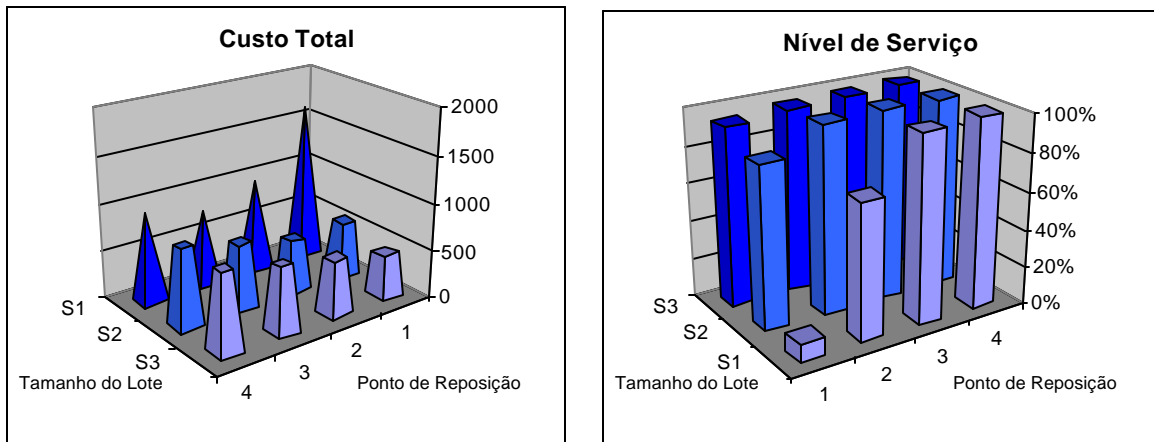


Figura 7 - Exemplos de Dados para Análise dos Resultados da Simulação

4 CONCLUSÃO

Considerando o problema de gestão do estoque de peças sobressalentes, a simulação de diferentes políticas com base nos dados históricos de demanda mostra-se como uma ferramenta de bom potencial, especialmente quando consideramos que na prática este problema tem sido tratado predominantemente de forma intuitiva.

A maior dificuldade associada a esse problema está na identificação de um padrão na demanda das peças sobressalentes. O comportamento da demanda de uma parte dessas peças é bastante irregular. Durante a análise dos dados históricos fica claro que a demanda dessas peças não se enquadram nas hipóteses assumidas pelos modelos analíticos tradicionais de gestão de estoques, e assim dificultam muito sua aplicação.

A flexibilidade que a simulação permite na construção do modelo foi a principal justificativa para sua utilização neste caso. Essa flexibilidade possibilitou uma modelagem que contornasse a dificuldade de identificação de padrão da demanda das peças de sobressalentes.

A solução proposta apresenta-se como uma ferramenta quantitativa de apoio a uma classe de decisões que na prática têm sido tomada de forma meramente intuitiva. Sua função é possibilitar uma abordagem mais direta e objetiva do problema, e suprir a tomada de decisão com informações que levem a definição de políticas de estoque potencialmente melhores.

5 BIBLIOGRAFIA

ARNOLD, T. *Administração de Materiais*. Atlas, São Paulo, 1999.

- CORRÊA, HL; GIANESI, IGN e CAON, M. *Planejamento, Programação e Controle da Produção*. Atlas, São Paulo, 1997.
- CORRÊA, HL ; DIAS, GPP. *De volta a gestão de estoques: as técnicas sendo usadas pelas empresas?*. Anais do I SIMPOI. EAESP, FGV, 1998.
- BROWN, RG. *Advanced Service Parts Inventory Control. Materials Management Systems*, Inc. Vermont, Estados Unidos, 1982.
- EMSHOFF, JR.; SISSON, RL. *Design and Use of Computer Simulation Models*. The Macmillan, New York, 1970.
- HEIZER, J; RENDER, B. *Operations Management*. Prentice Hall, New Jersey, 1999.
- KLAFEHN, K; WEINROTH, J; BORONICO, J. *Computer Simulation in Operation Management*. Quorum Books, Westport, 1996.
- LIONHEART PUBLISHING, INC. Internet,
<http://lionhrtpub.com/orms/surveys/Simulation/Simulation.html>, jun. 1999.
- NERSESIAN, RL; SWARTZ, GB. *Computer simulation in logistics: with visual basic application*. Quorum Books, Westport, 1996.
- RUSSEL, RS; TAYLOR, BW. *Operations Management: Focusing on Quality and Competitiveness*. Prentice Hall, New Jersey, 1998.