
Gerenciamento de estoques via previsão de vendas agregadas utilizando simulação

EDUARDO CARRARA PEIXOTO
Belgo Bekaert Nordeste S.A.

LUIZ RICARDO PINTO
UFMG

Resumo

O aumento da economia global, a concorrência e a tecnologia exigem cada vez mais agilidade e flexibilidade das organizações. Na siderurgia isso não é diferente, apesar de seus processos requererem grandes escalas e conseqüente elevação dos tempos de *lead time*. A manutenção de estoques, nesse contexto, se torna imprescindível. Este trabalho apresenta uma contribuição para o processo de tomada de decisão para quantificação de estoques em uma empresa de trefilação de arames. Um modelo matemático foi elaborado para auxiliar as políticas de aquisição e manutenção de estoques de cada item. A empresa forneceu informações chave para o modelo: vendas agregadas de produtos acabados; demanda histórica de insumos; histórico de suprimentos; desempenho de fornecedores e estratégia de compra para o período. Como o sistema envolve variáveis estocásticas, fez-se necessário a determinação dos níveis de estoque de segurança para evitar rupturas na produção e no fornecimento de produto aos clientes.

Palavras-chave

Estoque, previsão de vendas, simulação, estoque de segurança, siderurgia.

Inventory management based on forecast of aggregated sales using simulation

Abstract

The increase of the global economy, the market competition and the technology demand more flexible and faster organizations. Despite the great production volume and its consequent increase of the lead time, the metallurgy industry is not out of this game. In this context, a good supply inventory policy may be a powerful tool. The article presents a contribution for the inventory decision process in a wire drawing industry. A descriptive mathematical model was built to support the supply order process of each product. The company supplied the key information of the model: aggregated sales of final products; forecast sales; supply items historical series; supplier's performance and order's strategy for the period. As the system involves stochastic variables, it was defined safety stocks to avoid production interruption and final products delivery interruption.

Key words

Inventory, forecast sales, simulation, safety stock, metallurgy.

INTRODUÇÃO

Certamente um dos passos mais importantes na condução de uma empresa é o planejamento. Analisar cenários e fazer a escolha do caminho por onde se deseja conduzir a empresa em longo prazo faz parte dessa etapa. Um bom planejamento é aquele que dita claramente quais mercados e clientes serão servidos e é baseado em uma visão da organização sobre como será o mercado no futuro e qual o papel da empresa nesse cenário. Por visão entende-se a definição de metas e ideais através dos quais os negócios serão conduzidos.

Decisões estratégicas, tais como aquelas que tratam de capacidade, nível de serviço e rede de distribuição, são complexas e envolvem o comprometimento de recursos ao longo de vários anos.

Em última instância, o que se busca através do planejamento empresarial é a identificação das necessidades do cliente e a adaptação dos processos de negócio para satisfazer essas necessidades.

Um importante desdobramento dessa atividade é o planejamento da produção. Um bom planejamento da produção não garante o sucesso, mas direciona os esforços da organização no sentido de maximizar a utilização de recursos e melhorar o desempenho total.

O planejamento da produção está ligado às políticas de manutenção de estoques. Os motivos pelos quais os estoques estão presentes nos canais de produção são vários, mas o planejamento dos níveis desses estoques está cada vez mais em evidência, pois eles se tornam variável determinante dos resultados financeiros de muitos ramos empresariais.

Lenard e Roy (1995) afirmam que o controle de estoque é estudado desde 1913 com Harris. Pode-se afirmar que o bom funcionamento de tal área é vital para uma organização, uma vez que representa boa parte dos custos logísticos. Assim, é evidente a necessidade de se buscar a otimização do gerenciamento desses serviços. Um bom gerenciamento de estoques equaciona as questões de disponibilidade, nível de serviço e custos de manutenção (KREVER *et al.*, 2003).

Para Ballou (2001), os estoques estão presentes em um canal de suprimentos principalmente por: (i) melhorar o serviço ao cliente; (ii) reduzir os custos operacionais (*set up*, aquisição, transporte, etc.). No entanto, estoques são condenáveis devido a: (i) custo de sua manutenção; (ii) possibilidade de estoques poderem mascarar problemas de qualidade; (iii) obsolescência. Toda política de controle de estoques deve administrar o difícil dilema entre minimizar custos de manutenção de estoques e satisfazer a demanda do cliente.

Krupp (1997) afirma que, quanto maior o estoque, maior o nível de serviço. Krupp (2002) ressalta, no entanto, que em muitos ambientes a manutenção de estoques de produtos acabados ou semi-acabados não é permitida.

A partir da década de 70, surgiram vários sistemas de controle de produção (MRP, JIT e ERP) que têm características um pouco mais qualitativas em relação às abordagens quantitativas tradicionais.

Platt *et al.* (1997) destacam a existência de uma necessidade implícita nos modelos de gestão de estoques ligada a sua adequação e aplicabilidade à cadência normal das operações que podem implicar em freqüentes cálculos de tamanho de pedidos e ponto de ressuprimento (ROP) para centenas de itens ou produtos de uma empresa.

Hautaniemi e Pirttilä (1999) realizaram comparações entre algumas políticas de controle de estoques, tais como MRP, ROP e sistemas de revisão visuais como *two-bin*. Esses autores afirmam que, apesar dessas políticas serem consideradas mutuamente excludentes pela literatura, a necessidade de mercado impõe tempos de entrega cada vez menores, mais confiáveis e produtos personalizados, gerando a necessidade de usar ROP ou sistemas de revisão visuais juntamente com os sistemas MRP.

Os modelos científicos baseados em pesquisa operacional fornecem fundamentação teórica para a construção de sistemas de suporte à decisão na área de planejamento da produção e gerenciamento de estoques. As três principais abordagens voltadas para a modelagem computacional em pesquisa operacional baseiam-se em: otimização, heurística e simulação.

A otimização através de técnicas de programação matemática, tais como programações linear, não-linear e inteira, deve ser empregada sempre que possível, pois essas técnicas garantem uma solução ótima. A complexidade dos modelos, no entanto, normalmente demanda grande capacidade computacional e tempos de processamento proibitivos. Nesse caso, as heurísticas têm sido aplicadas para reduzir o espaço a ser pesquisado e posteriormente avaliar as alternativas encontradas através de uma das outras abordagens.

Simulação é um tipo de modelagem matemática que procura primeiramente retratar a dinâmica de um sistema existente ou planejado para depois poder avaliar soluções viáveis do problema. Essa técnica é recomendada quando se pretende abordar um nível de detalhe mais amplo do processo.

DESCRIÇÃO DO SISTEMA ESTUDADO

A empresa na qual foi desenvolvido este estudo faz parte do setor siderúrgico e está focada na produção de arames de aço para diversas aplicações industriais e comerciais. A empresa atua no mercado interno e externo e possui cinco unidades de produção. Seu principal insumo para produção é o fio máquina – FM. Fios máquina são fios de arame utilizados para fabricação de trefilados em geral. Atualmente são utilizados mais de seiscentos tipos de FM na fabricação

de quase quatro mil itens de produtos acabados que a empresa oferece ao mercado. Esses números já dão uma idéia da complexidade do Planejamento e Controle da Produção – PCP dessa empresa.

Para simplificar e viabilizar análises e verificar tendências, a empresa utiliza o monitoramento agregado de diversas variáveis do processo. Por agregação entende-se o agrupamento de diversos itens relacionados em grupos que passam então a representar um determinado conjunto de itens.

Assim, a área comercial faz seu planejamento avaliando setores de negócio ou grupos de produtos. Os chamados Grupos de Venda – GV tornam-se assim a base do planejamento de demanda (previsão de vendas) da empresa. Atualmente a empresa possui aproximadamente 120 GVs, cada qual constituído de diversos tipos de FM, aqui chamados FMItem. A demanda dos GVs e suas composições em termos de FMItem são variáveis aleatórias, cujos comportamentos históricos são conhecidos.

O desafio do presente trabalho foi definir corretamente as variáveis e parâmetros do processo decisório para retratá-lo num modelo matemático, baseado em conceitos de simulação de processos, que apóie a tomada de decisão de pedido de compra mensal do insumo FM.

O fornecedor do insumo FM é uma empresa do grupo que, visando planejar-se melhor e otimizar seus resultados, passou a exigir que os pedidos de FMItem fossem registrados no mês anterior a sua previsão de entrega.

BASES METODOLÓGICAS DO TRABALHO

A metodologia de pesquisa utilizada durante o desenvolvimento deste trabalho foi a de pesquisa-ação. A idéia central é usar uma abordagem científica para estudar a resolução de importantes matérias organizacionais juntamente com aqueles que vivenciam estas matérias diretamente (COUGHLAN; COUGHLAN, 2002).

Na pesquisa-ação, membros do sistema que está sendo objeto de estudo participam ativamente, ao contrário da pesquisa tradicional, em que os membros do sistema são objetos do estudo. Ela também é simultânea com a ação. A meta é fazer uma ação efetiva enquanto simultaneamente se constrói um conhecimento científico. Todo o trabalho foi desenvolvido pelos autores com grande participação dos membros do corpo técnico da empresa. Este trabalho é uma síntese do trabalho de Peixoto (2006), cuja hipótese era que o comportamento histórico das previsões de venda de produtos acabados e o respectivo *mix* de produtos necessários à produção, adicionados a parâmetros e restrições de produção

poderiam determinar, com boa precisão, o planejamento de compra de insumos. O desafio apresentado era que, utilizando os dados disponíveis de comportamento histórico da previsão de vendas agregadas de produtos acabados (GV) e o respectivo *mix* de insumos (FMItem), adicionados a parâmetros e restrições de produção, poder-se-ia determinar o planejamento de compra de cada item de fio-máquina para o mês seguinte ao planejamento.

Decisões estratégicas, tais como aquelas que tratam de capacidade, nível de serviço e rede de distribuição, são complexas e envolvem o comprometimento de recursos ao longo de vários anos.

Para viabilizar o registro dos pedidos dos diversos FMItem com a antecedência requerida, foi elaborado um modelo de avaliação dos dados históricos de desempenho desse processo para testar seu comportamento e distribuição. Também foram incluídas algumas informações relevantes a essa tomada de decisão.

Para as variáveis aleatórias desse processo foram associadas curvas de distribuição de probabilidade que, interagindo entre si, possibilitarão a definição do pedido de compra para cada FMItem através da utilização de técnicas de simulação.

Com base no estudo e tratamento dos dados coletados (histórico da movimentação de materiais entre a empresa e seus fornecedores do insumo FM) foi elaborado e implementado computacionalmente um modelo matemático. Esta ferramenta tem como objetivo gerar e avaliar cenários relacionados ao processo de compra e estocagem de FMItem.

Na definição de uma política de estoques, normalmente usa-se o critério de minimização do custo total. No entanto, para Hillier e Lieberman (2005), outro critério a ser considerado, embora não quantitativo, é que a política de estoque resultante seja simples. Por “simples” devemos entender a existência de uma regra clara para indicar quando e quanto encomendar.

Para Santos e Rodrigues (2005), algumas mudanças no mercado, como o crescimento do nível de personalização dos produtos, as fusões e aquisições no mercado industrial, geraram uma demanda extremamente irregular. Esse tipo de demanda é caracterizado por alto nível de variabilidade medido pelo coeficiente de variação (CV). Além disso, nesse tipo de demanda, há picos de consumo seguidos de vários períodos de consumo nulo ou baixo.

construção de modelos se comparada à modelagem matemática tradicional (modelos de otimização). Outra vantagem é a possibilidade de utilização de variáveis probabilísticas ao longo de um período determinado.

A simulação pode ser utilizada fornecendo informações para dar suporte à tomada de decisão ou pode realmente fornecer uma solução (PRITSKER, 1992).

DESCRIÇÃO DO MODELO

Foi elaborado um modelo matemático representativo do sistema real, que foi implementado computacionalmente em Borland Delphi® usando base de dados em Microsoft Access®.

As premissas do modelo são:

- periodicidade e revisão mensal do planejamento;
- restrições de volume de compra impostas pela “cota” (limite de volume) de suprimento do fornecedor de FMItem;
- aleatoriedade do erro cometido na previsão de vendas por GV e aleatoriedade na composição de cada GV (participação de cada FMItem na composição do GV).

Os cenários a serem avaliados pelo tomador de decisão são construídos a partir da variação dos parâmetros do nível de serviço e cotas de FMItem.

Na obtenção dos resultados a partir dos cenários construídos, o algoritmo do sistema opera da seguinte forma:

1º Passo: Determinação do estoque de segurança

O estoque de segurança ameniza variações e/ou incertezas de curto prazo, tanto de demanda quanto de ressupri-

mento. No modelo desenvolvido, o estoque de segurança protege a produção das variações e incertezas do prazo de ressuprimento (*lead time* de entrega do fornecedor de fio máquina) e do histórico de consumo (oscilações no volume de demanda). Adicionalmente, permite gerar uma proteção maior com base no conceito de estoque de demanda média num “prazo de cobertura”. Nesse último caso, o sistema atribui um valor adicional ao tradicional estoque de segurança para proteger a produção num prazo equivalente aos dias especificados. Isso é especialmente válido no caso de itens que têm cronograma de laminação muito espaçado.

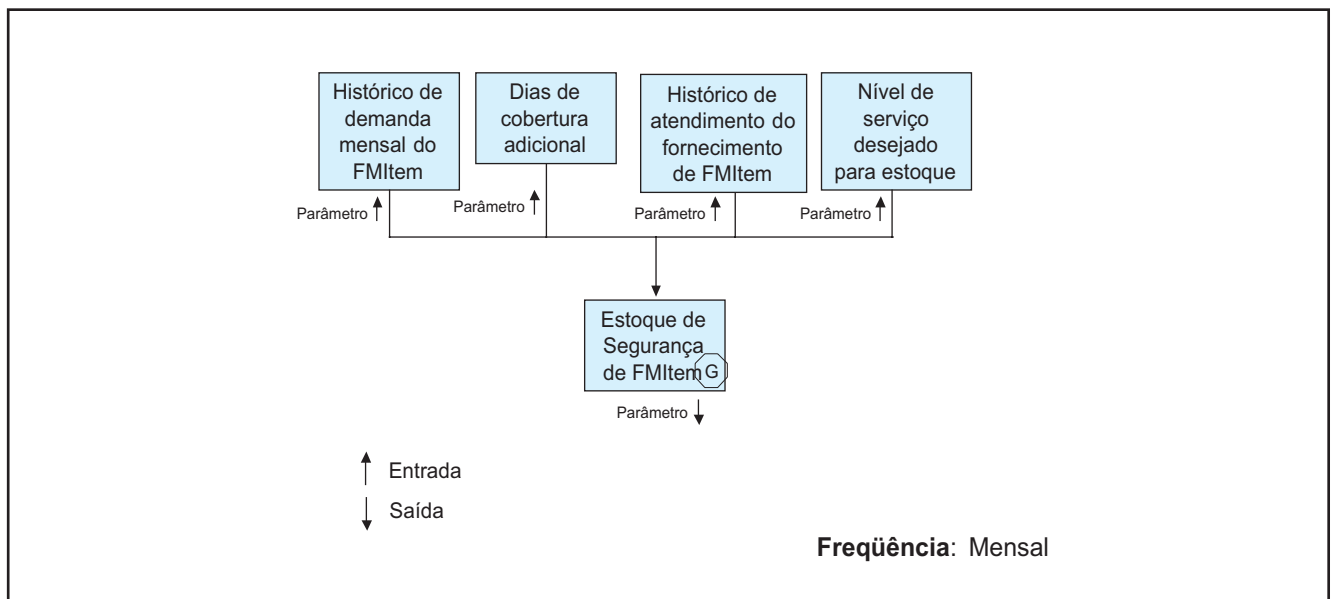
Para indicar a confiabilidade dos estoques sugeridos, foram criados dois coeficientes de segurança para serem aplicados ao histórico: o de segurança na demanda (volume histórico) e o de segurança no tempo de ressuprimento (*lead time* do fornecedor). O processo é representado na Figura 1.

Vale ressaltar que na determinação dos históricos de demanda e atendimento, para garantir a representatividade dos dados, não se pode estender muito o horizonte analisado em função das mudanças do mercado e do processo.

Após alguns testes, avaliou-se que 12 meses é um horizonte reduzido, porém adequado nessa situação (amostra de dados reduzida compromete a determinação das curvas de distribuição de probabilidade que regem as variações / incertezas do processo de decisão). Os cálculos para a determinação do estoque de segurança são mostrados a seguir e, apesar das simplificações adotadas, mostraram-se bastante adequados para o problema em estudo.

Para cada fio máquina, calcula-se um valor para o *lead time* com base em dados históricos de atendimento dos pedi-

Figura 1: Diagrama de obtenção do estoque de segurança.



dos de FMItem e obtém-se um conjunto de dados de prazos de atendimento para todos os FM.

$$LT_i = LTM_i + DPL_i \cdot SL_i$$

onde:

LT_i = *lead time* previsto para o FM_i (dias);
 LTM_i = *lead time* histórico médio para o FM_i (dias);
 DPL_i = desvio padrão do *lead time* histórico para o FM_i (dias);
 SL_i = fator de segurança para o *lead time* do FM_i (valores de SL_i no Quadro 1A).

A partir dos dados históricos de distribuição da demanda mensal de FM calcula-se a demanda de cada FMItem (D_i):

$$D_i = DM_i + DPD_i \cdot SD_i$$

onde:

D_i = demanda mensal prevista para o FM_i (t);
 DM_i = demanda mensal histórica média para o FM_i (t);
 DPD_i = desvio padrão da demanda mensal histórica para o FM_i (t);
 SD_i = fator de segurança para a demanda do FM_i (valores de SD_i no Quadro 1A).

Para os cálculos de D_i só foram considerados FMItem que aparecem no mínimo um determinado número de vezes (aqui chamado de repetitividade mínima) nos dados históricos e cujas demandas médias estejam acima de 25% do valor de seu desvio padrão. Este procedimento visa à eliminação de dados pontuais atípicos.

O estoque de segurança é calculado da seguinte forma:

$$ES_i = EC_i + VD_i$$

$$EC_i = D_i \cdot DC_i / 30$$

$$VD_i = LT_i \cdot D_i / 30$$

onde:

ES_i = estoque de segurança para o FM_i ;
 EC_i = estoque de cobertura para o FM_i ;
 VD_i = valor esperado da demanda durante o período do *lead time* para o FM_i ;
 DC_i = número de dias desejáveis para cobertura da demanda do FM_i .

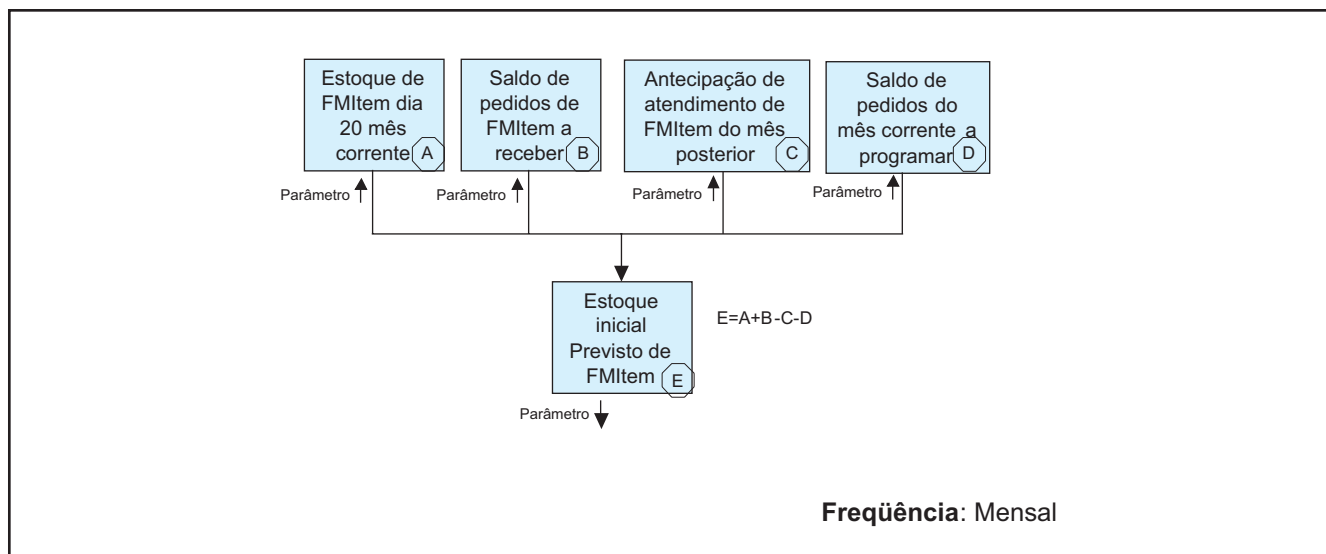
2º Passo: Determinação do estoque inicial previsto

Para a determinação dos pedidos de FMItem faz-se necessário calcular o estoque no início do período. Com base no estoque real (Estoque FMItem no dia 20 do mês corrente), no saldo de pedidos confirmados a receber do fornecedor de FM, na antecipação de atendimento de pedidos do mês posterior (podem ter sido parcialmente registrados para reservar capacidade) e no saldo de pedidos de produto acabado do mês corrente a programar, obtém-se o estoque inicial a partir do qual os cenários simulados serão construídos. Este processo é mostrado na Figura 2.

3º Passo: Simulação do pedido prévio mensal

Nessa fase, utilizando as distribuições de probabilidade de acerto da previsão de vendas – PV (distribuição empírica) e distribuição do *mix* de FMItem (distribuição empírica) dentro do grupo de vendas, o sistema retorna o pedido ideal

Figura 2: Diagrama de determinação do estoque inicial.



para cada FMItem avaliando os parâmetros de estoque inicial e de segurança calculados anteriormente. O resultado da simulação é obtido tendo como base diversas observações do sistema, cada uma delas usando amostragens das variáveis aleatórias consideradas. Para cada observação realizada é gerado aleatoriamente um erro para a previsão das quantidades estabelecidas para cada GV, de forma a simular os erros de previsão com base nos erros históricos cometidos. De forma análoga, é feita uma geração aleatória da composição de cada GV, baseada nas composições históricas de cada GV.

O pedido sugerido nessa etapa, ainda não contempla restrições de fornecimento (cota) e ajustes de níveis de prioridade de atendimento desejados. Isso será obtido na próxima fase de processamento das informações pelo sistema. A Figura 3 representa o processo.

4º Passo: Simulação do pedido final

Aqui é corrigido o pedido calculado na fase anterior com referência a cotas de fornecimento de FMItem, níveis de prioridade para alocação dessa cota e restrições de capacidade (nível máximo e mínimo – produção para estoque).

Como resultados são obtidos dados de pedido, estoque e nível de serviço no atendimento (médio, mínimo e máximo) do cenário desejado. Essas informações apoiarão o toma-

dor de decisão na escolha do tamanho do pedido de cada FMItem. A Figura 4 apresenta o diagrama representativo do processo.

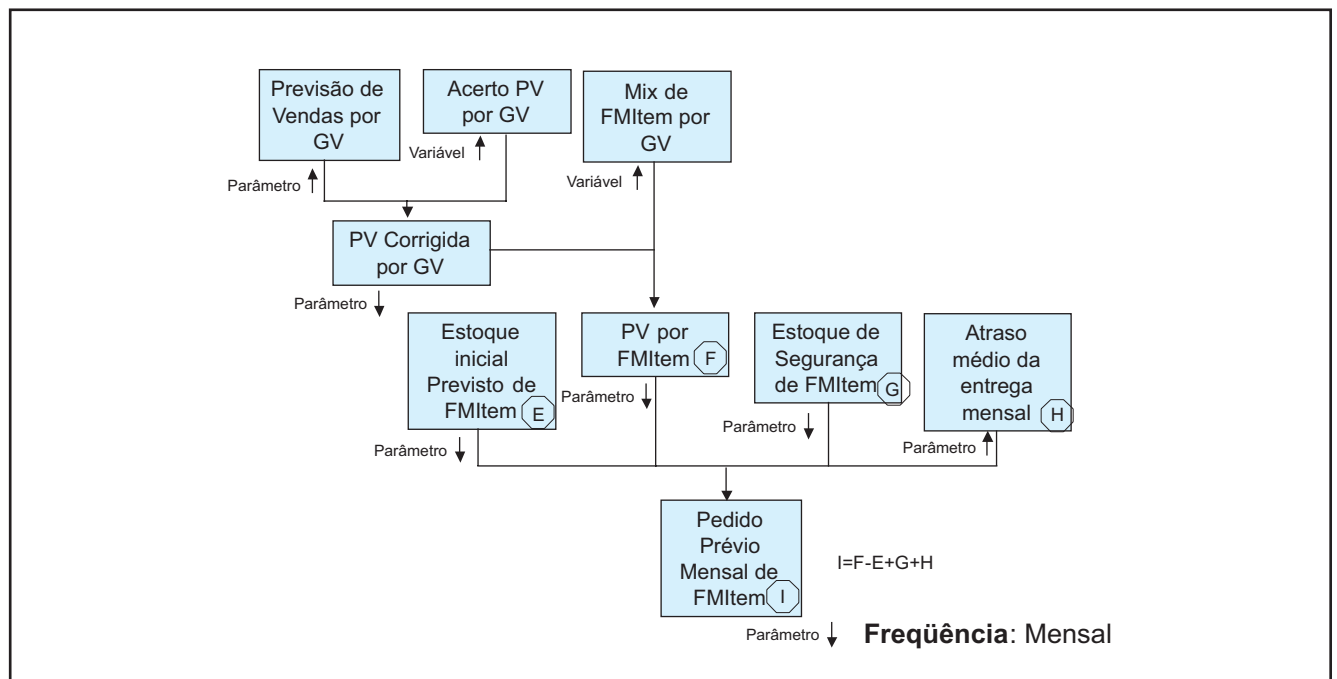
O modelo, apesar de simplificado em relação ao sistema estudado, apresentou resultados que retratam a realidade com boa qualidade.

PARÂMETROS DO SISTEMA

Adicionalmente, foram definidos os demais parâmetros do sistema. Eles interferem nos resultados apresentados pelo modelo e são as variáveis disponíveis para que se possam construir cenários. Nos Quadros 1A e 1B destaca-se cada um deles com algumas recomendações a serem seguidas pelo tomador de decisões.

Tendo em vista a grande variabilidade de demanda apresentada por alguns FMItem durante a análise e tratamento dos dados, fez-se necessário estabelecer alguns limites de aplicabilidade do modelo, caso contrário os resultados poderiam diferir substancialmente da realidade. Escolheu-se a repetitividade e a variabilidade no histórico da demanda como condições limites. A primeira restrição, repetitividade, é um parâmetro de entrada do sistema. Para a restrição de variabilidade foi elaborado

Figura 3: Diagrama do processo de simulação do pedido prévio.



um teste (TDP – teste do desvio padrão) que é apresentado juntamente com os dados do resultado da simulação para apoiar e orientar o tomador de decisão sobre a adequação do modelo àquele histórico. Quanto maior a variabilidade, menor a adequação do modelo construído para aquele FMIItem.

O sistema fornece as informações geradas pela simulação do processo que servirão de apoio para o tomador de decisão definir o pedido de FM ao fornecedor.

O Quadro 2 apresenta as informações fornecidas para cada cenário simulado.

Ressalta-se que as informações contidas nesse relatório devem ser utilizadas para apoiar a decisão e que informações e avaliações complementares devem ser efetuadas. Por isso as informações das quatro últimas linhas do Quadro 2 foram adicionadas aos resultados do processo de simulação para formar um relatório gerencial integrado. Essas informações são dados de entrada e foram simplesmente adicionadas aos respectivos resultados da simulação do processo de compra de cada FMIItem.

COLETA DE DADOS

Nessa fase foram especificados e coletados os dados que apoiam o processo de tomada de decisão de compra e estoque do insumo FM. Foram eles:

- Demanda dos itens de FM (FMIItem);
- Previsão de vendas (Por GV);
- Mix de FMIItem por GV;

- Níveis de Estoque de FM, de cada FMIItem, no final do mês;
- *Lead time* histórico dos pedidos de FM (pedidos colocados x atendimento realizado);
- Nível de Serviço desejado para o estoque de FMIItem.

ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS

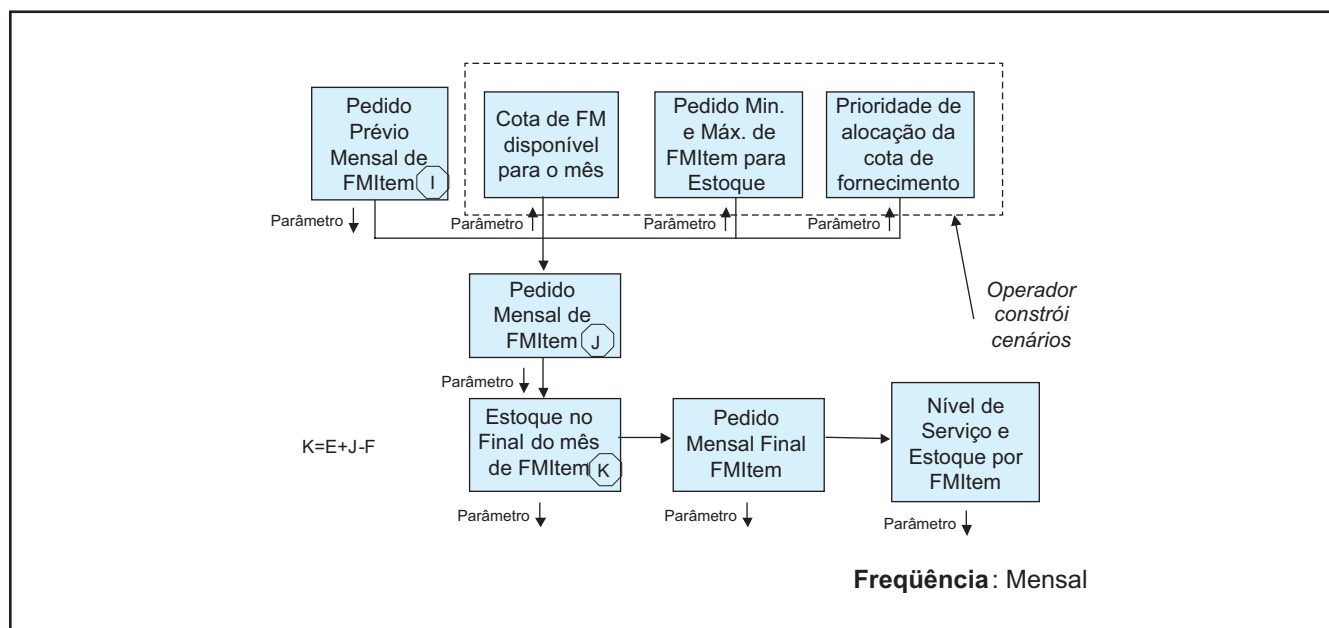
Após consolidação dos dados coletados e tratamento para adequação aos procedimentos exigidos durante a construção do modelo, foi desenvolvido um banco de dados composto por tabelas que devem ser continuamente alimentadas para possibilitar o processo de simulação que acontecerá periodicamente (a cada mês). O Quadro 3 apresenta as principais tabelas da base de dados.

VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO

O modelo foi verificado utilizando-se apenas um grupo de vendas e com uma distribuição empírica de frequência que produzia resultados previsíveis, o que possibilitou a contraprova manual atestando a confiabilidade dos cálculos realizados.

O modelo foi validado através de testes para verificação de seu grau de aderência ao processo real com base nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2004 e janeiro de 2005. O período foi escolhido por ter todos os dados históricos disponíveis para alimentação do modelo e comparação com o desempenho real da demanda de FM.

Figura 4: Diagrama do processo de simulação do pedido final.



Quadro 1A: Parâmetros do sistema.

ITEM	DESCRIÇÃO DO ITEM	OBSERVAÇÕES
Prioridade	Critério de peso/importância para ajustar a cota de aquisição aos diversos FMItem. Quanto maior o peso, maior a importância relativa do item	Escala de 1 a 4.
Pedido min	Utilizado para forçar um pedido de compra de FMItem mesmo que a previsão de vendas não indique o consumo. Está relacionada à política de produção para utilização da capacidade instalada	Em toneladas
Pedido max	Utilizado para limitar um pedido de compra de FMItem mesmo que a previsão de vendas indique um consumo superior. Está relacionada à política de produção e às restrições da capacidade instalada	Em toneladas
Dias de cobertura	Parâmetro utilizado para aumentar o estoque de segurança em função do cronograma de laminação de FM e flutuações de demanda acentuadas	Número de dias
Seg lead time	Coefficiente de segurança do <i>lead time</i> . Utilizado para definir o índice de acerto (baseado no histórico de fornecimentos) que se pretende obter para o FMItem no que diz respeito ao prazo de entrega praticado pelo fornecedor. Influencia no cálculo do estoque de segurança. Quanto maior o coeficiente, maior o nível de estoque de segurança recomendado.	0,0 – baixo 0,5 – médio 1,0 – importante 2,0 – elevado Obs: recomenda-se o mesmo critério do SEG DEMANDA
Seg demanda	Coefficiente de Segurança da Demanda. Utilizado para definir o índice de acerto (baseado no histórico de fornecimentos) que se pretende obter para o FMItem no que diz respeito ao volume histórico consumido. Influencia no cálculo do estoque de segurança. Quanto maior o coeficiente, maior o nível de estoque de segurança recomendado.	0,0 – baixo 0,5 – médio 1,0 – importante 2,0 – elevado Obs: recomenda-se o mesmo critério do SEG LEAD TIME

Quadro 1B: Parâmetros do sistema (continuação).

ITEM	DESCRIÇÃO DO ITEM	OBSERVAÇÕES
Número de observações	Refere-se à quantidade de amostras utilizadas nos cálculos da simulação para obter as respostas desejadas	Recomenda-se que não se use menos de 200
Repetitividade	Número mínimo de meses em que o FMItem aparece no histórico de consumo. Trata-se de restrição para inclusão do item na simulação de pedido	Recomendam-se 8 presenças em 12 meses
Uso de cota	Instrução para autorização de ajustes no pedido de compra em função de uma eventual cota de aquisição junto ao fornecedor	Padrão: (NÃO) não utiliza restrição de cota. Para utilizar restrição de cota alterar o parâmetro para (SIM)
Cota de FM (t)	Volume total em toneladas da cota de aquisição	
Uso do GV	Indica quais Grupos de Vendas devem ser utilizados. É utilizado para eliminar GVs de produtos acessórios que não têm o FM como insumo. Ex: postes para cercas.	(SIM) ou (NÃO)

Os dados apresentados a seguir foram obtidos utilizando dados históricos referentes aos seis meses anteriores ao mês que se pretende planejar as compras e estoques de FM (dados móveis). Adicionalmente, foram considerados os seguintes parâmetros:

- Número de observações: 200;
- Sem restrição de cota de aquisição;
- Coeficientes de segurança da demanda e do *lead time* de fornecimento bem como o pedido mínimo e máximo e dias de cobertura de cada FMItem previamente

Quadro 2: Informações de saída do sistema.

ITEM	DESCRIÇÃO
TDP	Teste do Desvio Padrão. Indica a variabilidade histórica da demanda do item. Escala de 0 a 1. Quanto maior o TDP menor a variabilidade.
Rep	Número de meses que o FMItem apareceu no histórico considerado
Est Ini	Estoque no início do mês
Est Seg	Estoque de segurança calculado com base nos parâmetros indicados
PV Min	Previsão de venda mínima simulada
PV Média	Previsão de venda média simulada
PV Max	Previsão de venda máxima simulada
Ped Prev	Pedido sugerido para recompor o estoque de segurança com base na PV Média antes da correção da cota de aquisição (se houver)
PcorMin	Pedido sugerido para recompor o estoque de segurança com base na PV Min depois da correção da cota de aquisição (se houver)
PcorMed	Pedido sugerido para recompor o estoque de segurança com base na PV Média depois da correção da cota de aquisição (se houver)
PcorMax	Pedido sugerido para recompor o estoque de segurança com base na PV Max depois da correção da cota de aquisição (se houver)
EstFinal	Estoque no final do mês previsto para o FMItem
Ped Reg	Pedidos de FMItem já registrados para o mês seguinte (alvo)
CX+1	Volume em toneladas da carteira de arame já registradas para o mês X+1
CX+2	Volume em toneladas da carteira de arame já registradas para o mês X+2
CX+3	Volume em toneladas da carteira de arame já registradas para o mês X+3

Quadro 3: Tabelas da base de dados.

NOME DA TABELA	DESCRIÇÃO
tb_acerto_previsao_gv	Contém informações comparativas da previsão de vendas por GV com as vendas reais efetuadas a cada mês
tb_distribuicao_demanda_mensal	Contém informações do histórico de consumo mensal (com base na carteira de vendas) dos FMItem
tb_Estoque_Inicial_FM	Tabela de entrada de dados relativos à situação de estoques na data em que o sistema está sendo utilizado (mês corrente)
tb_leadtime_pedidos_fm_histórico	Registra o histórico de atendimento dos pedidos de FM pelo fornecedor
tb_percentual_histórico_fm_gv	Contém os registros do percentual de participação de cada FMItem num determinado GV
tb_previsao_vendas_gv	Registra a previsão de vendas por grupo de vendas para o mês subsequente

especificados, foram mantidos fixos em todos os experimentos;

- Informações obtidas utilizando a recomendação de pedido médio indicado pela simulação do processo;
- Dados multiplicados por uma constante para preservar o sigilo das informações da empresa.

A Tabela 1, traz os resultados do processo de validação do modelo de simulação. O significado de cada item é descrito a seguir.

RESULTADOS

O modelo utilizou técnicas de modelagem matemática que levam em consideração parâmetros estabelecidos por especialistas visando obter um resultado melhor do que se poderia obter utilizando apenas estimativas e/ou métodos muito simplificados que não retratam a dinâmica do processo estudado.

A seguir é apresentado o detalhamento dos resultados obtidos no período em que o modelo foi validado: meses de outubro, novembro e dezembro de 2004 e janeiro de 2005.

Média de FMIItem simulados por mês: 46%.

Em 93% dos itens a política de aquisição sugerida pelo pedido médio do sistema satisfaz a demanda real.

O volume médio de vendas não atendido por falta de FM foi de 1,9% das vendas (itens que apresentaram ruptura).

Dentre os FMIItem que apresentaram ruptura, um número bastante reduzido representou 45% das rupturas e devem ter seus históricos de demanda analisados com maior profundidade para entender os fatores que interferiram nesse processo.

Em janeiro, houve ruptura de estoque acentuada (em volume) em dois FMIItem que juntos representaram 68% do volume faltante no mês. Nesses casos, a situação foi analisada e o crescimento exagerado das vendas em relação ao histórico de dados gerou o problema. Neles, a base de dados histórica não representou bem a realidade e, por isso, o estoque de segurança não foi capaz de proteger a produção e ocorreu assim falta de FM para atender aos pedidos registrados (ruptura).

O estoque real de fio máquina no final do mês ficou, em média, 14% acima do volume de estoque previsto, indicando que houve variação para baixo das vendas de alguns itens de grande demanda em relação ao histórico de vendas. Os FMIItem que apresentaram estoques elevados em relação ao estoque projetado foram analisados e, nesses casos, a redução drástica nos volumes de venda comprometeu a previsão do modelo.

Perfil de demanda dos FMIItem segundo o Teste do Desvio Padrão – TDP:

TDP = 1,00 (56% dos itens);

TDP = 0,75 (16% dos itens);

TDP = 0,50 (19% dos itens);

TDP = 0,25 (7% dos itens).

A empresa permanece utilizando a ferramenta para apoiar seu processo de tomada de decisão de aquisição do insumo FM.

Especialistas continuam envolvidos no processo e validam a ferramenta.

O modelo, apesar de simplificado em relação ao sistema estudado, apresentou resultados que retratam a realidade com boa qualidade.

Tabela 1: Resultados do processo de validação do modelo de simulação.

Ano	Mês	itens	Eseg	Eini	Pmed	Eproj	PVMin	PVMed	PVMax	Venda	ERealMed	RMed	Prup	MedPRupMed	TRMed
2004	10	228	93	90	247	187	152	242	389	189	156	23	10%	4,54%	9
2004	11	223	92	123	210	190	148	236	388	161	173	12	5%	0,56%	1
2004	12	216	80	101	194	166	136	209	336	145	155	9	4%	2,91%	4
2005	1	198	79	97	164	164	112	177	296	164	123	18	9%	15,32%	25

Legenda:

Itens	Número de FMIItem simulados;
Eseg	Estoque de segurança total indicado para os itens;
Eini	Estoque no início do mês;
Pmed	Pedido médio sugerido pelo sistema;
Eproj	Estoque projetado para o final do mês;
PVMin	Previsão de vendas mínima simulada;
PVMed	Previsão de vendas média simulada;
PVMax	Previsão de vendas máxima simulada;
Venda	Vendas reais apuradas no mês;
ERealMed	Estoque real apurado para os itens no final do mês considerando colocação do Pedido Médio;
Rmed	Número de rupturas de estoque dentre os FMIItem simulados considerando a sugestão de Pmed;
PRup	Percentual de rupturas de estoque dentre os FMIItem simulados;
MedPRupMed	Percentual médio do volume vendido que faltou para ser atendido;
TRMed	Tonelagem total não atendida.

CONCLUSÕES

As premissas do estudo foram consideradas adequadas e é possível afirmar que o comportamento histórico das previsões de venda de produtos acabados e o respectivo *mix* de produtos necessários à produção, adicionados a parâmetros e restrições de produção, podem determinar, com boa precisão, o planejamento de compra de insumos. Além disso, uma ferramenta simples baseada nesses princípios produziu melhorias substanciais nos resultados do processo de tomada de decisão.

As exceções de adequação apontadas pela ruptura no estoque indicaram inadequação do histórico de vendas e fornecimento à realidade do mês em que se projetaram as vendas, o que é previsível num projeto de simulação que usa dados probabilísticos.

Como resultados são obtidos dados de pedido, estoque e nível de serviço no atendimento (média, mínimo e máximo) do cenário desejado.

O desempenho computacional do sistema foi considerado adequado pelos analistas. A execução do modelo de simulação com 200 observações num computador Pentium 4, 2,33 Ghz com todo o *mix* de FMItem é processada em menos de dois minutos.

Algumas recomendações, apresentadas a seguir, devem ser observadas para melhorar a qualidade dos resultados:

- Revisão dos parâmetros de dias de cobertura e nível de serviço do estoque (Seg Demanda e Seg *Lead Time*) principalmente para os FMItem que apresentaram elevado índice de ruptura.

- Verificação da possibilidade de aumento do histórico de dados que represente a realidade atual. Históricos maiores que seis meses aumentariam a confiabilidade das aproximações estatísticas. Fez-se o teste no mês de janeiro de 2005 com 12 meses de histórico e obteve-se um menor número de itens apresentando rupturas, bem como um aumento expressivo no número de FMItem simulado.
- Considerações adicionais devem ser realizadas durante a tomada de decisão no caso de produtos que podem sofrer elevação de preços. Nessa situação, é sabido que o forte crescimento das vendas reduz a representatividade do histórico, base da análise do sistema. A previsão desse impacto deve ser avaliada e acrescentada aos resultados do modelo.
- É necessária a revisão contínua e periódica dos parâmetros de estoque com base nas alterações de processo, cronograma de laminação e restrições de capacidade de produção.
 - Durante a alimentação dos dados históricos no sistema, deve-se garantir que alterações de processo estejam contempladas. Aproveitar base de dados de meses anteriores somente adicionando informações recentes pode gerar erro.
 - TDP menor que 1 indica que o tomador de decisão deve tomar cuidado extra ao definir o pedido de compra de FMItem, já que a variação de demanda se mostrou acentuada no histórico utilizado.
- Calcular custos de manutenção de estoques e estimar custos de vendas postergadas e vendas perdidas para ajustar de forma quantitativa (e não subjetiva) os parâmetros de estoque de segurança.

O modelo pode ser considerado adequado a apoiar o processo de decisão de compra de FM na empresa tendo em vista o grande número de FMItem cujo histórico de demanda valida o modelo construído para determinação do tamanho do pedido de compra.

Artigo recebido em 21/06/2006

Aprovado para publicação em 30/11/2006

■ Referências Bibliográficas

- ARNOLD, J. R. T. *Administração de Materiais: uma introdução*. São Paulo: Atlas, 521 p., 1999.
- BALLOU, R. H. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial*. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 532 p., 2001.
- BARTEZZGHI, E.; VERGANTI, R.; ZOTTERI, G. Measuring the impact of asymmetric demand distributions on inventories. *International Journal of Production Economics*, v. 60-61, p. 395-404, 1999.
- CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON, M. *Planejamento, Programação e Controle da Produção com MRP/II / ERP: Conceitos, Uso e Implantação*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 452 p., 2001.
- COUGHLAN P.; COUGHLAN D. Action research for operations management. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 22, n. 2, p. 220-240, 2002.
- HAUTANIEMI, P.; PIRTILÄ, T. The choice of replenishment policies in an MRP environment. *International Journal of Production Economics*, v. 59, p. 85-92, 1999.
- HILLIER, F.; LIEBERMAN, G. *Introduction to Operations Research*. 8. ed. New York: McGraw Hill, 1061 p., 2005.
- JACOBS, F. R.; WHYBARK, D. C. A comparison of Reorder Point and Material Requirements Planning Inventory Control Logic. *Decision Sciences*, v. 23, n. 2, p. 332-343, 1992.
- KREVER, M.; WUNDERINK, S.; DEKKER, R.; SCHORR, B. Inventory control based on advanced probability theory, an application. *European Journal of Operational Research*, v. 162, n. 2, p. 342-358, 2003.
- KRUPP, J. A. G. Safety stock management. *Production and Inventory Management Journal*, v. 38, n. 3, p. 11-18, 1997.
- KRUPP, J. A. G. Integrating Kanban and MRP to reduce lead time. *Production and Inventory Management Journal*, v. 43, p. 78-92, 2002.
- LENARD, J. D.; ROY, B. Multi-Item Inventory Control: A Multicriteria View. *European Journal of Operational Research*, v. 87, p. 685-692, 1995.
- PANG, W. K.; LEUNG, P. K.; HUANG, W. K.; LIU, W. On interval estimation of the coefficient of variation for the three-parameter Weibull, Lognormal and Gamma distribution: a simulation-based approach. *European Journal of Operational Research*, v. 164, n. 2, p. 367-377, 2003.
- PARTOVI, F. Y.; ANANDARAJAN, M. Classifying inventory using an artificial neural network approach. *Computers & Industrial Engineering*, v. 41, p. 389-404, 2002.
- PEIXOTO, E. C. *Planejamento de pedidos de compra e estoques de insumos a partir da previsão agregada de vendas e histórico de demanda utilizando simulação*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais, 70 p., 2006.
- PETROVIC, R.; PETROVIC, D. Multicriteria ranking of inventory replenishment policies in the presence of uncertainty in customer demand. *International Journal of Production Economics*, v. 71, p. 439-446, 2001.
- PLATT, D.; ROBINSON, L. W.; FREUND, R. B. Tractable (Q, R) Heuristic Models for Constrained Service Levels. *Management Science*, v. 43, n. 7, p. 951, 1997.
- PRITSKER, A. A. B. Simulation: The Premier Technique of Industrial Engineering. *Industrial Engineering*. v. 24, n. 7, p. 25-26, 1992.
- RAMANATHAN, R. ABC inventory classification with multiple-criteria using weighted linear optimization. *Computers & Operations Research*, v. 33, n. 3, p. 695-700, 2004.
- SANTOS, A. M.; RODRIGUES, I. A. Desenvolvimento de um sistema de controle de estoques para apoio à tomada de decisão num ambiente de materiais com diferentes padrões de demanda. In: XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP. Anais, Porto Alegre, 2005.
- SHANNON, R. E. *Systems Simulation: The Art and the Science*. New Jersey: Prentice-Hall, 387 p., 1975.
- YEH, Q. J.; CHANG, T. P.; CHANG, H. C. An inventory control model with Gamma distribution. *Microelectronics and Reliability*, v. 37, n. 8, p. 1197-1201, 1997.

■ Sobre os autores

Eduardo Carrara Peixoto

Belgo Bekaert Nordeste S.A.
Assistente Técnico, M.Sc.
End.: Rua Oscar de Freitas, 121 – Casa 40 – Feira de Santana – BA – 44055-170
Tel.: (75) 3616-6417
E-mail: educarrara@bol.com.br

Luiz Ricardo Pinto

Universidade Federal de Minas Gerais
Professor Adjunto, D.Sc.
End.: Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha – Belo Horizonte – MG – 31270-901
Tel.: 3499-4901 Fax: 3499-4888
E-mail: luiz@dep.ufmg.br