

Simulador de Inventário para um Centro de Distribuição de Peças

Heráclito Lopes Jaguaribe Pontes (EESC - USP) hjpontes@sc.usp.br

Arthur José Vieira Porto (EESC - USP) ajvporto@sc.usp.br

Resumo: *Atualmente, as empresas buscam garantir disponibilidade de produto ao cliente final, com o menor nível de inventário possível. Isto ocorre devido à diversidade crescente no número de produtos e o elevado custo de oportunidade do capital. As ferramentas de simulação disponibilizam aos gestores melhores visões do negócio e melhores condições para a tomada de decisão. Em um Centro de Distribuição de Peças (CDP), para se alcançar um melhor desempenho no gerenciamento do inventário é importante poder contar com uma ferramenta capacitada para realizações de simulações de possíveis cenários. Este trabalho teve como objetivo desenvolver um simulador do inventário para um CDP. O simulador permite realizar simulações visando obter como resultados a previsão de demanda, a política de reposição das peças, o percentual de atendimento dos pedidos, os meses de inventário, a quantidade de Scrap e a quantidade de peças para devolução. Para o desenvolvimento do simulador utilizou-se de métodos de modelagem e linguagem de programação orientada a objeto. O simulador foi submetido a experimentos com três cenários diferentes e os resultados confirmaram a qualidade do sistema de simulação proposto.*

Palavras-chave: *Simulação; Centro de Distribuição de Peças; Inventário.*

1. Introdução

No mercado globalizado, onde os clientes exigem cada vez mais qualidade, confiabilidade e preço de produtos e serviços, as empresas têm se preocupado em desenvolver formas para ganhar vantagens sobre os seus concorrentes. As empresas procuram agilizar o fluxo de materiais, comprimindo o tempo entre o recebimento e a entrega dos pedidos, para reduzir os investimentos em inventário.

Neste ambiente competitivo entre as empresas, o papel da armazenagem está voltado para prover capacidade de resposta rápida e muitos dos serviços executados visam reduzir as necessidades de grandes quantidades de peças no inventário. Acompanhando esse cenário, o mercado está migrando para a centralização de estoque, fazendo com que os Centros de Distribuição (CD) ou mais especificamente os Centro de Distribuição de Peças (CDP) assumam um papel de relevância logística (VAN DE BERG E ZIJM, 1999).

Os CDP são instrumentos que viabilizam de forma competitiva o fluxo de mercadorias vindas dos fabricantes, até os seus diversos graus de capilaridade distributiva. A volatilidade econômica, característica do mercado contemporâneo, resulta em uma maior complexidade gerencial para os CDP devido a: pedidos mais freqüentes e em quantidades menores, mudanças no *mix* de produtos e a competição baseada no ciclo do pedido e na qualidade. Os CDP, diante dos fatores citados, precisam de sistemas de controle gerencial de inventário com alto grau de precisão e de ferramentas para prever o comportamento do inventário no futuro (FARAH JUNIOR, 2002).

A eficácia do gerenciamento do inventário tem grande influência na lucratividade do CDP e na empresa como um todo. A capacidade de gerenciar o inventário determina diretamente os níveis de estoques necessários para atingir os níveis de serviço desejados. Em muitas empresa, os estoques representam o maior valor do ativo, ou seja, melhorar o desempenho dos estoques resulta em importantes melhorias no fluxo de caixa e em aumentos da lucratividade.

Para alcançar o melhor desempenho no gerenciamento do inventário observou-se a necessidade de desenvolver uma ferramenta para o Centro de Distribuição de Peças (CDP) em estudo para realizações de simulações de possíveis acontecimentos futuros.

O simulador proposto tem a finalidade de trabalhar com suposições, projeções e manipulações de variáveis, assim, permite ao operador do inventário investigar os resultados conforme as variações dos prováveis acontecimentos.

A empresa utilizada como base para o desenvolvimento do simulador de inventário é uma multinacional do segmento de máquinas pesadas localizada no estado de São Paulo. Em seu CDP no Brasil ocorrem atualmente cerca de 50.000 *Calls* (atendimentos) por mês e para atender esta demanda o inventário do CDP é composto por aproximadamente 100.000 peças.

2. Revisão Bibliográfica

Para o desenvolvimento do simulador de inventário para o CDP proposto neste trabalho, foi necessário o entendimento de vários conceitos que são:

- Centro de Distribuição de Peças: sua definição, características, funções e benefícios de utilização;
- Inventário: sua definição, como gerenciar o inventário e principais medidas de desempenho;
- Simulação: sua definição, quando utilizá-la e vantagens e desvantagens de utilização.

2.1 Centro de Distribuição de Peças (CDP)

2.1.1 Definições, Características e Funções do CDP

O Centro de Distribuição de Peças (CDP) é o local onde se armazena peças de um fabricante ou de diversos fabricantes por um determinado período de tempo, para serem consolidados e enviados a seus consumidores em comum (FRAZELLE, 2002).

Para Mulcahy (1994), CDP é definido como um espaço físico responsável pela armazenagem de uma variedade de peças de um fornecedor ou da própria fábrica e responsável também pela liberação das peças para seus clientes. Conforme Rodrigues e Pizzolato (2003), o conceito de CDP é moderno e suas funções ultrapassam as tradicionais funções dos depósitos, galpões ou almoxarifados, as quais não são adequadas dentro do sistema logístico.

Segundo Farah Junior (2002), os CDP são instrumentos que viabilizam de forma competitiva o fluxo de peças vindas dos fabricantes, até os seus diversos graus de capilaridade distributiva. O CDP deve ser um meio de minimização de custos, melhoria no uso dos recursos e apoio ao processo de venda e pós-venda.

Para diminuir o inventário total e conseguir entregar os produtos em curto período de tempo, muitas empresas têm centros de distribuição em sua rede de distribuição. Os centros de distribuição centralizam o gerenciamento do inventário. Esse gerenciamento centralizado gera um crescimento da produtividade e diminuição do tempo de resposta e do inventário no sistema logístico (VAN DE BERG e ZIJM, 1999).

De acordo com Tompkins *et al.* (1996), existem diversos tipos de armazéns dentre eles o CDP. De acordo com a localização destes armazéns no contexto logístico, estes podem ter diferentes funções. Em geral, as funções dos CDP são:

- Permitir o equilíbrio entre a quantidade produzida e a demanda;
- Diminuir a distância de transporte para permitir uma resposta aos clientes em menor tempo;
- Permitir a consolidação de produtos de vários fornecedores para consumidores comuns, ou seja, tornar os produtos mais próximos à manufatura e ao consumo.

2.1.2 Vantagens da Utilização de CDP

Diversas vantagens são identificadas na literatura quanto à adoção do CDP no sistema logístico. Essas vantagens obtidas pela armazenagem, centralização de estoque podem beneficiar todos os elos da cadeia: fornecedor, empresa e consumidor.

Segundo Farah Junior (2002), algumas vantagens de um CDP são: cumprimento do tempo de entrega, precisão no atendimento, qualidade do produto entregue, suporte no pós-venda, redução do custo de transporte, liberação de espaço nas fábricas e nos clientes, redução de mão-de-obra nos clientes para o recebimento e conferência de mercadorias e diminuição de falta de produtos nos clientes.

Os CDP são instrumentos que viabilizam de forma competitiva o fluxo de mercadorias vindas dos fabricantes, até os seus diversos graus de capilaridade distributiva. A volatilidade econômica, característica do mercado contemporâneo, resulta em uma maior complexidade gerencial para os CDP devido a: pedidos mais frequentes e em quantidades menores, mudanças no *mix* de produtos e a competição baseada no ciclo do pedido e na qualidade. Os CDP, diante dos fatores citados, precisam de sistemas de controle gerencial de inventário com alto grau de precisão e de ferramentas para prever o comportamento do inventário no futuro (FARAH JUNIOR, 2002).

Bowersox e Closs (2001) identificam também duas vantagens na adoção do CDP no sistema logístico: a capacidade de agregar valor ao produto (postergação) e os diferentes tipos de operações que podem ser realizadas no mesmo (Consolidação de cargas, *Break Bulk*, *Cross-Dock* e Formação de Estoque).

2.2 Inventário

2.2.1 Definição de Inventário

Segundo Cox III e Blackstone (2002), inventário são aqueles estoques usados para suportar produção (matéria-prima e itens em processo), suportar atividades gerais (manutenção, reparos e suprimento de operações) e suportar serviço aos clientes (produto acabado, partes e peças).

O inventário consiste em uma reserva de matérias-primas, materiais em processo e produtos acabados ou peças que se encontram em inúmeros lugares dentro de uma empresa e em canais logísticos. São frequentemente encontrados em CDP, em equipamentos de transporte e em pontos de vendas.

De acordo com Dear (1990), a classificação do inventário em grupos para o gerenciamento tem como objetivo tratar cada grupo de maneira diferente. As principais classificações são feitas em relação: aos fornecedores; a importância do item e classes ABC.

2.2.2 Gerenciamento de Inventário

Conforme Krajewski e Ritzman (2004), o gerenciamento de inventário é uma preocupação importante para os gerentes em todos os tipos de empresa. Por essa razão, os gerentes acompanham de perto os inventários para mantê-los em níveis aceitáveis. O desafio consiste não em diminuir os estoques de forma excessiva para reduzir custos ou ainda ter muito estoque disponível a fim de satisfazer todas as demandas, mas em possuir a quantidade certa para alcançar as prioridades competitivas da empresa do modo mais eficiente.

A função do gerenciamento de inventário consiste em compatibilizar os custos e as pressões conflitantes que exigem estoques reduzidos e níveis de serviços elevados (KRAJEWSKI e RITZMAN, 2004).

Segundo Brewer *et al.* (2001), as organizações têm que responder três questões importantes no gerenciamento de inventário que são: que itens devem ser estocados, quando

deve ser realizado um novo pedido do item e qual tamanho deve ser o pedido. Complementa Robeson e Copacino (1994), que gerenciamento de inventário é composto de três componentes chaves: controle do inventário, previsão de demanda e reposição de estoque. O foco do controle do inventário é mais o presente e o passado, enquanto a previsão de demanda e a reposição do estoque tratam mais do futuro.

2.2.3 Medidas de Desempenho no Gerenciamento do Inventário

Segundo Fogarty *et al.* (1991), os dois principais critérios de avaliação do desempenho do gerenciamento de inventário são:

- O nível de serviço prestado ao cliente;
- O investimento necessário em inventário para alcançar esse nível de serviço.

Segundo Bowersox e Closs (2001), o nível de serviço comporta objetivos de desempenho que a função de estoque deve ser capaz de cumprir, ou seja, o nível de serviço define quais os objetivos de desempenho que os estoques devem ter no atendimento das necessidades do mercado.

O nível de serviço trata do aspecto mercadológico (ponto de vista do cliente), refletindo as expectativas e exigências dos clientes, em termos de disponibilidade dos produtos e seus prazos de entrega. Pode ser determinado pela relação entre a quantidade de itens solicitados pelo cliente e a quantidade de itens efetivamente entregues dentro do prazo estabelecido. O nível de serviço estabelece, enquanto indicador, o desempenho no atendimento das necessidades dos clientes daquele estoque.

Conforme Gaither e Frazier (2002), nível de serviço refere-se à probabilidade de que um *stockout* (falta de estoque) não ocorrerá durante o *lead time*. O nível de serviço é um objetivo fixado pela alta administração. Comporta objetivos de desempenho que a função de estoque deve ser capaz de cumprir.

Ao gerenciar o inventário é importante manter as atenções voltadas para a questão da quantidade de peças no inventário, haja vista que, quando diminui a quantidade física de peças no CDP, gera-se uma economia de área, menos movimentação, menor custo de armazenagem, menor custo de administração menor custo de obsolescência, dentre outros.

De acordo com Slack *et al.* (1997), meses de inventário ou cobertura do número de meses do estoque é a quantidade de tempo que o estoque duraria, sujeito à demanda real, se não fosse reabastecido. Para Dias (1993), um índice bastante útil para a análise do valor em inventário é a taxa de cobertura. A taxa de cobertura indica quantos meses de consumo equivalem ao estoque real ou ao estoque médio. Ela é obtida pela razão entre o estoque real ou estoque médio e o consumo.

Conforme Krajewski e Ritzman (2004), número de meses de suprimento é uma medida de estoque obtida dividindo-se o valor em meses do estoque agregado médio pelas vendas mensais a preço de custo.

2.3 Simulação

2.3.1 Definição de Simulação

Simulação computacional ou simulação é o processo de projetar um modelo lógico matemático de um sistema real e fazer experimentos deste sistema no computador (PRITSKER, 1986).

Para Harrel e Tumay (1997), simulação é uma atividade por meio da qual se pode tirar conclusões sobre o comportamento de um dado sistema pelo estudo do comportamento do seu modelo correspondente no qual as relações de causas e efeitos são as mesmas ou similares do sistema real.

Conforme Shannon (1998), simulação consiste no processo de desenvolver um modelo de um sistema real e realizar experimentos com este modelo com o propósito de entender o comportamento do sistema e/ou as evoluções das várias estratégias para a operação do sistema.

2.3.2 Quando Usar a Simulação

Segundo Freitas Filho (2001), a simulação permite ao analista realizar estudos sobre os correspondentes sistemas para responder questões do tipo “O que aconteceria se”. O principal apelo ao uso desta ferramenta, é que tais questões podem ser respondidas sem que os sistemas sob investigação sofram qualquer perturbação, uma vez que os estudos são realizados no computador. A simulação permite que tais estudos sejam realizados sobre sistemas que ainda não existem, levando ao desenvolvimento de projetos eficientes antes que qualquer mudança física tenha sido iniciada.

Bertrand e Fransoo (2002) apontam que apesar da qualidade científica dos resultados da simulação ser menor que o caso de análise matemática, sua relevância científica é alta. A variedade de modelos científicos na qual a simulação é capaz de trabalhar é maior que uma análise matemática. Eles apontam que a simulação é utilizada em casos onde os modelos ou problemas são muitos complexos para uma análise matemática formal.

2.3.3 Vantagens e Desvantagens da Simulação

As vantagens da simulação são citadas por Banks (1998), Banks *et al.*(1996), Kelton *et al.* (1998), Carson II (2004) e Centeno e Carrillo (2001) são relacionadas abaixo:

- Modelos mais realistas: maior liberdade na construção do modelo;
- Processo de modelagem evolutivo;
- Uma vez criado, um modelo pode ser utilizado inúmeras vezes para avaliar projetos e políticas propostas;
- Os modelos de simulação podem ser quase tão detalhados quanto os sistemas reais, novas políticas e procedimentos operacionais, regras de decisão, fluxos de informação, podem ser avaliados sem que o sistema real seja perturbado;
- Perguntas do tipo “e se?” (“*what if?*”): em diversos casos, em lugar de buscar uma solução, o objetivo resume-se em tornar mais claras as possíveis conseqüências de um conjunto de decisões;
- Aplicação a problemas mal-estruturados;
- Grande flexibilidade: a simulação aplica-se aos mais variados problemas;
- Aquisição de visão sistêmica;
- Exploração de possibilidades;

Os mesmos autores citam também algumas desvantagens da simulação:

- A modelagem e a análise da simulação podem ser dispendiosas em termos de recursos financeiros e de tempo;
- A construção de modelos requer treinamento especial;
- A programação de um modelo de simulação pode ser tornar altamente dispendiosa e desgastante se os recursos computacionais não forem apropriados;
- Os resultados da simulação são, muitas vezes, de difícil interpretação;
- Pode ser usada inapropriadamente, por exemplo, quando uma solução analítica é factível.

3. O Simulador de Inventário para CDP

3.1 Definição e Características do Simulador

O simulador desenvolvido neste trabalho complementa o sistema gerencial de inventário do CDP em estudo realizando simulações futuras dos indicadores gerenciais sem agredir a integridade dos dados contidos no sistema gerencial já existente. A partir destas simulações, os responsáveis pelo inventário têm condições de tomar decisões com maior segurança e mais rapidamente. O simulador possibilita aos mesmos avaliar diferentes políticas gerenciais sem impactar ou interromper os processos em andamento no dia-a-dia do CDP.

O desenvolvimento do simulador foi baseado na metodologia de simulação de Freitas Filho (2001) que é dividida nos seguintes passos: formulação e análise do problema; planejamento do projeto; formulação do modelo conceitual; coleta de macro-informações e dados; tradução do modelo; verificação e validação; projeto experimental; experimentação; interpretação e análise estatística dos resultados; comparação de sistemas e identificação da melhor solução; documentação e apresentação dos resultados e implementação.

O simulador possui as seguintes características:

- O principal parâmetro limitante do simulador é o horizonte de simulação. O valor máximo do horizonte de simulação é doze e o valor mínimo do horizonte de simulação é um;
- A modelagem do simulador foi realizada empregando a UML (*Unified Modeling Language*) através do *software Rational Rose* e a implementação foi realizada na linguagem de programação C++ (*Borland C++ Builder*). Para entrada e saída de dados utilizou-se a própria interface do simulador e planilha do *Microsoft Excel*.

3.2 Dados de Entrada do Simulador

O simulador possui entradas por interface e por planilha do *Microsoft Excel*. As entradas por interface são divididas em dois grupos: interface geral (variáveis de entrada utilizadas por todas as peças) e interface fonte (variáveis de entrada que diferem de acordo com o local de origem da peça, ou seja, nacional ou importada).

A entrada por arquivo (planilha do *Microsoft Excel*) é realizada devido à necessidade de utilização no simulador de variáveis de entrada com valores individuais para cada peça, ou seja, cada peça tem características individuais que entram no programa pelo arquivo peça.

Os dados de entrada por interface são determinados pelo operador do inventário e os dados de entrada por planilha do *Microsoft Excel* são fornecidos diretamente do sistema de gerenciamento de inventário do CDP.

Os principais dados de entrada por interface geral são: mês atual; horizonte de simulação; dias úteis dos meses de simulação; taxa do dólar; previsão da variação do mercado; previsão de promoção de vendas; prazo máximo de permanência no CDP; frequência para devolução das peças e valor disponível para devolução de peças.

Os principais dados de entrada por interfaces fonte são: estoque em trânsito; tempo de consolidação de pedidos; política de estoque máximo; política de estoque mínimo; *lead time*; e coeficiente de suavização.

Os principais dados de entrada por planilha do *Microsoft Excel* são: código da peça; código do inventário; lote mínimo de compra; múltiplo de embalagem; peso unitário; custo unitário; preço de venda; *backorder* (ordens em atraso); família da peça; estoque físico das peças; previsão de demanda para o primeiro mês de simulação; desvio para o primeiro mês de simulação; a demanada histórica de *calls* (atendimentos) dos últimos 36 meses; e quantidade de peças por *calls* dos últimos 36 meses.

3.3 A lógica de Funcionamento do Simulador

O simulador executa sequencialmente e de maneira repetitiva um conjunto de instruções. Na medida em que as instruções são executadas, os valores das variáveis são alterados, uma vez que se modificam as condições que influenciam o comportamento do programa.

O simulador inicia quando o operador do inventário solicita acesso ao sistema. O sistema verifica se ele tem autorização, em caso positivo é liberado o acesso ao sistema. Se a autorização for negativa, o operador solicita *login* e senha para o administrador do sistema. Após entrar no simulador, o operador vai ao menu inventário e cria os arquivos de entrada de dados: fonte nacional, fonte importada e geral. No mesmo menu inventário, o operador pode visualizar o arquivo peça (planilha do *Microsoft Excel*). Ainda no mesmo menu, o operador seleciona a opção simular e após abrir todos os arquivos de entrada (fonte nacional e importada, geral e arquivo peça), inicia-se a simulação.

A simulação inicia com a criação de uma lista de peças para inserção dos dados de cada peça. Em seguida, o código de cada peça é formado. De acordo com o código formado a peça é classificada. Os dados de entrada de cada peça são inseridos na lista de peças de acordo com a classificação da peça. Após a sua classificação, o sistema inicia o cálculo da projeção da demanda real da peça.

Depois de classificar as peças, projetar suas demandas reais para todo o horizonte de simulação e inserir todos os dados na lista de peças, inicia-se a segunda fase da simulação. Na segunda fase da simulação, o sistema realiza o cálculo da Reposição de Estoque, o cálculo do Percentual de Atendimento de Pedidos, o cálculo dos Meses de Inventário, o cálculo do *Scrap*, o cálculo da Devolução de Peças e o cálculo da Previsão de Demanda para cada peça do inventário. O horizonte de simulação determina a quantidade de vezes que vão ser executadas estas operações. Após a simulação gera-se um arquivo de resultados com os dados de cada peça na extensão do horizonte de simulação.

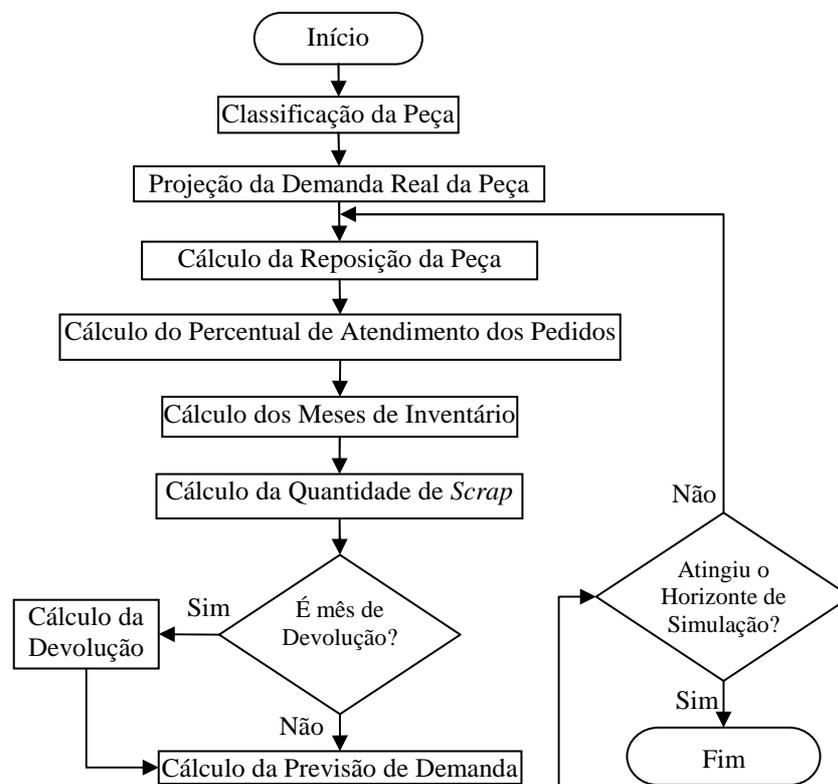


FIGURA 1 – Fluxograma Lógica de Funcionamento do Simulador

3.3.1 Classificação das Peças

O código da peça é formado a partir da entrada dos dados pela planilha do *Microsoft Excel*. Após a formação do código inicia-se a classificação. A classificação da peça consiste nas seguintes etapas:

- Primeiramente, verifica-se se a peça é desimpactada ou impactada. A peça é classificada como desimpactada quando o número de *Calls* (atendimentos) nos últimos doze meses é menor que três, ou seja, a peça não tem mais uma demanda significativa, com isso será descontinuada;
- O segundo passo da classificação é verificar qual a fonte da peça, nacional ou importada. As peças nacionais são divididas em dois tipos: peças produzidas na própria fábrica da empresa e as peças compradas de fornecedores nacionais;
- O último passo da classificação da peça é a verificação de qual classe a peça pertence. As classes são divididas em A, B, C de acordo com sua representatividade nas vendas e Normal e Proteção (proteção são peças que ficam estocadas no inventário devido ao lançamento de novas máquinas no mercado).

3.3.2 Projeção da Demanda Real

Para cada mês do horizonte de simulação é necessário ter uma demanda, como não é possível obter a demanda real de meses futuros, optou-se por calcular a projeção da demanda real baseando-se em métodos quantitativos baseados em séries temporais.

O cálculo da demanda real consiste em, a partir do histórico da demanda de 36 meses, projetar a demanda de acordo com o horizonte de simulação. Essa projeção é realizada considerando diversos fatores como tendência, sazonalidade, promoção de venda, crescimento ou diminuição de mercado.

3.3.3 Reposição das Peças

A reposição da peça do CDP tem como objetivo determinar quanto e quando repor a peça. A política de reposição de peça adotada para as peças impactadas utiliza recursos dos dois principais modelos para a demanda independente que são: o modelo de revisão periódica e o modelo de revisão contínua

As peças desimpactadas não têm uma política de reposição de peças devido ao fato de não ter uma demanda significativa. Em alguns casos pode haver a necessidade de reposição de estoque somente para atender as ordens em atraso (*backorders*).

A política de reposição de cada peça impactada sofre variações de acordo com a classificação da peça, mas basicamente o funcionamento do sistema é o seguinte:

- Quando a posição de estoque de cada peça atinge um nível mínimo (estoque mínimo), uma quantidade de peça é solicitada para repor o estoque para um nível máximo (estoque máximo). O cálculo do estoque mínimo, estoque máximo e da quantidade de peça varia de acordo com a classificação da peça;
- Para não ocorrer falta de estoque do momento em que se faz o pedido até o recebimento da peça utiliza-se um estoque de segurança. Cada peça do inventário tem um valor de estoque de segurança diferente.

3.3.4 Nível de Serviço ao Cliente

Para o gerenciamento do nível de serviço ao cliente utiliza-se o indicador percentual de atendimento de pedidos (PAP) que é o percentual de pedidos atendidos em sua íntegra para cada mês do horizonte de simulação.

Para obtenção do PAP de cada peça calcula-se o número de *Calls* (C) no mês em que está ocorrendo a simulação. Se C for maior que zero, calcula-se a possibilidade de

atendimento de pedido (POP). O valor de POP é o inteiro resultante da divisão do estoque disponível total (EDT) pelo número de peças por *Call* (QPC) do mês em que está ocorrendo a simulação. Se o valor de POP for igual a zero, significa dizer que não há estoque disponível da peça para atender os *Calls* e o PAP também será igual a zero. Se o valor de POP for maior que zero, calcula-se o PAP que é o resultado da divisão da POP por C. Multiplica-se o resultado por 100 para transformar o número em percentual. Se o valor de PAP for maior que 100, então, limita-se PAP a 100, ou seja, PAP = 100% (maior nível de serviço possível).

3.3.5 Meses de Inventário

Para o gerenciamento do valor investido no inventário utiliza-se o indicador meses de inventário (MI) que é a quantidade de meses que o estoque de cada peça duraria, sujeito a vendas futuras, sem que haja reposição do estoque da peça.

Quando o valor de MI é pequeno, corre-se o risco de faltar peça para o atendimento ao cliente e conseqüentemente reduzir o nível de satisfação do cliente. Quando o valor de MI é grande, corre-se o risco de ter estoques obsoletos e aumento dos custos de manutenção de estoque. A determinação do valor de MI varia de peça para peça dependendo da sua importância para o CDP.

Para obtenção do MI de cada peça calcula-se o estoque disponível total (EDT). Se EDT for maior que zero, calcula-se o estoque disponível total em reais (EDTR). Após calcular o EDTR, calcula-se a média das vendas dos últimos quatro meses (MV). Se EDTR ou MV for igual a zero, MI também será igual a zero. Se EDTR e MV forem maiores que zero, o MI é obtido pela divisão de EDTR por MV.

3.3.6 Scrap

As peças são consideradas *Scrap* quando não podem ser usadas para o seu propósito original, mas têm um certo valor para o inventário. As etapas para o cálculo das peças *Scrap* são as seguintes:

- Inicialmente verifica-se se a peça é *Scrap* e adiciona a mesma na lista de peças *Scrap*. Se a lista de peças *Scrap* já tiver alguma peça, então as peças são ordenadas segundo uma regra de prioridade que pode ser definida: por maior peso da peça, por menor peso da peça, por maior custo unitário da peça, por menor custo unitário da peça;
- Na próxima etapa, calcula-se o estoque de cada peça *Scrap* e compara com a cota mensal de *Scrap* pré-definida. A partir desta comparação atualiza-se o estoque da peça e a cota mensal de *Scrap*. Essa etapa é realizada até a finalização da cota mensal de *Scrap* ou da quantidade de peças *Scrap*.

3.3.7 Devolução de Peças

A devolução da peça é realizada quando a mesma não apresenta uma demanda histórica condizente com seu estoque. A devolução ocorre quando o estoque da peça é maior do que a demanda histórica dos últimos 36 meses. No início da simulação o operador do simulador determina a frequência para devolução das peças. A frequência pode ser mensal, bimestral, trimestral, quadrimestral, semestral ou anual.

Na operação de devolução de peças, o CDP já desembolsou uma quantia monetária (valor da peça e impostos) para ter aquela peça em seu estoque, com isso é necessário calcular a quantidade de devolução e o valor em reais dessa quantidade de devolução. O cálculo da quantidade para devolução e do valor de devolução é realizado da seguinte forma:

- Nos meses determinados como de devolução, calcula-se o valor total disponível para devolução em reais. Em seguida, calcula-se a demanda histórica dos últimos 36 meses da peça e compara-se com o estoque da peça. Se a quantidade do estoque da peça for

maior que a demanda histórica, calcula-se a quantidade de peça para devolução e o valor de devolução da peça em reais;

- Na próxima etapa, compara-se o valor de devolução da peça em reais com o valor disponível para devolução em reais pré-definido. A partir desta comparação atualiza-se o valor disponível para devolução. Essa etapa é realizada para todas as peças classificadas como devolução até a finalização do valor disponível para devolução.

3.3.8 Previsão de Demanda

A previsão de demanda é realizada em todo final do mês de simulação com o objetivo de prever o mês seguinte. A previsão de demanda é realizada baseada no método de suavização exponencial simples. Para realizar o cálculo da previsão de demanda mensal do próximo mês de simulação utiliza-se a demanda real atual, a previsão de demanda atual e o coeficiente de suavização.

A demanda real e a previsão de demanda no primeiro mês de simulação são fornecidas pela planilha do *Microsoft Excel*. Após o primeiro ciclo de simulação utiliza-se a demanda real projetada e utiliza-se a previsão calculada no primeiro ciclo de simulação e assim por diante em todos os meses de simulação até completar o horizonte de simulação. O coeficiente de suavização é determinado pelo operador do simulador para cada fonte de peça (nacional ou importada) no início da simulação e seu valor deve estar entre zero e um.

Além da previsão de demanda, realiza-se o monitoramento da previsão de demanda e reclassifica-se a peça quando necessário.

O monitoramento é realizado com o cálculo do desvio. O desvio é também calculado no final de cada mês. Para o cálculo do desvio do primeiro mês de simulação utiliza-se o desvio fornecido pela planilha do *Microsoft Excel*. Após o primeiro ciclo de simulação utiliza-se sempre o desvio anterior e assim por diante em todos os meses de simulação até completar o horizonte de simulação. Além do desvio anterior, o desvio é composto pelo erro ponderado, desvio real, desvio previsto e o coeficiente de suavização.

A última etapa da previsão de demanda é verificar a necessidade de reclassificar a peça e definir o momento necessário para realizar a reclassificação. No simulador há três tipos de reclassificação possíveis que são: a peça pode ser impactada ou desimpactada; a peça pode ser classificada como A, B ou C; a peça pode ser normal ou proteção.

3.4 Dados de Saída do Simulador

O simulador oferece a possibilidade da saída de dados em planilha do *Microsoft Excel* ou via interface do próprio simulador. Os dados de saída do simulador são:

- Código do Inventário: é o código utilizado para o gerenciamento do inventário;
- Código da Peça: é o código da peça utilizado para localização da peça no inventário;
- Família: é a família à qual a peça pertence;
- Número de *Calls*: é a quantidade de *Calls* de cada mês do horizonte de simulação;
- Quantidade de Peças por *Calls*: é a quantidade de peças por *Calls* de cada mês do horizonte de simulação;
- *Backorders*: são os *Calls* de cada peça que não foram atendidos durante cada mês do horizonte de simulação;
- Reposição da Peça: é quantidade a ser repostada de cada peça durante o horizonte de simulação;
- Recebimento da Peça: é quantidade de recebimento de cada peça durante o horizonte de simulação;
- Meses de Inventário: é a quantidade de meses de inventário de cada peça durante o horizonte de simulação;

- Percentual de Atendimento de Pedidos: é o percentual de atendimentos de pedidos de cada peça durante o horizonte de simulação;
- Estoque das Peças: é o estoque das peças durante o horizonte de simulação;
- Devolução das Peças: é a quantidade devolvida aos fornecedores das peças pertencentes durante o horizonte de simulação;
- *Scrap*: é a quantidade de peças *Scrap* em cada mês do horizonte de simulação;
- Previsão de Demanda: é a previsão de demanda estimada da peça em cada mês do horizonte de simulação;
- Desvio: é o desvio acumulado entre a demanda real e a demanda prevista da peça em cada mês do horizonte de simulação.

3.5 Experimentação no Simulador

Para verificar o bom funcionamento do simulador foram desenvolvidos três cenários com diferentes dados de entrada e horizontes de simulação. A quantidade de peças simuladas foi a mesma para os três cenários (1.000 peças). Os três cenários simulados apresentaram resultados condizentes com o sistema real. O horizonte de simulação não influenciou nos resultados finais, ou seja, para o simulador não importa a quantidade de meses que se está simulando, mas sim os parâmetros de entrada.

4. Considerações Finais

Este trabalho apresentou um simulador de inventário para um CDP específico que permite fazer previsões de demanda, da política de reposição das peças, do percentual de atendimento dos pedidos, do valor do inventário, da quantidade de *Scrap*, da quantidade de peças para devolução, sempre com a preocupação de interagir de forma flexível e mantendo a integridade dos dados e variáveis originais.

A realização deste trabalho evidenciou algumas vantagens do uso do simulador de inventário para o CDP em estudo, que foram:

- A possibilidade de avaliar diferentes políticas gerenciais do inventário do CDP sem impactar ou interromper os processos em andamento no mundo real, o que poderia produzir custos adicionais significativos;
- A possibilidade de comprimir o tempo, permitindo aos responsáveis pelo inventário conhecer em pouco tempo, as conseqüências de longo prazo de suas ações;
- A possibilidade de melhor entender o funcionamento dos processos gerenciais do inventário do CDP individualmente, assim como suas influências sobre o sistema como um todo;
- A utilização de interfaces simples e amigáveis que permitem a manipulação dos dados de entrada e saída e a realização da simulação facilmente e eficazmente;
- A observação da importância de cada peça do inventário, assim como a sinalização de quando a peça deve ser descontinuada ou devolvida ao fornecedor;
- A possibilidade de melhor avaliar o desempenho do gerenciamento do inventário;

As principais dificuldades encontradas durante a realização do trabalho foram:

- A coleta de dados ocorreu com dificuldade devido o CDP em estudo ter um política de privacidade de dados;
- Realização da projeção da demanda futura das peças.

Com a utilização do simulador, os gestores podem alcançar um melhor desempenho no gerenciamento do inventário. A partir de simulações, os responsáveis pelo inventário têm condições de tomar decisões com maior segurança e mais rapidamente.

5. Referências Bibliográficas

- BANKS, J. Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice. New York: John Wiley & Sons, 1998.
- BANKS, J.; CARLSON, J. S.; NELSON, B. L. Discrete-event system simulation. 2.ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1996.
- BERTRAND, J.W.M; FRANSOO, J.C. Modeling and Simulation: Operations management research methodologies using quantitative modeling. International Journal of Operations & Production Management, v.22, n.2, p.241-264, 2002.
- BOWERSOX, D. J.; CROSS, D. J. Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento. São Paulo: Atlas, 2001.
- BREWER, A.M., *et al.* Handbook of logistics and supply-chain management. Kidlington: Elsevier Science Ltd, 2001.
- CARSON II, J, S. Introduction to modeling and simulation. Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, p.01-08, 2004.
- CENTENO, M.A.; CARRILLO, M. Challenges of introducing simulation as a decision making tool. Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, p.17-21, 2001.
- COX III, J.F.; BLACKSTONE JUNIOR, J.H. APICS Dictionary. 9.ed. Falls Church: American Production and Inventory Control Society, 2002.
- DEAR, A. Inventory Management Demystified. Londo: Chapman and Hall, 1990.
- DIAS, M.A.P. (1993). Administração de materiais: uma abordagem logística. 4.ed. São Paulo: Atlas.
- FARAH JUNIOR, M. Os desafios da logística e os centros de distribuição física. Revista FAE BUSINESS, n.2, p.44-46, 2002.
- FRAZELLE, E. World-class warehousing and material handling. New York: McGraw-Hill, 2002.
- FORGATY, D.W.; *et al.* Production & inventory management. Cincinnati: South Western Publishing Co, 1991.
- FREITAS FILHO, P.J. Introdução à modelagem e simulação de sistemas: com aplicação em Arena. Florianópolis: Visual Books, 2001.
- GAITHER, N.; FRAIZER, G. Administração da Produção e Operações. 8.ed. São Paulo: Pioneira, 2002.
- HARREL, C.; TUMAY, K. Simulation made easy. IIE Solutions, p.39-41, July, 1997.
- KELTON, W. D. *et al.* A. Simulation with arena. New York: WCB/McGraw Hill, 1998.
- KRAJEWSKI, L.J; RITZMAN, L. P. Administração da Produção e Operações. São Paulo: Prentice Hall, 2004.
- MULCAHY, D. E. Warehouse distribution & operations handbook. New York: McGraw-Hill, 1994.
- PRITSKER, A. A.B. Introduction to Simulation and SLAM II. New York : John Wiley & Sons, 1986.
- ROBESON, J.F.; COPACINO, W.C. The logistics handbook. New York: The Free Press, 1994.
- RODRIGUES, G. G; PIZZOLATO, N.D. Centros de Distribuição: armazenagem estratégica. XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Ouro Preto-Minas Gerais, p.01-08, 2003.
- SLACK, N., *et al.* Administração da produção. São Paulo: Editora Atlas, 1997.
- SHANNON, R. E. Introduction to the art and science of simulation. In: Proceedings of the 1993 Winter Simulation Conference. p.07-14, 1998.
- TOMPKINS, J. A. *et al.* Facilities planning. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, 1996.
- VAN DEN BERG, J.P.; ZIJM, W.H.M. Models for warehouse management: classification and examples. International Journal of Production Economics. n.59, p.519-528, 1999.