

CUSTOS EM OPERAÇÕES LOGÍSTICAS: UM MODELO MATEMÁTICO DE BALANCEAMENTO DE LINHA DE SUPRIMENTOS

Paulo Henrique Fassina

TARCÍSIO PEDRO DA SILVA

GÉRSO TONTINI

Nelson Hein

Resumo:

Este artigo aborda o problema do balanceamento de linha de picking by-light. Para isto, o artigo parte do aumento da complexidade das operações logísticas e de seus impactos na armazenagem e principalmente na atividade de separação dos pedidos. Para tanto, realizou-se um estudo exploratório, de natureza bibliográfica, com abordagem qualitativa em que são apresentados alguns modelos de Pesquisa Operacional que estão sendo empregados nesta atividade. Com auxílio do programa Microsoft® Office Excel®. Então, é caracterizado o problema do balanceamento de linha e desenvolvido um modelo de programação matemática para resolvê-lo. Os principais benefícios que podem ser advindos com a resolução do problema modelado, estão ligados à maior produtividade da linha de separação, repercutindo na redução do tempo de separação dos pedidos e na possibilidade de atendimento de determinados picos de demanda sem a necessidade de turnos adicionais. Além disso, a qualidade do trabalho dos operadores decorrentes da adequação dos produtos nas estações, facilitam as condições ergonômicas e impedindo a sobrecarga em um único operador.

Área temática: *Gestão de Custos Logísticos e nas Cadeias Produtivas*

Custos em operações logísticas: um modelo matemático de balanceamento de linha de suprimentos

Resumo

Este artigo aborda o problema do balanceamento de linha de *picking by-light*. Para isto, o artigo parte do aumento da complexidade das operações logísticas e de seus impactos na armazenagem e principalmente na atividade de separação dos pedidos. Para tanto, realizou-se um estudo exploratório, de natureza bibliográfica, com abordagem qualitativa em que são apresentados alguns modelos de Pesquisa Operacional que estão sendo empregados nesta atividade. Com auxílio do programa Microsoft® Office Excel®. Então, é caracterizado o problema do balanceamento de linha e desenvolvido um modelo de programação matemática para resolvê-lo. Os principais benefícios que podem ser advindos com a resolução do problema modelado, estão ligados à maior produtividade da linha de separação, repercutindo na redução do tempo de separação dos pedidos e na possibilidade de atendimento de determinados picos de demanda sem a necessidade de turnos adicionais. Além disso, a qualidade do trabalho dos operadores decorrentes da adequação dos produtos nas estações, facilitam as condições ergonômicas e impedindo a sobrecarga em um único operador.

Palavras-chave: Distribuição de recursos. Gestão da cadeia de suprimentos. Programação matemática.

Área temática: Gestão de Custos Logísticos nas Cadeias Produtivas

1 Introdução

O Aumento na variedade de produtos, as entregas mais frequentes, os menores tempos de atendimento, a menor tolerância a erros de separação de pedidos e pressões para redução dos níveis de estoque são alguns dos principais geradores de complexidade. Uma das consequências deste fenômeno é que alguns componentes do custo logístico, até então pouco significativos, como o de armazenagem, passam a ter uma participação importante nos custos operacionais. Estes aspectos tem conduzido as empresas em um contínuo processo de modernização, tanto tecnológico, quanto gerencial. Como resultado dessas transformações, ocorre um aumento do número de pedidos processados e a mudança no perfil desses pedidos

O gerenciamento dos estoques de forma eficiente estão conduzindo as empresas no processo de substituição dos grandes pedidos, com alto volume de produtos ou itens, por vários pequenos pedidos com grande variedade de itens. Este ganho de escala permite à empresa otimizar recursos, bem como possibilita uma melhora no desempenho dos centros de resultados.

Desta maneira, as empresas estão investindo em novas tecnologias de gerenciamento, movimentação e separação de materiais, como sistemas WMS, transelevadores e sistemas automáticos ou semi-automáticos de *picking*.

Alves (2000) afirma que “o ganho de produtividade e de velocidade no processo de separação é um dos principais objetivos de uma empresa ao implementar uma nova tecnologia em um armazém”. No entanto, a simples adoção de tecnologia não garante este aumento de produtividade, é preciso rever os processos ligados à armazenagem. Assim, a tecnologia deve ser encarada como uma ferramenta que quando bem utilizada pode aumentar em muito a produtividade e a qualidade das operações de um armazém.

Dentro deste contexto este trabalho tem a finalidade de propor um modelo de programação matemática para resolução do problema do balanceamento de linha de *picking by-light*. Para tanto, é apresentada a atividade de coleta (*picking*) e são descritos modelos de decisão relacionados à atividade. A partir daí é descrito o problema do balanceamento e apresentado um modelo de programação inteira para resolvê-lo.

A pesquisa justifica-se pela contribuição da análise do gerenciamento do processo de separação de estoque sobre cada uma das diferentes formas de linha de produção uma vez que esta é frequentemente utilizada como instrumento de avaliação no processo produtivo nas empresas.

A organização do trabalho deve-se por meio de partes interrelacionadas. Além desta introdução faz considerações preliminares sobre a atividade de *picking*. Em seguida aborda o problema do balanceamento da linha de *picking by light*. Por fim, apresenta as conclusões e as referências que fundamentam a abordagem.

2 A atividade de picking

A atividade de *picking* consiste na coleta e separação dos produtos em estoque segundo as necessidades de cada cliente. Segundo Petersen *et al* (1999): “Essa atividade é de fundamental importância para integração da cadeia de suprimento e consome cerca de 65% dos custos de um armazém”. Ainda destaca que o grande desafio consiste em aumentar a velocidade da separação e ainda reduzir o custo de operação. Uma das principais razões para o alto custo desta atividade está ligado ao fato de tradicionalmente ela ser intensiva em mão-de-obra, segundo Koster *et al.* (1998) o *picking* consome usualmente 60% da força de trabalhos desenvolvidos diversos tipos de sistema. Adams *et al* (1996) destaca os seguintes sistemas de separação: o *A-frame*, o carrossel, o *picking by light*, os sistemas de estocagem e coleta automáticos, a separação direta por rádio frequência e os robôs de separação.

Este sistema concilia performance e flexibilidade conseguindo, graças a isso, ser um dos sistemas mais difundidos no Brasil. O *picking by-light* integra a utilização de esteiras rolantes, leitores óticos e sensores com as tradicionais estruturas *flow racks* manuseadas por operadores. A performance ideal deste sistema é obtida através da disposição dos produtos ao redor dos funcionários, que coletam apenas os produtos da sua estação de trabalho, não precisando se locomover nem movimentar as caixas dos pedidos que são transportadas de forma automática por meio de uma correia transportadora. Além disso, mostradores digitais indicam automaticamente o local e o número de unidades que devem ser coletados, tornando desnecessário o *picking list*, acelerando o processo de coleta dos operadores. A flexibilidade é resultado da participação dos operadores no manuseio, que além de considerar as características específicas de cada produto, inclusive a fragilidade, podem, simultaneamente, coletar e organizar os produtos nas caixas de entrega.

A automatização na separação dos produtos permite um ganho de escopo, relacionado ao ambiente em que os produtos estão alocados, além de reduzir os gastos com a mão-de-obra direta e os encargos incidentes na remuneração dos funcionários. Este resultado também reduz a parada no processo de separação ocasionado pelos danos causados nos esforços repetitivos aos quais os funcionários estão sujeitos, diminuindo também as faltas ao trabalho.

A possibilidade de melhor utilização dos recursos disponíveis, relacionados ao processo produtivo, permitem ganho na utilização do ambiente destinado à permanência dos estoques na empresa, facilitando a programação da produção. Petersen (1999) afirma que: “dois tipos de decisão determinam a eficiência da separação de pedidos: a política de estocagem e as rotas de coleta”. A primeira se refere a alocação dos produtos aos endereços de armazenagem. Já a segunda se refere ao procedimento de coleta, ou seja, definição da rotas de coleta de cada operador. Deve-se deixar claro que o objetivo final dos dois modelos é o

mesmo, minimizar a distância percorrida na coleta de mercadorias, maximizando a performance da separação.

Em relação aos benefícios obtidos com as melhorias nos processos, Shank e Govindarajan (1997, p. 301) afirmam que “os benefícios de um novo investimento podem se dar em qualquer parte da cadeia de valor e não no local onde ele acontece.” Assim, o redimensionamento na escala do processo de produção trará como benefício além da melhora nas rotas de coleta, a possibilidade de ganhos também no processo de venda dos produtos da empresa.

Tompkins (1998) afirma que para maximizar o fluxo dos itens em estoque (SKUs) devem ser atribuídos aos locais de estocagem com base na relação entre sua atividade de movimentação e o número de posições atribuídas ao SKU. A grande vantagem deste método é utilizar dois fatores simultaneamente: o número de movimentações e o espaço ocupado. O primeiro fator considera que quanto maior for o número de movimentações de um item em relação aos demais mais próximo ele deverá ficar da expedição para minimizar a distância percorrida na coleta. O segundo fator é relativo ao espaço ocupado, dando prioridade aos itens que demandam um menor número de posições na área de estocagem, pois quanto maior for a área ocupada por um item, maior será o custo de oportunidade relativo a este espaço.

Este posicionamento pela área de estocagem proporciona ganhos no ponto em que não há interrupção no fluxo de produção, reduzindo transportes desnecessários, em que, para continuar a produção a empresa necessita deslocar material em elaboração a serem completados.

Heragu (1997) modela a alocação de produtos na estocagem dedicada como um problema de programação inteira, cujo objetivo é minimizar o custo relativo ao deslocamento. Este modelo considera um armazém com p pontos de entrada/saída, uma variedade de m itens e n endereços de estocagem. A demanda f_{ik} representa a frequência de viagens do operador para levar o produto i a saída k , o custo por unidade de deslocamento para levar o produto i até a saída k é definido por c_{ik} a distância do endereço j até a saída k é representada por d_{kj} e S_i o espaço necessário para estocagem do produto i . A variável de decisão x_{ij} se refere a alocação do produto i ao endereço j . Esta modelagem leva ao clássico problema da alocação, mais precisamente no problema de alocação de tarefas generalizado, também conhecido como GAP (do inglês, *generalized assignment problem*).

Ainda, Heragu (1997) aponta que a solução deste problema tende a organizar os itens segundo um critério baseado na movimentação de cada item e no respectivo espaço ocupado. Para esta constatação é adotada a simplificação de que a proporção dos produtos movimentados é a mesma em todos os pontos de saída da área de armazenagem. Observe-se que esta simplificação não compromete a formulação inicial, pois usualmente os pontos de saída estão muito próximos uns dos outros, além do que normalmente o perfil do pedido (mix de produtos) não depende do seu ponto de expedição.

Para este problema a função objetivo é o somatório do produto de dois fatores pela variável de decisão (x_{ij}). O primeiro fator (α_i) é relativo somente a atributos dos produtos e considera: custo do deslocamento, a frequência de movimentações e o espaço ocupado na área de armazenagem, enquanto o segundo fator (β_j) é relativo a distância da respectiva posição à saída da área de armazenagem. A função objetivo é minimizada se os produtos de maior fator α_i forem alocados às posições com menor β_j .

Para tanto, basta criar duas listas, uma com os itens ordenados de maneira decrescentes de acordo com o valor de α_i e outra com as posições ordenadas de maneira crescente de acordo com o fator β_j . E então, alocar cada um dos produtos aos respectivos endereços da lista das posições. Desta maneira o problema pode ser resolvido rapidamente e de forma ótima Heragu (1997) sem que seja necessário resolver o problema de programação inteira. Embora nestas condições este modelo seja exato, cabe colocar que ele considera a

coleta de apenas um item por vez, não sendo necessariamente exato nas situações em que os pedidos sejam mais fracionados, caso no qual os operadores colem mais de um item simultaneamente. Além disso este modelo considera que a atividade de *picking* é realizada na própria área de estocagem, e não em uma linha de separação.

3 O problema do balanceamento da linha de *picking by light*

O balanceamento da linha tem a função de evitar a criação de estações gargalos, pois quando o número de caixas que entram em uma determinada estação é superior a sua capacidade de processamento é formada uma fila de caixas dentro da esteira da estação. Assim, ao se esgotar a capacidade da estação, as caixas passam a aguardar a sua entrada sobre a esteira principal, paralisando-a e impedindo que as demais caixas cheguem às outras estações. Isto reduz a produtividade, comprometendo a eficiência de toda a operação.

Outro requisito de grande influência na produtividade da linha é o posicionamento dos produtos de maior movimentação. Já que as diversas posições de cada estação (endereços do *flow rack*) apresentam dificuldades de manuseio distintas, em função da altura e da distância em relação às mãos do operador. Normalmente, os endereços logo à frente do operador com altura pouco abaixo à altura dos ombros representam as posições de mais fácil acesso devendo ser destinadas aos produtos de maior movimentação.

Na prática, cada endereço apresenta uma determinada dificuldade de manuseio, que deve ser considerada no momento de alocação dos produtos às suas respectivas posições. A alocação dos produtos às suas respectivas posições deve viabilizar o balanceamento entre as estações e ainda permitir que os produtos estejam distribuídos nas posições de acordo com o seu volume de movimentação.

Assim, a alocação deve ser realizada com dois objetivos concomitantes: o de distribuir os produtos de maior demanda entre as estações e o de minimizar a carga de trabalho total, já que esta varia não somente em função da demanda dos produtos de cada estação, mas também em função das suas respectivas posições. As características físicas dos produtos como a forma, o peso e o tamanho podem ser considerados um terceiro fator, uma vez que a dificuldade de manusear um determinado produto afeta o seu respectivo tempo de separação. Além disso, as características físicas podem ter um caráter restritivo com relação às algumas posições. Como exemplo, os produtos mais pesados nos níveis mais altos do *flow rack* podem ter implicações ergonômicas ruins para os operadores.

As características físicas de cada produto e as dificuldades de manuseio de cada posição são atributos que não variam com o passar do tempo. No entanto, a demanda de cada item está em constante oscilação, dependendo de fatores sazonais, da sua etapa no ciclo de vida e das ações de marketing da empresa, além de outros fatores externos. Assim, a demanda de cada produto representa um atributo variável ao longo do tempo, por isto o balanceamento de linha deve ser feito de maneira periódica para garantir o acompanhamento da demanda.

A troca de produtos na linha por sua vez também não é algo trivial. Para que a troca seja realizada é necessário que a linha esteja parada, pois o sistema que acende os displays funciona em função da posição de cada produto na linha. Além da troca de produtos demandar tempo de movimentação na linha, ela também pode afetar a localização dos produtos na área reserva. Esta área de armazenagem é bastante utilizada com os sistemas de *picking by light* com a função de agilizar o ressuprimento de produtos e evitar que a linha seja paralisada pela falta destes. Assim, as movimentações dos produtos na linha acabam repercutindo em transferências na área reserva.

Diante dos transtornos e obstáculos causados pela troca de endereços dos produtos na linha é fundamental que estas movimentações sejam minimizadas, principalmente quando elas envolverem mais de uma estação de trabalho.

Para o entendimento da formulação do problema é importante listar a síntese de alguns objetivos e premissas que foram considerados. Como ponto de partida são formalizados alguns termos, bastante explorados ao longo da modelagem:

- Endereço na linha, ou simplesmente endereço - indica uma determinada localização, que contempla: a estação de trabalho e a posição da estação.
- Posição (da estação) - indica a posição relativa do produto dentro de uma estação, contemplando a estante do *flow-rack* (caso cada estação tenha mais de uma estante), o nível da estante (prateleira), e o número do canal (coordenada horizontal de cada estante).
- Número de acessos - representa o número de acessos necessário para coleta das unidades de uma linha do pedido.
- Dificuldade de acesso - representa o grau de dificuldade de coleta de determinada posição. Como usualmente as estações de trabalho são similares entre si, cada posição de uma estação terá a dificuldade de acesso igual às das posições correspondentes das demais estações. Numericamente este valor corresponde ao tempo médio de um acesso à posição.
- Carga de trabalho - é uma estimativa do tempo de trabalho consumido por um operador frente a uma demanda, que conjuga o número de acessos com suas respectivas dificuldades de acesso.

O balanceamento tem o objetivo de distribuir a carga de trabalho de forma homogênea entre as estações e minimizar a carga total de trabalho, realizando o mínimo de trocas possíveis. Devendo contemplar as seguintes considerações: todo produto deve ser alocado a algum endereço; cada endereço pode conter apenas um produto; nem todo endereço precisa estar ocupado; os produtos podem ter restrições físicas que impeçam a sua localização em determinadas posições; deve ser considerada a posição inicial de todos os produtos na linha; os novos produtos devem ser considerados na hora do balanceamento.

Este problema de balanceamento é similar ao problema de alocação de tarefas generalizado (GAP), o qual é NP-hard (GUIGNARD; ROSENWEIN, 1989). Abordagens para tratar o problema incluem métodos heurísticos, métodos para obtenção de limites e métodos exatos. Vide Amini e Racer (1994) para uma comparação entre estes métodos de solução. O GAP foi utilizado para modelagem e resolução de uma série de problemas reais do mundo empresarial. Entre essas aplicações destacam-se: os problemas de localização (ROSS & SOLAND, 1977), roteamento de veículos (FISHER; JAIKUMAR, 1975), de programação de recursos e sistemas de manufaturas flexíveis (SAVELSBERGH, 1997) e problemas de alocação de tarefas em rede de computadores e arquitetura de rede de computadores (AMINI ; RACER, 1994).

Além da dificuldade referente ao número de variáveis de decisão, a modelagem do problema de balanceamento de linha de *picking by-light* necessita considerar alguns fatores a mais que o clássico problema da alocação de tarefas, entre os quais destacam-se os seguintes:

- O número de produtos trocados na linha deve ser limitado por um valor estipulado;
- Os produtos, normalmente, já estão posicionados na linha e existe uma restrição relativa ao número de trocas permitidas.
- Alguns produtos não podem ser alocados a determinadas posições por questões físicas;
- Produtos podem ser incluídos ou excluídos da linha de separação.

Considerando uma linha de *picking by-light* com as estações sendo similares entre si, pode-se modelar o problema do balanceamento da seguinte forma:

Sejam:

- $I = \{i_1, \dots, i_m\}$ representa as posições dentro de uma estação;
- $K = \{k_1, \dots, k_n\}$ representa as estações de trabalho;

- $I = \{j_1, \dots, j_n\}$ representa os produtos;
- b - carga de trabalho máxima que uma estação pode assumir (capacidade);
- n - número de estações;
- $\text{lim}t_1$ - limite do número de trocas de produtos entre as estações;
- $\text{lim}t_2$ - limite do número de trocas de produtos em uma mesma estação;
- a_j - número de acessos previstos ao produto j ;
- d_i - dificuldade (ou tempo) de acesso a posição i ;
- c_{ijk} - carga de trabalho resultante da alocação do produto j ao endereço i na estação k ;
- x_{ijk} - é variável de decisão e assume 1 caso o produto j seja alocado ao endereço i da estação k e 0 caso contrário;
- p_{ijk} - representa os endereços iniciais dos produtos, antes do balanceamento (assume 1 caso o produto j estivesse localizado no endereço i da estação k e 0 caso contrário);

O problema pode então ser formulado como:

$$\text{Minimizar: } z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} c_{ijk} x_{ijk}$$

Sujeito a:

$$\sum_{j \in J} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in J \text{ e } k \in K; \quad (1)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} a_j x_{ijk} \leq b \quad \forall i \in I \text{ e } k \in K; \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in J} \left| \sum_{i \in I} x_{ijk} - \sum_{i \in I} p_{ijk} \right| \leq \text{lim}t_1 \quad \forall k \in K; \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{i \in I} |x_{ijk} - p_{ijk}| \leq \text{lim}t_2 \quad \forall k \in K; \quad (4)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \text{ e } j \in J \text{ e } k \in K; \quad (5)$$

As restrições (1) atribuem todo produto a algum endereço: as restrições (2) permitem a cada posição o recebimento de no máximo um produto; as restrições (3) são relativas ao balanceamento, impedindo que a carga de trabalho de alguma estação ultrapasse o limite de tolerância do balanceamento; a restrição (4) limita o número de trocas de posição entre as estações; as restrições (5) restringem o número de trocas de posição dentro das estações e finalmente as restrições (6) expressam a natureza binária das variáveis de decisão. O limite b relativo às restrições de balanceamento pode ser calculado, usando a expressão:

$$b = (\text{carga teórica da linha} / n) \times (1 + \text{margem de tolerância});$$

Onde, a carga teórica da linha é o valor mínimo da carga de trabalho desprezando as restrições relativas ao balanceamento e às trocas de posição na linha; e a margem de tolerância indica em termos percentuais a discrepância máxima que pode ocorrer entre a carga de trabalho de uma estação e a carga média das estações. A carga teórica da linha é resultado da soma do produto dos elementos de duas listas ordenadas. Uma lista com o número de acessos previstos a todos os produtos ordenados de maneira decrescente e a outra com a dificuldade de acesso de todos os endereços ordenados de forma crescente.

Este resultado representa a solução ótima do modelo ao desprezar-se as restrições de número de trocas e de balanceamento. Isto acontece, porque o produto de maior número de acessos ficaria localizado no endereço de menor dificuldade de acesso e este processo seria repetido em uma série de iterações, considerando a cada iteração os produtos ainda não alocados e as posições ainda não ocupadas. Assim a carga de trabalho seria minimizada, mas algumas restrições violadas.

A prova de que a carga é minimizada de forma ótima é análoga a prova do modelo de Heragu (1997), apresentado na seção 2. Como este modelo desconsidera algumas restrições, pode-se considerar o seu resultado muito otimista, sendo praticamente impossível de ser atingido. Desta maneira, a margem de tolerância sempre terá que ser maior do que um D para garantir a existência de uma solução ótima. Como na prática um desvio no balanceamento de 5% em relação à carga média pode ser considerado desprezível, um valor desta magnitude pode ser utilizado como uma margem de tolerância para aplicação do modelo.

Caso a margem de tolerância seja diminuída o modelo se torna mais rígido com relação ao balanceamento e em um caso limite pode não encontrar uma solução viável. Além do ajuste deste parâmetro, a determinação dos limites do número de trocas entre as estações e dentro das estações muito pequenos também podem impedir que o modelo encontre uma solução viável.

A viabilidade da solução dependerá não só da entrada de dados no que se refere ao limite do número de trocas e da margem de tolerância, mas também do endereçamento inicial da linha, caso a linha à priori esteja muito desbalanceada, com grandes distorções, muitas trocas podem se fazer necessárias para se atingir o balanceamento. Caso não seja encontrada uma solução viável, deve-se dar mais liberdade ao sistema, aumentando o número permitido de trocas, ou diminuindo o rigor com o balanceamento, o que pode ser feito aumentando-se a margem de segurança.

A maior dificuldade para aplicação prática deste modelo está no elevado número de variáveis de decisão. Uma linha de separação com 12 estações, 150 posições por estação e 1200 produtos ao ser modelada desta maneira geraria mais de dois milhões de variáveis inteiras (exatos 2.160.000 resultado do produto $12 \times 150 \times 1200$). Devido à natureza combinatorial e a grande complexidade do problema o mesmo só pode ser resolvido de maneira ótima em instâncias de pequeno porte, uma vez que atualmente, nenhum algoritmo exato genérico é capaz de resolver um problema de programação inteira desta magnitude. Uma primeira alternativa de resolução seria simplificar este modelo de programação inteira e particioná-lo em problemas menores, mas isto poderia tornar a modelagem menos aderente ao problema, ou mesmo, não resolver a questão do tempo necessário para processamento. Outra alternativa é o desenvolvimento de métodos heurísticos para resolução deste problema.

4 Conclusão

Para maximizar a performance do sistema de *picking by-light* é necessário alocar os produtos às posições da linha para balancear a carga de trabalho e distribuir corretamente os itens de maior demanda nas posições de mais fácil acesso. Neste trabalho foi apresentado um modelo de programação matemática inteira para este problema. Contudo o porte dos

problemas reais, com elevado número de variáveis inteiras -superior a um milhão dificulta sua resolução em tempo hábil por um método exato, mesmo considerando o grande desenvolvimento dos processadores computacionais dos últimos anos.

Os principais benefícios que podem ser advindos com a resolução do problema modelado, estão ligados à maior produtividade da linha de separação, repercutindo na redução do tempo de separação dos pedidos e na possibilidade de atendimento de determinados picos de demanda sem a necessidade de turnos adicionais. Além disso, a qualidade do trabalho dos operadores decorrentes da adequação dos produtos nas estações, facilitam as condições ergonômicas e impedindo a sobrecarga em um único operador.

5 Referências

ADAMS, N.D., FIRTH R. V. D., BROWN T. W., MISENHEIMER L. P. **Warehouse and distribution automation handbook**. New Yor: McGraw-Hill, 1996.

ALVES, P. L., 2000, **Implantação de tecnologias de automação de depósitos: Um Estudo de Caso**. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: COPPEAD/ UFRJ, 2000.

AMINI, M. M., RACER, M. A rigorous Computational Comparison of Alternative Solution Methods for the Generalized Assignment Problem”. In. **Management Science**, v. 40, n.7 (July), p. 868-890, 1994.

BOWERSOX, D. J., CLOSS, D. J. **Logistical management: the integrated supply chain process**. New York: McGraw Hill, 1996.

HERAGU, S.S. **Fadilities design**. Boston: PWS Publishing Company, 1997

KOSTER, R., POORT E, V. D. Routing Order pickers in a Warehouse: a Comparison between Optimal and Heuristic Solutions, In. **IIE Transactions**, v.30, p 469-480, 1998.

PETERSEN II, C. G., SCHMENNER R. W. An Evaluation of Routing and Volume-based Storage Policies in a Order Picking Operation”, In. **Decision Sciences**, v. 30 n.2 (Spring), p. 481-501, 1999.

SAVELSBERG, M. A Branch-and-Price Algorithm for the Generalized Assignment Problem”, In. **Operations Research**, v.45, n. 6 (November-December), p. 831-841, 1997.

SHANK, John K; GOVINDARAJAN, Vijay. **A revolução dos custos: como reinventar e redefinir sua estratégia de custos para vencer em mercados crescentemente competitivos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

TOMPKINS ASSOCIATES. **The warehouse manager's guide to effective order picking**, Relatório Interno da Tompkins Associates, 1998.