

Gestão de operações logísticas num armazém usando modelos de apoio à decisão

Carla Alexandra Soares Geraldès * ‡ Maria do Sameiro Carvalho † ‡
Guilherme A. B. Pereira † ‡

* Instituto Politécnico de Bragança – Escola Superior de Tecnologia e Gestão
Departamento de Gestão Industrial
carlag@ipb.pt

† Universidade do Minho – Escola de Engenharia
Departamento de Produção e Sistemas
{sameiro|gui}@dps.uminho.pt

‡ Centro Algoritmi – Universidade do Minho

Abstract

Today's competitive and volatile market demands flexibility, quality and efficiency from the logistics operations. In this context, warehouses are an important link of the logistic chain and warehouse management plays a determinant role over customer's service. Throughout this work we support some warehouse management decisions with mathematical models. These models allowed us to redesign a particular warehouse and implement a new storage policy. The output of these models may also be taken as a starting point for further detailed warehouse operations decisions, especially as far as the optimization of the picking process is concerned.

Resumo

Os armazéns são elos importantes da cadeia logística, pelo que, no contexto de um mercado global, altamente competitivo e exigente, a sua gestão cumpre um papel muito relevante no que diz respeito quer à obtenção dos níveis de serviço prestados ao cliente quer à minimização dos custos logísticos totais. Neste trabalho é realizada a reestruturação de operações logísticas num armazém. A reestruturação realizada teve por base a implementação dos resultados obtidos por resolução de dois modelos de programação matemática que permitiram redimensionar as áreas funcionais no armazém e localizar os produtos dentro dessas áreas, segundo a política de localização adoptada. As soluções obtidas permitiram não só reestruturar o armazém como abriram lugar ao estudo e implementação de novas estratégias, para posterior optimização do processo de *picking*.

Keywords: Logistics operations, Warehousing, Mathematical programming, Case study

Title: Decision support models on warehouse logistics operations

1 Introdução

O planeamento e concepção das operações num armazém é um problema complexo pois inclui um elevado número de decisões inter-relacionadas de *processos*, *recursos* e de *organização*. Nessas decisões, para além da definição da sua localização geográfica e da determinação da sua dimensão, inclui-se a definição do *layout*, a selecção de equipamentos e tecnologias, a definição de zonas funcionais, a localização dos produtos, a geração de listas de *picking*, a definição de rotas de *picking*, etc. O objectivo a atingir é maximizar a utilização os recursos disponíveis garantindo os requisitos dos clientes.

Rouwenhorst *et al.* (2000) classificou as decisões a tomar em *estratégicas*, *táticas* e *operacionais*. As decisões de carácter estratégico são decisões consideradas de longo prazo. Neste grupo de decisões podemos incluir a determinação das principais políticas e planos para utilizar os recursos da empresa que melhor suportam a estratégia de competitividade de longo prazo adoptada. As decisões consideradas táticas têm como objectivo atingir a máxima eficiência em termos de materiais e de mão-de-obra, de acordo com as restrições decorrentes das decisões estratégicas adoptadas. A este nível, as relações entre as várias decisões a tomar são menores se comparadas com as existentes ao nível estratégico. No entanto, as decisões tomadas a este nível têm um enorme impacto nos restantes problemas operacionais por solucionar. Ou seja, este conjunto de decisões traduz as limitações sobre as quais serão tomadas as decisões consideradas de nível operacional. Ao nível operacional as decisões envolvidas dizem respeito aos problemas de atribuição e controlo de pessoas e equipamentos. Atendendo a que as relações existentes entre os diferentes processos são, tipicamente, tratadas nos níveis estratégico e tático podemos afirmar que, a este nível, as políticas adoptadas interagem pouco podendo, então, ser analisadas independentemente. Berg e Zijm (1999) debateram e apresentaram uma classificação hierárquica para os problemas operacionais nos armazéns. Adicionalmente, estes autores lembraram modelos de programação matemática que suportam algumas das decisões a tomar em cada um dos níveis considerados. Hassan (2002) apresentou uma estrutura de orientação para a concepção do *layout* de um armazém e para a definição dos processos que lhe estão associados. As linhas de orientação apresentadas têm em conta diversos factores e diversas operações sendo o objectivo principal a obtenção de um *layout* com as seguintes características: modular, adaptável, compacto, acessível, flexível, com utilização óptima do espaço disponível e onde os movimentos e os congestionamentos sejam reduzidos ao mínimo. Gray *et al.* (1992) descreveram e modelaram os problemas de concepção e de operação de um armazém típico de distribuição. Esta abordagem incluiu a definição do *layout*, a selecção de equipamentos e tecnologias, a localização dos produtos, a definição de zonas e rotas de *picking*, bem como a definição das listas de *picking* e do lote de encomendas a considerar. Dada a complexidade do problema considerado, os autores desenvolveram uma abordagem hierárquica multi-estágio que considera uma sequência de modelos matemáticos e as interacções entre eles. Essa abordagem caracteriza-se pela coordenação dos modelos matemáticos que incorporam as trocas económicas mais importantes, de forma a fazer recair a decisão sobre um número reduzido de alternativas. A técnica de simulação foi também utilizada para que, de uma forma integrada, os resultados analíticos obtidos fossem validados. Heragu (2005) abordou a questão do dimensionamento das áreas do armazém juntamente com a atribuição dos produtos a essas áreas. Trata-se de um modelo de alto nível que, em simultâneo, permite determinar a dimensão de cada área funcional bem como o tipo de fluxo para cada produto minimizando os custos totais de movimentação e de armazenamento. Relativamente às políticas operacionais são particularmente relevantes as políticas de localização. Estas políticas são “um conjunto de regras que determinam a localização no armazém das unidades de carga dos diferentes produtos” (Goetschalckx *et al.*, 1990). Liu (1999) propôs um modelo matemático de programação binária que permite agrupar os produtos num armazém em *clusters*.

Considerando as implementações práticas, é bastante frequente a utilização de uma abordagem sequencial dos vários aspectos envolvidos aquando da concepção de um armazém. Tipicamente, há que decidir quais as necessidades de armazenamento e de *layout* para, posteriormente, determinar quais os sistemas de armazenamento e o equipamento de movimentação necessário para que se possam definir as políticas operacionais a adoptar. No entanto, na concepção de uma instalação *ótima* há que considerar as relações existentes entre todos os aspectos envolvidos.

Neste trabalho são abordados alguns dos problemas encontrados na reestruturação de um armazém de uma empresa Portuguesa (Geraldes, 2007). Em particular, serão analisados dois aspectos: o redimensionamento das áreas funcionais no armazém e a localização dos produtos dentro das áreas funcionais. Para o redimensionamento das áreas funcionais será construído um modelo de programação inteira mista, adaptado a partir modelo proposto por Heragu (2005), que permite, de forma integrada, encontrar a dimensão *ótima* de cada área funcional e, simultaneamente, distribuir os produtos pelas áreas consideradas. O dimensionamento e atribuição dos produtos é efectuado minimizando os custos totais de movimentação e de armazenamento. Posteriormente, e partindo dos resultados obtidos por resolução do modelo será também analisada uma nova política de localização baseada na técnica de *clusters*. Com este trabalho pretende-se não só contribuir para a resolução dos problemas com que a empresa se debate, como também analisar o desempenho dos modelos de programação usados, quando submetidos à resolução de problemas reais.

2 Caso de estudo

A *Fictícia*¹ é uma empresa Portuguesa localizada em Guimarães que produz e distribui cutelarias e utilidades domésticas. A empresa detém uma posição sólida no mercado contando com cerca de 1200 clientes distribuídos por todo o território nacional (hipermercados (85%), retalho (10%), hotéis (1%) e outros (1%)) e também em Espanha e África (3%). A par dos produtos adquiridos a fornecedores nacionais (25%) a empresa recebe cerca de 20-30% dos seus produtos de fornecedores da China e os restantes são oriundos de fornecedores Europeus. Em média, a *Fictícia* processa cerca de 40 encomendas diárias, com uma média de 20 itens por encomenda. Para o armazenamento dos seus produtos, a empresa dispõe de um edifício com um total de 4000 m² e tem arrendado um edifício com 1200 m² para armazenamento suplementar que dista 3 km do armazém principal. No armazém principal os produtos encontram-se armazenados em paletes em estantes com 4 níveis em altura. O armazém principal encontra-se dividido em duas áreas funcionais: armazenamento e *picking*. Diariamente, uma equipa de 15 funcionários efectua as operações de recepção, armazenamento, *picking*, consolidação e expedição das encomendas. As operações de recepção e armazenamento são, normalmente, realizadas durante o período da manhã. Durante o período da tarde, enquanto decorre a operação de *picking*, as encomendas processadas são verificadas, embaladas e expedidas. O transporte e entrega das encomendas estão a cargo de um operador logístico.

Consequência dos elevados custos operacionais e do baixo nível de produtividade verificada, a empresa enfrenta grandes dificuldades em se manter competitiva. Adicionalmente, a empresa depara-se com uma diminuição acentuada do nível de serviço aos clientes. Esta diminuição do nível de serviço prestado é resultado de i) processamento de encomendas com tempos de ciclo longos; ii) constantes alterações no padrão das encomendas; iii) erros no processamento das encomendas (p.e. resultado de rupturas de *stock*). Finalmente, a empresa depara-se com um problema de falta de espaço de armazenamento consequência da enorme variedade de produtos em armazém e dos elevados níveis de inventário necessários para fazer face aos longos tempos de entrega de alguns fornecedores (chegam a ser de 4 meses).

¹ Por questões de confidencialidade é omissa a denominação da empresa.

A escassez de área de armazenagem e a ineficiência das operações logísticas são, em parte, consequência da quantidade de produtos obsoletos e da existência de vários produtos de baixa rotação que vão sendo colocados ao longo dos corredores impedindo o fácil acesso às posições de *stock*. A realização de uma análise ABC permitiu identificar que do total de referências existentes apenas 43% haviam sido processadas e que 8 dos 1200 clientes são responsáveis por 70% do valor facturado.

Do tempo necessário para realizar as operações logísticas, 10% é gasto na procura dos produtos ao longo do armazém e cerca de 60% é ocupado com o processamento da encomenda. Os valores registados são consequência de um elevado nível de desorganização, da ausência de rotas de *picking*, da existência de um *layout* pouco eficiente e da falta de um sistema de informação integrado. Adicionalmente, o fraco planeamento das operações em armazém e a incapacidade de estabelecer previsões estão na origem da adopção de políticas erradas para a gestão dos inventários. Verificou-se, também, a ausência de codificação das posições em *stock*, a localização de produtos de alta rotação em locais de difícil acesso, existência de artigos em armazém não recepcionados e a inexistência de zonas funcionais bem definidas.

No caso em estudo foram considerados os dois modelos a seguir apresentados que, aplicados de forma sequencial, suportaram decisões tomadas aquando da reestruturação realizada.

3 Modelos de apoio à decisão

3.1 Dimensionamento das áreas funcionais e identificação dos fluxos dos produtos no armazém

O primeiro modelo considerado (Geraldês, 2008b), adaptado de Heragu (2005), permitiu redimensionar as diferentes áreas funcionais no armazém, bem como identificar o fluxo de cada produto no armazém. Consideremos então as seguintes áreas funcionais: recepção, expedição, reserva e principal, e os possíveis fluxos em armazém (Figura 1).

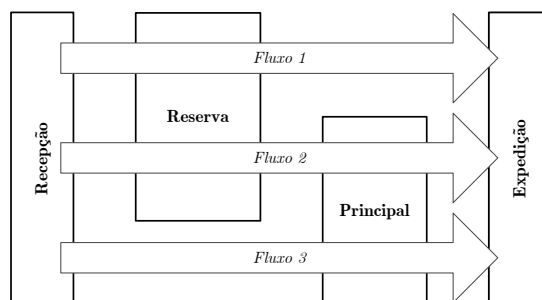


Figura 1: Fluxos de material no armazém.

Além do local de recepção e de expedição que se situa, respectivamente, junto ao cais de entrada e de saída das mercadorias, consideram-se duas áreas distintas de armazenagem – área de reserva e a área principal ou de *picking*. Na área de reserva serão localizados os artigos de menor rotação bem como o *stock* de reabastecimento dos artigos colocados na área principal. Na área principal encontraremos os produtos cuja rotação é maior. É nesta área que se realiza a operação de *picking* na sua quase totalidade.

O Fluxo 1 diz respeito aos produtos armazenados apenas na área de reserva. Como tal, a operação de *picking* é realizada nesta área conforme necessário. O Fluxo 2 representa o fluxo típico em armazém: os produtos são armazenados na área de reserva, sendo que uma parte da carga é movimentada para a área principal onde se realiza a

operação de *picking*. Finalmente, o Fluxo 3 representa os produtos que são enviados directamente para a área principal.

Considere-se então a seguinte notação:

Parâmetros

λ_i : procura anual do produto i , em unidades de carga

H_{ij} : custo anual de movimentar uma unidade do produto i no fluxo j

C_{ij} : custo anual de armazenar uma unidade do produto i no fluxo j

$Q_i/2$: stock médio em armazém do produto i , em unidades de carga

TS : espaço total disponível

p_i : percentagem média do tempo de permanência na área de reserva do produto i se este tem um fluxo do tipo 2

LL_R, UL_R : limites inferior e superior da área de reserva

LL_P, UL_P : limites inferior e superior da área de principal

Variáveis de decisão

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se o produto } i \text{ é atribuído ao fluxo } j \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

β, γ : percentagem de espaço atribuída às áreas funcionais : reserva (β) e principal (γ)

O modelo de programação matemática que permite determinar o fluxo ao qual cada produto deve ser afectado e, simultaneamente, a dimensão das áreas funcionais consideradas é:

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^3 (H_{ij} \lambda_i X_{ij}) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^3 (C_{ij} Q_i / 2 X_{ij}) \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^3 X_{ij} = 1 \quad \forall_i \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n (Q_i / 2 X_{i1}) + \sum_{i=1}^n (p_i Q_i / 2 X_{i2}) \leq \beta TS \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n ((1 - p_i) (Q_i / 2 X_{i2})) + \sum_{i=1}^n (Q_i / 2 X_{i3}) \leq \gamma TS \quad (4)$$

$$\beta + \gamma \leq 1 \quad (5)$$

$$LL_R \leq \beta TS \leq UL_R \quad (6)$$

$$LL_P \leq \gamma TS \leq UL_P \quad (7)$$

$$\beta, \gamma \geq 0 \quad (8)$$

$$X_{ij} = 0 \text{ ou } X_{ij} = 1 \quad \forall_{i,j} \quad (9)$$

A função objectivo (1) considera os custos totais de movimentação e de armazenamento. A integridade do modelo é estabelecida garantindo que cada produto é atribuído a um e um só fluxo (2) e que o espaço total disponível não é ultrapassado (3)-(4), garantindo-se também que os limites inferior e superior impostos para cada uma das áreas funcionais são respeitados (6)-(7).

Os resultados obtidos, por resolução do modelo, têm um papel importante na reestruturação do armazém. No entanto, muitas outras decisões ficaram excluídas, por exemplo, definição da política de localização a adoptar. Vejamos de seguida o modelo que aborda a política de localização adoptada (Geraldês, 2008a). Trata-se de um modelo de programação matemática que considera as eventuais relações entre os produtos formando *clusters*.

3.2 Localização dos produtos na área principal

A necessidade de agrupar os produtos, formando *clusters*, para uma eficaz e eficiente localização do *stock* e posterior operação de *picking* tem sido bem recebida pelos gestores de armazéns. Um *cluster* diz respeito a um grupo de produtos similares. O objectivo é agrupar os produtos em *clusters* por forma a que os itens pertencentes ao mesmo *cluster* tenham entre si um elevado grau de associação (similaridade).

Seja x_{ij} uma variável binária que é 1 se o produto i é atribuído ao *cluster* j e 0 caso contrário. Considere-se também a variável binária y_j que representa o produto tipo de todos os produtos incluídos no *cluster* (*cluster* mediano). Se $y_j = 1$ se produto j é seleccionado para *cluster* mediano e, caso contrário, $y_j = 0$. A formalização geral do modelo de pode ser apresentada como:

$$\max \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^P s_{ij} x_{ij} \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^P x_{ij} = 1 \quad i = 1, \dots, P \quad (11)$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad i, j = 1, \dots, P \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^P y_j = K \quad (13)$$

$$x_{ij} = 0 \quad \text{ou} \quad x_{ij} = 1 \quad i, j = 1, \dots, P \quad (14)$$

$$y_j = 0 \quad \text{ou} \quad y_j = 1 \quad j = 1, \dots, P \quad (15)$$

Onde s_{ij} representa a medida de similaridade adoptada e K é o número de *clusters* considerados. A função objectivo considerada (10) permite seleccionar K produtos tipo como medianas, para que a soma das similaridades de todos os produtos agrupados seja maximizada. As restrições garantem que cada produto pertence a um e um só *cluster* (11), que os produtos são atribuídos apenas a *clusters* medianos (12) e que não se ultrapassa o número máximo de *clusters* considerados (13).

4 Aplicação dos modelos ao caso de estudo

Neste estudo foram considerados os 1500 artigos considerados activos, um *stock* médio de 2257 unidades de carga (paletes) e o total de 2000 posições de *stock*. Os parâmetros envolvidos no modelo de dimensionamento (procura anual, *stock* médio e os custos de manuseamento e de armazenamento) foram calculados com base nos dados históricos referentes aos últimos dois anos e meio. A solução obtida define 880 posições de *stock* para a área de reserva (44% espaço total) e 300 posições de *stock* para a área principal (15% espaço total).

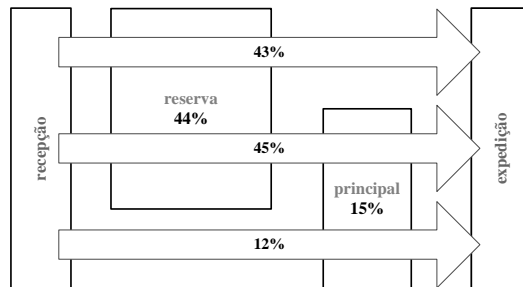


Figura 2: Solução do modelo de dimensionamento.

Cerca de 43% do total dos produtos ficam com um fluxo do tipo 1, 45% são atribuídos ao fluxo 2 e os restantes 12% têm um fluxo do tipo 3 (Figura 2).

Posteriormente, e considerando como medida de similaridade a probabilidade de um qualquer par de produtos constar na mesma encomenda (Tabela 1), foi determinada a estrutura de *clusters* para os produtos atribuídos à área principal. A título de exemplo foram considerados 30 *clusters*.

Quando considerados os parâmetros indicados a estrutura de *clusters* obtida é a apresentada na Tabela 2.

Tabela 1: Matriz de similaridade entre os produtos.

	P1	P2	P3	P4	P5	...	P184
P1	1.0						
P2	0.49	1.0					
P3	0.55	0.89	1.0				
P4	0.49	0.69	0.46	1.0			
P5	0.16	0.85	0.28	0.1	1.0		
...	
P184	0.26	0.09	0.43	0.38	0.81	...	1.0

Tabela 2: Exemplo de *clusters* obtidos.

Estrutura de <i>Clusters</i>
{P8, P37, P70, P90, P101}
{P103, P107}
{P11, P6, P42, P47, P87}
{P14, P51, P58, P81, P92, P112}
{P44, P60, P88}
...
{P52, P113, P120, P129}

A Tabela 3 apresenta alguns detalhes (N.º variáveis, N.º restrições, Tempo de CPU) das soluções obtidas por utilização da ferramenta de desenvolvimento e resolução de modelos de optimização – LINGO 9.0.

Tabela 3: Detalhes das soluções dos modelos.

	N.º variáveis		N.º restrições	Tempo de CPU [hh:mm:ss]
	total	inteiras		
Modelo 1	4502	4500	1505	00:01:44
Modelo 2	17030	17030	17031	00:00:27

Consequência deste estudo, a empresa decidiu reorganizar o armazém: foram identificadas as áreas funcionais e os produtos foram alocados às respectivas áreas. Relativamente aos produtos armazenados na área de *picking*, os de maior rotação foram posicionados perto do local de expedição e aos níveis 1 e 2 da estanteria. Os níveis 3 e 4 foram ocupados com *stock* de reabastecimento e com artigos de menor rotação. Adicionalmente foram propostas outras medidas com o objectivo de melhorar o desempenho do armazém, tais como: eliminação dos produtos sem rotação, codificação das posições de *stock*, o desenvolvimento de um sistema de informação e a introdução de medidas de desempenho.

5 Conclusões

O planeamento e concepção de um armazém é uma actividade complexa que deve ser minuciosamente examinada e adaptada para ir ao encontro e até antecipar futuras exigências. A complexidade associada ao planeamento e concepção destas instalações é originada pelo elevado conjunto de decisões inter-relacionadas, por envolver várias variáveis de decisão e, pelo facto de, por vezes, os objectivos a atingir serem contraditórios. Essa complexidade leva a que, e apesar das várias questões estarem bem identificadas, não as possamos reduzir a problemas isolados. Por tudo isto, utilizar um modelo único onde sejam incluídos todos os aspectos envolvidos torna-se uma tarefa árdua pois as alternativas existentes são inúmeras.

Este estudo abordou os problemas operacionais do armazém de uma empresa que produz e distribui cutelarias e utilidades domésticas. Um complexo e vasto conjunto de

problemas foi identificado e algumas soluções implementadas. Em particular, este estudo analisou o dimensionamento das áreas funcionais, a distribuição dos produtos pelas áreas funcionais e a adopção de uma política de localização para a área de *picking*. Para tal foram utilizados modelos de programação matemática de apoio à tomada destas decisões.

O modelo de programação inteira mista utilizado para o dimensionamento das áreas funcionais e para a distribuição dos produtos pelas diferentes áreas revelou ser bastante promissor na definição do novo *layout* tendo permitido uma redução substancial na área total de armazenamento. Consequentemente deixou de ser necessário o arrendamento do armazém auxiliar. A implementação dos resultados obtidos por resolução deste modelo abriu lugar ao estudo de uma nova política de localização. Apesar da política adoptada ter em consideração as correlações existentes entre os diferentes produtos, não são explicitamente considerados os custos operacionais envolvidos. Outra desvantagem prende-se com o facto de serem necessárias regras de sequenciamento para definir a localização dentro da área funcional.

A implementação dos resultados obtidos por resolução destes modelos mostrou que os modelos são eficientes, o que os torna promissores na resolução de problemas reais. No entanto, muitas decisões ficaram por tomar. Por exemplo, dado que a políticas de *picking* estão fortemente relacionadas com as políticas de localização torna-se imprescindível o estudo de políticas de *picking* para que seja possível avaliar o desempenho da política de localização adoptada.

6 Referências

- Berg, J. P. van den and Zijm, W. H. M. (1999) Models for warehouse management: Classification and examples, *International Journal of Production Economics*, Vol. 59, pp. 519-528.
- Geraldles, C. (2007) Modelos de programação linear aplicados à gestão das operações de um armazém – caso prático, Tese de Mestrado, Dep. Produção e Sistemas, Universidade do Minho, Braga, Portugal.
- Geraldles, C., Carvalho, S., Pereira, G. (2008a) A linear programming model for the storage location assignment problem – case study. *Proceedings of the 15th European Concurrent Engineering Conference*. Porto, Portugal. EUROSIS-ETI, ISBN: 978-90-77381-39-7.
- Geraldles, C., Carvalho, S., Pereira, G. (2008b) A warehouse design decision model – case study. *Proceedings of the IEMC-Europe 2008 (International Engineering Management Conference)*. Estoril, Portugal. ISBN: 978-1-4244-2289-0, IEEE Catalog Number: CFP08EMS.
- Goetschalckx, M. and Ratliff, H. D. (1990) Shared Storage Policies Based on the Duration Stay of Unit Loads, *Management Science*, Vol. 36, No 9, pp. 1120-1132.
- Gray, A. E., Karmarkar, U. S. and Seidmann, A. (1992) Design and operation of an order-consolidation warehouse: models and application, *European Journal of Operational Research*, Vol. 58, No 1, pp. 14-36.
- Hassan, M. (2002) A framework for the design of warehouse layout, *Facilities*, Vol. 20, No 13/14, pp. 432-440.
- Heragu, S. S., Du, L., Mantel, R. J. and Schuur, P. C. (2005) Mathematical model for warehouse design and product allocation, *International Journal of Production Research*, Vol. 43, No 2, pp. 327-338.
- Liu, C. (1999) Clustering techniques for stock location and order-picking in a distribution center, *Computers & Operations Research*, Vol. 26, pp. 989-1002.
- Rouwenhorst, B. et al. (2000) Warehouse design and control: Framework and literature review, *European Journal of Operational Research*, Vol. 122, pp. 515-533.
- Salvendy, G. (eds.) (2001) *Handbook of Industrial Engineering: Technology and Operations Management*, 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc., ch. 81, pp. 2083-2109.