

Estivagem de unidades de celulose: uma análise prática com heurísticas de bloco

Douglas Rossoni Sirtoli (UniAracruz) drsirtoli@fsjb.edu.br
Glaydston Mattos Ribeiro (UniAracruz) glaydston@fsjb.edu.br
Luiz Antonio Nogueira Lorena (INPE) lorena@lac.inpe.br

Resumo

O problema de estivagem de unidades de celulose consiste em arranjar unidades de celulose em porões de navios, com a finalidade de maximizar a quantidade de unidades estivadas. Com isso, o presente trabalho vem propor a resolução deste problema com heurísticas de bloco e também apresentar uma ferramenta gráfica para gerar os planos de estivagem, ou seja, a disposição das unidades no porão. Casos práticos dos portos brasileiros foram avaliados e os resultados computacionais mostraram que as heurísticas de bloco são eficientes, podendo reduzir os custos logísticos de embarque.

Palavras-chave: Estivagem de unidades de celulose, heurística de bloco, transporte marítimo.

1. Introdução

O transporte marítimo é considerado um dos mais seguros e é largamente utilizado no transporte internacional. Este modal de transporte pode ser utilizado para os vários tipos de cargas, transportando milhares de toneladas ou de metros cúbicos de uma só vez.

Resumidamente, existem duas subdivisões associadas ao transporte marítimo:

- Navegação de longo curso: ocorre entre países (navegação internacional);
- Navegação de cabotagem: realizada entre portos nacionais (navegação nacional), caracterizada pelos pequenos percursos.

Devido aos diversos tipos de carga e de navios, posicionar as cargas nos porões, muitas vezes, torna-se uma tarefa complicada a ser resolvida, podendo levar dias para ser concluída. Esta atividade é conhecida como estivagem de cargas.

Com isso, o plano de estivagem é muito importante para agilizar o processo de carregamento. Este planejamento deve considerar o tipo de carga a ser estivada, o tipo de unidade de transporte (navio), a natureza da carga, dentre outros fatores (HANDABAKA, 1994).

Sendo assim, este trabalho considera o problema da estivagem de unidades de celulose (PEUC) em navios especializados. Conforme Ribeiro e Lorena (2005), este problema é uma tarefa importante no processo de importação e pode gerar muitos custos para o Porto, caso o navio atrase por causa do carregamento. Por outro lado, uma boa estivagem pode reduzir o tempo de carregamento e os custos logísticos associados.

Conforme Ribeiro e Lorena (2005) os fardos de celulose são constituídos de placas de celulose amarradas por arame. Uma unidade de celulose é composta por um conjunto de fardos. Cada unidade de celulose também é amarrada por um arame, o que permite um carregamento mais eficiente através dos guindastes. As unidades de celulose a serem estivadas apresentam dimensões variadas são posicionadas nos porões dos navios.

A estivagem de unidades de celulose em um porão se dá por camadas. Uma vez definida a primeira camada, as demais são repetições desta primeira. Com isso o problema passa a ser

bidimensional, ou seja, um problema de empacotamento bidimensional. Isso porque se entre uma camada e outra, as unidades forem rotacionadas, de tal maneira que os arames se cruzem, durante o balanço do navio, esses arames podem se partir, avariando a carga (Ribeiro e Lorena, 2005).

Sendo assim, conforme a tipologia de Dyckhoff (1990), PEUC pode ser classificado como sendo 2/B/O/C (bidimensional, seleção de itens, objeto único, itens iguais), desta forma, este problema pode ser visto com o problema de carregamento de paletes do produtor (PCPP) (HODGSON, 1982).

O PCPP consiste em arranjar, sem sobreposição, o máximo possível de caixas iguais sobre um palete de maneira a otimizar o aproveitamento do mesmo. Considerando as diversas e possíveis aplicações práticas do PCPP, muitos métodos de soluções têm sido estudados. Autores propuseram métodos exatos, cujos algoritmos utilizam basicamente uma estrutura de árvore (DOWSLAND, 1987; ALVAREZ-VALDES *et al*, 2005). Entretanto, todas estas abordagens são em geral computacionalmente intratáveis em situações práticas, isto é, não é possível encontrar soluções exatas dentro de um limite aceitável de tempo.

Outros métodos foram criados ou utilizados, entre eles estão os métodos construtivos que dividem o palete em blocos (STEUDEL, 1979; SMITH & DE CANI, 1980), métodos recursivos (YOUNG-GUN & MAING-KYU, 2001) e métodos baseados em estruturas do tipo G4 (SCHEITHAUER & TERNO, 1996). Outros trabalhos existentes aplicam as metaheurísticas conhecidas como Busca Tabu (PUREZA & MORABITO, 2005).

Especificamente sobre o PEUC, Ribeiro e Lorena (2005) aplicaram uma relaxação lagrangeana com *clusters* (LagClus) em problemas reais para obter limitantes. O PEUC difere dos problemas de palete, devido à sua magnitude. Enquanto o PCPP apresenta instancias na literatura com até 150 caixas, o PEUC apresenta problemas práticos variando de 150 a 550 unidades de celulose.

Com isso, este trabalho vem apresentar resultados obtidos com heurísticas de bloco para o PEUC em instancias reais, assim como explorado por Ribeiro e Lorena (2005), entretanto, essas heurísticas apresentam um tempo computacional muito inferior a *LagClus* e resultados iguais. Além disso, este trabalho propõe um aplicativo *web*, escrito em *Java*, para gerar os planos de estivagem conforme dados do problema.

O restante do trabalho esta dividido da seguinte maneira. Na Seção 2 é apresenta a formulação matemática do PEUC, na Seção 3 são apresentadas às teorias de partições eficientes que constitui a base para as heurísticas de bloco, na Seção 4 são apresentados resultados computacionais e na Seção 5, são apresentadas as conclusões e recomendações, seguida das referências bibliográficas.

2. Formulação do PEUC

O trabalho de Beasley (1985), de forma geral, considera o problema de corte bidimensional, que consiste em cortar um número de peças retangulares de um retângulo maior, de forma a maximizar o valor das peças cortadas. Assim, o PEUC pode ser formulado usando um caso particular da formulação de Beasley (1985).

Considerando então que o porão de um navio possui comprimento L e largura W , tal que $L \geq W$ e, que l e w representam o comprimento e a largura das unidades de celulose, respectivamente, tal que $l \geq w$ e $l \leq W$. Pode-se representar os possíveis posicionamentos de uma unidade de celulose no porão, como sendo $(l_1, w_1) = (l, w)$ e $(l_2, w_2) = (w, l)$. Com isso, essas posições podem ser representadas por $(l_i, w_i)_{i=1,2}$, que indicam o comprimento e a largura de uma face na orientação i , como mostra a Figura 1.

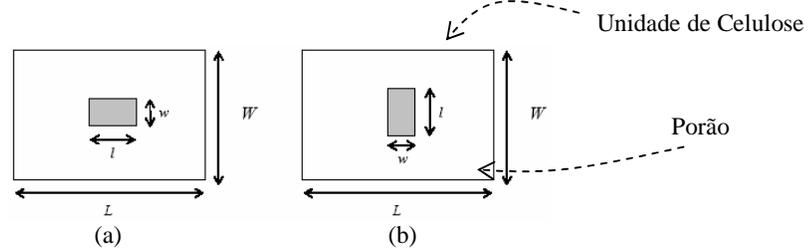


Figura 1 - Orientações possíveis de uma unidade de celulose: (a) horizontal (H-Unidade) e (b) vertical (V-Unidade)

Sejam X e Y conjuntos que representam as coordenadas (p, q) do canto inferior esquerdo das unidades, medidas a partir do canto inferior esquerdo do porão. Esses conjuntos podem ser obtidos da seguinte maneira:

$$X = \left\{ p \in Z^+ \mid p = \sum_{i=1}^2 l_i b_i, 0 \leq p \leq L - w, b_i \geq 0 \text{ e inteiro}, i=1,2 \right\} \quad (1)$$

$$Y = \left\{ q \in Z^+ \mid q = \sum_{i=1}^2 w_i b_i, 0 \leq q \leq W - w, b_i \geq 0 \text{ e inteiro}, i=1,2 \right\} \quad (2)$$

Seja a uma função que descreve as restrições de sobreposição de unidades no porão, que pode ser obtida com antecedência para cada posição (p, q) , em relação a cada posição (r, s) para a orientação i . Sendo $p \in X \mid p \leq L - l_i$, $q \in Y \mid q \leq W - w_i$, $r \in X$, $s \in Y$, e $i=1,2$.

Portanto, pode-se expressar esta função como:

$$a_{ipqrs} = \begin{cases} 1, & \text{Se } 0 \leq p \leq r \leq p + l_i - 1 \leq L - 1 \text{ e } 0 \leq q \leq s \leq q + w_i - 1 \leq W - 1 \\ 0, & \text{Caso contrário} \end{cases} \quad (3)$$

Seja $x_{ipq} \in \{0,1\}$ uma variável binária de decisão para todo $p \in X \mid p \leq L - l_i$, $q \in Y \mid q \leq W - w_i$, e $i=1,2$. Se $x_{ipq} = 1$, então uma unidade de celulose é colocada nas coordenadas (p, q) do porão com orientação i , $x_{ipq} = 0$ caso contrário.

Assim, o PEUC pode ser formulado como (BEASLEY, 1985):

$$v(\text{PEUC}) = \text{Max} \left(\sum_{i=1}^2 \sum_{\{p \in X \mid p \leq L - l_i\}} \sum_{\{q \in Y \mid q \leq W - w_i\}} x_{ipq} \right) \quad (4)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{\{p \in X \mid p \leq L - l_i\}} \sum_{\{q \in Y \mid q \leq W - w_i\}} a_{ipqrs} x_{ipq} \leq 1, \forall r \in X \text{ e } s \in Y \quad (5)$$

$$x_{ipq} \in \{0,1\} \forall i=1 \dots 2, p \in X \text{ tal que } p \leq L - l_i, \text{ e } q \in Y \text{ tal que } q \leq W - w_i \quad (6)$$

A restrição definida pela Equação (5) garante a inexistência de sobreposição de unidades de celulose e a Equação (6) garante que as variáveis de decisão são binárias.

Para as instâncias práticas do PEUC, a formulação (4)-(6) produz centenas de restrições e variáveis, inviabilizando a solução mesmo com pacotes comerciais de otimização.

3. Partições eficientes e heurísticas de bloco

Uma forma de resolver o PECU é através das heurísticas de bloco. Essas heurísticas

trabalham com subdivisões das dimensões do porão em função das dimensões da unidade. As possíveis combinações de unidades, com comprimento l e largura w , na dimensão L ou W , que não excedem o comprimento ou a largura do porão, é definida como *possíveis partições* (BISCHOFF & DOWSLAND, 1982).

Dado que (n, m) é um par ordenado inteiro positivo que satisfaz:

$$n * l - m * w \leq S \quad (7)$$

onde:

- S é a dimensão do porão (L ou W);
- n é a quantidade de unidades de celulose com comprimento l na dimensão S ; e
- m é a quantidade de unidades de celulose com largura w na dimensão S .

Todas as possíveis partições da dimensão S são denotadas por $F(S, l, w)$. Se n e m também satisfazem:

$$0 \leq S - n * l - m * w < w \quad (8)$$

Então (n, m) é denominada de *partição eficiente* de S , segundo Martins (2003).

Para a dimensão S do porão, o conjunto de partições eficientes de S , denotado por $E(S, l, w)$, pode ser definido usando a seguinte expressão:

$$n \in \{0, 1, \dots, \lfloor S/l \rfloor\}, \text{ e } m = (S - n * l) / w \quad (9)$$

Com isso, uma partição eficiente constitui-se em colocar a maior quantidade de unidades, horizontalmente (comprimento) e verticalmente (largura), na dimensão L ou W , de forma a ocupar toda a dimensão, não restando espaço vazio, e se não for possível, o espaço restante deve ser menor que w .

Uma vez definido partições eficientes, as heurísticas de bloco consistem em definir blocos (conjuntos) de unidades que deverão ser posicionadas sobre o porão. Neste trabalho, serão utilizadas as heurísticas de 1, 2, 3, 4 e 5 blocos propostas por Steudel (1979) e Smith e De Cani (1980). A Figura 2 apresenta algumas soluções encontradas pelas heurísticas de bloco.

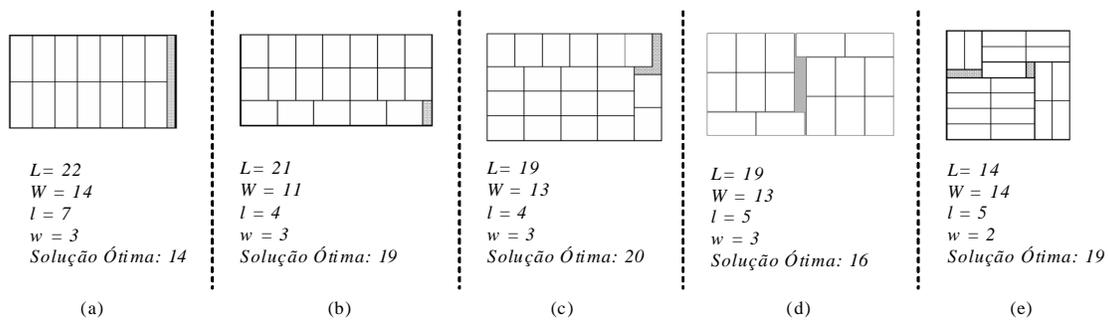


Figura 2 – Heurística de Bloco. (a) 1-Bloco, (b) 2-Blocos, (c) 3-Blocos, (d) 4-Blocos e (e) 5-Blocos

Fonte: Martins (2003)

3.1. Heurística de um bloco

A quantidade de unidades organizadas em L ou W é dada por: $A_L = \lfloor L/l \rfloor$, $A_W = \lfloor W/l \rfloor$, $B_L = \lfloor L/w \rfloor$ e $B_W = \lfloor W/w \rfloor$, sendo A_L o número de unidades de comprimento l na dimensão L ; A_W o número de unidades de comprimento l na dimensão W ; B_L o número de unidades de

largura w na dimensão L ; e B_w o número de unidades de largura w na dimensão W .

Entretanto, a heurística de um bloco arranja (empacota) todas as unidades com a mesma orientação. Se $A_L * B_w > A_w * B_L$, então um bloco na horizontal com $A_L * B_w$ unidades (H-Unidade), deve ser utilizado. Caso contrário, um bloco na vertical com $A_w * B_L$ unidades (V-Unidade), deve ser utilizado. A Figura 2(a) apresenta a solução ótima de um problema obtida com a heurística de um bloco. Note que o bloco apresenta a orientação H-Unidade.

3.2. Heurística de dois blocos

As heurísticas com dois ou mais blocos, são baseadas na seleção do tamanho do primeiro bloco, depois o do segundo, e assim por diante. Em seguida, individualmente preenche-se cada bloco com a heurística de um bloco.

Na heurística de dois blocos, para cada partição (n, m) em $E(L, l, w)$, cria-se dois blocos: um com todas as unidades na horizontal, com n colunas e B_w linhas, e um bloco com todas as unidades na vertical com m colunas e A_w linhas. Também gera-se, da mesma forma, dois blocos para cada partição (n, m) em $E(W, l, w)$, e considera-se a melhor solução encontrada. A Figura 2 (b) apresenta uma solução com dois blocos para um problema.

3.3. Heurística de três blocos

A heurística de três blocos utiliza a heurística de dois blocos. Se após computar os resultados para cada partição eficiente na heurística de dois blocos, ainda existir regiões que não são utilizadas, a heurística tenta adicionar um terceiro bloco nesta área não usada, selecionando a melhor solução como resultado. A Figura 2 (c) apresenta uma solução através dessa heurística para um dado problema.

3.4. Heurística de quatro blocos

Steudel (1979) e Smith e De Cani(1980) propuseram a heurística de quatro blocos, que consiste em alocar um bloco com orientação fixa para cada um dos quatro cantos de uma caixa, no caso do PEUC, porão. A Figura 2(d) apresenta uma solução produzida por esta heurística para um problema. Maiores comentários sobre esta heurística, assim como seu algoritmo, serão apresentados com a heurística de cinco blocos.

3.5. Heurística de cinco blocos

A heurística de cinco blocos utiliza a heurística de quatro blocos para definir uma solução. Após computar a heurística de quatro blocos, se existir área não utilizada, o algoritmo tenta empacotar um quinto bloco neste espaço, preenchendo-o com a heurística de um bloco. A Figura 2 (e) apresenta uma solução produzida por esta heurística.

Bischoff e Dowsland (1982) propuseram um algoritmo usando quatro *loops* aninhados, baseados nas partições eficientes, para computar as dimensões dos quatro blocos. Sendo assim, seja (L_i, W_i) as dimensões de um bloco i , e $C_i = L_i * W_i$ a área desse bloco, tal que $i = 1...5$. Com isso, segue abaixo o pseudocódigo da heurística de cinco blocos, conforme Bischoff e Dowsland (1982).

Algoritmo:

```
P_x ← {}
P_y ← {}
melhor_solução ← 0
P_x ← partições_eficientes_X
P_y ← partições_eficientes_y
Para cada P_x[i] Faça //para cada partição eficiente
    n_i ← P_x[i].n
```

```

m1 ← P_x[i].m
L1 ← n1 * w
L2 ← m1 * l
Para cada P_y[j] Faça //para cada partição eficiente
  n2 ← P_y[j].n
  m2 ← P_y[j].m
  W1 ← m2 * l
  W4 ← n2 * w
  C1 ← L2 * W1
  Para cada P_x[z] Faça //para cada partição eficiente
    n3 ← P_x[z].n
    m3 ← P_x[z].m
    L3 ← n3 * w
    L4 ← m3 * l
    C4 ← L4 * W4
    Para cada P_y[k] Faça //para cada partição eficiente
      n4 ← P_y[k].n
      m4 ← P_y[k].m
      W3 ← m4 * l
      W2 ← n4 * w
      C3 ← L3 * W3
      C2 ← L2 * W2
    Se Não_Existente_Sobreposição (L1, L2, L3, L4, L5, W1, W2, W3, W4, W5) Então
      Calcule(L5, W5, C5)
      Heurística_de_Um_Bloco (L5, W5)
      Se ((C1 + C2 + C3 + C4 + C5) > melhor_solução) Então
        Melhor_solução ← C1 + C2 + C3 + C4 + C5
        Salve(L1, L2, L3, L4, L5, W1, W2, W3, W4, W5)
      Fim se
    Fim se
  Fim para
Fim para
Fim para
Fim para
Fim para

//Função que verifica se existe o quinto bloco
Não_Existente_Sobreposição (L1, L2, L3, L4, L5, W1, W2, W3, W4, W5)

Não_Existente_Sobreposicao ← Verdadeiro
Se (L1 + L3 > X) Então
  Se (W1 + W3 > Y) Então
    Não_Existente_Sobreposicao ← Falso
  Senão
    W5 ← Y - (W1 + W3)
    L5 ← X - (L2 + L4)
Senão
  Se (L2 + L4 > X) Então
    Se (W2 + W4 > Y) Então
      Não_Existente_Sobreposicao ← Falso
    Senão
      W5 ← Y - (W2 + W4)
      L5 ← X - (L1 + L3)
    Fim senão
  Fim se
Fim senão

```

4. Aplicações a casos reais

As heurísticas de bloco apresentadas anteriormente, foram implementadas em C++. Em seguida, a partir de dados reais obtidos junto a portos brasileiros, foram realizados experimentos computacionais que permitissem avaliar o plano de estivagem realizado na prática. Na Tabela 1 podem ser visualizados dados relativos aos porões, às unidades de celulose e as soluções práticas adotadas pelos portos.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados obtidos com as heurísticas para as instâncias da Tabela 1. Note primeiramente que os tempos computacionais são baixos, inferiores a 1 segundo. Em seguida, pode-se perceber, através das médias, que as soluções produzidas pela

heurística de 5 blocos são melhores que as demais. Comparando essa heurística com a de um bloco, percebe-se uma melhoria significativa. Por camada a heurística de 5 blocos consegue estar 10,6 unidades a mais (239,3 – 228,8).

Instância	Porão		Unidade		Plano de Estivagem
	L(cm)	W(cm)	l(cm)	w(cm)	Número de Unidades
I1	2296	1230	136	94	213
I2	2536	1312	144	84	269
I3	2252	1470	144	84	265
I4	1470	1458	144	84	170
I5	2296	1230	135	92	217
I6	1804	1230	137	95	158
I7	2466	1230	137	95	222
I8	1804	1750	137	95	234
I9	2426	1230	137	95	204
I10	2530	1320	137	95	246
I11	2560	1610	143	84	335
I12	2625	1600	137	95	310
I13	1838	1600	137	95	208
I14	2100	1600	144	84	264
I15	1600	1230	137	95	144
Média					230,6

Tabela 1 – Instâncias reais da estivagem

Inst.	Um Bloco		Dois Blocos		Três Blocos		Quatro Blocos		Cinco Blocos	
	Solução	Tempo (s)	Solução	Tempo (s)	Solução	Tempo (s)	Solução	Tempo (s)	Solução	Tempo (s)
I1	216	0,00	219	0,00	219	0,00	219	0,01	219	0,04
I2	270	0,00	270	0,00	273	0,00	273	0,01	273	0,02
I3	260	0,00	267	0,00	270	0,00	271	0,01	271	0,03
I4	170	0,00	174	0,00	174	0,00	175	0,00	175	0,01
I5	221	0,00	224	0,00	224	0,00	226	0,01	226	0,03
I6	156	0,00	166	0,00	166	0,00	168	0,00	168	0,01
I7	216	0,00	230	0,00	230	0,00	230	0,01	231	0,02
I8	234	0,00	236	0,00	239	0,00	240	0,01	240	0,03
I9	204	0,00	220	0,00	226	0,00	227	0,01	227	0,03
I10	234	0,00	250	0,00	250	0,00	254	0,01	254	0,03
I11	330	0,00	338	0,00	338	0,00	340	0,02	340	0,05
I12	304	0,00	317	0,00	317	0,00	318	0,01	319	0,06
I13	209	0,00	219	0,00	219	0,00	223	0,01	223	0,03
I14	275	0,00	277	0,00	277	0,00	277	0,01	277	0,03
I15	132	0,00	142	0,00	143	0,00	146	0,00	147	0,00
Média	228,8	0,00	236,6	0,00	237,7	0,00	239,1	0,0087	239,3	0,028

Tabela 2 – Resultados obtidos

Comparando-se agora as médias obtidas na Tabela 2 com o que vem sendo realizado na prática, percebe-se claramente uma melhoria a partir da heurística de 2 blocos. A heurística de 1 bloco apresentou um resultado inferior (aproximadamente 1,9 unidades a menos). Por outro lado, a heurística de 5 blocos apresentou resultados melhores, conseguindo estar 8,7 unidades a mais. Vale ressaltar que esse ganho pode ser ainda maior, dado que esta melhoria é por camada. Considerando que um porão tem em média 10 camadas, são 87 unidades a mais embarcadas por porão.

A heurística de cinco blocos foi implementada em *Java* e está disponível em <http://www.fsjb.edu.br/~gloydston/estivagem.html>. As figuras a seguir, apresentam as telas com os planos de estivagem obtidos para algumas das instancias acima.

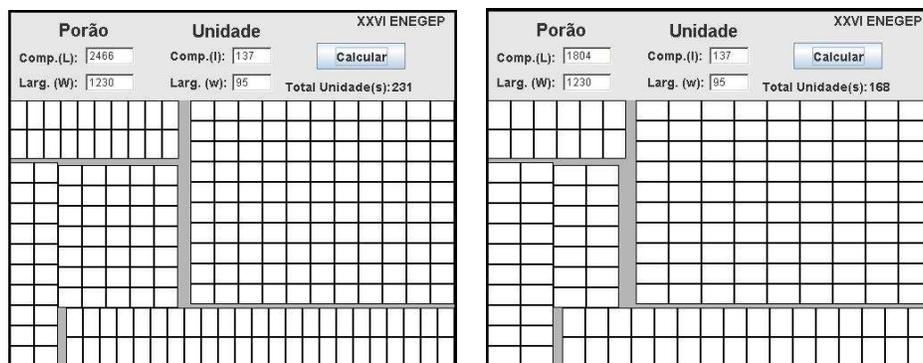


Figura 3 – Plano de estivagem produzido pela heurística de 5 blocos

5. Conclusões e recomendações

Este trabalho abordou o problema da estivagem de unidades de celulose (PEUC). O objetivo foi realizar uma comparação do que vem sendo realizado na prática, com os resultados produzidos por heurísticas de bloco. Além disso, foi implementada uma ferramenta em *Java* que permite rapidamente gerar os padrões de estivagem.

Verificou-se que a heurística de cinco blocos produz planos de estivagem mais otimizados que os realizados na prática, em um tempo computacional inferior a 1 segundo. Isso pode aumentar produtividade nos portos brasileiros, além de permitir uma redução dos custos logísticos envolvidos.

Referências

- ALVAREZ-VALDES, R.; PARREÑO, F. & TAMARIT, J. M. *A Branch-and-Cut Algorithm for the Pallet Loading Problem*. Computer and Operations Research. Vol. 32, n. 11, p. 3007-3029, 2005.
- BEASLEY, J. *An Exact Two-Dimensional non Guillotine Cutting Tree Search Procedure*. Operations Research. Vol. 33, p. 49-64, 1985.
- BISCHOFF, E.E. & DOWSLAND, W.B. *An Application of the Micro to Product Design and Distribution*. Journal of the Operational Research Society. Vol. 33, p. 271-281, 1982.
- BRANCH, A. E. *Elements of Shipping*. 7. ed. Cheltenham: Nelson Thornes, 1996.
- DOWSLAND, K. *An exact algorithm for the pallet loading problem*. European Journal of Operational Research. Vol. 31, p. 78-84, 1987.
- DYCKHOFF, H. *A Typology of Cutting and Packing Problems*. European Journal of Operational Research. Vol. 44, p. 145-159, 1990.
- HANDABAKA, A. R. *Gestão logística da distribuição física internacional*. São Paulo: Maltese, 1994.
- HODGSON, T. *A combined approach to the pallet loading problem*. IIE Transactions. Vol. 14, n. 3, p. 176-182, 1982.
- MARTINS, G. H. *A Packing in Two and Three Dimensions*. Monterey, CA, EUA. Dissertation. Naval Postgraduate School, 2003.
- PUREZA, V. & MORABITO, R. *Some experiments with a simple tabu search algorithm for the manufacturer's pallet loading problem*. Computers and Operations Research, 2005. To appear.
- RIBEIRO, G. M. & LORENA, L. A. N. *Análise da estivagem de unidade de celulose utilizando Relaxação Lagrangeana*. Anais do XIX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte, ANPET Vol. 2, p. 1616-1627, 2005.
- SCHEITHAUER, G. & TERNO, J. *The G4-heuristic for the pallet loading problem*. Journal of the Operational Research Society. Vol. 47, p. 511-522, 1996.
- SMITH, A. & DE CANI, P. *An Algorithm to Optimize the Layout of Boxes in Pallets*. Journal of the Operational Research Society. Vol. 31, p. 573-578, 1980.
- STEUDEL, H.J. *Generating Pallet Loading Patterns: a Special Case of the Two- Dimensional Cutting Stock Problem*. Management Science. Vol. 25, p. 997-1004, 1979.
- YOUNG-GUN, G. & MAING-KYU, K. *A fast algorithm for two-dimensional pallet loading problems of large size*. European Journal of the Operational Research. Vol. 134, p. 193-202, 2001.