

HEURÍSTICA PARA ELABORAÇÃO DE PLANO DE ESTIVAGEM DE PLACAS DE AÇO EM NAVIOS¹

Daniella G. Barros S. de Queiroz²

José Custódio Barros de Oliveira³

Renata Sarmento Leal⁵

José Eugênio Leal⁴

O trabalho aborda o problema da elaboração de Plano de Estivagem de Placas de Aço em navios. O Plano de Estivagem é muito importante para agilizar o processo de carregamento de navios e reduzir o tempo (laytime) utilizado pelos mesmos no porto. Um dos fatores que pode reduzir o tempo de permanência dos navios no porto e, conseqüentemente, reduzir os custos de estadia do navio, é uma metodologia de elaboração do Plano de Estivagem que torne o processo de estivagem mais rápido, ágil e preciso. O estudo de caso é na Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST – Arcelor Brasil). A partir do levantamento dos procedimentos atualmente utilizados, foi desenvolvida uma heurística para elaboração de Planos de Estivagem. A heurística desenvolvida foi dividida em duas etapas. Na primeira etapa, as placas de aço são distribuídas pelos porões do navio respeitando a capacidade do mesmo e, na segunda etapa, é determinado o layout das placas em cada porão. A heurística proposta foi implementada em um ambiente de programação C.

Palavras Chave: Plano de Estivagem, logística, heurística, problema de empacotamento.

¹ Trabalho apresentado no XXV Seminário de Logística – 21 a 23 de Junho de 2006 – Santos – SP

² Executiva de Logística da CST-Arcelor Brasil

³ Analista de Logística da CST-Arcelor Brasil

⁴ Engenheira Civil, Mestre em Engenharia de Produção pela PUC-Rio

⁵ Doutor em Engenharia de Transportes pela Universidade Técnica de Berlim, Professor da PUC-Rio.

1 Introdução

A CST-Arcelor Brasil é uma grande exportadora de placas e bobinas a quente de aço. As placas de aço da CST são enviadas ao mercado externo via transporte marítimo, principalmente pelo Terminal de Produtos Siderúrgicos do Porto de Praia Mole (TPS), localizado a 8 km da usina.

Dentre as despesas que influenciam no valor do custo de embarque das placas no terminal, podem ser citados:

- Despesas com estivadores/conferentes;
- Transporte da usina ao porto;
- Peação (amarração da carga);
- Empilhadeiras;
- Demurrage/Despatch, entre outros.

O fator principal para aumento dos custos de embarque das placas é o custo de demurrage não orçado. O demurrage é uma multa paga pelo Afretador ao Armador devido à retenção do navio no porto além do prazo estabelecido para embarque e desembarque de carga. Um dos fatores que pode reduzir o tempo de permanência dos navios no porto e, conseqüentemente, reduzir os custos de estadia do navio, é uma metodologia de elaboração do Plano de Estivagem que torne o processo de estivagem mais rápido, ágil e preciso.

Atualmente, o Plano de Estivagem é feito manualmente por uma empresa terceirizada, tornando o processo uma tarefa difícil e demorada (cerca de 4 horas), devido às inúmeras restrições físicas e operacionais que devem ser obedecidas.

Por ser um serviço terceirizado, a CST confia nos planos elaborados, mas não tem controle sobre a metodologia utilizada para elaboração dos mesmos. Além disso, não foram encontrados, na literatura, estudos abordando o tema de Estivagem de placas de aço em navios, sendo os estudos existentes limitados ao carregamento de caixas em paletes, caixas em contêineres e contêineres em navio.

1.1 Objetivos

O objetivo deste estudo é criar um procedimento para elaboração do Plano de Estivagem de placas de aço, de forma a agilizar o processo, ou seja, gerar Planos de Estivagem de uma forma rápida, confiável e transparente. A metodologia proposta deve evitar a mistura de itens (placas diferentes) no porão, levando em consideração a forma de carregamento e as dimensões do mesmo.

1.2 Delimitação do problema

O presente estudo está focado no caso de Estivagem Convencional de placa de aço com mesma espessura (200, 225 ou 250mm). Os porões do navio são considerados com seção horizontal retangular. O Plano de Carga funciona como restrição de capacidade do porão. Pode-se ter, em um navio, cargas de um ou mais clientes, sendo que essas não podem ocupar o mesmo porão. A ordem de carregamento dos porões é estabelecida pelo comandante do navio, porém a forma de carregamento de cada porão é determinada pela heurística desenvolvida.

2 Estivagem das placas de aço em navios

A partir da atracação do navio, inicia-se o processo de carregamento da carga. O comandante do navio fornece à CST-Arcelor Brasil um Plano de Carga (*Pre-stowage plan*), no qual fica determinado a quantidade de carga, em toneladas, que deverá ser colocada em cada porão.

Baseado no Plano de Carga, a CST elabora o Plano de Estivagem, que consiste em distribuir as placas e determinar o layout das mesmas no porão.

Atualmente, a CST-Arcelor Brasil utiliza dois tipos de estivagem: Convencional e Vertical.

- *Convencional*: Consiste em colocar as placas em camadas horizontais, lastreando toda a área do porão (figuras 1 e 2);
- *Vertical*: Consiste em estivar as placas em pilhas (figura 3).

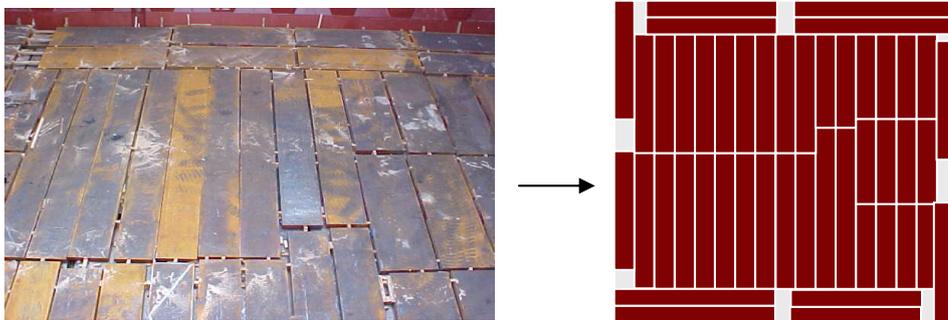


Figura 1 Estivagem das placas pelo método convencional (porão intermediário)

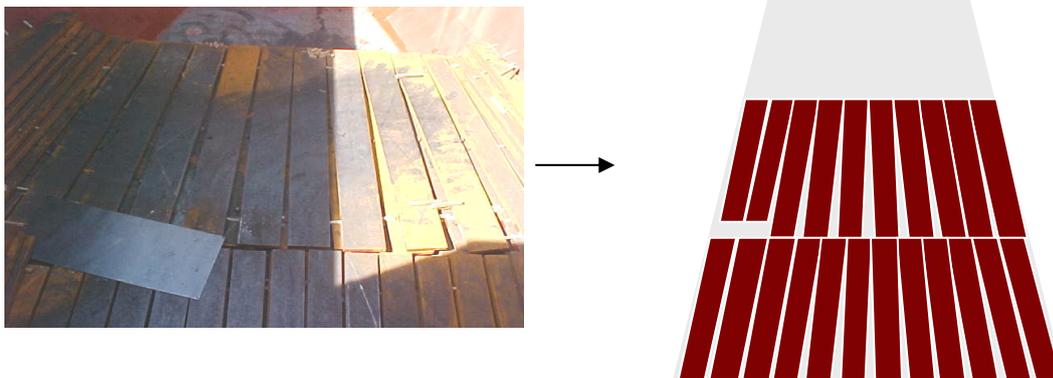


Figura 2 Estivagem das placas pelo método convencional (porão de extremidade - popa/proa)



Figura 3 Estivagem das placas pelo método vertical

O comandante do navio é quem determina a ordem de carregamento dos porões. Geralmente, são carregados dois porões simultaneamente. Essa medida é tomada para evitar que a movimentação da carga afete a estabilidade do navio.

A peçação (amarração) das placas no navio é feita utilizando-se calços (entre placa e piso) e roletes (entre placas) de madeira, conforme a figura 4.

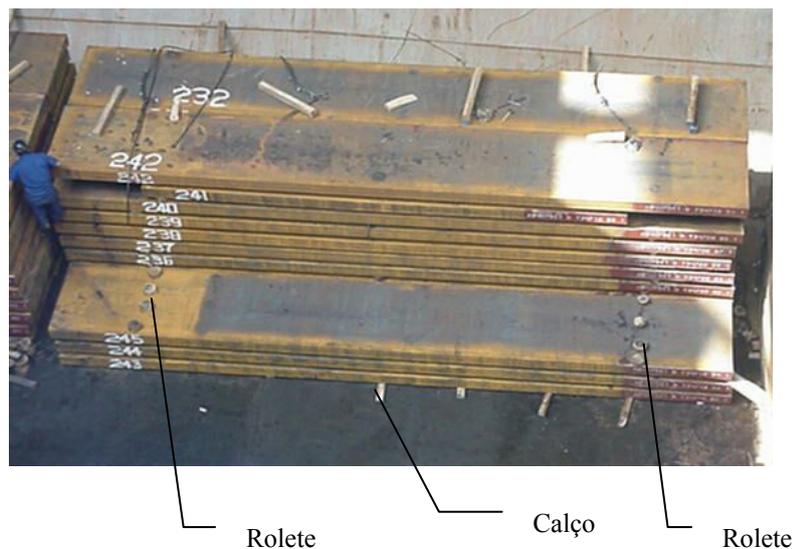


Figura 4 Peçação das placas utilizando calços e roletes

O Plano de Estivagem é de fundamental importância para aumentar a velocidade de embarque da carga, e conseqüentemente, diminuir a permanência do navio em operação, o que acarreta menores custos de estadia do próprio navio e dos demais navios que aguardam para atracar, e impacta positivamente o custo de embarque.

O aumento da taxa de carregamento do navio decorre de um maior planejamento de embarque, permitindo que os navios trabalhem sem interrupção de carga. Para isso, independente da chegada do navio ao porto, as cargas devem ser transferidas da área de produção da Usina para o Pátio do porto tão logo os lotes seja concluídos.

3 Método Heurístico para Elaboração de Plano de Estivagem de Placas de Aço

O método proposto foi desenvolvido com base nos conhecimentos adquiridos por meio de entrevistas informais com os profissionais da CST e com os profissionais da empresa que elabora os Planos de Estivagem para a CST.

A heurística proposta para o Problema de Estivagem de Placa de Aço foi dividida em duas etapas:

- Distribuição dos itens pelos porões;
- Determinação do layout dos itens no porão.

3.1 Definições importantes

A seguir serão dadas algumas definições importantes para o entendimento da heurística:

- Proa – direção em que o navio está navegando (parte anterior do navio);
- Boreste – metade direita da embarcação olhando-se para a Proa;
- Bombordo – metade esquerda da embarcação olhando-se para a Proa;
- Popa – parte posterior do navio;
- Hatch – escotilha (abertura na parte superior do porão – tampa);
- “Boca” do porão – região do porão correspondente a área delimitada pela abertura da escotilha;
- “Fora de boca” do porão – região do porão corresponde a área que não é acessível diretamente pela abertura da escotilha.

3.2 Dados de entrada do algoritmo

Para a realização das etapas propostas são necessários os seguintes dados:

- Variedade de itens no pedido;
- Quantidade de cada item;
- Peso do item (toneladas);
- Dimensões do item (comprimento, largura e espessura) (metro);
- Altura/espessura do rolete/calço (metro);
- Quantidade de porões (j);
- Capacidade de cada porão (toneladas);
- Dimensões do porão (comprimento, largura, altura) (metros);
- Dimensões da abertura da escotilha (comprimento e largura)(metro);
- Ordem de carregamento dos porões;
- Resistência do piso do porão (t/m^2).

3.3 Descrição da Metodologia da Heurística

O primeiro passo da heurística consiste em distribuir as placas de aço pelos porões do navio respeitando o Plano de Carga da embarcação e a ordem de carregamento dos porões pré-estabelecida pelo comandante do navio.

No segundo passo, o porão é dividido em 5 regiões: lastro, região A, região B, região C e 2º lastro. A seguir, é feita a determinação do layout para as cinco (05) primeiras camadas de carregamento, cujas as dimensões calculadas levam em consideração

a inclinação de 45° existente no porão até uma altura de 5 metros. O layout das placas nos porões é determinado de forma que as regiões do “fora de boca” do porão (lastro, 2º lastro e regiões A e C da heurística) sejam carregadas por meio de empilhadeiras e a região da “boca” do porão (região B da heurística) seja carregada diretamente pelo guindaste do porto. A distribuição das placas da região denominada na heurística de 2º lastro é feita de forma a maximizar a utilização do espaço do porão no sentido Popa-Proa do navio a fim de evitar grandes espaços vazios nesta região.

As demais camadas de carregamento a serem carregadas são determinadas conforme a relação entre a quantidade total de placas que ainda não foram embarcadas no porão e a quantidade total de placas embarcadas última camada carregada.

3.3.1 Distribuição dos Itens

▪ Agrupamento dos itens

Baseado nos dados de entrada, a heurística proposta agrupa os itens conforme a ordem decrescente de comprimento. Havendo mais de um item com mesmo comprimento, eles são agrupados em ordem decrescente de largura e quantidade, respectivamente.

▪ Distribuição dos itens pelos porões

Feito o ordenamento dos itens, aplicaremos o “Bin Packing Next Fit”. O “Next Fit” é uma sub-divisão do “Bin Packing” no qual o primeiro objeto (placa) da lista é alocado em um bin (porão). Os demais objetos (placas) são colocados neste mesmo bin (porão) até a capacidade do mesmo ser alcançada. Assim que a restrição de capacidade é atingida, um novo bin (porão) é aberto e continua-se o empacotamento dos objetos (placas).

Vale ressaltar que para poder serem “empacotados” (carregados) em determinado porão, as dimensões dos itens (comprimento e largura) têm que ser menores do que as dimensões da escotilha do porão.

3.3.2 Determinação do layout das placas no porão

▪ Ranqueamento dos itens

Nesta etapa, os itens serão ranqueados conforme os seguintes critérios:

- Ordem decrescente de largura. Havendo empate,
- Ordem decrescente de comprimento. Ocorrendo empate,
- Ordem decrescente de quantidade.

▪ Determinação das dimensões das camadas a serem carregadas

O lado do porão possui uma inclinação de 45° no sentido popa-proa do navio até uma altura do porão de 5 metros e, por isso, será levada em consideração uma variação na largura das camadas de carregamento até uma altura de 5m.

A princípio, serão geradas as dimensões das primeiras cinco (05) camadas de carregamento uma vez que essa é uma restrição em relação a altura máxima de

empilhamento da empilhadeira que fica dentro do porão do navio para o carregamento da carga. Também será considerada a altura dos roletes de madeira nos quais as placas ficam apoiadas, conforme mostrado na figura 5.

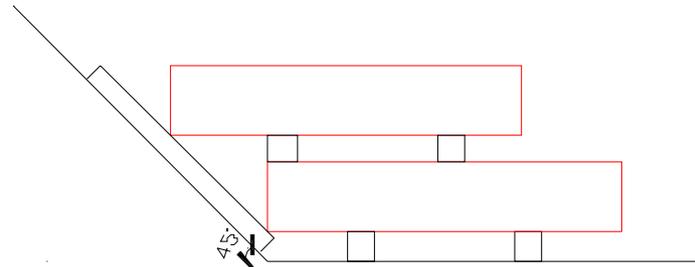


Figura 5 Seção Transversal do porão

3.3.3 Lastreamento do porão

Lastrear o porão significa preencher o perímetro do mesmo. O carregamento do lastro do porão foi dividido em duas etapas. Na primeira etapa é feita a distribuição das placas nas extremidades do porão. Na etapa seguinte é feito o carregamento do restante do lastro.

3.3.3.1 Distribuição dos itens nas extremidades do porão

Na primeira camada de carregamento as placas são alocadas nos cantos do porão, no sentido anti-horário; Para esse procedimento é escolhido o item melhor ranqueado conforme critérios definidos anteriormente. Se a quantidade do item melhor ranqueado não for suficiente para preencher o lastro das camadas atuais de carregamento, então se verifica a possibilidade de preenchimento do lastro com outros itens alocados no porão, respeitando o ranqueamento dos mesmos.

Esse procedimento é repetido para as outras 4 camadas de carregamento. O sentido de rotação das placas nas camadas é alternado entre anti-horário (nas camadas ímpares) e horário (nas camadas pares).

3.3.3.2 Carregamento do restante do lastro do porão

Distribuídas as placas pelos cantos do porão, a heurística verifica se é possível alocar mais alguma placa lastreando o porão. Se não for possível utilizar o item que está sendo carregado, verifica-se se outro item alocado neste porão pode ser utilizado para completar o lastreamento, respeitando o ranqueamento dos itens.

3.4 Resumo da heurística

Os passos da heurística estão apresentados na figura 6.

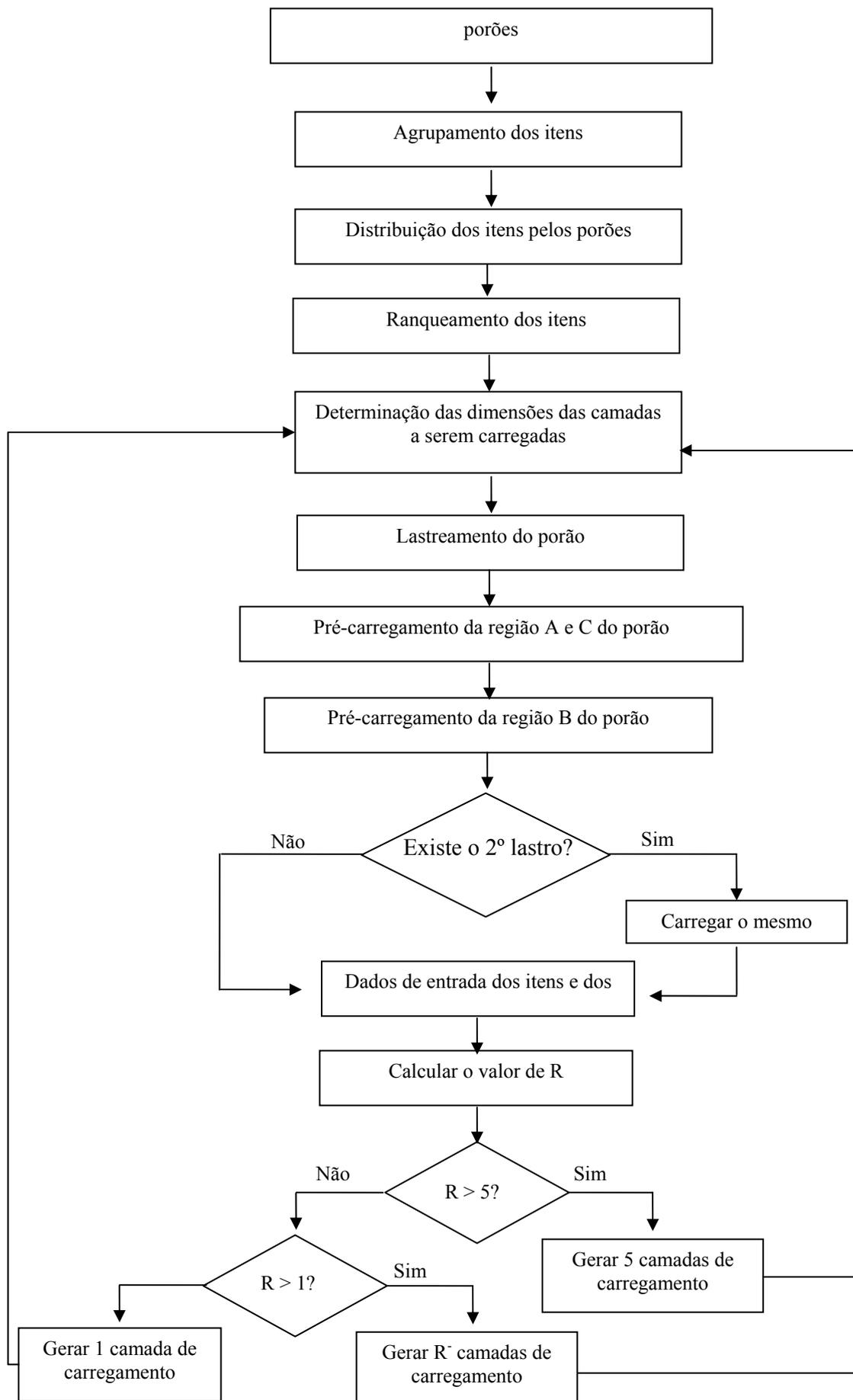


Figura 6 Passos da Heurística de Estivagem de Placas

3.5 Teste da heurística

A heurística foi testada para quatro carregamentos distintos. Foram gerados os Planos de Estivagem para os navios Konkar Lydia, Fedral Agno, Norsul Crateus e Olympic Menot.

Além de gerar o layout de cada porão do navio, o método proposto gera, como dados de saída, uma planilha contendo qual e quantas placas foram carregadas em um determinado porão, o peso total da carga embarcada, o peso pré-determinado para o porão (capacidade do porão que é um dado de entrada do problema) e peso calculado para cada porão. O peso calculado de cada porão é a quantidade máxima de carga que pode ser embarcada em cada porão levando em consideração a resistência do piso do porão.

O método proposto, como todo método heurístico, não garante que o resultado obtido seja ótimo, porém retorna soluções de boa qualidade em um tempo muito inferior em relação ao atual processo de elaboração de Plano de Estivagem utilizado pela CST-Arcelor Brasil.

4 Conclusões e Recomendações

Este trabalho propôs um procedimento heurístico para auxílio na elaboração de Plano de Estivagem de placas de aço em navio. O objetivo principal da heurística é gerar o Plano de Estivagem de forma rápida, confiável e transparente, respeitando as restrições existentes e evitando, sempre que possível, a mistura dos itens (placas) embarcados em um determinado porão durante o carregamento. A grande dificuldade encontrada no desenvolvimento desse trabalho foi escassez de estudos sobre o tema.

Os resultados obtidos nos testes foram bastante satisfatórios, uma vez que, as restrições impostas foram obedecidas e os Planos de Estivagens foram gerados de forma rápida, confiável e transparente.

Podemos considerar como ponto positivo deste trabalho a confiabilidade e a rapidez na sua elaboração, fatores estes que são bastante relevantes, pois torna o processo de estivagem mais rápido reduzindo o tempo de permanência do navio em operação, o que acarreta menores custos de estadia do próprio navio e dos demais navios em cascata que aguardam na barra.

Para trabalhos futuros sugere-se:

- O desenvolvimento de uma heurística para a elaboração de Plano de Estivagem para o carregamento dos porões das extremidades do navio (Popa e Proa) que possuem seção trapezoidal;
- A partir dos resultados obtidos neste trabalho, elaborar uma forma de armazenar as placas no pátio de estocagem de forma a diminuir o laytime dos navios no porto;
- Estudar o caso de Estivagem de placas de aço com espessuras diferentes. Por ser um problema mais complexo, verificar a possibilidade de utilização de uma meta-heurística;

5 Referências Bibliográficas

BISCHOFF, E.; DOWSLAND, W. B. **An application of the micro to product design and distribution**. Operational Research Society, vol. 33, 1982, p. 271-280.

BISCHOFF, E. E.; JANETZ, F.; RATCLIFF, M.S.W. **Loading pallets with non-identical items**. European Journal of Operational Research, vol. 84, 1995, p. 681-692.

CECILIO, F. O.; MORABITO, R. **Heurística para o problema de carregamento de carga dentro de contêineres**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2003, Natal. Anais em CD-ROM: XXXV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2003.

DYCKOFF, H. **A typology of cutting and packing problems**. European Journal of Operational Research, vol. 44, 1990, p. 145-159.

GONZAGA, C.S.M; BITTENCOURT, V.G.; ALOISE, D.J. **Uma heurística de Suavização de superfícies irregulares para a solução do problema bin packing 3D**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2003, Natal. Anais em CD-ROM: XXXV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2003.

HINO, C. M. **Desenvolvimento de métodos para elaboração de modelos heurísticos de designação e sequenciamento de planos de estivagem de navios porta-contêineres**. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, USP. São Paulo, 1999. 221 p.

OLIVEIRA, E. S. **Problema de carregamento de pallets: uma abordagem via algoritmo genético**. Dissertação de Mestrado - PPGI, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 1997. 109 p.

Abstract

This study considers the problem of elaborating Slabs Stowage Plan elaboration in ships, for international markets. The stowage plan is very important for shipment agility and reduction of the laytime used by the ships in the port. A case study was developed at Companhia Siderúrgica de Tubarão – CST/Arcelor Brasil. Based on the procedure used today, a heuristic solution is proposed for Slab Stowage Plan on the Steel Products Terminal (TPS) located at the port of Praia Mole. The heuristic was divided in two parts. In the first part, respecting holds capacities, slabs are distributed along the holds and in the second part the slabs layout in each hold is determinate. The proposed heuristic was implemented in a C programming language.

Keywords: Stowage Plan, logistics, heuristic, packing problem