



RENATA SARMENTO LEAL

**Heurística para elaboração de Plano de Estivagem de
placas de aço em navio**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da PUC-Rio.

Orientador: Prof. José Eugênio Leal

Rio de Janeiro, julho de 2005.



Renata Sarmento Leal

**Heurística para elaboração de Plano de Estivagem de
placas de aço em navio**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. José Eugênio Leal

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Prof. Luiz Felipe Roris Rodriguez Scavarda do Carmo

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Prof. Elias Silva de Oliveira

Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

Daniella Gonçalves de Barros S. de Queiroz

Companhia Siderúrgica de Tubarão

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 25 de julho de 2005.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Renata Sarmento Leal

Graduou-se em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

Ficha Catalográfica

Leal, Renata Sarmento

Heurística para elaboração de plano de estivagem de placas de aço em navio / Renata Sarmento Leal; orientador: José Eugênio Leal. – Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Engenharia Industrial, 2005.

91 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial .

Inclui referências bibliográficas

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Plano de estivagem. 3. Logística. 4. Heurística. 5. Problema de empacotamento. I. Leal, José Eugênio. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial . III. Título.

CDD: 658.5

Ao meu avó Helio (*in memorian*) e minha avó Dedé por sempre estarem presentes
em minha vida

Agradecimentos

Superar mais um desafio não foi uma das tarefas mais fáceis. Chegar ao final seria praticamente impossível sem o apoio da família e dos amigos. Pretendo aqui demonstrar meus sinceros agradecimentos a estas pessoas:

A Deus que iluminou meu caminho durante essa jornada;

Aos meus pais, Jorge e Darcilana, aos meus irmãos Aninha, Renato e Jorgeana, a Gugu, tia Nara, tio Duda, tia Ana, vovó Dalva e vovô Jasson por terem me apoiado durante o curso e principalmente por agüentaram minhas constantes crises nervosas e de mau-humor.

A tia Maria do Carmo pelo carinho e atenção;

As amigas Fernadinha, Maris, Rochely por terem sido realmente AMIGAS nesses últimos meses de dissertação;

A Alba e família pelo carinho, amizade e companheirismo durante a estada no Rio de Janeiro;

Ao meu professor e orientador José Eugênio, pela calma e paciência nos meus momentos de pânico!

Aos colegas de PUC, Natasa, Alessandra, Dudu e Fabio por terem tornado as horas de estudo na “favelinha” menos estressantes;

A CST por viabilizar o desenvolvimento dessa dissertação, em especial a Daniella e Custódio, pelo apoio, interesse e otimismo em relação ao desenvolvimento do trabalho e por terem colocado seus preciosos tempos a minha disposição para esclarecimento de dúvidas e troca de idéias;

A Niltinho e Bartira pelas palavras de consolo nos momentos difíceis e pelo incentivo. Sem vocês essa dissertação poderia não ter terminado!!!!

As amigas Aline, Débora, Braga, Andréia, Marília, D’ros, Sara, Danielly, Adriana, Bob e Fabis que de certa forma contribuíram para a finalização deste trabalho.

Aos funcionários, professores e colegas da PUC pelo apoio e confiança;

À CAPES pelo apoio financeiro concedido.

Resumo

Leal, Renata Sarmento; Leal, José Eugenio. **Heurística para elaboração de Plano de Estivagem de placas de aço em navio**. Rio de Janeiro, 2005. 91p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Essa dissertação aborda o problema da elaboração de Plano de Estivagem de Placas de Aço, em navios, para o mercado externo. O Plano de Estivagem é muito importante para agilizar o processo de carregamento de navios e reduzir o *laytime* utilizados por esses no porto. O estudo de caso é na Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST). A partir do levantamento dos procedimentos atualmente utilizados, foi desenvolvida uma heurística para elaboração de Planos de Estivagem no Terminal de Produtos Siderúrgicos do Porto de Praia Mole. 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.

Abstract

Leal, Renata Sarmento; Leal, José Eugenio. **Heuristic for Slabs Stowage Plan elaboration in ships**. Rio de Janeiro, 2005. 91p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

This thesis 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). 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

Sumário

1 INTRODUÇÃO	12
1.1. Introdução	12
1.2. Conceituação do problema	13
1.3. Objetivos	13
1.4. Delimitação do problema	14
1.5. Composição da dissertação	14
ESTUDO DE CASO	15
2.1. A empresa	15
2.2. Produção de placas e bobinas	15
2.3. Etapas do processo de vendas	16
2.4. Transporte de placas e bobinas	18
2.5. Afretamento de navios	19
2.6. Estivagem das placas de aço em navios	21
3 REVISÃO BIBLIGRÁFICA	25
3.1. Carregamento de <i>pallets</i>	26
3.2. Carregamento de contêiner	35
3.3. Carregamento de contêineres em navio	45
4 MÉTODO HEURÍSTICO PARA ELABORAÇÃO DE PLANO DE ESTIVAGEM DE PLACA DE AÇO	55
4.1. Definições importantes	55
4.2. Dados de entrada do algoritmo	56
4.3. Distribuição dos itens pelos porões	57
4.3.1. Agrupamento dos itens	57
4.3.2. Distribuição dos itens pelos porões	57
4.4. Determinação do <i>layout</i> das placas no porão	57
4.4.1. Ranqueamento dos itens	57
4.4.2. Determinação das dimensões das camadas a serem carregadas	58
4.4.3. Lastreamento do porão	61
4.4.3.1. Distribuição dos itens nas extremidades do porão	61
4.4.3.2. Carregamento do restante do lastro do porão	63
4.4.4. Carregamento da parte central do porão	67
4.4.4.1. Pré-carregamento das regiões A e C	68
4.4.4.2. Pré-carregamento da região B	69
4.4.4.3. Carregamento do 2º lastro	70
4.4.4.4. Procedimento para carregamento da parte central do porão	70
4.5. Resumo da heurística	80
4.6. Teste da heurística	82
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	83
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
APÊNDICE A	86

Lista de figuras

Figura 1 – Etapas do processo de vendas	17
Figura 2 – Modais utilizados no transporte de placas e bobinas para o Mercado Interno e Externo	18
Figura 3 – Terminal de Produtos Siderúrgicos do Porto de Praia Mole....	19
Figura 4 – Empilhadeiras utilizadas no carregamento das placas de aço nos navios	19
Figura 5 – Estivagem das placas pelo método convencional em um porão intermediário.....	21
Figura 6 – Estivagem das placas pelo método convencional em um porão de extremidade (popa/proa)	22
Figura 7 – Estivagem das placas pelo método vertical	22
Figura 8 – Peação das placas utilizando calços e roletes	23
Figura 9 – Processo padrão de geração para dois blocos	27
Figura 10 – Exemplo de carregamento com 2 tipos de caixa.....	28
Figura 11– Exemplo de carregamento com 1 tipo de caixa com orientação diferente	29
Figura 12 – Vista superior e lateral do carregamento com 2 tipos de caixa	30
Figura 13 – Geração de superfície de carregamento	30
Figura 14 – Flixograma da heurística de Bischoff	32
Figura 15 – 1ª e 2ª etapas da heurística de Steudel	33
Figura 16 – <i>Layout</i> gerado pela heurística de Smith e de Cani.....	33
Figura 17– Divisão do <i>pallet</i> em 5 regiões	34
Figura 18 – Carregamento do contêiner por camada.....	36
Figura 19 – Largura Flexível.....	39
Figura 20 – Os novos espaços para carregamento.....	40
Figura 21– Versão arranjo da Heurística de George e Robinson.....	43
Figura 22 – Versão camada da heurística de George e Robinson.....	44
Figura 23 – Composição das <i>bays</i>	46
Figura 24 – Arranjo das <i>bays</i> do navio Columbus Olivos	47
Figura 25 – Formação de blocos de carga	47
Figura 26 – Blocos de espaço de carga	49
Figura 27 – Alocação de contêineres nos respectivos <i>slots</i>	50
Figura 28 – Sentido de preenchimento das <i>cells</i> de uma determinada <i>bay</i>	52
Figura 29 – Definições	55
Figura 30 – Vista superior das Regiões da “boca” e do “fora de boca” do porão	56
Figura 31 – Inclinação de 45° no lado do porão no sentido popa-proa	58
Figura 32 – Seção transversal do porão	59
Figura 33 – Alocação das placas nos cantos do porão no sentido anti-horário	63
Figura 34 – Cálculo de P	63
Figura 35 – Carregamento do lastro.....	66
Figura 36 – Divisão da parte central do porão em regiões.....	67
Figura 37 – Pré-carregamento e Carregamento Definitivo.....	68
Figura 38 – Vista lateral do carregamento de duas pilhas de placas nas Regiões A e C	69

Figura 39 – Vista lateral de duas pilhas de placas carregadas na Região C	69
Figura 40 – Cálculo de MI	70
Figura 41 – Carregamento da região B	72
Figura 42 – Cálculo de x	73
Figura 43 – Divisão do 2º lastro do porão em 2 regiões nos casos em que $z > 1$ e a camada de carregamento é ímpar	75
Figura 44 – Divisão do 2º lastro do porão em 2 regiões nos casos em que $z > 1$ e a camada de carregamento é par.....	75
Figura 45 – Definição das distâncias D1 e D2.....	76
Figura 46 – $y > l_p$	77
Figura 47 – $y < l_p$	77
Figura 48 – Alocação das placas no 2º lastro do porão para $z=2$	78
Figura 49 – Posição final das placas da região paralela a Proa.....	79
Figura 50 – Resumo da heurística	81

Lista de tabelas

Tabela 1 – Dimensões das placas	15
Tabela 2 – Custo de estiva por período	24
Tabela 3 – Critérios de desempate	37
Tabela 4 – Cálculo do “espaço que sobra”	74
Tabela 5 – Distância de deslocamento	79