



Ricardo Antonio Ramos

**Um sistema para auxílio no seqüenciamento
de um laminador de tiras a quente em uma
usina siderúrgica integrada**

Dissertação de Mestrado

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

Orientador: Prof. Leonardo Junqueira Lustosa

Rio de Janeiro
Agosto de 2002



Ricardo Antonio Ramos

**Um sistema para auxílio no seqüenciamento
de um laminador de tiras a quente em uma
usina siderúrgica integrada**

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

Prof. Leonardo Junqueira Lustosa

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Prof. Nélio Domingues Pizzolato

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Prof. José Carlos D'abreu

Departamento de Ciências dos Materiais e Metalurgia – PUC-Rio

Rio de janeiro, 30 de agosto de 2002

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

Ricardo Antonio Ramos

Graduou-se em Engenharia Mecânica na Universidade Federal do Espírito Santo em 1999. Trabalhou por um ano na Tecmaran consultoria e planejamento. Atualmente trabalha na EPC engenharia prestando serviços de engenharia industrial para a Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST), em Vitória, ES e leciona administração da produção na Faculdade Pio XII. Tem como áreas de interesse: Programação e Controle da Produção, Logística e cadeias de Suprimentos, Administração da Produção, Docência nas áreas afins.

Ramos, Ricardo Antonio

Um sistema para auxílio no seqüenciamento de um laminador de tiras a quente em uma usina siderúrgica integrada / Ricardo Antonio Ramos ; orientador: Leonardo Junqueira Lustosa. – Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Engenharia Industrial, 2002.

[12], 81 f. : il. ; 30 cm

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

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Seqüenciamento da Produção. 3. Siderúrgica integrada. 4. Laminador de tiras a quente. 5. Otimização. 6. Produtividade. I. Lustosa, Leonardo Junqueira. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, principalmente a meus pais, que de tudo fizeram para que mais esta vitória fosse alcançada, dentre as muitas já ocorridas comigo e com meus sete irmãos. Infelizmente, meu pai não pode presenciar este momento, por pouco, mas tenho certeza que de onde ele estiver, lá em cima, está muito orgulhoso de todos da família aqui em baixo.

AGRADECIMENTOS

Para alcançar esta grande vitória de minha vida percorri um longo e difícil caminho. Chegar ao final desta caminhada seria impossível sem o apoio importantíssimo de algumas pessoas e instituições às quais serei eternamente grato. Pretendo aqui demonstrar a estes os meus sinceros agradecimentos.

Agradeço, primeiramente, a Deus.

Ao meu orientador e Professor Leonardo Junqueira Lustosa que foi, acima de tudo, bastante paciente e atencioso. Sob suas orientações aprendi muito, tanto no que diz respeito a ensino, pesquisa e trabalho, quanto para crescimento como ser humano. Obrigado Léo.

A CAPES pelo apoio financeiro.

A minha irmã Rúbia (minha segunda mãe), que me acolheu com exagerado carinho em sua casa no Rio de Janeiro. Sem seu apoio a minha estada nesta cidade seria muito difícil.

A meu cunhado Marco Aurélio, acima de tudo pelo carinho, paciência e ótima receptividade.

A minhas sobrinhas Thais, Isadora e Fernanda, que me proporcionaram muita diversão e alegria durante estes dois anos de estudos no Rio.

A Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST), que apoiou e recebeu minha proposta de estudo de caso com extremo interesse.

Aos especialistas da CST, pela excelente receptividade e interesse depositado ao estudo e por disporem de seus valiosos tempos ao se colocarem a minha disposição para retirada dúvidas.

Agradeço especialmente ao gerente da divisão de engenharia de produção da CST, Álvaro Ribeiro, pelo seu total apoio, interesse, otimismo e visão deste estudo. Também pela paciência que teve comigo.

A quem se tornou de especialista da CST a uma grande amiga pessoal, Danielle Leal Xavier, que em muito me ajudou durante os grandes problemas que tive no decorrer deste estudo. Obrigado Dani pelo grande carinho demonstrado por mim.

A meu grande mestre e, acima de tudo, amigo e incentivador Amauri Gonçalves Resende, pelos ensinamentos e ajudas indispensáveis à realização deste estudo.

A meu grande amigo pessoal e também especialista da CST, Alencar Avelar Scarpe (Que também alcançou o título de mestre através desta instituição orientado pelo Professor Leonardo Lustosa), pela força de sempre, carinho, paciência e amizade sincera.

Aos especialistas e meus grandes amigos da CST: Cristiana Gonçalves (Cris), Jarildo Francisco Pinho (Jajá), Júlio Armando, Gustavo Calvo Jerônimo, Sebastião Loures Linhares (Lili), Benedito Pedro Costhek e José Almeida Simões (Simon), que sempre me ajudaram de imediato quando houve necessidade. Obrigado pela amizade.

Aos professores do DEI e à Diretora Maria Ângela.

Aos funcionários do DEI, Cláudia, João, Izabel, Fernanda e Celi, pela grande educação, alegria, simpatia e atenção de sempre.

Aos colegas do curso de mestrado, em especial a Luis Gustavo Alcure (o praça) que, atrás de seu jeito despojado, é um ser humano e tanto, sempre disposto a ajudar e promover alegria ao próximo. Agradeço também pelo apoio em minha defesa.

A todos os meus irmãos e familiares que sempre me apoiaram para chegar ao final desta jornada. Agradeço com especial amor e carinho a estes dois fantásticos seres humanos que geraram outros seres humanos maravilhosos, mamãe e papai, por todo apoio emocional, financeiro, etc de sempre, que com certeza me dariam independente do caminho ‘benéfico’ que eu escolhesse seguir.

Aos amigos invencíveis de infância e de Campo Grande, meu bairro e aconchego em Vitória, onde sempre encontrava paz e sossego nos momentos estressantes durante o mestrado.

RESUMO

Ramos, Ricardo Antonio. **Um sistema para auxílio no seqüenciamento de um laminador de tiras a quente em uma usina siderúrgica integrada.** Rio de Janeiro, 2002. 81p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Esta dissertação apresenta um estudo de caso em seqüenciamento da produção de bobinas de aço em um laminador de tiras a quente com enforamento a frio das placas de aço. O laminador em questão é o da Companhia Siderúrgica de Tubarão, usina siderúrgica integrada localizada no estado do Espírito Santo, Brasil. A primeira vista o problema parece ser de tratamento complexo, tal como um problema combinatorial com restrições de difícil representatividade. Considerações para bons seqüenciamentos são comuns no forno de reaquecimento e no laminador desbastador, permitindo que as placas sejam seqüenciadas nesses dois equipamentos como se fossem um único estágio, para alguns grupos de produtos. Assim, o foco fica no seqüenciamento do estágio final do laminador (trem acabador). Inicialmente a idéia era resolver um ‘modelo da mochila compartimentada’ para selecionar as placas de aço a serem laminadas entre duas trocas consecutivas de cilindros de trabalho do trem acabador e usar algumas heurísticas para seqüenciá-las dentro de cada compartimento (faixa de largura). Um estudo do mix de produção planejado mostrou que, devido à grande variedade e quantidade de ordens, a fase de seleção não seria crítica e o seqüenciamento poderia ser feito semimanualmente com ajuda do computador. Para aumentar a vida útil dos cilindros de trabalho; atender a qualidade desejada e a data de entrega prometida, em uma boa seqüência de laminação de bobinas deve ocorrer decréscimo nas larguras e na qualidade superficial, trocas suaves de espessuras e de dureza. O sistema computacional proposto implementa um algoritmo simples que seqüencia lexicograficamente as bobinas de acordo com as prioridades dadas a cada critério de seqüenciamento pelo próprio programador da produção, que pode interagir e trocá-las de acordo com as condições prevalecentes.

Palavras-chave

Laminador de tiras a quente; siderúrgica integrada; problema combinatorial; seqüenciamento; mochila compartimentada; algoritmo; trem acabador.

ABSTRACT

Ramos, Ricardo Antonio. **A computer support system for sequencing a hot strip mill in an integrated steel plant.** Rio de Janeiro, 2002. 81p. MSc Dissertation – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This thesis reports a case study on scheduling the cold charged production of coils in a hot strip mill at Companhia Siderúrgica de Tubarão, a large integrated steel plant in Espírito Santo, Brazil. At first glance, the problem seems intractably complex, being essentially a very large-scale combinatorial problem with ill-defined and difficult to represent constraints. Considerations on the requirements for good sequencing at the reheating and roughing stages showed that they could be scheduled as a single stage for some groups of products, and in doing so, the focus could be on sequencing the finishing stage. Initially, the idea was to solve a ‘compartmented knapsack model’ for selecting the slabs to be processed between two consecutive changes of working rolls, and using some heuristics for sequencing within each compartment (width range). Examination of the projected product mix showed that, due to the large number and variety of orders, the selection phase was not critical, and the scheduling could be performed semi-manually with a simple computer aid. For extending the life of the working rolls, as well as attaining the desirable quality and promised dates, a good sequence must present decreasing width and surface quality, increasing promised dates, and smooth changes of thickness and hardness. The proposed computer system implements a simple algorithm that lexicographically sorts the set of products to be rolled according to priorities given to these criteria by the scheduler who can interactively change them according to the prevailing conditions.

Keywords

Hot strip mill; integrated steel plant; combinatorial problem; sequencing; compartmented knapsack model; algorithm; finishing stage.

Sumário

1.	Introdução	13
1.1.	CONCEITUAÇÃO DO PROBLEMA	13
1.2.	OBJETIVOS	15
1.3.	COMPOSIÇÃO DA DISSERTAÇÃO	16
2.	O processo de produção de tiras a quente em uma usina siderúrgica integrada a coque.	17
2.1.	ETAPAS DO PROCESSO	17
3.	Revisão Bibliográfica	28
3.1.	SISTEMAS E MÉTODOS PARA PLANEJAMENTO E SEQÜENCIAMENTO DA PRODUÇÃO INTEGRADA EM SIDERURGIA.	28
3.2.	ESTUDO DO SEQÜENCIAMENTO NA LINHA DE CHAPAS GROSSAS DA COSIPA	30
3.3.	PROBLEMA DE SEQÜENCIAMENTO DA PRODUÇÃO EM UM LAMINADOR DE TIRAS A QUENTE	31
4.	O Problema de Seqüenciamento Diário de Produção no Laminador de Tiras a Quente (PSDPLTQ) da Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST)	37
4.1.	ESTUDO DE CASO – DESCRIÇÃO DA EMPRESA	37
4.2.	PRODUTOS	37
4.3.	DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO CST	38
4.4.	FORMAÇÃO DAS SEQÜÊNCIAS NO LTQ	45
4.4.1.	PRÉ-SEQÜENCIAMENTO DE MÉDIO PRAZO DOS CAIXÕES DE LAMINAÇÃO	49
4.4.2.	SEQÜENCIAMENTO DE CURTO PRAZO DOS CAIXÕES DE LAMINAÇÃO	51
5.	Proposta do Sistema	58

5.1. DESCRIÇÃO DA PROPOSTA	58
5.2. ABORDAGEM	59
5.3. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	62
5.4. MÉTODO PROPOSTO	63
5.5. O SISTEMA PROTOTIPADO	64
5.6. TESTE DO SISTEMA	71
6. Conclusão	72
7. Referências Bibliográficas	74
Apêndice A - Principais características dos equipamentos do LTQ da CST	76
Apêndice B - Funcionamento geral do algoritmo proposto	80

Lista de abreviaturas e siglas

AC	- Aciaria
AF	- Alto-Forno
AI	- Artificial Intelligence
BI	- Break-In
BQ	- Bobina de Aço Laminada a Quente
BT	- Busca Tabu
CC-CCR	- Continuous Casting-Cold Charge Rolling
CC-DHCR	- Continuous Casting-Direct Hot Charge Rolling
CC-HCR	- Continuous Casting-Hot Charge Rolling
CC-HDR	- Continuous Casting-Hot Direct Rolling
CD	- Comming-Down
CO	- Monóxido de Carbono
COSIPA	- Companhia Siderúrgica Paulista
CSN	- Companhia Siderúrgica Nacional
CST	- Companhia Siderúrgica de Tubarão
CVRD	- Companhia Vale do Rio Doce
FR	- Forno de Reaquecimento de Placas de Aço
HSMPPSP	- Hot Strip Mill Production Scheduling Problem
IF	- Interticial Free
IRUT	- Injection Refinishing Up Temperature
LC	- Lingotamento Contínuo
LD	- Laminador de Desbaste ou Desbastador
LLCG	- Linha de Laminação de Chapas Grossas
LR	- Limite de Resistência
LS	- Linha de Subdivisão
LTQ	- Laminador de Tiras a Quente
LU	- Line Up
L&D	- Convertedor Linz e Donawitz
MLC	- Máquina de Lingotamento Contínuo
PB	- Product Block
PCV	- Problema do Caixeiro Viajante

PCVCP - Problema do Caixeiro Viajante Colecionador de Prêmios
PEP - Pátio de Estocagem de Placas
PSDPLTQ - Problema de Seqüenciamento Diário de Produção no
Laminador de Tiras a Quente
RH - Vacuum Degassing Ruhrstahl-Heraeus
TA - Trem Acabador
TS - Tabu Search
ULC - Ultra Low Carbon
WO - Wide-Out