

# OTIMIZAÇÃO DOS CUSTOS DE ESTOQUES E FRETES DE UMA EMPRESA SIDERÚRGICA EM UM CENÁRIO DE MULTI-MODALIDADE.<sup>1</sup>

Marcel Youzen Kikuchi Brunello<sup>2</sup>  
Solange Aparecida Machado<sup>3</sup>

## Resumo

O trabalho analisa a viabilidade da utilização do modal ferroviário em algumas operações logísticas de uma empresa do setor siderúrgico. Busca-se o aproveitamento da utilização do modal ferroviário em locais onde existe disponibilidade de infraestrutura ferroviária e rodoviária. Foi identificada uma usina da empresa para ser utilizada como piloto na modelagem. Apesar de existir uma malha ferroviária disponível para utilização, essa usina realiza o transporte de produtos acabados através de rodovias. A partir desse caso, é desenvolvido um modelo com objetivo de analisar a viabilidade da utilização da estrutura ferroviária no local. O modelo do estudo leva em consideração diversas variáveis, sendo as principais, os custo de estoque e frete. Através da interpretação e exploração dos resultados do modelo, a empresa consegue potencializar as reduções de custo de estoque e frete através da otimização da escolha do seu *mix* de transporte. Somente no caso piloto da usina AçoNordeste, a AF economiza anualmente mais de 105 mil reais em custos de frete e estoques. A solução ótima do sistema indica que o modal ferroviário deve ser implementado em 100% da operação. No entanto, observa-se que a solução ótima é relativamente sensível a variações no frete ferroviário e na cotação do aço. Verifica-se, na prática, a importância das parcerias públicos privadas. Através dessas parcerias, haveria aumento na oferta e disponibilidade de rotas ferroviárias. Além disso, esse investimento aceleraria ganhos de produtividade que poderiam provocar maiores reduções nos fretes ferroviários.

**Palavras-chave:** Programação Linear; Logística; Transportes; Ferrovia.

<sup>1</sup> XXIV Seminário de Logística, 16 e 17 de Junho de 2005, Belo Horizonte - MG

<sup>2</sup> Mestre em Processos Industriais – IPT

<sup>3</sup> Doutora em Engenharia de Produção pela EPUSP; Departamento de Economia e Engenharia de Sistemas (DEES) - IPT

O mercado de aço mundial está fortemente aquecido devido a uma grande elevação na demanda internacional. De acordo com o International Iron and Steel Institute (IISI), a China é o maior produtor de aço bruto do mundo com uma produção anual de mais de 272 milhões de toneladas em 2004. O mercado brasileiro está sendo fortemente influenciado por essa alta na demanda internacional.

Para atender essa demanda crescente, estão sendo feitos altos investimentos no aumento da capacidade produtiva brasileira. Segundo o IBS, nos próximos cinco anos serão feitos investimentos na ordem de US\$ 7,4 bilhões para aumentar a capacidade produtiva siderúrgica brasileira, o que resultará num aumento de 30% na capacidade de produção de aço.

A siderurgia é um setor onde os custos logísticos têm uma importância significativa no seu modelo de negócio. Além de lidar com itens de baixo valor agregado, o setor siderúrgico tem diversas particularidades, que o torna muito sensível ao custo logístico. Normalmente, existem grandes distâncias separando as áreas produtoras e os centros consumidores. Os volumes transportados são muito altos, da ordem de dezenas de milhões de toneladas por ano.

Diante deste cenário de rápido crescimento e da grande importância da logística no negócio do aço, pode-se ter uma dimensão dos investimentos que foram feitos para aumentar a capacidade logística das usinas brasileiras.

Numerosos estudos utilizando técnicas de pesquisa operacional já foram realizados com o objetivo de projetar a localização de fábricas, centros de distribuição e depósitos. Autores como Magee,<sup>(1)</sup> Ballou,<sup>(2)</sup> Bowersox, Closs e Helferich<sup>(3)</sup> e Winston<sup>(4)</sup> tiveram grande importância no processo de desenvolvimento, difusão e aplicação das técnicas de programação linear para a resolução de problemas de otimização logísticos.

A maioria das empresas que realiza análises com técnicas de otimização e programação linear, utiliza modelos propostos por estes autores clássicos cuja eficiência já é largamente conhecida.

Uma necessidade que está constantemente presente no dia a dia das organizações é justamente a adaptação dos modelos clássicos à realidade e particularidade de cada empresa e região. Essa necessidade da indústria foi identificada e recentemente têm sido feitos muitos estudos e pesquisas nessa linha de atuação. Miranda e Garrido<sup>(5)</sup> desenvolveram um modelo que otimiza simultaneamente a localização da malha logística e alguns parâmetros de gestão de estoque como estoque de segurança e ponto de ressuprimento.

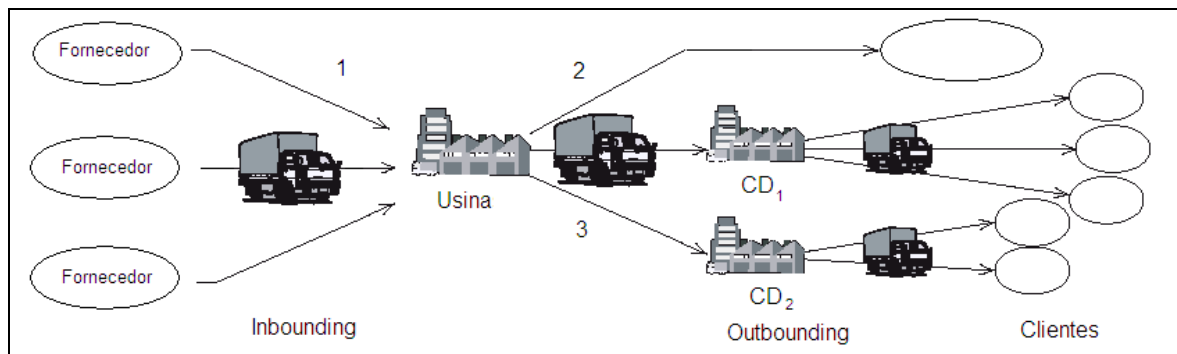
Dessa maneira, os autores evoluíram a abordagem clássica e chegaram num modelo mais completo. Com um modelo mais próximo da realidade, a otimização se torna mais correta e precisa. Essa evolução representa uma grande economia de tempo e dinheiro para a empresa.

Dentro do mercado de distribuição de aço, existem diversas otimizações e estudos que precisam ser feitos para redução de custos e otimização da utilização da infra-estrutura existente. Uma dessas oportunidades, é o estudo da viabilidade da utilização de diferentes formas de transporte de produtos acabados. Grande parte dos recentes avanços na infra-estrutura brasileira não foi levada em consideração nos primeiros estudos e otimizações realizadas pelas empresas. A situação da malha ferroviária é um exemplo evidente deste fato.

A proposta de estudo está centralizada na modelagem da malha de distribuição de uma grande empresa do setor siderúrgico brasileiro. Para garantir o sigilo dos dados e informações, é adotado o nome fictício de AçoForte (AF) para toda vez que for feita referência à empresa estudada. Além disso, todos os dados utilizados na modelagem estão tratados matematicamente de maneira que representam uma função  $F(x)$  dos dados reais.

Devido ao restrito número de empresas siderúrgicas atuantes no mercado nacional do aço, será evitada uma descrição detalhada da AF. Serão descritos exclusivamente aspectos relevantes ao modelo desenhado.

A estrutura da rede logística da AF engloba diversos fornecedores, usinas, centros de distribuição (CDs) e clientes espalhados por todo o país. Os fluxos de *inbounding* e *outbounding* podem ser descritos esquematicamente pela Figura 1.



**Figura 1.** Fluxo de materiais pela rede logística

A AF possui diversas usinas, dezenas de CDs e centenas de clientes espalhados pelo no país. Verifica-se na prática que a maior parte das usinas da AF está localizada próxima das fontes de matéria prima: sucata, minério e coque. Nos casos onde há distância relevante entre a matéria prima e a usina, foram feitas adaptações como construção de terminais ferroviários ou portos para contornar a situação. Portanto, pode-se dizer que o processo de alimentação das fábricas não é um fluxo problemático na cadeia logística da AF.

A parte do *outbounding* pode ser dividida em dois fluxos: a saída de material das usinas para os grandes clientes e para os CDs.

A expedição de material para os grandes clientes, envolve grandes volumes e relativamente menor variedade no *mix* de produtos. Essa expedição das usinas está adequadamente dimensionada, contando também com uma boa infra-estrutura logística, incluindo terminais ferroviários e marítimos próprios.

Já o *outbounding* para os CDs, envolve volumes menores e maior *mix* de produtos. É justamente nesse fluxo da cadeia logística que se identifica um forte potencial para melhoria. Atualmente, grande parte dessa movimentação entre as usinas e os CDs é feita utilizando o modal rodoviário.

Como o frete rodoviário é mais caro do que o ferroviário, a adoção de modal ferroviário nesse fluxo, provoca uma redução imediata dos custos de frete (Cf). Essa

redução é de fácil e direta medição. No entanto, a adoção desse tipo de modal, provoca também um aumento nos níveis de estoque. Isso se deve aos maiores LTs da ferrovia em relação à rodovia.

Esse aumento tem um custo para a empresa conhecido como custo de estoque (Ce). Esse custo é o custo de oportunidade do capital que está imobilizado em estoques. Costuma-se utilizar a taxa básica de juros dos títulos públicos do governo brasileiro (taxa Selic) como referência para calcular o Ce. Pode-se observar a fórmula para o cálculo do Ce.

$$\begin{aligned} Ce &= \text{Capital Imobilizado} * \text{Tx Selic} \\ Ce &= CI * S \end{aligned}$$

A proposta do modelo é quantificar esse aumento de custo de estoque e compará-lo com a redução no custo do frete. Dessa comparação, espera-se encontrar um ponto ótimo onde o custo total (Ct) da operação logística seja minimizado.

$$Ct = Ce + Cf$$

A proposta de estudo será focada em um caso piloto de uma usina localizada na região nordeste do país. Essa região apresenta um consumo e uma estrutura ferroviária suficientemente desenvolvidos. A usina estudada será chamada de AçorNordeste (AN) e servirá de base para o estudo. A AN é responsável pelo atendimento de três CDs na região. A AN é um bom exemplo pois representa bem as características presentes nas demais usinas da AF. Esse fato pode auxiliar numa etapa futura de expansão do estudo para as demais usinas da AF. O modelo completo de otimização de estoque e de fretes tem função objetivo f1 dada pela equação abaixo:

$$\begin{aligned} f_1(x) &= \text{Min} \sum_{i=1}^1 \sum_{j=1}^3 c_{ij}^{rod} * x_{ijk}^{rod} + c_{ij}^{fer} * x_{ijk}^{fer} + \\ &\sum_{i=1}^1 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^6 (FS_{jk} * \sigma_{Djk} * \sqrt{\frac{LT_{ij}^{rod} * x_{ijk}^{rod} + LT_{ij}^{fer} * x_{ijk}^{fer}}{30 * (x_{ijk}^{rod} + x_{ijk}^{fer})}} + D_{jk} * \frac{LT_{ij}^{rod} * x_{ijk}^{rod} + LT_{ij}^{fer} * x_{ijk}^{fer}}{30 * (x_{ijk}^{rod} + x_{ijk}^{fer})}) * v_k * S \end{aligned}$$

onde:

$c_{ij}^{rod}$  - frete entre a Usina i e o CD j utilizando o modal rodoviário (R\$/t)

$c_{ij}^{fer}$  - frete entre a Usina i e o CD j utilizando o modal ferroviário (R\$/t)

$x_{ijk}^{rod}$  - quantidade de produtos do grupo k movimentados entre a Usina i e o CD j, utilizando o modal rodoviário (t)

$x_{ijk}^{fer}$  - quantidade de produtos do grupo k movimentados entre a Usina i e o CD j, utilizando o modal ferroviário (t)

$P_{ik}$  - volume de produção dos produtos do grupo k na Usina i (t)

$D_{jk}$  - demanda mensal dos produtos do grupo k no CD j (t)

As seguintes variáveis são importantes para garantir a formatação da carga no modal correspondente:

$L_{ij}^{rod}$  - lote transportado entre a Usina i e o CD j utilizando o modal rodoviário (t)

- $L_{ij}^{fer}$  - lote transportado entre a Usina i e o CD j utilizando o modal ferroviário (t)
- $F_{ij}^{rod}$  - fração do lote transportado entre a Usina i e o CD j utilizando o modal rodoviário (t)
- $F_{ij}^{fer}$  - fração do lote transportado entre a Usina i e o CD j utilizando o modal ferroviário (t)
- $n$  - número de fábricas
- $m$  - número de pontos de venda
- $p$  - número de grupos de produtos

a equação está submetida às seguintes restrições:

$$1) \sum_{k=1}^p x_{ijk}^{rod} + x_{ijk}^{fer} \geq D_{jk} \text{ para } i = 1, \dots, n \text{ e } j = 1, \dots, m$$

Essa restrição garante que a demanda de cada grupo de produto k é atendida em cada um dos três CDs. Pode ocorrer o caso em que o volume transferido é ligeiramente maior do que a demanda para atender as restrições 3) e 4) de formatação de carga.

$$2) \sum_{k=1}^p x_{ijk}^{rod} + x_{ijk}^{fer} \leq P_i \text{ para } i = 1, \dots, n \text{ e } j = 1, \dots, m$$

Essa restrição garante que a Usina i não irá expedir mais material que a sua capacidade de produção do produto k. Visto que o consumo dos CDs é muito menor que a capacidade de produção da Usina AN, essa restrição estará sempre satisfeita.

$$3) \sum_{k=1}^p x_{ijk}^{fer} = 45 * L_{ij}^{fer} + F_{ij}^{fer} \text{ para } i = 1, \dots, n \text{ e } j = 1, \dots, m$$

$$4) F_{ij}^{fer} \leq 5 \text{ para } i = 1, \dots, n \text{ e } j = 1, \dots, m$$

As restrições 3) e 4) garantem um volume mínimo a ser transportado pelo modal ferroviário. O tipo de vagão utilizado nessa operação necessita pelo menos de 45t de material para formatar uma carga. A capacidade máxima desse vagão é 50 t.

$$5) \sum_{k=1}^p x_{ijk}^{rod} = 20 * L_{ij}^{rod} + F_{ij}^{rod} \text{ para } i = 1, \dots, n \text{ e } j = 1, \dots, m$$

$$6) F_{ij}^{rod} \leq 5 \text{ para } i = 1, \dots, n \text{ e } j = 1, \dots, m$$

As restrições 5) e 6) garantem um volume mínimo a ser transportado pelo modal rodoviário. O modal utilizado será a carreta. Necessitando de pelo menos de 20t de material para formatar uma carga. A capacidade máxima da carreta é 25 t.

$$7) L_{ij}^{fer}; F_{ij}^{fer}; L_{ij}^{rod}; F_{ij}^{rod} \in Z^+$$

$$8) x_{ijk}^{rod}; x_{ijk}^{fer} > 0$$

O modelo completo de estoque e frete foi simulado e resolvido com ajuda do software LINGO. Esse aplicativo foi projetado para resolução de modelos de otimização não lineares e é amplamente empregado na resolução de problemas logísticos. Miranda e Garrido(5) desenvolveram um modelo que otimiza simultaneamente a localização da malha logística e alguns parâmetros de gestão de estoque como estoque

de segurança e ponto de ressuprimento. Para resolução desse modelo não linear, os autores identificaram no LINGO excelentes características, tais como tempo de processamento e convergência do sistema.

Pesquisas e estudos acadêmicos são estimulados pelos desenvolvedores do LINGO que disponibilizam o software gratuitamente na internet. A versão disponibilizada, possui os mesmos métodos de busca, resolução e convergência da versão comercializada. A única limitação prática feita está no número de variáveis de decisão permitidas. Na versão gratuita, são permitidas até 300 variáveis. Esse número é suficiente para o modelo acadêmico desenvolvido nesse trabalho. Mas no caso de uma eventual aplicação na empresa, ou adição de novas variáveis, será necessário aquisição da licença junto ao fabricante.

Para a resolução do problema, o programa identificou o método Branch-and-Bound como o de convergência mais rápida. Foi encontrada uma solução ótima em aproximadamente 2 segundos. Nesse breve período, foram desenvolvidas 894 iterações de tal forma que foi encontrado um valor mínimo local para a função objetivo de R\$ 46.430,00. Esse valor encontrado corresponde ao valor mensal que a AF deverá desembolsar com fretes e o custo do carregamento do estoque. Esse custo total encontrado pelo modelo é 15,9% menor do que os R\$ 55.182,10 atualmente gastos mensalmente pela AF nessa operação. Essa diferença representa uma economia anual de R\$ 105.025,00 na operação. A solução do modelo indica que sejam transferidos mensalmente 7 vagões para o CD1, 3 vagões para o CD2 e 10 vagões para o CD3.

Esse resultado indica que a AF deve utilizar 100% do modal ferroviário nessa operação. Portanto, verifica-se que os maiores LT e custos com estoque da ferrovia são compensados pelos fretes mais baratos em relação à rodovia.

Uma das grandes vantagens de se ter um modelo matemático é justamente a facilidade que se encontra em simular e antecipar diferentes situações e cenários. Através do modelo, pode-se ter uma razoável idéia dos impactos, vantagens e desvantagens da adoção de determinada ação no sistema.

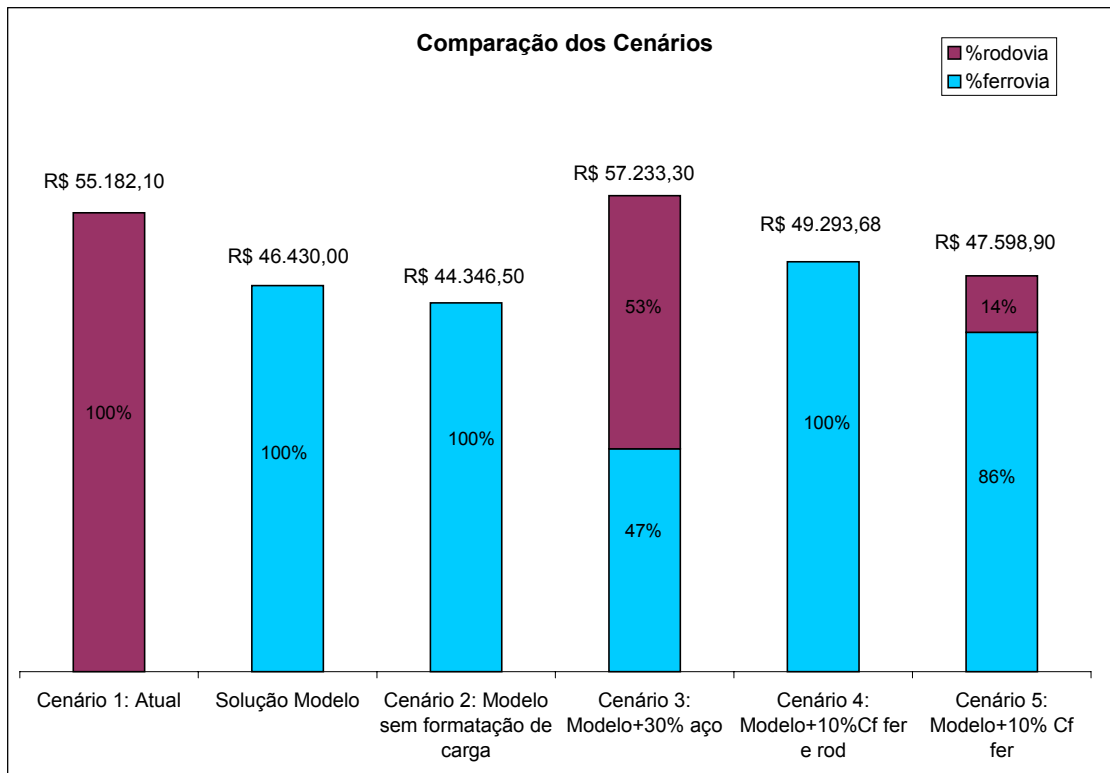
Cenário 1: Todo o transporte rodoviário, esse é o cenário atual utilizado na AF.

Cenário 2: Sem restrições de formatação de carga, nesse cenário estão sendo desconsideradas as restrições de formatação de carga rodoviária e ferroviária. Nesse caso, é esperado que o sistema fique mais rápido, pois são retiradas as variáveis inteiras que dificultam a resolução do modelo. Além disso, é esperado que o Ct seja menor devido à inexistência de peso “morto” transportado nas carretas e vagões nesse cenário.

Cenário 3: Aumento de 30% no preço do aço. Nesse cenário é esperado que ocorra um aumento na participação do transporte rodoviário na solução ótima do sistema. Isso deve ocorrer devido ao impacto do aumento nos custos de estoque ferroviário.

Cenário 4: Aumento 10% nos fretes rodoviário e ferroviário. Nesse cenário procura-se simular as condições de operação do sistema no caso de ambos os fretes rodoviário e ferroviário subirem 10%.

Cenário 5: Aumento de 10% no frete ferroviário. Nesse cenário procura-se verificar a sensibilidade do sistema a um aumento do custo do frete ferroviário.



**Figura 2.** Comparação dos Cenários

Na Figura 2 é possível verificar uma comparação entre os custos totais de cada cenário. O menor custo total ocorre no cenário sem formatação de carga, esse cenário, entretanto, é de pouca aplicação prática na AF. Essas comparações e estudos são muito úteis e possibilitam a empresa diversas simulações, melhorias e economias no processo. Através da interpretação e exploração dos resultados do modelo, a empresa consegue potencializar as reduções de custo de estoque e frete através da otimização da escolha do seu *mix* de transporte.

Somente no caso piloto da usina AçoNordeste, a AF economiza anualmente mais de 105 mil reais em custos de frete e estoques. A solução ótima do sistema indica que o modal ferroviário deve ser implementado em 100% da operação da AF na Usina AçoNordeste. No entanto, observa-se que a solução ótima é relativamente sensível a variações em alguns parâmetros do sistema.

Para avaliar essas sensibilidades, foram construídos diversos cenários no modelo. No cenário três, por exemplo, verifica-se que um aumento em 30% na cotação do aço implicaria migração de 50% da operação da AN para o modal rodoviário. No caso dessa alta do aço, a economia no frete ferroviário não compensaria o aumento nos custos de estoques.

Outro parâmetro de sensibilidade do sistema é o custo dos fretes. Supondo que haja um aumento de 10% nos fretes rodoviário e ferroviário, o perfil de transportes será o mesmo do modelo, ou seja, 100% do transporte ferroviário. No entanto, o cenário cinco mostra uma situação hipotética onde ocorre um aumento de 10% apenas no frete ferroviário. Esse aumento provoca a migração de quase 15% dos produtos da AçoNordeste para o modal rodoviário. A primeira vista, pode parecer que esse cenário

é de pouca probabilidade de realização. Na prática, verifica-se que esse cenário é factível.

Os constantes aumentos nos combustíveis verificado no ano de 2004 influenciaram diretamente os custos dos fretes. No entanto, muitos dos aumentos nos fretes rodoviários podem ser negociados, pois existe uma grande diversidade de operadores rodoviários. Muitas vezes, temendo perda do cliente, a transportadora apresenta-se flexível para negociação de fretes.

No caso das concessionárias ferroviárias, a situação é um pouco diferente. Existem relativamente poucas concessionárias operando comercialmente. Além disso, estrutura disponível não está sendo aproveitada de maneira eficiente. Grande maioria das ferrovias recém privatizadas ainda precisa de investimentos significativos em vagões e locomotivas para viabilizar o trânsito eficiente de cargas. Muitos trechos operam com ineficiências operacionais, provocando maiores perdas de produtividade e evitando reduções de frete.

Essa situação que as concessionárias ferroviárias atravessam, ocasionam diversos aumentos nos fretes além dos provocados pelos derivados do petróleo. São justamente esses aumentos, que podem inviabilizar a adoção do modal ferroviário na operação da siderúrgica (cenário cinco).

Verifica-se, na prática, a importância das parcerias públicos privadas. Através dessas parcerias, haveria aumento na oferta e disponibilidade de rotas ferroviárias. Além disso, esse investimento aceleraria ganhos de produtividade que poderiam provocar maiores reduções nos fretes ferroviários. Atualmente, a empresa AF está negociando com a concessionária que opera na região da usina AcoNordeste para avaliar as condições para implantação da solução proposta pelo modelo.

O objetivo do modelo de balancear o conflito entre o custo do frete e o custo de estoque de acordo com o *mix* de transportes utilizado foi atingido. As análises de sensibilidades e dos cenários obtidos sugerem os pontos de atuação para melhorias e as possíveis vulnerabilidades da solução ótima.

Verifica-se nesse trabalho acadêmico-aplicado a validação da concepção de Ballou,<sup>(2)</sup> segundo a qual, o problema básico da logística é justamente o gerenciamento de custos conflitantes.

## **Agradecimentos**

Agradeço a orientadora Solange Machado que contribuiu com idéias e sugestões para o trabalho. Gostaria de agradecer também aos demais professores do mestrado que contribuíram para a realização do estudo. Gostaria de agradecer ao professor Agenor Fleury pelas suas sugestões e soluções sempre inteligentes e criativas. E o professor Marco Giulietti que vem realizando um excepcional trabalho no desenvolvimento e na coordenação dos cursos de mestrado oferecidos pelo IPT. Gostaria de agradecer à Edna Gubitoso pelo auxílio com a bibliografia e as referências. E ao Adilson Feliciano, membro da secretaria do IPT, pelo auxílio e pró-atividade ímpares. Gostaria de agradecer também aos professores do departamento de Engenharia de Produção da POLI que tiveram contribuição direta ou indireta na realização desse trabalho. Finalmente, gostaria de agradecer ao Marcelo Turri e ao Roberto Pinho Silva, gerentes de logística e suprimentos da empresa AçoForte (AF), que contribuíram muito com idéias, conceitos e experiências. Muitas das modelagens



utilizadas no trabalho foram decorrentes de propostas para solução de problemas diários encontrados na AF.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 MAGEE, J. **Planejamento da produção e controle de estoques**. São Paulo: Pioneira, 1967.
- 2 BALLOU, R. H. **Business logistics management**. New Jersey: Prentice Hall, 1999.
- 3 BOWERSOX, D.; CLOSS, D.; HELFERICH, O. **Logistical management – a systems integration of physical distribution, manufacturing support and materials procurement**. 4.ed. Michigan: Macmilan, 1986.
- 4 WINSTON, W. L. **Introduction to mathematical programming**. 2.ed. California: Duxbury Press, 1995.
- 5 MIRANDA, P.; GARRIDO, R. **Incorporating inventory control decisions into a strategic distribution network desing model with stochastic demand**. Santiago: Pontíficia Universidad de Chile / Department of Transport Engineering, 2003.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS. **Anuário estatístico da navegação marítima 2002**. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br>> Acesso em: 15 jun. 2004.
- 2 BANCO CENTRAL. **Séries temporais**. Disponível em: <<http://www.bc.gov.br>> Acesso em: 10 jul. 2004.
- 3 CAON, M.; CORRÊA, H.; GIANESI, I. **Planejamento, programação e controle da produção**. 4.ed. São Paulo: Atlas , 2001.
- 4 CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos**. Tradução Cláudia Freire. São Paulo: Prentice Hall, 2003.
- 5 COPACINO, W.; MAGEE, J.; ROSENFELD, D. **Modern logistics management – integrating marketing, manufacturing and physical distribution**. Massachusetts: Wiley, 1985.
- 6 COSTA NETO, P. **Estatística**. 2.ed São Paulo: Edgard Blücher, 2002.
- 7 DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTES. **Planejamento rodoviário 2002**. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br>> Acesso em: 02 jun. 2004.
- 8 EMPRESA BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES. **Anuário estatístico dos transportes 1996-2002**. Disponível em: <<http://www.geipot.gov.br>> Acesso em: 10 ago. 2004.
- 9 GITMAN, L. **Princípios de administração financeira**. Tradução Jean Jacques Salim e João Carlos Dovat. 7.ed. São Paulo: Harbra, 1997.
- 10 INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA. **Anuário estatístico IBS 2004**. Disponível em: <<http://www.ibs.gov.br>> Acesso em: 01 abr. 2005.
- 11 INTERNATIONAL IRON AND STEEL INSTITUTE. **Steel statistical yearbook 2004**. Disponível em: <<http://www.iisi.org>> Acesso em: 01 abr. 2005.

- 12 LINGO. **Steel statistical yearbook 2003**. Disponível em: <<http://www.lingo.com>>  
Acesso em: 02 jun. 2004.
- 13 LOVE, R.; MORIS, J.; WESOLOWSKY, G. **Facilities location - models & methods**. Massachusetts: North-Holland, 1988.
- 14 PORTER, M. **Vantagem competitiva**. Tradução Elizabeth Braga. 7.ed. S.l.: Campus, 1986.
- 15 SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C. **Operation management**. London: Pitman Publishing, 1995.

# FREIGHT AND STOCK COSTS OPTIMIZATION OF A STEEL COMPANY CONSIDERING A MULTIMODAL TRANSPORTATION SYSTEM <sup>1</sup>

Marcel Youzen Kikuchi Brunello<sup>2</sup>

## Abstract

This work analyses the viability of using railroad modal in some logistics operations of a steel company. The main goal is to optimize the use of that modal on places where both railroad and highway infra-structures are available. A plant was identified to be used as the first test to the implementation of the model. Despite the fact that this plant has railroad infra-structure available, all goods are transported through highways. Base on that case, it is developed a model that analyses the viability of the use of railroad transportation. The model takes in consideration many variables, nevertheless, the main ones are stock and freight costs. Through the analyses and interpretation of model's results, the company is able to minimize stock and freight costs. The model focuses on the optimization of transportation's mix. Based on the first case study, the company makes more than R\$ 104.000,00 of annual freight and stock cost savings. The best solution to the model indicates that 100% of the operation should be done using railroads. However, it is stated that this solution is very sensitive to variations on freights and steel prices. This work states the importance of public private partnerships. Those former partnerships, could improve the offer and availability of railroads rotes. Besides this, those investments could accelerate the productivity profits which could trigger bigger freight reductions.

**Key-words:** Linear Programming; Logistics; Transportation; Railroad.

<sup>1</sup> Work to be presented at the XXIV Logistic , Supplies and Transports Seminar, in ABM, Belo Horizonte, Jun 16 and 17, 2005;

<sup>2</sup> *Master of Industrial Processes - IPT*