

MODELO DE ALOCAÇÃO ÓTIMA DE PRODUTOS SIDERÚRGICOS EM TERMINAIS PORTUÁRIOS¹

*Fernando Munis Barretto Mac Dowell da Costa²
Herlander Costa Alegre da Gama Afonso³*

Resumo

Este artigo técnico teve como objetivo desenvolver e aplicar uma metodologia para auxílio na análise das opções de rotas de transporte, aplicada a escoamento de produto siderúrgicos de uma firma, denominada F. Esta análise foi realizada com instalações físicas reais e dados aproximados. Pela metodologia proposta, utilizando o algoritmo de Busacker & Gowen, pode-se notar que se trata de uma poderosa ferramenta e de uma grande eficácia para que os tomadores de decisão a utilize. Foi possível identificar a melhor opção de rota na rede de distribuição da referida firma, a um custo relativo menor, considerando a capacidade máxima permitida no arco da rede.

Palavras-chave: Modelo de alocação; Terminais portuários; Custos logísticos; Transporte marítimo.

MODEL OF GREAT ALLOCATION OF METALLURGICAL PRODUCTS IN PORT TERMINALS

Abstract

This technical article had as objective develops and to apply a methodology for aid in the analysis of the options of transport routes, applied to product drainage metallurgical of a firm, denominated F. This analysis it was accomplished with real physical facilities and approximate data. For the proposed methodology, using the algorithm of Busacker & Gowen, can be noticed that is treated of a powerful tool and of a great effectiveness so that the decision maker can be used. It was possible to identify the best route option in the network of distribution of the referred firm, at a smaller relative cost, considering the maximum capacity allowed in the arch of the network.

Keywords: Model of allocation; Port terminals; Logistics cost; Marine transport.

1 Contribuição técnica ao XXVI Seminário de Logística, 19 e 20 de junho de 2007, Vitória - ES

2 Engenheiro Civil e mestre em ciências em Engenharia de Transportes pelo Instituto Militar de Engenharia – IME e doutorando da COPPE/PEnO na área de Logística e de Transporte marítimo. E-mail: macdowell@peno.coppe.ufrj.br

3 M.Sc., Economista e mestre em ciências em Engenharia de Transportes pelo Instituto Militar de Engenharia – IME. E-mail: herc_afonso@yahoo.com.br

1 INTRODUÇÃO

O transporte marítimo, hoje, constitui um dos elos da cadeia multimodal de transporte porta-a-porta, sendo por isso denominado, soluções, em vez de modos de transporte. Trata-se de um serviço que, integrado com os outros, permite otimizar o transporte global e o funcionamento de complexas cadeias logísticas, já que os custos constituem uma importante variável no custo logístico global. A procura de serviços de transporte marítimo é uma procura derivada, pois depende grandemente do comércio de mercadorias entre diferentes países, o que implica tipos de serviços diversificado e diferenciado de modo a maximizar resultados e satisfação de clientes.

Nos últimos anos, o crescimento relativo das exportações brasileiras, e conseqüentemente, maior inserção do país na economia global, tem exposto a vulnerabilidade das infra-estruturas portuária e de transporte. O estado de insuficiência da infra-estrutura que atenda a necessidade de crescimento sustentado do país tem sido objeto de inúmeros estudos nos mais diversos centros de pesquisa do Brasil, pois hoje, constitui, junto com a carga tributária, o maior centro de custo logístico, afetando a competitividade de produtos nacionais no mercado internacional.

De fato, não obstante 60% de cargas nacionais serem realizadas por rodovias, apenas 19% da malha rodoviária nacional encontra-se em bom estado de conservação. A concessão ferroviária favoreceu a expansão dos investimentos privados nesse segmento e conseqüente aumento da participação das ferrovias no transporte de cargas para perto de 24% da movimentação de cargas nacionais, principalmente, commodities como minérios de ferro, soja etc. Entretanto, o problema de uso de bitolas diferentes entre as concessionárias, excessos de passagens de níveis e má configuração das malhas concedidas afetam a eficiência e nível de serviço desse segmento. Segundo Afonso⁽¹⁾ *apud* Lourenço,⁽²⁾ no setor portuário, há problemas de modernização do sistema de gestão, altos custos portuários, concentração de 90% da movimentação da carga nacional nos portos do sul e sudeste do país, gerando filas de navios, de caminhões ao longo de precárias e difíceis vias de acessos aos terminais (tipologia de quase todos os acessos portuários nacionais situados na área urbana), acrescidos de investimentos insuficientes em equipamentos modernos e adequados para seus operadores, à falta de contêineres e grande freqüência de movimentos grevistas da receita e do pessoal ligado ao serviço portuário.

De acordo com a pesquisa realizada pela Confederação Nacional de Transportes – CNT,⁽³⁾ 54,6% dos acessos rodoviários para os portos são inadequados, com destaques para os problemas relacionados com o estado de conservação desses acessos (29,9%), travessia por áreas urbana (25,7%) e engarrafamentos dos veículos de cargas (25,7%); além dos problemas de roubos de cargas, a falta da duplicação das vias de acesso principal, falta de opções de acessos, a falta de estacionamentos para a espera, sinalização precária, pedágios e burocracia excessiva.

A mesma pesquisa indica que, no setor ferroviário, 53,9% dos pátios e áreas de armazenagem não são bem conservados; 62,8% da conservação do retro porto foram considerados regular ou ruins. A falta de equipamentos adequados e em quantidades suficientes para a operação portuária constituiu objetos de preocupação por parte dos especialistas em infra-estruturas portuárias.

Assim, o setor produtivo nacional deve buscar implementar técnicas mais eficientes e eficazes que ajudem a superar o estado de insuficiência e ou deficiência de infraestrutura logística disponível do país, no curto prazo.

Portanto, o objetivo principal do presente artigo consiste em propor um modelo de alocação ótima de fluxos de distribuição de produto siderúrgico que minimize os custos logísticos da firma F, já que, no curto prazo, não é possível melhorar o estado da infra-estrutura.

2 ANÁLISE DO PANORAMA SIDERURGICO

A siderurgia é um segmento da atividade econômica bastante sensível às contingências econômico-financeiras mundial. Ultimamente, a dinâmica mundial desse mercado tem sido puxada pelas demandas de países asiáticos, responsáveis por mais de um terço da demanda mundial, com reflexos diretos para as ofertas globais de países como a China, a Austrália, o Brasil etc.

A partir de 1996, o Brasil passou a fazer parte, como convidado, do Comitê do Aço da Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE, devido à posição estratégica do país como detentor de importantes reservas de minérios de ferro, favorecendo a sua participação nas negociações contra as barreiras protecionistas impostas praticadas pelos Estados Unidos da América e a União Européia, contra produtos siderúrgicos importados de outras partes do mundo.

2.1 Panorama Siderúrgico Mundial

O mercado siderúrgico é intensivo em capital. A produção em escala competitiva acarreta somas significativas de investimentos; fato que implica uma estrutura de mercado com poucos concorrentes e forte tendência de concentração por meio de grandes fusões, joint ventures ou holding. Enquanto bem intermediário vinculado diretamente a construções e ao aumento dos bens de capital, o comportamento da demanda de aço obedece aos humores conjunturais da economia.

Segundo fontes, a International Iron and Steel Institute⁽⁴⁾ e Instituto Brasileiro de Siderurgia,⁽⁵⁾ em 2005, a produção mundial de aço bruto foi de 1.132 milhões de toneladas, aproximadamente 30% das quais foram produzidas pela China (10 do ranking mundial) e a participação brasileira em pouco mais de 3% (80 produtora no ranking mundial).

2.2 Ambiente Siderúrgico Nacional

Conforme Andrade e Cunha,⁽⁶⁾ o Brasil possui grande vantagens comparativas, tais como, reserva de minério de ferro abundante e de ótima qualidade, custos competitivos de mão-de-obra, disponibilidade de energia elétrica e bom sistema de logística interligando fontes de matéria-prima, usinas e portos.

O país responde 51,5% da produção siderúrgica da América Latina, e desde o ano passado, a indústria siderúrgica brasileira vive momento mágico, por causa do aquecimento das demandas interna e externas e preços altos segundo a Forbesonline.⁽⁷⁾

De acordo com a fonte (op. cit.), atualmente, o setor que trabalha com 97% da sua capacidade instalada, investirá US\$ 13 bilhões (entre 2005 e 2010) para ampliar sua produção de aço bruto, no intuito de passar das 34 milhões de toneladas produzidas atualmente, para 49,6 milhões de toneladas em 2010. Tal pacote de investimentos

envolve 27 usinas, entre elas a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), a Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST), o grupo Gerdau e a Usiminas.

Até o final da década de 80, o setor se compunha de mais de trinta empresas/grupos; hoje, apenas dez empresas são responsáveis por 97% da produção brasileira, podendo ser reunidas em seis grupos principais: CSN, Usiminas/Cosipa, Acesita/CST/Belgo- Mineira (atualmente, Belgo-Arcelor Brasil), Gerdau/Açominas, V&M e Villares.

Entretanto, apesar das vantagens comparativas que o Brasil possui, os altos custos relativos dos investimentos provocados pela falta de incentivos fiscais e alta carga tributária, infra-estrutura insuficiente e reduzida escala de produção, têm afastados os grandes investidores, que preferem realizar inversões em países como à China, a Rússia, a Índia e Ucrânia, onde os custos são mais baratos. Assim, por exemplo, por conta do Custo-Brasil, a Baosteel (empresa chinesa) adiou seu plano de investir no Brasil; a coreana Posco (5ª maior siderúrgica do mundo), deixara de investir US\$ 2 bilhões no Brasil, na construção da Usina Siderúrgica do Maranhão.

Para superar os desafios da competitividade no mercado globalizado, no Brasil, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES tem tido um papel importante no financiamento do processo de reestruturação da indústria siderúrgica nacional. Esse processo, a siderurgia brasileira tem avançada bastante e de modo sistêmico, em relação à racionalidade de custos, da capacidade produtiva, posição no mercado e diversificação regional, e “superação” das barreiras comerciais.

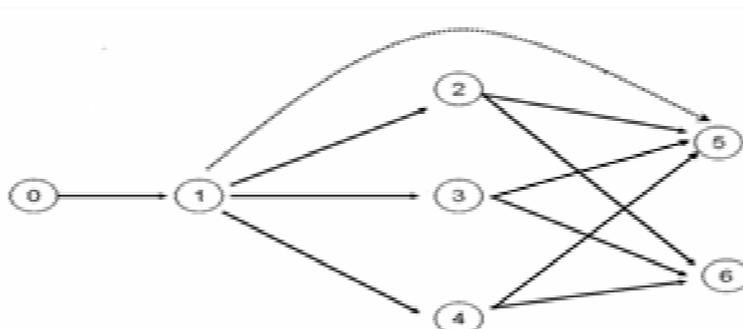
Em 2002, no Brasil, a Arcelor adquire a Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira, Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST) e a Vega do Sul, além de deter o controle acionário da ACESITA; constituindo, então, a Arcelor-Brasil (Arcelor, 2007). Com a aquisição da ACESITA, a produção mundial da Arcelor passará de 52 milhões de toneladas; e prevendo um investimento de US\$ 3 bilhões no Brasil até 2007.

Por seu turno, em julho de 2002, a brasileira CSN fundiu com a anglo-holandesa CORUS, passando a deter uma capacidade processamento de produção superior a 30 milhões de aço por ano. Um mês depois, ainda em 2002, a brasileira Gerdau fez a fusão com a canadense Co-Steel. Com efeito, o grupo Gerdau se tornou o terceiro maior produtor de aço e o 15º maior do mundo. O grupo Gerdau tornou-se o maior fabricante de aços longos dentro da América do Norte, por intermédio da Gerdau Ameristeel. Além do Brasil, a Gerdau possui usinas nos EUA, Canadá, Colômbia, Argentina e Uruguai. Conforme descreve a Forbesonline,⁽⁷⁾ a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), por seu turno, que também já possui usinas nos EUA (CSN LLC) e Portugal (LUSOSIDER), pretende reforçar sua presença na Europa.

3 DIAGNÓSTICO DO PROBLEMA DA FIRMA (F)

A firma (F) é um dos grupos siderúrgicos mais importantes do Brasil e produz mais de 2000 tipos de produtos em aço. Seus produtos são de alta qualidade e são vendidas no mercado interno e parte significativa vendida é exportada, principalmente a Europa e a América do Norte. A firma pretende reduzir seus custos de distribuição e armazenamentos de três tipos de produtos considerados âncoras da lucratividade, levando-se em consideração as precariedades dos canais de distribuição existentes ou ineficiência dos seus agentes logísticos; englobando também a proporcionalidade de modo rodoviário usados para o transporte da produção desde as usinas (U 1) até os armazéns e ou terminais seco (TS 1, 2 e 3) e portos marítimos (PM 1, 2). Essa firma centraliza o seu diagnóstico em uma usina

situada num dos estados do sudeste brasileiro; envolvendo três terminais secos e dois portos marítimos; todos operados por terceiros; conforme a Figura 1.



Fonte: Autor.

Figura 1. Rede de distribuição.

Um dos grandes problemas enfrentados pela firma (F) é a falta de espaço para armazenar seus produtos dentro do pátio da mesma. Mesmo que a estratégia usada seja a de programação da produção em função da ordem de venda (por encomenda fechada), nem todas as variáveis são do seu controle. E mais, os custos de armazenagem em terminais secos e portos marítimos são elevados, acrescidos a custos decorrentes das janelas de atracação, custos de espera navios atracados com falta de cargas, ineficiência dos operadores terceirizados e dos difíceis acessos por rodovias aos terminais portuários localizados no entorno de perímetros urbanos. Vale dizer, cada unidade de produção tem sua estrutura de custo associado a capacidade produtiva, assim como, cada um dos terminais tem seu custo atrelado a capacidade de armazenamento. Conforme o cenário mundial sinaliza boas oportunidades de negócios, a firma (F) pretende dobrar a produção da usina, mas ainda esbarra com o problema de alocação ótima do fluxo da produção na sua rede de distribuição, considerando o estado precário atual das infra-estruturas; no intuito maior de redução dos custos sistêmicos.

Para a implementação e resolução desse problema propôs-se a aplicação do modelo de alocação ótima, que considera as capacidades do fluxos de rede e os respectivos custos.

4 MODELOS DE ALOCAÇÃO ÓTIMA DE RECURSOS

Os modelos de alocação ótima, segundo Silva,⁽⁸⁾ a análise de rotas ou caminhos em redes genéricas são de suma importância em diversas áreas de pesquisas, como a engenharia de transportes, elétrica, telecomunicações, redes de computadores entre outros.

A rede analisada é composta por rotas/opções de transporte para escoamento das cargas e, em razão das peculiaridades dos problemas de transportes, é possível resolvê-los por meio de algoritmos especiais que permitem definir a solução ótima com maior facilidade.

Neste artigo utiliza-se o algoritmo que realiza eficientemente a determinação de rotas viáveis e adequadas a um determinado deslocamento, à luz da teoria clássica do problema do caminho mínimo. A característica principal deste algoritmo consiste em selecionar os caminhos a serem feitos, em função de uma impedância escolhida em conformidade com a aplicação. Isto na prática é um fator limitante que faz com que nem sempre a solução obtida seja ideal em todas as situações. Tendo em vista

a existência de várias aplicações que podem estar atrelados a seleção de caminhos, então, neste caso específico, a aplicação está atrelada a algoritmo de custo mínimo. Os algoritmos de fluxo a custo mínimo tratam do problema de enviar uma quantidade qualquer de fluxo q (fluxo alvo) de uma origem s para um destino t numa rede genérica G , na qual cada arco (i, j) tem uma capacidade ou limite superior $C_{i,j}$, bem como, um custo positivo $d_{i,j}$ associado a este. Este custo pode representar o tempo de viagem, a distância, o consumo de combustível ou qualquer outra medida dependendo da aplicação desejada; ou mesmo um conjunto de medidas, tal como um custo generalizado. O objetivo dos algoritmos de custo mínimo é então, encontrar os caminhos de fluxo que minimizam o custo total do transporte. São encontrados, entre outros, os seguintes algoritmos para a resolução de problemas desta natureza: *Out of Kilter* e o de Busacker e Gowen.

O algoritmo de *Out of Kilter* é mais indicado quando se trata de uma rede cujos arcos apresentem limites inferiores de fluxos diferentes de zero. Já o algoritmo de Busacker e Gowen é indicado quando se trata de uma rede em que os arcos apresentem apenas limites superiores de capacidade. Este apresenta a vantagem de ser de mais fácil implementação. Por essa razão, sugere-se a utilização do algoritmo de “Busacker e Gowen” para analisar as alternativas viáveis e adequadas para o escoamento de cargas com destino à exportação, de maneira que possa auxiliar a escolha de rotas de transporte por meio da minimização dos custos de transporte.

4.1 Modelo de Busacker-Gowen

O algoritmo desenvolvido por Busacker e Gowen, em 1961, descrito no livro de Syslo, Deo e Kowalik,⁽⁹⁾ tem sua aplicação para problemas de fluxos a custo mínimo. Permite ainda determinar rotas que forneçam um custo mínimo para locação de uma determinada quantidade de fluxo (cargas, veículos, etc.) entre uma origem (O) e um destino (D) de uma rede genérica, de acordo com as restrições de capacidade da mesma.

A metodologia de resolução é a do problema do caminho mais curto. A seleção das rotas é feita em função da capacidade e da impedância associadas a cada segmento da rede.

Em seu algoritmo, Busacker e Gowen propuseram um processo iterativo que utiliza caminho mínimo para definir o caminho de custo mínimo onde é alocado o máximo de fluxo possível respeitando as restrições de capacidade de cada arco. Após a alocação deste fluxo utiliza-se um procedimento de modificação da rede para definir um novo caminho mínimo no qual será alocado uma nova quantidade de fluxo máxima possível e assim sucessivamente até que se alcance o fluxo desejado; ou, até que não se encontre nenhum caminho para se alocar o fluxo que ainda não foi alocado.

Metodologicamente, portanto, primeiramente faz-se uma modelagem da rede, a partir da qual, se aplica o algoritmo. Para a resolução do problema conforme citado no item 4., foram feitas as seguintes considerações:

- a) A região produtora (origem) encontra-se geograficamente separada da região exportadora;
- b) Não há sazonalidade, ou seja, a produção se estende no mesmo período que ocorre a oferta de transporte;

c) O fluxo de mercadorias é efetuado por conexões rodoviárias e por meio de terminais de transferência, e a cada uma destas ligações se associam custos e restrições de capacidade.

Desse modo, dado uma rede composta de pontos e linhas, onde os pontos na rede são denominados nós e as linhas que fazem ligações entre os nós, arcos.

Para a resolução do problema, cada arco é identificado pelos nós i e j e representam uma opção de transporte entre esses nós (rodoviário, hidroviário ou ferroviário). Cada nó i e j , que não seja a origem ou destino, caracteriza-se como um terminal de transbordo, pois representa uma mudança de modal ou mesmo, transferência de carga para o mesmo modo de transporte. Esses terminais (nós), são transformados em arcos fictícios.

Aos arcos (rodovia) são associados custos positivos, assim como aos arcos fictícios (terminal de transbordo ou portos marítimos). Estes custos podem ser representados pelo custo das tarifas de execução do transporte ou o tempo, dependendo da análise que se deseja. Além disso, o tempo pode ser representado por um custo denominado de custo virtual do tempo de transporte; que, segundo David⁽¹⁰⁾ e Morales,⁽¹¹⁾ representam em termos monetários, o tempo despendido através de uma rota, dentro de uma alternativa de transporte apenas para fins de análise decisória relativamente a outras.

Este custo pode ser representado segundo a seguinte equação:

$$(CVTT)_{i,j} = T_{t,i,j} \cdot F_{ij} \cdot V_u \cdot Cop \quad (1)$$

Onde,

$CVTT_{ij}$ - custo virtual do tempo total de transporte do ponto i ao ponto j pelo modal ou pela combinação multimodal (em R\$);

T_{jit} - tempo de transporte do ponto i ao ponto j pelo modal ou combinação multimodal (em dias);

F_{ij} - volume de carga a ser transportada (em toneladas);

V_u - valor unitário da mercadoria (R\$/ton);

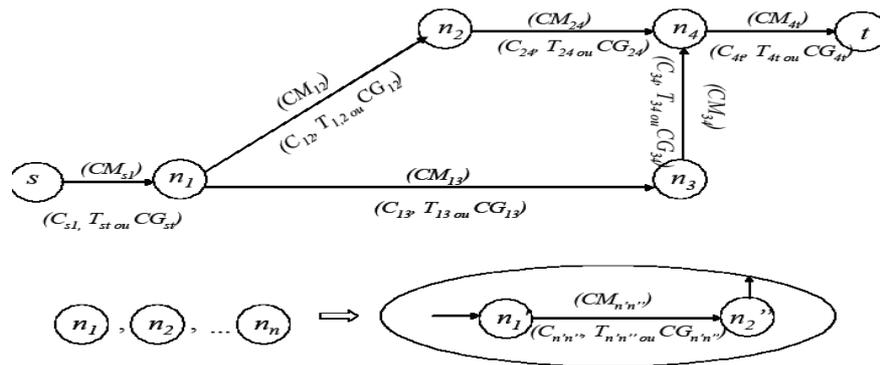
Cop - custo de oportunidade do capital (taxa diária).

O custo virtual do tempo total de transporte é de muita importância, pois corresponde a um capital, momentaneamente, imobilizado por parte do cliente. A diferença entre o custo virtual do tempo de transporte e o custo das tarifas de execução do transporte é que, este último, exige desembolso por parte do mesmo, enquanto aquele correspondente ao tempo é convertido em valores monetários para fins apenas de análise de alternativas, não significando em desembolso imediato de recursos.

Assim, para a modelagem do problema, especificamente da rede de arcos de transporte, são feitas as seguintes considerações para que se possa realizar a análise segundo o custo que se deseja ou que seja de interesse do planejador:

- CM_{ij} – representa a capacidade máxima de unidades de carga que podem ser transportadas entre dois nós;
- C_{ij} - é o custo das tarifas de execução do transporte ou transferência de uma unidade de carga do nó i ao nó j ;
- T_{ij} – é o tempo de execução das atividades do transporte ou transferência de uma unidade de carga do nó i ao nó j ;
- CG_{ij} - representa o custo generalizado, onde são analisados conjuntamente o custo C_{ij} e o custo virtual do tempo de transporte ou transferência de uma unidade de carga do nó i ao nó j ;

- Os arcos $(S, 1)$, $(1,2)$, $(2,4)$, $(3,4)$ e $(4, t)$, representam o transporte por uma ferrovia ou rodovia, sendo associados a estes arcos, restrições de capacidade CM_{ij} , assim como custos positivos C_{ij} , T_{ij} ou CG_{ij} ;
- Os nós n_1 , n_2 , n_3 e n_4 são transformados em arcos fictícios e representam terminais de transbordo onde ocorre transferência de carga entre mesma categoria de modos de transporte ou distintas. Sabe-se que estes terminais apresentam uma capacidade de transferência de carga, assim como custos que envolvem a movimentação das mesmas, portanto também são associados a estes arcos fictícios restrições de capacidade CM_{ij} , assim como custos positivos C_{ij} , T_{ij} ou CG_{ij} , conforme a Figura 2.



Fonte: Autor.

Figura 2. Modelo analítico do problema.

4.2 Características Técnico-Operacionais das Opções da Rede

A rede analisada é composta de seguintes opções de transporte, segundo as modalidades que a compõem:

1ª opção - Transporte rodoviário entre Cariacica (**origem**) e o Terminal de Praia Mole (**destino**): tem como a única opção o uso do modo rodoviário (unimodal) ao longo dos 40 km percurso (distância), e a velocidade média é de 60 km/h.

2ª opção – Transporte rodoviário entre Cariacica (**origem**) - Terminal Seco (**ponto de transferência**) - Terminal de Praia Mole (**destino**): também é unimodal, (rodoviário), porém com ponto de transbordo, para o mesmo modal para o transporte de produtos siderúrgicos; num percurso total (**O/D**) de 45km e a velocidade média de 45km/h.

A 3ª opção – Transporte rodoviário entre Cariacica (**origem**) - Terminal Seco (**ponto de transferência**) - Porto de Vitória (**destino**): assim com as opções anteriores, esta é também unimodal (rodoviária), com transbordo para o mesmo modal de transporte. A distância total de viagem (**O/D**), passando pelo terminal seco é de 16km e a velocidade média de 40km/h.

Finalmente, a distribuição da firma (F) se insere num importante complexo portuário misto da região sudeste do Brasil; ou seja, no complexo compreendem terminais privado e público.

4.2.1 Análise da melhor alternativa de escoamento

Para a realização da análise da melhor alternativa de escoamento de produtos siderúrgicos, foram identificadas as restrições de capacidade do modal utilizado, bem como as dos terminais, sejam de transbordo ou portuários. Paralelamente foram identificados os tempos de execução das atividades do transporte.

As capacidades dos terminais são calculadas segundo dados fictícios, mas coerentes, da firma F. Para a transferência de um amarrado de produto siderurgico de 28 toneladas, são necessários 15 minutos de operação em média (pesagem e retirada do veículo), portanto, considerando um dia de jornada de trabalho de 24 horas, um mês com 22 dias úteis, tem-se a capacidade de 2.688 ton/dia ou 709.632 ton/ano.

Segundo dados obtidos juntos à referida firma, em média, circulam 11 carretas/dia de produtos siderurgicos com capacidade de 28 toneladas(padão); voltados para a exportação (1ª opção); perfazendo 81.312 toneladas/ano. Na 2ª opção, aparecem 14 carretas (padão das opções 1 e 2), somando total de 105.000ton/ano. Na 3ª opção, constataram-se 16 carretas/dia (carretas padão), o que perfazem 118.272 ton/ano.

Com relação ao tempo das atividades de transportes, os tempos de viagens foram calculados conforme pesquisa realizada *in loco*, já apresentados na seção 4.2. O tempo de transferência de terminais de transbordo também foi obtido *in loco*, e a taxa de transferência (expressa em dias) é de 0,02 dias por amarrado de produtos siderurgicos.

Consolidadas as opções que irão compor a rede de transportes para a realização da movimentação de produtos siderurgicos, passa-se à modelagem e aplicação do algoritmo de fluxo a custo mínimo, de modo a se obter a melhor opção de escoamento, dentro, claro, dos parâmetros pré-estabelecidos: o custo das tarifas de execução do transporte, tempo de execução do transporte e o custo generalizado.

Para efeito deste estudo considerou-se que não há interrupção da produção de produtos siderurgicos, ao longo do período, a oferta de transporte atende a produção.

4.2.2 Representação da rede

A rede é definida pelos arcos que representam as vias rodoviárias e os arcos fictícios, os quais representam os terminais de transbordo de carga:

- Arco $(0,1)$: terminal de transbordo da usina de origem da carga (TTCD);
- Arco $(1,2)$: terminal de transbordo CD para o terminal seco 1 (TRCDTS1);
- Arco $(1,3)$: terminal de transbordo CD para o terminal seco 2 (TRCDTS2);
- Arco $(1,4)$: terminal de transbordo CD para o terminal seco 3 (TRCDTS3);
- Arco $(1,5)$: trecho rodoviário CD para o Porto Maritimo 1 (TRCDPM1);
- Arco $(2,5)$: trecho rodoviário terminal seco 1 para o porto martitimo 1 (TRTS1PM1);
- Arco $(3,5)$: trecho rodoviário terminal seco 2 para o porto martitimo 1 (TRTS2PM1);
- Arco $(4,5)$: trecho rodoviário terminal seco 3 para o porto martitimo 1 (TRTS3PM1);
- Arco $(2,6)$: trecho rodoviário terminal seco 1 para o porto martitimo 2 (TRTS1PM2);
- Arco $(3,6)$: trecho rodoviário terminal seco 2 para o porto martitimo 2 (TRTS2PM2);
- Arco $(4,6)$: trecho rodoviário terminal seco 3 para o porto martitimo 2 (TRTS3PM2);

Os dados referentes aos custos de fretes foram obtidos por meio de pesquisa realizada junto a transportadora *in loco*. Já com relação aos custos de transbordo, estes foram obtidos junto aos terminais secos e portos marítimos utilizados pela firma (F). Estes custos estão relacionados aos arcos da rede, conforme a tabela 1,

bem como, as suas respectivas capacidades. Desta forma, isto define a rede virtual de transporte na qual se aplica o algoritmo de fluxo a custo mínimo de Busacker e Gowen.⁽⁹⁾

Tabela 1. Capacidades e custos das alternativas formuladas.

Arcos (i,j)	Capacidade (ton/ano)	Frete (R\$/ton)	Transferência (R\$/ton)
Arco (0,1)	250000	--	--
Arco (1,2)	85000	7,5	8,11
Arco (1,3)	80000	7,50	8,16
Arco (1,4)	85000	7,50	8,42
Arco (1,5)	80000	12,00	14,40
Arco (2,5)	55000	15,0	14,40
Arco (3,5)	50000	18,0	14,40
Arco (4,5)	30000	15,0	14,40
Arco (2,6)	35000	5,40	--
Arco (3,6)	50000	5,40	--
Arco (4,6)	55000	5,40	--

Fonte: Autor.

5 ANÁLISE DE RESULTADOS

A aplicação do referido algoritmo fornece uma solução ótima para o escoamento dos produtos siderúrgicos, utilizando-se a estrutura sob o ponto de vista da análise do custo das tarifas de execução do transporte e considerando-se uma capacidade de produção da ordem de 250.000 toneladas/ano e a correspondente demanda anual. Esta solução é apresentada segundo a rede de opções de transporte selecionadas anteriormente e encontra-se relacionada na Tabela 2:

Tabela 2. Resultado da alocação do fluxo da aplicação do algoritmo (custo).

Arcos (i,j)	Fluxo Alocado (ton/ano)	Custo (R\$/ton)
Arco (0,1)	250000	--
Arco (1,2)	85000	15,61
Arco (1,3)	50000	15,66
Arco (1,4)	35000	15,92
Arco (1,5)	80000	26,4
Arco (2,5)	50000	29,4
Arco (3,5)	0	--
Arco (4,5)	0	--
Arco (2,6)	35000	5,40
Arco (3,6)	50000	5,40
Arco (4,6)	35000	5,40

Fonte: Autor.

O custo total que minimiza a movimentação de produtos siderúrgicos na rede de transportes, com as capacidades modificadas é de R\$6.897.050,00.

Já em relação a análise do tempo de execução das atividades do transporte, onde está inserido o tempo de viagem e os tempos de transbordo dos produtos siderúrgicos, o arco (0, 1). sinaliza uma demanda diária de 947 toneladas, envolvendo para tal 34 carretas tipo; considerando a transferência de 0,02 (dias =/ton) e o tempo total (dias) de 0,68.

A aplicação do algoritmo demonstrou que para o caso onde houver a necessidade de rápido escoamento e, por consequência, o parâmetro tempo é considerado mais relevante que custo das tarifas de transporte, o trecho entre o terminal de transbordo 3, para o porto de Praia Mole não seria utilizado. Entretanto, esta alocação de fluxo na rede, envolveria um custo de movimentação de R\$6.987.214,08 por ano.

Por último a análise do custo generalizado onde se levou em consideração a análise do custo das tarifas de execução de transporte, conjuntamente com o custo virtual do tempo, este último é calculado utilizando a equação 1 do item 4.1. Para efeito do cálculo virtual do tempo foi considerado o valor FOB de R\$1000,00/tonelada do produto siderurgico. O custo de oportunidade de capital, corresponde a taxa diária para aplicação do capital, onde foi levado em consideração o valor de mercado de 0,05% ao dia.

A Tabela 3 apresenta os valores calculados dos custos virtuais dos tempos de viagem (CVTV) e dos tempos de transferência (CVTT), bem como os custos generalizados associando o custo das tarifas de transporte (Frete) e tarifas de transbordo (terminais de transbordo) aos seus respectivos custos virtuais.

A adoção deste custo generalizado para a utilização do algoritmo de alocação de fluxos a custo mínimo, objetiva obter a melhor distribuição do transporte dos blocos no corredor com vistas a analisar quais opções/rotas apresentam o menor custo generalizado.

A análise de viabilidade do transporte de carga busca a comparação entre o custo final do produto e seu valor de exportação. Segundo Resende⁽¹²⁾, para efeito de aplicação, são considerados os custos de produção, os custos das atividades de transporte e o preço de exportação do produto.

Tabela 3. Capacidades e Custos Generalizados.

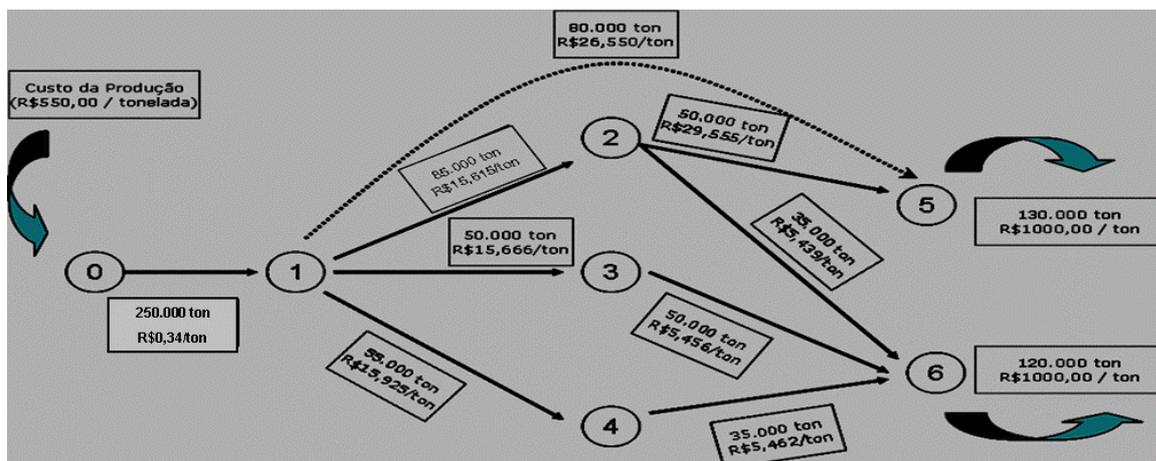
Arcos (i,j)	Capacidade (ton/dia)	Frete (R\$/ton)	Transferência (R\$/ton)	CVTV (em trânsito) R\$/ton	CVTT (transferencia) R\$/ton	Custo Generalizado (em transito)	Custo Generalizado (Terminais)
Arco (0,1)	250.000	--	--		0.338203	--	0.34
Arco (1,2)	85.000	7.50	8.11		0.029774	--	15.64
Arco (1,3)	80.000	7.50	8.16		0.037686	--	15.70
Arco (1,4)	85.000	7.50	8.42		0.019507	--	15.94
Arco (1,5)	80.000	12	14.40	0.128904	--	26.53	--
Arco (2,5)	55.000	15	14.40	0.132866	--	29.53	--
Arco (3,5)	50.000	18	14.40	0.120787	--	32.52	--
Arco (4,5)	30.000	15	14.40	0.072472	--	29.47	--
Arco (2,6)	35.000	5.4	--	0.03382	--	5.43	--
Arco (3,6)	50.000	5.4	--	0.048315	--	5.45	--
Arco (4,6)	55.000	5.4	--	0.053146	--	5.45	--

Fonte: Autor.

Para isso, foi obtido o preço médio do custo unitário de produção da mercadoria transportada, ou seja, o produto siderurgico. Segundo informações colhidas *in loco* o preço médio da produção é de R\$550,00 por tonelada. Ainda foi obtido o preço unitário do produto na exportação, este já mencionado no cálculo do Custo Generalizado.

Portanto, o custo total de produção (fabricação do produto siderurgico) para a demanda anual de 250.000 toneladas é de R\$137.500.000,00 e o valor total das exportações, considerando o valor de R\$1000,00 para a mesma demanda, totaliza um montante de R\$250.000.000,00.

Pode-se notar que o diferencial entre o preço de exportação e o de produção é de R\$112.500.000,00. Isto demonstra que o custo de transporte (R\$7.009.500,00) é inferior à diferença de preços entre a exportação e a produção. Portanto, pode-se afirmar que esta condição para exportar o produto utilizando esta rede é satisfatória.



Fonte: Autor.

Figura 3. Representação da rede de transportes carregada sentido exportação: Fluxos alocados e Custos Unitários

A partir da observação da Figura 3, acima pode-se perceber que os arcos da rede possuem diferenciações tanto nos custos unitários quanto no fluxo de mercadorias. Essas diferenciações acabam influenciando no custo total do transporte e por consequência na margem de lucro da empresa, representados na tabela 4.

Tabela 4. Influência do custo do transporte e produção na margem de lucro do produto.

Rotas de Transporte	Quantidade Transportada (ton)	Custo unitário do transporte (R\$/ton)	Custo Total por opção/rota (R\$)	Custo de Produção + Transporte (R\$/ton)	Preço de exportação (R\$/ton)	Margem de lucro(R\$/ton)
Rota 1-PM	80.000	26,87	2,149,600.00	576.87	1000.00	423.13
Rota 2-PM	50.000	45,41	2,275,500.00	595.51	1000.00	404.49
Rota 2-V	35.000	21,41	749,350.00	571.41	1000.00	428.59
Rota 3-V	50.000	21,49	1,074,500.00	571.49	1000.00	428.51
Rota 4-V	35.000	21,73	760,550.00	571.73	1000.00	428.27
Total	250.000		7,009,500.00			

Fonte: Autor.

Analisando a tabela acima, percebe-se a influência do custo de transporte associado ao custo de produção ao longo da rede, desde a saída do produto da usina até o terminal portuário. Isto, associado ao fluxo alocado, permite ao planejador ter condições de negociação do produto, perante o mercado externo, levando-se em consideração os custos associados as atividades de transporte.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando a rede de distribuição de produtos siderúrgicos da frima (F), o modelo de alocação segundo a proposta metodológica de Busacker- Gowen mostrou-se oportuna no estudo de proposto, maximizando a capacidade de distribuição na rede apresentada, particularmente, se a opção escolhida for a rota 1 (escoamento pela Praia Mole). Essa rota apresentou menor proporção do custo total de operação, menor custo de transferência e maior margem relativa de lucratividade.

REFERÊNCIAS

- 1 AFONSO, H. C. A. G. Análise dos Custos de Transporte da Soja Brasileira. Rio de Janeiro: IME, 138 p, 2006.
- 2 LOURENÇO, M. O Perigo da Insuficiência Logística (2004). In REVISTA INTER-MARKET (2004). Comércio Exterior, logística, Transporte Multimodal, Portos, Indústria Naval, Petróleo e Meio Ambiente. Ano IV Edição n. 21, 2004.
- 3 CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES – CNT. PESQUISA AQUAVIÁRIA CNT: Portos Marítimos – longo curso e cabotagem. Brasília: CNT, 148 p, 2006.
- 4 INTERNATIONAL IRON AND STEEL INSTITUTE. Steel Statistics. Disponível em www.worldsteel.org . Acesso em: 02 fev 2007.
- 5 INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA. Disponível em www.ibs.org.br . Acesso em: 02 fev 2007
- 6 ANDRADE, M. L. A. de, e CUNHA, L. M. S. O SETOR SIDERÚRGICO. Rio de Janeiro: BNDES Setorial. Disponível em: www.bndes.gov.br . Acesso em 15 fev 2007.
- 7 VIANA, G. QUANTO MAIS QUENTE MELHOR: O "boom" da siderurgia é uma realidade que reforça a posição brasileira de grande exportador. Disponível em : www.forbesonline.com.br/Edicoes/112/artigo8488-1.asp?o=s . Acesso em 14 de março de 2007.
- 8 SILVA, C. L. da. Inovação e Modernização na Indústria Siderúrgica Brasileira: as armas para competir internacionalmente. Análise Setorial. REVISTA FEA-BUSINESS, n.3, set. 2002, pp. 52 – 53, 2002.
- 9 SYSLO, M. M.; DEO, N.; KOWALIK, J. S. Discrete Optimization Algorithms. Prentice-Hall, 1983.
- 10 DAVID, R. D., Método de análise e seleção de alternativas de transporte para o escoamento de produtos siderúrgicos destinados ao mercado interno. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes 1991, IME.
- 11 MORALES, P. R. D., Modelo para gerenciamento de um corredor ferroviário de transporte de carga. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes, 1993 IME.