

# MODELO ECONÔMICO-OPERACIONAL PARA OTIMIZAÇÃO DOS CUSTOS PORTUÁRIOS DO TERMINAL DE MINÉRIO DE FERRO DA ILHA DE GUAÍBA – TIG: CASO – MBR<sup>1</sup>.

Fernando Munis Barretto Mac Dowell da Costa.<sup>2</sup>  
Marcus Vinicius Quintella Cury.<sup>3</sup>

## RESUMO

Dentro do contexto das otimizações econômico-operacionais de custos portuários, este modelo foi desenvolvido e aplicado no terminal de minério de ferro da Ilha de Guaíba – TIG, no estado do Rio de Janeiro, controlado pela Minerações Brasileiras Reunidas - MBR e operado pela Companhia Vale do Rio Doce – CVRD, cognominado Sistema Caemi. Portanto, o modelo é compreendido por três sub-modelos: (1) complexo porto x navio; (2) armazenamento; e (3) ferro x terminal. Esses sub-modelos alicerçam o modelo econômico-operacional, onde a programação linear por múltiplos objetivos, através da “*goal linear programming*”, é a base conceitual. Por meio da comparação entre os resultados obtidos pelo modelo e o que acontece na prática no terminal, verificou-se a proximidade do mesmo com a realidade, como se espera de um modelo. Portanto, esta ferramenta fornece ao tomador de decisão, gerente do terminal, uma visão sistêmica operacional e financeira de toda a cadeia logística do minério de ferro até o seu terminal, podendo nesse específico caso, como exemplo, negociar com a operadora ferroviária, MRS Logística, que faz o transporte da mina até o terminal, uma tarifa mais competitiva, conforme o modelo ferro x terminal lhe permite. Cabe ainda ressaltar que este modelo proporciona ao tomador de decisão a sensibilidade de alocar ou realocar investimentos para dirimir futuros gargalos operacionais, inclusive constatando a melhor solução.

**Palavras-chave:** modelo econômico-operacional, terminais portuários, pesquisa operacional, logística do minério de ferro.

---

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao XXV Seminário de Logística da ABM, Santos - São Paulo 21 à 23 de junho de 2006.

<sup>2</sup> Engenheiro Civil e mestre em ciências em Engenharia de Transportes pelo Instituto Militar de Engenharia – IME e doutorando da COPPE/PEO na área de Logística e de Transporte marítimo. E-mail: [fmunisbarretto@ibest.com.br](mailto:fmunisbarretto@ibest.com.br)

<sup>3</sup> Professor doutor de pós-graduação em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia – IME e Professor da Fundação Getúlio Vargas – FGV. E-mail: [mvqc@uol.com.br](mailto:mvqc@uol.com.br).

## 1 INTRODUÇÃO

A partir dos anos 60, as ciências de gerenciamento e decisão tiveram um crescimento vertiginoso. A Tomada de Decisão por Objetivos Múltiplos (TDOM) é um dos campos responsáveis por este crescimento<sup>(6)</sup>.

De acordo com a literatura<sup>(2-3-8)</sup>, a programação de metas (*Goal Linear Programming*) é uma simples modificação e extensão da programação linear, que permite uma solução simultânea de um sistema de objetivos complexos, ao invés de um único e simples objetivo. Ela pode ser aplicada quando vários objetivos aparecem explicitamente e os *tradeoffs* entre os objetivos devem ser analisados com base em um conjunto de prioridades. Em particular, quando não é possível determinar precisamente a importância relativa dos objetivos, a chamada programação de metas preemptive pode ser uma ferramenta útil.

A GLP trata os objetivos e restrições de maneira simétrica, isto é, variáveis de desvios negativos e positivos, tanto para o objetivo e restrições e é composta de  $m$  funções lineares em  $n$  variáveis de decisão e  $2m$  variáveis de desvio. Cada função desta é originada de um objetivo ou restrição que é denotada uma meta<sup>(7)</sup>.

De acordo com estudos pesquisados, a gerência das corporações americanas freqüentemente focaliza uma variedade de objetivos (muitas vezes conflitantes e incomensuráveis), por exemplo: manter os lucros rentáveis, aumentar (ou manter) sua fatia do mercado, diversificar produto, manter preços estáveis, melhorar a moral do trabalhador, manter o controle do negócio e aumentar o prestígio da companhia.

O método de GLP é um método flexível, eficiente e de fácil uso e implementação<sup>(4)</sup>. Ainda neste mesmo pensamento afirma-se que o mais importante é obter uma ferramenta que englobe as diversas variáveis e que permita estabelecer, sob o ponto de vista sistêmico, os diversos objetivos a serem alcançados.

Porém, na literatura os modelos de Engenharia de Transportes, em sua grande maioria não apresentam expressões lineares. Por isso vale ressaltar que a condição básica para a utilização da GLP é que as equações sejam lineares, ou seja, é necessário a linearização das equações.

Para resolver este tipo de problema, deve-se sempre partir da situação atual de todas as variáveis de interesse e em seguida lançar mão do conceito de elasticidade na Economia, que é a relação entre os acréscimos e decréscimos relativos de variáveis correlacionadas. Esta linearização é obtida por meio de derivadas parciais relativas das funções, obtendo-se, por conseguinte a linearização da função, passando as variáveis a representar os respectivos acréscimos e decréscimos<sup>(5)</sup>.

Utilizando este artifício matemático é que foram desenvolvidos os três sub-modelos que alicerçam o modelo econômico-operacional aqui proposto.

## 2. FORMULAÇÃO DO MODELO PROPOSTO.

Na operação do TIG, existem diferentes objetivos a serem alcançados, por tanto almejados, pelo tomador de decisão, que são muitas vezes conflitantes e até mesmo incomensuráveis.

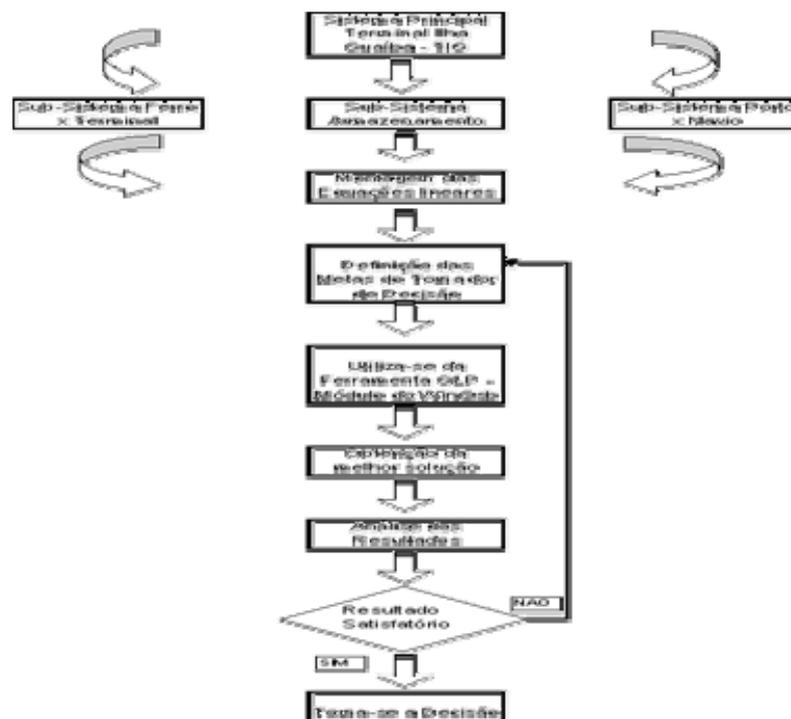
Sob o ponto de vista de uma empresa privada, buscou-se estabelecer prioridades na qual se busca alcançar objetivos estabelecendo metas e prioridades. Que é uma condição *sine qua non* para a utilização da GLP.

Visando o aproveitamento máximo dos recursos disponíveis, objetivo de qualquer empresa privada, estabelece-se um paralelo com a necessidade de se desenvolver uma outra linha de tomada de decisão baseada na humanização, conforme dito anteriormente, na qual além de analisar a natureza econômica do problema leva-se em consideração o desejo e os objetivos do analista ou o tomador de decisão.

Buscando o gerenciamento eficiente e eficaz do terminal (custo baixo e qualidade satisfatória) cujos, estes parametros são fator primordial para a sobrevivência de uma empresa que opera um terminal, devem ser analisados os aspectos econômicos, meio ambiente, políticos, sociais e estéticos num processo de tomada de decisão.

Portanto, os pesquisadores têm mantido uma busca incessante de uma forma de obter não apenas a solução ótima e sim a melhor solução, considerando os vários objetivos e que indique a solução do problema, mesmo que a restrição tenha sido violada.

Para o TIG montou-se um fluxograma de todo o modelo, ou seja, o sistema principal, que inclui os subsistemas que o alicerçam, a determinação das elasticidades para a montagem das equações linearizadas para utilização da PLOM e são definidas as metas do tomador de decisão do terminal, conforme fluxograma na figura 1.



Fonte: autor.

FIGURA 1. Fluxograma do modelo adotado para o TIG.

### 3. APLICAÇÃO DO MODELO ECONÔMICO-OPERACIONAL.

#### 3.1. O SUB-MODELO FERRO x TERMINAL.

O primeiro sub-modelo, engloba o binômio ferrovia x terminal, que se dá em função das distribuições dos tempos médios entre chegadas das composições (tabelas) juntos ao terminal, a capacidade dos viradores, o tempo de descarga do mesmo e a saída da composição do terminal, têm como suas principais variáveis de

entrada são: o volume transportado pela ferrovia (ton/ano), nº de vagões numa composição ou tabela (unidade), o volume de 1 vagão (ton/vagão), a distância do trecho ferroviário (km), o tempo de percurso (horas), o nº de viradores - car dumpers (unidade), a capacidade útil de cada virador (tph), o nº de horas operacionais dos viradores (hora), o nº total de dias operacionais da ferrovia (dias/ano), o salário médio do maquinista (horas), o nº de maquinistas por composição (unidade), a potência do motor da locomotiva (hp), o número médio de locomotivas numa composição (unidade), o preço do óleo diesel e do lubrificante (US\$/litro), o nº de desvios no trecho ferroviário (unidade), o menor tempo percorrido para importação (horas), o fator de manutenção das locomotivas e vagões (%/100), o preço de 1 locomotiva e vagão (US\$), o nº de locomotivas e vagões necessários para o volume anual transportado (unidades/ano), a vida útil da locomotiva, dos vagões e da sinalização (anos), o nº de homens por desvio (unidade), a tonelada bruta (ano), os impostos (ICMS,PIS,COFINS,CPMF,CS,IR) (%/100), a taxa de crescimento do volume (%/100), o prazo de amortização (%/100), a taxa de juros (%/100, a taxa interna de retorno (%/100) e o período de concessão (%100).

Por meio da aplicação do sub-modelo junto ao terminal, obtiveram-se alguns resultados interessantes, bem como a taxa de ocupação dos viradores - 43,5%, a taxa média de chegada das composições - 0,342 trens/dia, a taxa média de atendimento dos viradores - 1,336 trens/ horas, o tempo médio de atendimento dos viradores - 0,748 horas/composição, o intervalo entre composições (*headway*) - 2,94 horas, o custo operacional da ferrovia - US\$0, <sup>023</sup> (US\$/ton x km) e a tarifa cobrada pela ferrovia - US\$ 12, <sup>292</sup> /ton. Vale ressaltar, que a tarifa em vigor, a partir de 20/12/2004, da MRS Logística, na Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT é de US\$11, <sup>50</sup>.

### **3.2. O SUB-MODELO PORTO x NAVIO.**

Engloba a operação dos navios, que se dá em função das distribuições dos tempos médios entre chegadas de navios obtidos junto ao terminal. Sendo que as principais variáveis de entrada do sub-modelo ferro x terminal são: o volume movimentado (ton/ano), a tonelage por porte bruto do navio médio (tpb ou tdw), a loa, largura e o calado do navio médio (metros), o nº médio de navios atendidos (unidade/ano), a largura do canal de acesso (km), a velocidade do navio no canal de acesso (nós), a capacidade útil do shiploader (tph), o tempo de utilização do shiploader em operação (horas), o nº de berços de atracação (unidade, a quantidade de shiploader(s) (unidades), o tempo de atraso inicial da operação do navio (horas), o tempo de atracação do navio (horas), o tempo de troca de porão do navio (horas), o tempo de trim do navio (horas), o tempo de atraso final do navio (horas), o preço unitário de 1 shiploader (US\$/unidade), o preço de 1 km de esteira transportadoras (metros), o preço total dos equipamentos de retro-porto (US\$) e a taxa de juros e prazo de amortização dos equipamentos (%/100).

Por meio da aplicação do sub-modelo junto ao terminal, constatou-se que o terminal movimentou, em 2004, cerca de 33,97 milhões de toneladas, foram atendidos 277 navios de porte médio de 122.000 tpb. A taxa média de chegadas dos navios ao sistema foi de 0,783 navios/dia, o tempo de não produtividade do navio foi de 6,5 horas/dia, o tempo de ociosidade do navio no sistema foi de 0,585 horas, o tempo médio de atendimento foi de 1,083 dia(s)/navio, a taxa de atendimento no berço foi de 0,923 navios(dia), a taxa de ocupação dos berços foi de 82,2%, a probabilidade de um navio chegar ao terminal e ser atendido foi de 9,8%, o tempo

médio de espera do navio em fila para ser atendido foi de 2,257 dias, o tempo médio do navio no sistema é de 3,34 dias. Já com relação aos custos, obteve os seguintes resultados: o custo do navio médio parado no porto é de US\$ 71.071,00/dia, o custo operacional do navio no porto é de US\$0,862/ton, o custo do capital da infraestrutura é de US\$29,77 milhões/ano, o custo relativo ao berço de atracação é de US\$29,57 milhões/ano, o custo médio total é de US\$ 59,06 milhões/ano e o custo marginal é de US\$2,994/ton.

### 3.3. ANÁLISE DOS RESULTADOS DO SUBSISTEMA PORTO x NAVIO..

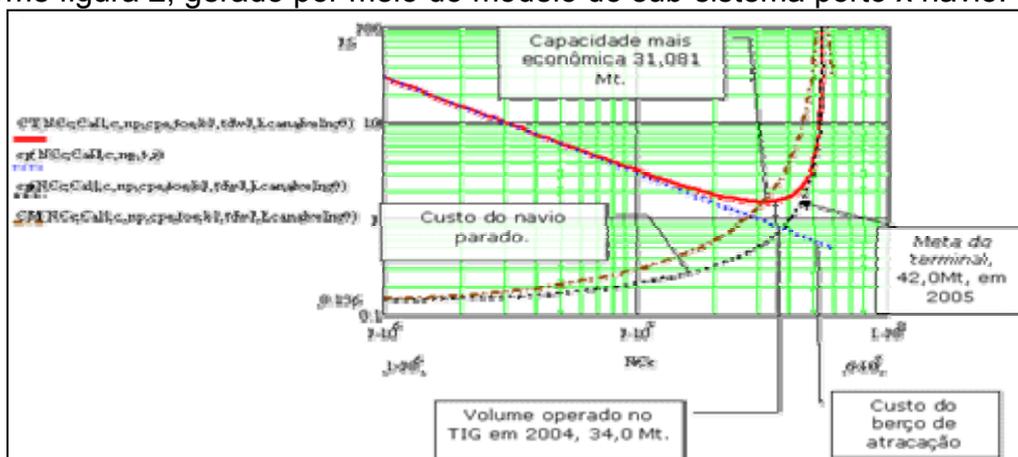
Em 2004, o subsistema porto x navio atendeu 277 navios e movimentou 33.970.000 milhões de toneladas <sup>(1)</sup>.

O TIG está com uma taxa de ocupação dos berços de 82,2% referentes ao volume de 2004, isto quer dizer que o terminal esta operando, sob a sua ótica, economicamente, mas a partir do momento que se inclui na análise, o armador, dono do navio, o terminal deixa de estar operando economicamente, ou seja, está gerando custos para o navio e quem paga por estes custos é o próprio terminal, quando se analisa sistemicamente.

A partir do momento que se analisa sistemicamente o sub-sistema porto x navio, o terminal está pagando multa (*demurrage*) devido ao fato de os navios esperarem na fila para serem carregados. Em 2004, o total de multa paga foi da ordem de R\$39,8 milhões. Um dos fatos que contribuíram para este montante foi quando o carregamento dos navios foi paralisado por 10 dias, por problemas na carregadeira <sup>(1)</sup>.

A probabilidade de um novo navio ingressar no sistema e encontrar o berço vazio, ou seja, pronto para operar, é de somente 9,8%, acarretando um tempo de espera na fila 2,257 dias e um tempo total no sistema de 3,34 dias.

O volume operado no terminal, na situação atual, é anti-econômico, conforme figura 2, gerado por meio do modelo do sub-sistema porto x navio.



Fonte: autor.

FIGURA 2 – Análise dos custos do terminal em função do volume operacional.

Por meio da figura 2, pode-se verificar que, o custo marginal (CM) corta o custo total do terminal em exatamente 31.081.000 ton, capacidade mais econômica.

Foram criadas 3 hipóteses para que o terminal possa aumentar a sua capacidade de movimentação em detrimento da demanda ofertada, ou seja, o que o

terminal deverá fazer para atingir a capacidade desejada de movimentação de 42 milhões de toneladas por ano.

A 1ª hipótese, seria a construção de mais um berço e aquisição de mais um carregador (*shiploader*) de 10.500 tph, ou seja, na ampliação de sua capacidade física, mantendo o restante conforme a situação atual, a capacidade mais econômica do terminal passará de 31,87 milhões para 63,4 milhões de toneladas. Já com relação à 2ª hipótese, cogitou-se que o terminal opta-se por apenas aquisição de mais um equipamento, *shiploader*, com a mesma capacidade do atual, a capacidade mais econômica passa a ser de 41,83 milhões de toneladas. E por final, a 3ª hipótese, cuja finalidade é de reformar o carregador existente, aumentando a sua capacidade atual, passando para 20.000 tph, com isso a capacidade mais econômica do terminal passaria a ser de 41,07 milhões de toneladas.

Como pode ser notado, existem várias alternativas para o tomador de decisão alocar os investimentos necessários para dar uma sobrevida para o terminal, mas como se trata de uma análise sistêmica, não se pode olhar somente para o complexo porto x navio, pois a área de armazenamento, espaço físico do terminal, é limitada em 3,0 milhões de toneladas, ou seja, equiparada a uma movimentação anual de até 41,9 milhões de toneladas.

Portanto, o complexo porto x navio, que atualmente é um gargalo para o terminal, após se realizarem os investimentos necessários, deixará de ser um entrave na operação, em contra partida, o armazenamento, que atualmente não é um gargalo, passará a ser. Então cabe ao tomador de decisão averiguar qual a melhor combinação dos investimentos, para que não haja desperdício.

### **3.4. O SUBSISTEMA DE ARMAZENAMENTO.**

É avaliado, conforme a correlação do que é transportado pelo subsistema ferro x terminal e o que é movimentado pelo subsistema porto x navio, ou seja, se o volume de carga que ingressa no terminal é maior do que o volume que sai, uma vez ocorrido este evento haverá estoque.

As principais variáveis de entrada e resultado após a aplicação são: o volume transportado pela ferrovia (ton/ano), o estoque inicial (ton), o período de análise (dias/ano), o tempo técnico mínimo de permanência em estoque (dias) e o tempo máximo de permanência em estoque (dias).

Com aplicação deste sub-modelo, obteve-se os seguintes resultados: a ferrovia transportou para o TIG, cerca de 33,82 milhões de toneladas, o estoque total utilizado foi de 2,6 milhões de toneladas. Vale ressaltar, que o estoque máximo do terminal é de 3,0 milhões de toneladas que correspondem a uma movimentação de 41,9 milhões de toneladas.

### **3.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS DO SUBSISTEMA ARMAZENAMENTO.**

O armazenamento da carga no TIG é um ponto crítico, pois a capacidade viva de estoque é de 3.000.000 de toneladas e é limitada pelo espaço físico, ou seja, por se tratar de uma Ilha, não tem para onde crescer fisicamente.

Na situação atual, pela movimentação em 2004, o estoque total utilizado foi de 2.601.000 toneladas. Como a meta do terminal é atingir 42.000.000 de toneladas movimentadas, teria que ter uma capacidade de estocagem de 3.102.000 ton.

### **3.6. ELASTICIDADES DOS SUBSISTEMAS.**

Por se tratar de um modelo econômico-operacional, segundo Hill (2003), a teoria econômica sugere muitas relações entre variáveis econômicas. Todavia, na

micro e macroeconomia depara-se com relações entre variáveis. Para que seja analisados o quanto caminham juntos duas variáveis, utiliza-se o conceito de covariância e de correlação entre essas duas variáveis aleatórias.

Partindo-se da situação atual de todas as variáveis de interesse dos 3 sub-modelos e lançando mão do conceito da elasticidade na Economia, obteve-se as elasticidades das variáveis para os subsistemas. Como exemplo, basta especular, que se o volume do terminal aumentar em 10%, temos: um acréscimo de 10% na taxa média de chegadas dos navios, um acréscimo de 14,59% na taxa de ocupação dos berços, um acréscimo 4,59% no tempo médio de atendimento, um decréscimo de 4,59% na taxa de atendimento, um acréscimo de 95% no tempo médio de espera na fila, um acréscimo de 66% no tempo médio no sistema.

Com relação aos custos, tem-se um acréscimo de 28% no custo operacional do navio no porto, um decréscimo no custo relativo ao berço de atracação, mas o custo total do complexo porto x navio tem um acréscimo de 5%.

Após estas análises, por meio da PLOM, especificamente pelo módulo GLP, faz-se-á a análise de como resolver estes problemas, como exemplo, de aumentar o volume em 10%, diminuir o custo total do TIG, minimizar os investimentos, diminuir os tempos de ociosidade do navio etc.

### 3.7. APLICAÇÃO DA GLP NO TIG.

Ao se aplicar a GLP para resolver os problemas de múltiplos objetivos, ou seja, desejos, metas, do tomador de decisão, existem a necessidade de montagem das equações.

Para a aplicação da PLOM no TIG, defini-se as variáveis de entrada do modelo, conforme figura 3.

Após estabelecer os índices ( $x_1, x_2, x_3, \dots, x_{44}$ ) para as variáveis do modelo, monta-se às equações de acordo com as figuras 10, 11 e 12, resumos das elasticidades. Vale salientar o cuidado que se deve ter com os sinais das elasticidades.

Portanto, a primeira equação, montada por meio dos índices, é a função taxa média de chegadas dos navios por dia,  $\lambda$ , denominada de  $x_1$ .

Esta função tem como variáveis: o volume e o calado. As elasticidades referentes a esta função são: o volume, chamado de índice  $x_{25}$ , que é igual a 1 e o calado, chamado de índice  $x_{26}$ , cuja elasticidade é -4,184.

$$x_1 = x_{25} - 4,184x_{26} \quad (1)$$

Para transformá-la em uma equação da forma da GLP,  $f_i(x) + \eta_i - \rho_i = b_i$ , primeiro iguala a equação a  $b_i$  e insere os desvios negativo  $\eta_i$  e positivo  $\rho_i$  na equação e esta passa a ser uma equação de restrição, tipo:.

(2)

Vale lembrar  $x_1 - x_{25} + 4,184x_{26} + \eta_1 - \rho_1 = 0$  que o  $b_i$  é o nível de aspiração da meta  $i$ . Portanto, realizando este procedimento acima, é estabelecido as equações da GLP, conforme figura 4.

x1	Taxa média de chegada dos navios (dia)	$\lambda$
x2	Taxa de ocupação dos berços (dia)	$\rho$
x3	Tempo não produtivo (horas)	$tnp$
x4	Tempo de ociosidade do navio (dias)	$to$
x5	Tempo médio de atendimento (dia/navio)	$ta$
x6	Taxa de atendimento do berço (hora)	$\mu$
x7	Tempo médio na fila (navio/dia)	$wq$
x8	Tempo médio no sistema (navio/dia)	$ws$
x9	Custo do navio parado (US\$/dia)	$Cn$
x10	Custo operacional do navio no porto (US\$/ton)	$cn$
x11	Custo do capital da infra-estrutura - (US\$/ano)	$CC$
x12	Custo operacional total da infra-estrutura portuária - (US\$/ano)	$C$
x13	Custo relativo ao berço de atracação - (US\$/ton)	$cp$
x14	custo médio total do complexo porto x navio (US\$/ton)	$ct$
x15	Investimento na infra-estrutura portuária - (milhões de US\$)	$INV P$
x16	Taxa média de chegada das composições (dia)	$\lambda$
x17	Número médio de composições atendidas - (dia)	$ntm$
x18	Tempo médio de atendimento (dia/composição)	$ta$
x19	Tempo de ociosidade dos viradores (horas)	$to$
x20	Taxa de atendimento dos viradores (hora)	$\mu$
x21	Taxa de ocupação dos viradores - (%/100)	$\rho$
x22	Investimentos ferroviários - (milhões de US\$)	$INV I$
x23	Estoque total do terminal - ton/mês	$ETT$
x25	Volume -(ton/ano)	$vol$
x26	Calado - (metros)	$CalI$
x27	Comprimento Navio - (metros)	$LLI$
x28	Tonnage of deadweight - (tonelada)	$tdwI$
x29	Comprimento do canal - (km)	$Lcanal$
x30	Velocidade do Navio no Canal de acesso - (nós)	$velnc$
x31	Número de berços - (unidade)	$c$
x32	Número de carregadores - (unidade)	$np$
x33	Capacidade útil do carregador - (tph)	$cpe$
x34	Tempo de operação do equipamento - (horas)	$toe$
x35	Prazo Amortização - (ano)	$t$
x36	Taxa de Juros - (%/100)	$i$
x37	Distância do trecho ferroviário - (km)	$dist$
x38	Número de composições - (unidade)	$ntm$
x39	Quantidade de vagões na composição - (unidade)	$comp$
x40	Capacidade útil do vagão - (ton)	$vv$
x41	Número de viradores - (unidade)	$nvd$
x42	Capacidade útil do virador 1 - (tph)	$cpu1$
x43	Capacidade útil do virador 2 - (tph)	$cpu2$
x44	Tempo máximo estoque - (dias)	$hmax$

Fonte: autor.

FIGURA 3 – Variáveis de entrada para o modelo de GLP do TIG.

Taxa média de chegada dos navios (dia)	$\lambda$	$x1-x25+4,184x26+7_1-p_1=0$
Taxa de ocupação dos berços (dia)	$\rho$	$x2-1,459x25+4,184x26+0,17x28+0,459x31+0,23x32+0,459x33+7_2-p_2=0$
Tempo não produtivo (horas)	$tnp$	$x3+0,379x28+7_3-p_3=0$
Tempo de ociosidade do navio (dias)	$to$	$x4+0,314x28-0,17x29+0,17x30+7_4-p_4=0$
Tempo médio de atendimento (dia/navio)	$ta$	$x5-0,459x25+0,17x28+0,459x31+0,23x32+0,459x33+0,459x34+7_5-p_5=0$
Taxa de atendimento do berço (hora)	$\mu$	$x6+0,459x25-0,17x28-0,092x30-0,459x31-0,23x32-0,459x33-0,459x34+7_6-p_6=0$
Tempo médio na fila (navio/dia)	$wq$	$x7-9,532x25+26,008x26+1,226x28+0,662x30+1,658x32+3,315x33+7_7-p_7=0$
Tempo médio no sistema (navio/dia)	$ws$	$x8-6,613x25+17,641x26+0,86x28+1,196x32+2,397x33+7_8-p_8=0$
Custo do navio parado (US\$/dia)	$Cn$	$x9-2,887x26+7_9-p_9=0$
Custo operacional do navio no porto (US\$/ton)	$cn$	$x10-2,809x25+8,034x26+0,444x28+0,239x30+0,6x32+1,199x33+7_{10}-p_{10}=0$
Custo do capital da infra-estrutura - (US\$/ano)	$CC$	$x11-3,387x26-x31+7_{11}-p_{11}=0$
Custo operacional total da infra-estrutura portuária - (US\$/ano)	$C$	$x12-0,434x26-0,126x31+0,538x35-0,491x36+7_{12}-p_{12}=0$
Custo relativo ao berço de atracação - (US\$/ton)	$cp$	$x13-x25+0,132x32+0,538x35-0,491x36+7_{13}-p_{13}=0$
custo médio total do complexo porto x navio (US\$/ton)	$ct$	$x14-0,555x25+2,824x26+0,181x28+0,098x30+0,245x32+0,489x33+7_{14}-p_{14}=0$
Investimento na infra-estrutura portuária - (milhões de US\$)	$INV P$	$x15-0,422x26-x27+7_{15}-p_{15}=0$
Taxa média de chegada das composições (dia)	$\lambda$	$x16-x25-x39-x40+7_{16}-p_{16}=0$
Número médio de composições atendidas - (dia)	$ntm$	$x17-x25+x39+x40+7_{17}-p_{17}=0$
Tempo médio de atendimento (dia/composição)	$ta$	$x18-x40+x41+0,557x42+0,443x43+7_{18}-p_{18}=0$
Tempo de ociosidade dos viradores (horas)	$to$	$x19+1,341x25-x39-x40-0,341x41-0,19x42-0,151x43+7_{19}-p_{19}=0$
Taxa de atendimento dos viradores (hora)	$\mu$	$x20+x39+x40+x41-0,557x42-0,443x43+7_{20}-p_{20}=0$
Taxa de ocupação dos viradores - (%/100)	$\rho$	$x21-x25+x41+0,557x42+0,433x43+7_{21}-p_{21}=0$
Investimentos ferroviários - (milhões de US\$)	$INV I$	$x22-1,995x25+7_{22}-p_{22}=0$
Estoque total do terminal - ton/mês	$ETT$	$x23-0,887x25-1,181x44+7_{23}-p_{23}=0$

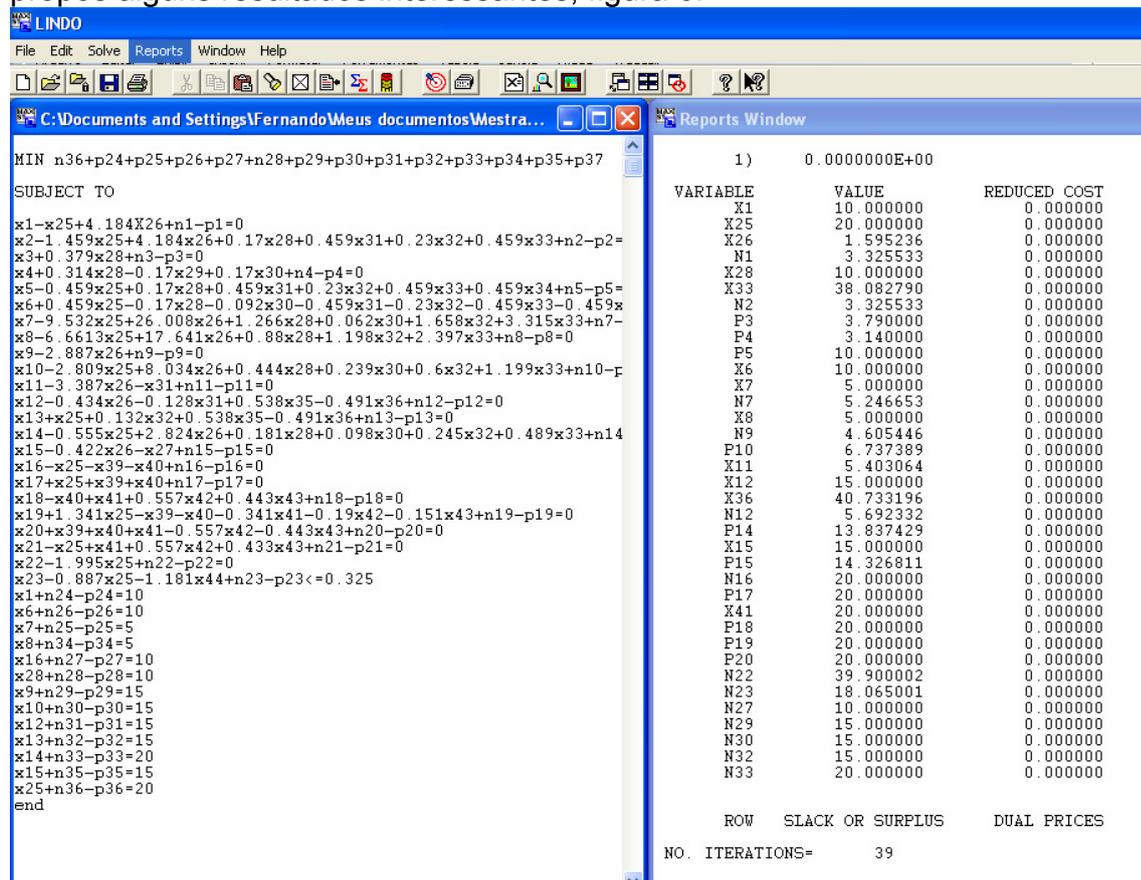
Fonte:autor.

FIGURA 4 – Equações para o modelo de GLP do TIG.

Após definir as equações e variáveis que a integram, foram definidas algumas prioridades, ou seja, metas, como a 1ª é aumentar o volume do terminal em 20%, a 2ª diminuir os custos do terminal em 15%, a 3ª diminuir o custo total do terminal em 20%, a 4ª que o investimento na infra-estrutura portuária não exceda 10% e a 5ª seria diminuir os tempos na fila e no sistema, bem como as taxas operacionais do navio e do complexo porto x navio em 10%.

### 3.8. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS.

Com a resolução do problema, utilizando o software Lindo , versão 6.1, conforme figura 5, obteve-se o atingimento de todas as metas propostas, conforme o vetor execução (0;0;0;0;0;0). Para que as metas de 1 a 5 fossem atingidas, o modelo propôs alguns resultados interessantes, figura 6.



Fonte:autor.

FIGURA 5 – Resolvendo o modelo por meio do software Lindo 6.1.

1. Aumentar em 10% o tpb do navio médio;
2. Aumentar em 10% a taxa média de chegada dos navios;
3. Aumentar o calado em 1,59%;
4. Aumentar a capacidade do shiploader em 38,8%, e
5. Acarretará num aumento de 5,40% no custo de capital da infra-estrutura.

Fonte:autor

FIGURA 13. Resultados do Lindo 6.1 para o TIG

Significa que o modelo proporciona ao tomador de decisão, que a partir da situação atual, se aumentar o volume em 10%, o terminal terá que investir na sua capacidade física, ou seja, terá que realizar obras na infra-estrutura do porto e fazer melhorias no carregador.

#### 4 CONCLUSÕES

O modelo proporcionou uma análise sistêmica de toda a operação do terminal, ressaltando a importância de se ter uma ferramenta que auxilie o tomador de decisão na hora de decidir e de se ter uma análise de sensibilidade para um planejamento a longo prazo.

Portanto, estas decisões na esfera gerencial, passam a ser de suma relevância, visando ainda mais a necessidade de estarem respaldadas por um modelo matemático, pois nem sempre a solução ótima é a melhor solução e sim, o conjunto de soluções que atendem melhor o resultado final e esperado, esta sim, é a tônica do gerenciamento.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) CAEMI. Release de resultados de 2004. Disponível: [http://www.caemi.com.br/publique/media/caemi\\_release%20resultado%202004.pdf](http://www.caemi.com.br/publique/media/caemi_release%20resultado%202004.pdf). [Capturado em 15 de março de 2005] **Site...**
- 2) CARMO, W. do. Procedimento para viabilização de investimentos privados em ferrovias. Tese de mestrado. IME. Rio de Janeiro, 1998.
- 3) EASA, M.S. Assessing future management strategies in the port of thunder bay. Transportation Research – A. vol 2. no3, pp 185-195, 1986.
- 4) IGNIZIO, J.P. Linear programming in single & multiple objective systems. Prentice Hall. ISBN 0-13-537027-2, p. 371-506, 1982.
- 5) MAC DOWELL, F. Estudo sistêmico para avaliação de implantação de terminal de graneis no porto de são francisco do sul. Governo de Santa Catarina, 2004.
- 6) RAMOS, A.F. Procedimento para tomada de decisão em terminais marítimos petroleiros. Dissertação apresentada ao Instituto Militar de Engenharia para obtenção do título em mestre em Engenharia, RJ, 1995.
- 7) WINSTON, W.L. Operation research: applications and algorithms. - 4 e.d. - CA. Belmont, CA, USA, 2004. 127p.
- 8) WRITE,D.J. A bibliography on the application of mathematical programming multiple objectives methods. **Journal of Operation Research society**. Vol 41, no8, pp 669-691, 1990.