



SPOLM 2007

ISSN 2175-6295

Rio de Janeiro- Brasil, 08 e 09 novembro de 2007.

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE TRANSPORTE NAVAL PARA DISTRIBUIÇÃO DE PRODUTOS PETROQUÍMICOS

João I. Soletti D. Sc

Universidade Federal de Alagoas

Campus A. C. Simões, BR 104 - Norte, Km 97, Maceió - AL, CEP 57072-970

jsoletti@ctec.ufal.br

Sandra H. V. Carvalho D. Sc

scarvalho@ctec.ufal.br

Liliane Soletti M. Sc.

lilianesoletti@hotmail.com

Dorival F. Carvalho

dorival_freire@yahoo.com.br

Paulo A. B. Pucú

alibertpucu@hotmail.com

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo fazer a simulação matemática para o problema do transporte naval, pela costa marítima brasileira, minimizando o tempo de operação e, conseqüentemente, os custos operacionais que envolvem todo o processo.

Foi considerado inicialmente o conjunto dos portos de origem, de onde são transportados os produtos, através dos navios, pelas rotas, para os portos de destino, aonde cada porto de destino terá uma determinada demanda a ser atendida. O modelo considera aspectos físicos como: dimensões dos navios e portos. São conhecidos para cada navio o calado, o comprimento, a vazão máxima das bombas para transferência de produtos, a quantidade e capacidade dos compartimentos, a capacidade máxima de transporte, além das distâncias das rotas e da limitação de estoque do produto na origem.

Otimização Combinatória-1, Programação Linear Inteira Mista - 2, Dimensionamento de Frota - 4, Transporte Marítimo - 5.

Abstract

The present work presents a mathematical simulation for the naval transport problem of the Brazilian maritime coast, minimizing its operational time and cost involved in the whole process.

Initially, it was considered the source group of ports where the products are transported from, in the ships, through the routes, to their destiny port where each destiny port will have a certain demand to be assisted. The model considers the physical aspects such as: dimensions of the ships and ports; draught; length; and, maximum transfer pumps, the amount and capacity of the compartments, the maximum capacity of each ship, the distances of the routes and the product stock limitation of the port origin.

Maritime Transport-1, Fleet Dimensioning-2, Mixed Integer Linear Program-3, Optimization Combinatorial- 4

1. INTRODUÇÃO

A cabotagem é uma alternativa economicamente viável para transporte de longa distância, principalmente para o caso de derivados de petróleo, através da integração com o transporte rodoviário. Para que isto ocorra é necessário que os setores envolvidos na cadeia logística trabalhem em sincronia, o que requer um planejamento substancial de ambos os lados da cadeia.

O problema de transporte de derivados de petróleo envolve o planejamento de fluxos de centros produtores, na sua maioria refinarias de petróleo, para centros consumidores que possuem seus tanques de distribuição instalados em portos, pelo menos um em cada estado do país. Para que haja o transporte marítimo dos derivados de petróleo torna-se necessário uma infra-estrutura mínima, composta por um ou mais *piers* (docas de descarregamento de petroleiros) e, tanques de armazenamento dos derivados de petróleo nos portos de recebimento.

Um problema típico envolve a aplicação de técnicas de programação matemática para o planejamento de rotas de distribuição, associado à disponibilidade de navios. Este problema é normalmente equacionado via programação Linear Inteira Mista (PLIM).

Para este trabalho foi desenvolvido um modelo matemático, baseado em parâmetros relativos a demanda de centros consumidores e às características da frota. A programação dos navios e a escolha de rotas foi baseada no custo mínimo de transporte, identificando-se os navios, associados ao transporte de determinados produtos, de modo a satisfazer as demandas dos centros consumidores, considerando intervalos de tempo predeterminados.

2. REVISÃO DA LITERATURA

O foco principal deste trabalho refere-se a logística de distribuição de granéis líquidos via navio, mais especificamente de derivados de petróleo claros. Procurou-se abranger vários temas relacionados ao objeto de estudo, tais como: problemas de roteamento, dimensionamento de frota, cabotagem, transporte de óleo cru, entre outros, seguindo uma ordem cronológica.

Uma das estratégias mais importantes, no planejamento da atividade de transporte de carga, utilizando o modal marítimo, é o dimensionamento da frota. Dentre os trabalhos publicados nesta área, Koenigsberg e Meyers (1980) propuseram um modelo para o dimensionamento de uma frota para a distribuição de cargas líquidas. Neste estudo foram consideradas duas frotas distintas operando em uma mesma atividade de carregamento. Como resultado do modelo foi determinada a quantidade de embarcações por frota, assim como, o número de viagens, associado a um período de tempo.

Scheduling é o termo utilizado para programação de tempo ou janelas de tempo para os diversos eventos de uma rota do navio (Ronen, 1983). O objetivo de um problema industrial clássico de *scheduling* com navios, é minimizar o somatório dos custos de todos os navios, pertencentes à frota, assegurando o atendimento da demanda.

Uma solução matemática para um problema da existência de uma capacidade superdimensionada no transporte marítimo com múltiplas origens e múltiplos destinos foi explorada por Papadakis e Perakis (1989a). O modelo matemático proposto foi formulado via Programação não-linear, sendo estabelecidas as condições de origem e destino, relacionadas a uma velocidade ótima.

Papadakis e Perakis (1989b) apresentaram um modelo não linear multivariável, para otimização de uma frota de navios que operam, com diferentes velocidades, numa rota fixa entre dois portos. O dimensionamento da frota é baseado na velocidade, não considerando as janelas de tempo. A função objetivo visa minimizar a velocidade da embarcação sem prejuízo do atendimento.

Shah (1996) destaca o problema de *scheduling* de óleo cru, mostrando que o uso da programação matemática é uma ferramenta valiosa, e economicamente importante, no planejamento da distribuição do produto, dentro de uma refinaria. Neste trabalho é apresentado o planejamento do sistema de estocagens, assim como, seu bombeamento para as unidades de destilação.

Speranza e Ukovich (1994) desenvolveram um modelo de programação inteira mista que foi utilizado para a minimização do custo de transporte e investimento, para o envio de produtos, via navio, considerando uma origem e um destino. Mais tarde, em 1996 o mesmo problema foi estudado, substituindo a programação inteira mista por algoritmos heurísticos, considerando vários destinos (Speranza e Ukovich, 1996)

Para o problema de roteamento foi apresentado um modelo penalizando o custo horário de transporte, além dos custos gerais de transporte por Fagerholt (2000). Esse trabalho avaliou o intercâmbio existente entre a flexibilidade de atendimento na janela de tempo, requerida pela carga, e os custos associados ao atraso, caso ocorra. O autor divide a metodologia em duas partes, onde inicialmente foram geradas as rotas e posteriormente, em uma segunda etapa, utilizadas como um dado de entrada no modelo. Atualmente, muitos portos ainda não utilizam janelas de tempo para os navios, mas o aumento da demanda, tornará necessário um melhor controle no tempo de espera em fila das embarcações.

Fagerholt (2001) considerou um problema real de *scheduling* com uma frota heterogênea de navios para carga e descarga. Um conceito de janela de tempo *soft* foi introduzido, objetivando flexibilidade no cumprimento das janelas de tempo convencionais. Normalmente, para a resolução destes problemas é gerado um grande número de *schedules* candidatos. Nesse trabalho foram aplicadas regras heurísticas para reduzir este número de *schedules*, além disso, o problema foi resolvido utilizando técnicas de particionamento. Através desse modelo, foi possível obter melhores *schedules* e reduções no custo de transporte.

Foi apresentado por Ono (2001) um panorama geral sobre o transporte marítimo de contêineres, por cabotagem no Brasil. Nesse trabalho foram avaliadas as condições para a viabilidade do transporte marítimo e apontados os principais entraves e reformas necessárias no setor portuário. A metodologia empregada pode ser dividida em duas etapas: a primeira consistiu na geração de todos os roteiros viáveis, juntamente com os parâmetros relativos a cada uma das rotas, para cada classe de embarcação. A segunda etapa consistiu em um modelo de programação linear, minimizando o custo total da operação de cabotagem. Este modelo apresentou o dimensionamento da frota por classe de embarcação; a rota para cada embarcação da frota; e, a frequência de atendimento ou escala em cada porto.

3. METODOLOGIA

O modelo matemático desenvolvido neste trabalho foi formulado como um problema de programação linear inteira mista utilizando o *software* GAMS (*General Algebraic Modeling System*) para a implementação. Este *software* suporta vários algoritmos para resolução de problemas matemáticos, denominados *solvers*, os quais diferenciam-se de acordo com o tipo de modelagem a ser resolvida. Neste caso, o *solver* utilizado foi o CPLEX.

Inicialmente são geradas as rotas, a partir do número de portos que serão utilizados no cenário. Após a obtenção destas rotas são inseridos os dados de entrada (parâmetros) tais como: características dos navios que serão utilizados nos cenários; características dos portos; parcelas de custos referentes ao transporte; e, demandas e tempo máximo para que sejam atendidas. Como resultado, o modelo apresenta as rotas a serem realizadas, dentro do cenário proposto; os navios que serão utilizados; a distribuição dos produtos nos compartimentos dos navios; o tempo final para o atendimento da demanda; e, o custo total da programação.

3.1 Equações

Os índices, conjuntos, parâmetros e variáveis descritos nas próximas subseções serão utilizados nas Equações 1 a 9, as quais apresentam o modelo desenvolvido neste trabalho para o transporte marítimo de grãos líquidos.

3.1.1 Índices

Abaixo estão relacionados os índices utilizados no modelo:

r	representa a rota composta pelos portos que foram selecionados para fazer parte de uma programação. O número de rotas pode variar de 1 a m , onde m dependerá do número de portos considerados;
n	Representa um navio petroleiro integrante de uma frota. Cada navio está dividido em compartimentos, representados pelo índice c , cuja soma dos mesmos fornece a capacidade total do navio (m^3);
c	Representa um compartimento, que está associado a um navio n ;
i	Representa o porto que está associado a uma demanda;
p	Representa o produto transportado pelo navio n no compartimento c ;
w	Indica o número vezes que um navio realiza a mesma rota;
e	Porto de origem.

3.1.2 Conjuntos

Abaixo estão relacionados os conjuntos utilizados no modelo:

I	Conjunto dos portos de destino dos produtos;
I_r	Subconjunto de portos da rota r ;
R	Conjunto de todas as rotas;
N	Conjunto dos navios que compõem a frota;
P	Conjunto dos produtos a serem transportados;
C_n	Conjunto de compartimentos em cada navio.

3.1.3 Parâmetros

Relação dos parâmetros:

d_{ip}	Demanda do produto p no porto i (m^3);
$comp_{cn}$	Capacidade do compartimento c do navio n (m^3);
v_n	Velocidade de cruzeiro do navio n em milhas náuticas por hora (nó);
$dist_r$	Distância da rota r dada em milhas náuticas (mn), equivalente ao porto mais distante pertencente à rota;
$atrac_i$	Tempo médio de atracação, descarga e desatracação do navio n no porto i (dias);
cap_n	Capacidade do navio n (soma das capacidades dos compartimentos (m^3));
h	Horizonte de tempo para todo o planejamento (dias);
ct_n	Parcela do custo da operação do navio n por unidade de tempo (dia) de uso;
cd_n	Parcela do custo da operação do navio n por unidade de distância (milhas náuticas) percorrida pelo navio;
ca_n	Parcela do custo da operação do navio n por unidade de tempo (dia) por estadia no porto;
pc_i	Profundidade do porto i (m);
cal_n	Calado do navio n (m);
$pcom_i$	Comprimento do berço de atracação do porto i (m);

com_n Comprimento do navio n (m);
 $faina$ Tempo de manobra que o navio leva para ir e voltar da rota ao porto (dia);
 $tempa_{wnr}$ Somatório do tempo que o navio n permanece atracado para descarga de produto, em

cada porto i , pertencente a cada rota r . Este tempo é calculado por $\sum_{i \in I} \sum_{p \in P} \left(\frac{d_{ip}}{\frac{Q_n}{24}} + faina \right)$

$tempo_{wnr}$ Tempo de carga (dias) no porto de origem, de todos os navios n utilizados nas diferentes rotas, considerando uma determinada programação, acrescido da $faina$, representado por:

$$\sum_{i \in I} \sum_{p \in P} \left(\frac{d_{ip}}{\frac{Q_n}{24}} \right) + faina .$$

$tempd_{wnr}$ Tempo, em dias, do percurso de ida ao porto mais distante da rota r e retorno ao porto de origem, representado por: $\frac{2dist_r}{24v_n}$.

3.1.4 Variáveis

z_{wnr} Variável binária que vale 1 se o navio n está presente na rota r e 0 em caso contrário;
 m_{wpinr} Volume do produto p transportado para o porto i pelo navio n na rota r (m^3);
 x_{wpcnr} Variável binária que vale 1 se o produto p estiver no compartimento c do navio n na rota r e 0 em caso contrário.

3.1.5 Função objetivo

A função objetivo, a ser minimizada, é dada pela Equação 1 que representa o custo mínimo necessário para que as demandas sejam satisfeitas levando em consideração custos por: distância, tempo total de viagem e tempo de atracação.

$$\text{Minimizar } \sum_{w \in W} \sum_{n \in N} \sum_{r \in R} (ct_n tempd_{wnr} + cd_n dist_r + ca_n (tempa_{wnr} + tempo_{wnr})) z_{wnr} \quad (1)$$

3.1.6 Restrições

O somatório do volume do produto p , transportado para o porto i , pelos navios n pertencentes ao conjunto N , associados às rotas r , pertencentes ao conjunto R , deve ser igual à demanda do produto p no porto i . A Equação 2 garante que a demanda seja atendida estritamente.

$$\sum_{n \in N} \sum_{r \in R} \sum_{w \in W} m_{wnrip} = d_{ip} \quad \forall i \in I, \forall p \in P \quad (2)$$

O tempo total de operação do navio n na rota r , para o atendimento da demanda, está dividido em três parcelas, definidas por três parâmetros $tempa_{wnr}$, $tempo_{wnr}$ e $tempd_{wnr}$.

O somatório dos tempos que o navio n leva para percorrer todas as rotas r que lhe forem atribuídas deve ser menor ou igual ao horizonte de tempo h , período máximo, preestabelecido para o atendimento da demanda, Inequação 3.

$$\sum_{w \in W} \sum_{r \in R} (tempd_{wnr} + tempa_{wnr} + tempo_{wnr}) z_{wnr} \leq h \quad \forall n \in N \quad (3)$$

Os navios estão divididos em compartimentos, e em cada viagem cada um deles será ocupado por apenas um tipo de produto. A Inequação 4 controlada pelas variáveis binárias x e z , garante que cada compartimento c , associado a uma navio n , transportará apenas um produto p .

$$\sum_{p \in P} x_{wnrcp} \leq z_{wnr} \quad \forall c \in C, \forall r \in R, \forall n \in N, \forall w \in W \quad (4)$$

O somatório do volume de produtos, transportados para os diversos portos pertencentes à rota r , pelo navio n , deve ser menor ou igual à capacidade máxima do navio n , Inequação 5.

$$\sum_{w \in W} \sum_{n \in N} \sum_{r \in R} m_{wnrip} \leq Cap_n z_{wnr} \quad \forall r \in R, \forall n \in N, \forall w \in W \quad (5)$$

Para que um navio atraque em um porto deve-se levar em consideração a profundidade e o comprimento do berço de atracação. A Inequação 6 refere-se ao comprimento do navio n , ou seja, o navio n poderá atracar no porto i se o seu comprimento for menor ou igual ao comprimento do berço de atracação.

$$z_{wnr} com_n \leq pcom_i \quad \forall i \in I, \forall r \in R, \forall n \in N, \forall w \in W \quad (6)$$

A Inequação 7 irá determinar que, o navio n atracará no porto i se o calado do navio n for menor ou igual à profundidade do berço de atracação.

$$z_{wnr} cal_n \leq c_i \quad \forall i \in I, \forall r \in R, \forall n \in N, \forall w \in W \quad (7)$$

O somatório dos produtos p transportados pelo navio n para os portos pertencentes à rota r , deve ser menor ou igual ao somatório do volume dos produtos p estocados no porto de origem e .

$$\sum_{w \in W} \sum_{n \in N} \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} m_{wnrip} \leq \sum_{e \in E} est_{ep} \quad \forall p \in P \quad (8)$$

O volume dos produtos transportados, pelo navio n , para os portos pertencentes á rota r , deve ser menor ou igual à capacidade dos compartimentos, nos quais estes produtos foram alocados.

$$\sum_{c \in C} comp_{nc} x_{wnrcp} \geq \sum_{i \in I} dist_{ri} m_{wnrip} \quad \forall p \in P, \forall n \in N, \forall r \in R, \forall w \in W \quad (9)$$

4. ESTUDO DE CASO

O modelo desenvolvido permite ao usuário variar algumas condições, como quantidade de portos e, conseqüentemente o número de rotas, velocidade, capacidade, comprimento, calado e custos de operação das embarcações, demandas de cargas. Enfim, todos os dados de entrada que serão descritos são parâmetros e poderão ser modificados, testados e avaliados pelo usuário.

Neste trabalho foi utilizado um cenário fictício com três navios com capacidades distintas, ou seja, uma frota heterogênea, três portos de destino (Maceió, Cabedelo e Itaqui) com suas respectivas

demandas e um centro produtor, definido neste problema como porto de origem (Salvador). A partir do número de portos foram geradas todas as rotas possíveis, num total de sete.

Os três navios, citados neste exemplo, fazem parte da frota de navios que transportam produtos claros da TRANSPETRO. Foram associados a eles, três parcelas de custo: um custo diário, enquanto o navio está atracado no porto; um custo por distância, onde é cobrada uma taxa por milha náutica navegada e, um custo diário, calculado desde a partida até o retorno ao porto de origem, Tabela 1.

Tabela 1: Custo associado aos navios

Navio (nome)	Custo atracar (\$/dia)	Custo por unidade de distância (\$/milha náutica)	Custo diário (\$/dia)
Diva	5500	13	4500
Nara	6000	13	3500
Lajes	6000	13	7200

Levou-se em consideração algumas características dos navios, relacionadas na Tabela 2, como: comprimento, número de compartimentos, calado, velocidade e capacidade total e a vazão.

Tabela 2: Características dos navios utilizados

Navio (nome)	Comprimento (m)	N. Compartimentos	Calado (m)	Velocidade (nós)	Capacidade (m ³)	Vazão (m ³ /h)
Diva	161	5	8	13.75	22685	1200
Nara	161	5	8	14	22685	1150
Lajes	173	13	9	14	34970	1100

A Tabela 3 apresenta os portos que foram utilizados neste cenário com suas respectivas características: comprimento do berço e profundidade.

Tabela 3: Características dos portos

Porto (nome)	Comprimento (m)	Profundidade (m)
Cabedelo	200	9
Itaqui	210	11
Maceió	180	10

As demandas a serem atendidas referentes aos portos que estão relacionadas na Tabela 4. A quantidade de gasolina e óleo diesel correspondem, aos produtos vendidos aos estados de Alagoas, Paraíba e Maranhão no mês de fevereiro de 2007. Estes dados estatísticos estão disponíveis na página da ANP (Agência Nacional de Petróleo) (ANP, 2007).

Tabela 4: Demanda a ser atendida

Porto (nome)	Produtos	
	Gasolina (m ³)	Diesel (m ³)
Cabedelo	21212	20013
Itaqui	20060	26124
Maceió	12918	19158

A partir destes dados, utilizando o modelo descrito nas Equações 1 a 9, implementado na linguagem GAMS, obteve-se como solução os dados apresentados nas Tabelas 5 a 8.

A Tabela 5 apresenta as sete rotas geradas pelo modelo. Nesta tabela nas colunas de 3 à 6, o número 1 indica que o porto faz parte da rota e o número 0 que o porto não pertence àquela rota. A coluna 2 representa a distância, em mn (milhas náuticas), entre o porto de origem e o porto mais distante pertencente à rota. Além disso, considera-se que os navios são carregados no porto de origem (Salvador) e seguem a rota alocada, voltando vazio ao porto de origem.

Tabela 5: Possíveis rotas para três portos distintos

Rotas	Distância (mn)	Origem	Destino		
		Salvador	Maceió	Cabedelo	Itaqui
Rota-01	0336	1	1	0	0
Rota-02	0526	1	0	1	0
Rota-03	0526	1	1	1	0
Rota-04	1276	1	0	0	1
Rota-05	1276	1	1	0	1
Rota-06	1276	1	0	1	1
Rota-07	1276	1	1	1	1

A Tabela 6 apresenta a alocação das rotas para cada navio utilizado e o tempo para executá-las. A primeira coluna desta tabela indica os navios que foram selecionados pelo modelo. A segunda coluna indica as rotas, descritas na Tabela 5, alocadas pelo modelo. As rotas 1 e 4 foram selecionadas para o navio Lajes, a rota 4 para o navio Diva e a rota 2 para o navio Nara, o qual realiza a rota duas vezes, de acordo com a sexta coluna da tabela. A composição das rotas é dada da seguinte forma: na rota 1 o porto de destino é Maceió; na rota 2 o porto de destino é Cabedelo e, finalmente, na rota 4 o porto de destino é Itaqui, conforme a Tabela 5.

O tempo total para a realização da programação, coluna 7, é dado pelo somatório do tempo de viagem, do tempo em que o navio permanece atracado nos portos de destino e do tempo de atracação no porto de origem. O tempo de viagem, presente na coluna 3, é o necessário para o navio ir e voltar ao porto de origem, considerando-se as velocidades de cruzeiro (ou média) de cada navio, dada na Tabela 2. O tempo que o navio permanece atracado no porto de destino, coluna 4, é o somatório do período necessário para que o navio atraque, descarregue e desatraque nos portos destino, contidos na rota selecionada. Finalmente, o tempo atracado no porto de origem, coluna 5, é o tempo necessário para que o navio seja carregado no porto de origem, neste caso Salvador. Este tempo é calculado de acordo com a vazão de bombeamento dos produtos para o navio.

Uma rota pode ser composta por um ou vários portos. O último porto de uma rota é o mais distante do porto de origem, logo a distância contida na Tabela 5, refere-se a distância do porto de origem ao porto mais distante da rota, o último. Considerou-se no modelo desenvolvido neste trabalho, que os navios partem juntos, cada um seguindo suas rotas preestabelecidas, e ao ser entregue a carga no último porto da rota, o navio retorna ao porto de origem.

Tabela 6: Características dos navios utilizados

Navio (nome)	Rota	Tempo de viagem (Ida e volta em dias)	Tempo Atracado (portos de destino) (dias)	Tempo Atracado (porto de origem) (dias)	Nº de vezes que o navio realiza a rota	Tempo Total (dias)
Diva	Rota 04	7.73	1.94	1.77	1	11.44
Nara	Rota 02	3.13	1.83	1.66	2	13.24
Lajes	Rota 01	2.00	1.55	1.38	1	16.52
	Rota 04	7.59	2.08	1.92	1	

Uma rota pode ser composta por um ou vários portos. O último porto de uma rota é o mais distante do porto de origem, logo a distância contida na Tabela 5, refere-se a distância do porto de origem ao porto mais distante da rota, o último. Considerou-se no modelo desenvolvido neste trabalho, que os navios partem juntos, cada um seguindo suas rotas preestabelecidas, e ao ser entregue a carga no último porto da rota, o navio retorna ao porto de origem.

Para o navio Diva, foi selecionada a rota 4. Inicialmente o navio é carregado no porto de origem, Salvador. O navio parte de Salvador, diretamente à Itaqui, retornando à Salvador, onde finaliza a sua programação no prazo de 11,44 dias.

A rota 2 foi alocada para o navio Nara, por duas vezes. Sua programação inicia-se em Salvador, onde o navio é carregado. Ele destina-se a Cabedelo, retornando a Salvador para carregar novamente e realizar a mesma rota, finalizando a programação no prazo de 13,24 dias.

Para o navio Lajes foram alocadas as rotas 1 e 4, o queal leva 16,52 dias realizá-las.

A Tabela 7 apresenta qual produto foi alocado em cada compartimento do navio por rota. Pode-se notar que, por rota foi transportado apenas um produto em cada compartimento, pois o modelo não permite a mistura de produtos.

Tabela 7: Tipos de produtos nos compartimentos

Compartimentos	Navios				
	Diva	Nara		Lajes	
	Rota 04	Rota 02	Rota 02	Rota 01	Rota 04
Compartimento 01	Diesel	Gasolina	Diesel	Diesel	Gasolina
Compartimento 02	Diesel	Gasolina	Diesel	Gasolina	Gasolina
Compartimento 03	Diesel	Diesel	Diesel	Gasolina	Gasolina
Compartimento 04	Diesel	Gasolina	Diesel	Gasolina	Gasolina
Compartimento 05	Diesel	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Diesel
Compartimento 06	-	-	-	Gasolina	Gasolina
Compartimento 07	-	-	-	Diesel	Gasolina
Compartimento 08	-	-	-	Diesel	Gasolina
Compartimento 09	-	-	-	Diesel	Gasolina
Compartimento 10	-	-	-	Diesel	Gasolina
Compartimento 11	-	-	-	Diesel	Gasolina
Compartimento 12	-	-	-	Diesel	Gasolina
Compartimento 13	-	-	-	Diesel	Diesel

A Tabela 8 apresenta as quantidades de produtos transportados em cada rota, por cada navio, de forma a atender à demanda solicitada.

Tabela 8: Distribuição dos produtos

Navios (nome)	Rotas	Portos	Produtos	
			Diesel	Gasolina
Diva	Rota 04	Itaqui	22.685	-
Nara	Rota 02	Cabedelo	4.537	18.148
	Rota 02	Cabedelo	15.476	3.064
Lajes	Rota 01	Maceió	19.158	12.918
	Rota 04	Itaqui	3.439	20.060

Para a resolução deste problema foram necessários: 9 blocos de inequações totalizando 936 inequações; 4 blocos de variáveis totalizando 1.387 variáveis; 1.134 variáveis discretas e 4.485 iterações.

5. CONCLUSÃO

Através da modelagem proposta é possível simular problemas de planejamento de distribuição de combustível, ao longo da costa. O modelo é capaz de identificar dentre um conjunto de embarcações existentes, quais poderiam transportar os produtos, para satisfazer a uma demanda, dentro de um prazo predefinido. Esta programação deve conduzir este transporte a um custo mínimo, neste caso, associado à menor distância e ao menor tempo de entrega dos produtos. A minimização do tempo apresenta-se como uma ótima estratégia, quando se tem uma necessidade urgente de mercado.

O dimensionamento da frota e as melhores rotas selecionadas são fatores importantíssimos, pois estão diretamente relacionadas ao custo de viagem, o que pretende-se minimizar. Pode-se observar, a partir dos resultados obtidos, que o modelo mostrou-se capaz de alcançar este objetivo.

Diante do cenário apresentado e testado pelo modelo os resultados mostraram-se consistentes. Qualquer um dos parâmetros utilizados podem ser alterados, dessa forma, esse modelo pode ser aplicado, não somente a portos do nordeste, mas também ao longo de toda a costa brasileira.

7. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO. Vendas de combustíveis. URL: <http://www.anp.gov.br>. Acessado em 10/05/2007.

- FAGERHOLT, K.. Evaluating the trad-off between the level of customer service and transportation cost in a ship scheduling problem. *Maritime Policy Management*, 27(2):145 -153, 2000.
- FAGERHOLT, K.. Ship cheduling whit soft time windows: an optimisation based approach. *European Journal of Operational Research*, 20, 2001.
- KOENIGSBERG, E.; MEYERS, D. A. An interacting cyclic queue model of fleet operations. *The logistic and Transportation Revew*, 16:59 -71, 1980.
- ONO, R. T.. Estudo de viabilidade do transporte marítimo de contêineres por cabotagem na costa brasileira. Master's thesis, Departamento de Engenharia Naval, Escola Politécnica da USP, 2001.
- PAPADAKIS, N.; PERAKIS , A.. Minimal time vessel routing in a time-dependent environment. *Transportation Science*, 23(4):266 -276, 1989a.
- PAPADAKIS, N.; PERAKIS , A.. A nonlinear approach to the multiorigin, multideestination fleet employment problem. *Naval Research Logistics*, 36:515 -528, 1989b.
- RONEN, D. Ship scheduling: the last decade. *European Journal of Operational Research*, 71:325 - 333, 1983.
- SHAH, N.. Mathematical proگرامing techniques for crude oil scheduling. *Computers and Chemical Engineering*, 20:SI227 -SI232, 1996.
- SPERANZA; UKOVICH. Minimizing transportation and inventory costs for several products on a single link. *Operations Research*, 42:879 -894, 1994.
- SPERANZA; UKOVICH. An algorithm or optimal shipments with given frequencies. *Naval Research Logistics*, 43:655 -671, 1996.