

**MODELAGEM
COMPUTACIONAL
DE CONHECIMENTO**

Dissertação de Mestrado

***Scheduling* do transporte de petróleo das
plataformas marítimas e de atendimento
a centros consumidores**

Adrian Esteban Muract
amuract@gmail.com

Orientadores:

João Inacio Soletti. DSc
Sandra Helena Vieira de Carvalho. DSc

Maceió, outubro de 2008

Adrian Esteban Muract

***Scheduling* do transporte de petróleo das
plataformas marítimas e de atendimento
a centros consumidores**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Curso de Mestrado em Modelagem Computacional de Conhecimento do Instituto de Computação da Universidade Federal de Alagoas.

Orientadores:

João Inacio Soletti. DSc

Sandra Helena Vieira de Carvalho. DSc

Maceió, outubro de 2008

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

E79s Esteban Muract, Adrian.
 Scheduling do transporte de petróleo das plataformas marítima e de atendimento a centros consumidores / Adrian Esteban Muract. – Maceió, 2008.
 xi, 177 f. : il.


 Orientador: João Inácio Soletti.
 Co-Orientadora: Sandra Helena Vieira de Carvalho.
 Dissertação (mestrado em Modelagem Computacional de Conhecimento) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Computação. Maceió, 2008.

 Bibliografia: f. 174-177.


 1. Transporte marítimo – Dimensionamento de frota. 2. Transporte marítimo – Petróleo – Derivados – Logística. 3. Agenda de execução (Administração) – Modelos matemáticos. 4. Scheduling. I. Título.

CDU: 004.4

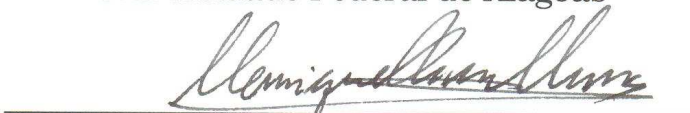
Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Curso de Mestrado em Modelagem Computacional de Conhecimento do Instituto de Computação da Universidade Federal de Alagoas, aprovada pela comissão examinadora que abaixo assina.



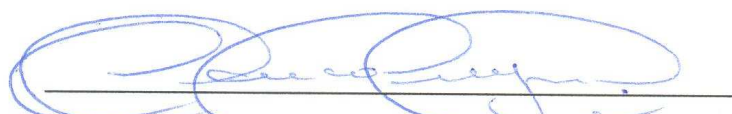
João Inacio Soletti. DSc - Orientador
Centro de Tecnologia - UFAL
Universidade Federal de Alagoas



Sandra Helena Vieira de Carvalho. DSc - Orientador
Centro de Tecnologia - UFAL
Universidade Federal de Alagoas



Henrique Pacca Loureiro Luna. DSc - Examinador
Instituto de Computação - UFAL
Universidade Federal de Alagoas



Marcio Henrique dos Santos Andrade. DSc - Examinador
Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas - UNCISAL
Gerência de Tecnologia de Processos e Produtos - BRASKEM

Resumo

Hoje em dia, as empresas petroleiras enfrentam o desafio de conhecer qual é a melhor forma de movimentar uma frota de navios cargueiros sem que isso signifique um aumento de custo, entre outras. Neste trabalho será apresentada uma solução para este, mediante o desenvolvimento de um sistema que permita calcular as rotas para transporte de petróleo bruto de plataformas marítimas a refinarias, bem como transporte dos derivados do petróleo de refinarias a centros consumidores. Para a solução do sistema, foi realizado um *scheduling* no qual determina-se a rota que cada navio deve realizar para que o petróleo seja entregue, buscando a rota que conduza ao melhor caminho, sendo considerado o tempo de deslocamento, carga e descarga do produto, além do limite de armazenamento de produto em cada plataforma, entre outros parâmetros.

Resumen

Hoy en día, las empresas petroleras enfrentan el desafío de conocer cual es la mejor manera de mover una flota de navíos cargueros sin que ello signifique una pérdida de dinero, entre otras cosas. En este trabajo se pretende dar solución a este problema, mediante el desarrollo de un sistema que permite calcular las rutas que debe seguir un navío para transportar el petróleo bruto desde las plataformas marítimas a las refinerías, así como el transporte de derivados de petróleo desde las refinerías a los centros consumidores. Para la solución del sistema se realizó un *scheduling* en el cual se determina la ruta que cada navío debe hacer para cumplir con la entrega de petróleo; y, el ruteamiento realizado para determinar el mejor camino a seguir, teniendo en cuenta el tiempo de desplazamiento, la carga y descarga del producto, además del límite de almacenamiento en cada plataforma, entre otros parámetros.

Abstract

Now a day, petroleum companies are looking for a way to calculate the best economic and time consuming alternative to move a group of ships between platforms, refineries and consuming centers. In the following research is introduced a solution to this problem through a system which optimize the main variables involved. Variables such as scheduling and road have been taken into account. The variable scheduling defines the road that each ship must follow. Meanwhile, the optimization of the route is based on traveling time between each points, uploaded and downloaded time, storing capacity at each point, etc. The following system has been tested in two real cases showing a good performance.

Agradecimentos

A meus orientadores, Professor João Inácio Soletti e Professora Sandra Helena Vieira de Carvalho, pelos quais passei a ter uma grande admiração. Agradeço pela paciência, dedicação e profissionalismo.

Ao grupo de pesquisa do LASSOP (*Laboratório de Sistema de Separação e Otimização de Processos*) pela ajuda na concretização deste trabalho.

À CAPES (*Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior*) pelo apoio financeiro.

À Universidade Federal de Alagoas, ao Curso de Mestrado em Modelagem Computacional de Conhecimento, e ao Professor Alejandro C. Frery, pela oportunidade de realizar o curso.

À minha querida esposa, Alejandra, pelo apoio, incentivo e cooperação.

A meus pais, Beatriz e Norberto, e a meus sogros, Estela e Daniel, merecedores de meu mais profundo agradecimento pelo apoio e incentivo.

Às Professoras Elsa Moschetti e Susana Ferrero, pela paciência, dedicação e profissionalismo na minha iniciação científica.

A todas as demais pessoas, que não estão aqui mencionadas, mas que de alguma maneira auxiliaram na concretização deste trabalho.

Sumário

I	Introdução	1
1	Estado da arte	4
II	Scheduling de escoamento de petróleo bruto de plataformas marítimas	7
2	Problema a resolver	9
2.1	Fundamentos de seleção do método utilizado	11
2.2	Fundamentos de seleção de ferramenta utilizada	11
3	Conceitos prévios	12
3.1	Conceito de rota	12
3.2	Cálculo de todas as rotas possíveis	13
3.3	Seqüências em uma rota	17
3.4	Calcular todas as possíveis seqüências da rota	20
3.5	Conceito de caminho	23
4	Classes	24
5	Diagrama de Classes	41
6	Funções para a solução do problema	43
6.1	Função obtener_secuencia	43
6.2	Função ImprimirResultado	47
6.3	Função cargar_linha_matriz	49
6.4	Função esPlataforma	50
6.5	Função esRefineria	51
6.6	Função conflicto_navios	52
6.7	Função plataforma_parada	53
6.8	Função atracarEnRefineria	55
6.9	Função escojer_combinacion	56
7	Estudos de casos	60
7.1	Dados de entrada	60
7.1.1	Estado inicial das plataformas	60
7.1.2	Estado inicial das refinarias	61
7.1.3	Rotas	61
7.1.4	Navios	63
7.1.5	Caminhos	65

7.1.6	Distâncias entre as refinarias e plataformas	65
7.2	Resultado	66
7.2.1	Caminhos resultantes	66
8	Conclusão	70
III	Scheduling de atendimento a centros consumidores	71
9	Problema a resolver	74
10	Conceitos prévios	75
11	Classes	76
12	Diagrama de classes	83
13	Funções para a solução do problema	85
13.1	Função obterer_secuencia	85
13.2	Função ImprimirResultado	86
13.3	Função cargar_linha_matriz	86
13.4	Função esCConsumidor	87
13.5	Função esRefineria	87
13.6	Função conflicto_navios	88
13.7	Função cconsumidore_parado	88
13.8	Função atracarEnRefineria	90
13.9	Função escojer_combinacion	90
14	Estudo de casos	92
14.1	Dados de Entrada	92
14.1.1	Estado inicial dos Centros Consumidores	92
14.1.2	Estado inicial das refinarias	94
14.1.3	Rotas	94
14.1.4	Navios	96
14.1.5	Caminhos	98
14.1.6	Distâncias entre as refinarias e centros consumidores . .	98
14.2	Resultado	99
14.2.1	Caminhos resultantes	99
15	Conclusão	103
IV	Conclusão geral do trabalho	104
V	Apêndice	106
A	Relatório de <i>scheduling</i> do escoamento de petróleo bruto de plataformas marítimas	107
A.1	Estado inicial das plataformas	107

A.2	Estado inicial das refinarias	108
A.3	Rotas	108
A.4	Estado inicial dos navios	112
A.5	Estado inicial dos caminhos	114
A.6	Distâncias entre as refinarias e plataformas	118
A.7	<i>Scheduling</i> resultante	118
A.8	Caminhos resultantes	126
A.9	Estado final das plataformas	131
A.10	Estado final das refinarias	134
A.11	Estado final dos navios	135
B	Relatório de <i>scheduling</i> do atendimento a centros consumidores	137
B.1	Estado inicial dos centros consumidores	137
B.2	Estado inicial das refinarias	138
B.3	Rotas	139
B.4	Estado inicial dos navios	143
B.5	Estado inicial dos caminhos	144
B.6	Distâncias entre as refinarias e centros consumidores	148
B.7	<i>Scheduling</i> resultante	149
B.8	Caminhos resultantes	156
B.9	Estado final dos centros consumidores	160
B.10	Estado final das refinarias	164
B.11	Estado final dos navios	165
B.12	Gráficos dos tempos de atracação nos <i>piers</i>	167

Lista de Figuras

2.1	<i>Scheduling</i> dos navios	10
4.1	Classe Matriz	25
4.2	Classe Grafo	26
4.3	Classe Compartimento	27
4.4	Classe Navio	28
4.5	Classe Frota	30
4.6	Classe Piers	31
4.7	Classe Porto	32
4.8	Classe Refinaria	33
4.9	Classe Plataforma	34
4.10	Classe Rota	36
4.11	Classe Caminho	38
5.1	Diagrama de Classes do Sistema	42

7.1	Diagrama do <i>scheduling</i> de escoamento de petróleo bruto de plataformas marítimas	68
11.1	Classe Refinaria	77
11.2	Classe CConsumidor	78
11.3	Classe Rota	80
11.4	Classe Caminho	82
12.1	Diagrama de Classes do Sistema	84
14.1	Diagrama do <i>scheduling</i> do atendimento a centros consumidores .	100
A.1	Diagrama do <i>scheduling</i> do escoamento de petróleo bruto de plataformas marítimas	127
A.2	Quantidade de petróleo por tempo na plataforma 1	132
A.3	Quantidade de petróleo por tempo na plataforma 2	133
A.4	Quantidade de petróleo por tempo na plataforma 3	133
A.5	Quantidade de petróleo por tempo na plataforma 4	134
B.1	Diagrama do <i>scheduling</i> do atendimento a centro consumidor . . .	161
B.2	Volume de produto estocado no centro consumidor 10	162
B.3	Volume de produto estocado no centro consumidor 20	162
B.4	Volume de produto estocado no centro consumidor 30	163
B.5	Volume de produto estocado no centro consumidor 40	164
B.6	Gráficos dos tempos que os navios podem atracar no <i>pier</i> 11	167
B.7	Gráficos dos tempos que os navios podem atracar no <i>pier</i> 12	168
B.8	Gráficos dos tempos que os navios podem atracar no <i>pier</i> 13	168
B.9	Gráficos dos tempos que os navios podem atracar no <i>pier</i> 14	169
B.10	Gráficos dos tempos que os navios podem atracar no <i>pier</i> 1	170
B.11	Gráficos dos tempos que os navios podem atracar no <i>pier</i> 2	170
B.12	Gráficos dos tempos que os navios podem atracar no <i>pier</i> 3	171
B.13	Gráficos dos tempos que os navios podem atracar no <i>pier</i> 4	171
B.14	Gráficos dos tempos que os navios podem atracar no <i>pier</i> 5	172
B.15	Gráficos dos tempos que os navios podem atracar no <i>pier</i> 6	172
B.16	Gráficos dos tempos que os navios podem atracar no <i>pier</i> 7	173
B.17	Gráficos dos tempos que os navios podem atracar no <i>pier</i> 8	173

Lista de Tabelas

2.1	Combinações das possíveis rotas, considerando três plataformas .	10
3.1	Matriz de todas as rotas	12
3.2	Caso base de 1 refinaria e 2 plataformas	13
3.3	Caso base de 2 refinarias e 2 plataformas	14
3.4	Caso base de 3 refinarias e 2 plataformas	15

3.5	Combinações possíveis de três plataformas	16
3.6	Aplicação do conceito de <i>elementos e div</i>	17
3.7	Segunda possível solução	19
3.8	Soluções combinadas	19
3.9	Terceira solução	19
3.10	Permutações sem repetição de 4 plataformas	21
6.1	Matriz de adjacência (G)	45
6.2	Possíveis seqüências da rota 1	45
6.3	Possíveis seqüências da rota 2	46
6.4	Ordem do conjunto de caminhos	58
6.5	Nível de rota 1	59
6.6	Nível de rota 2	59
6.7	Nível de rota 3	59
7.1	Quantidades carregadas nas plataformas na rota 1	62
7.2	Quantidades carregadas nas plataformas na rota 2	62
7.3	Quantidades carregadas nas plataformas na rota 3	62
7.4	Quantidades carregadas nas plataformas na rota 4	63
7.5	Quantidades carregadas nas plataformas na rota 5	63
7.6	Tempo de atracamento do navio 1	63
7.7	Tempo de desatracamento do navio 1	63
7.8	Tempo de atracamento do navio 2	64
7.9	Tempo de desatracamento do navio 2	64
7.10	Tempo de atracamento do navio 3	64
7.11	Tempo de desatracamento do navio 3	65
7.12	Matriz de adjacência (G)	66
7.13	Seqüência de plataformas e refinarias que segue o navio 1 do caminho 1	66
7.14	Seqüência de plataformas e refinarias que segue o navio 2 do caminho 2	67
7.15	Seqüência de plataformas e refinarias que segue o navio 3 do caminho 3	69
14.1	Descargas nos centros consumidores na rota 1	94
14.2	Descargas nos centros consumidores na rota 2	95
14.3	Descargas nos centros consumidores na rota 3	95
14.4	Descargas nos centros consumidores na rota 4	95
14.5	Descargas nos centros consumidores na rota 5	96
14.6	Tempo de atracamento do navio 1	96
14.7	Tempo de desatracamento do navio 1	96
14.8	Tempo de atracamento do navio 2	97
14.9	Tempo de desatracamento do navio 2	97
14.10	Tempo de atracamento do navio 3	97
14.11	Tempo de desatracamento do navio 3	97
14.12	Matriz de adjacência (G)	98
14.13	Seqüência de centros consumidores e refinarias que segue o navio 1 do caminho 1	99

14.14	Seqüência de centros consumidores e refinarias que segue o navio 2 do caminho 2	101
14.15	Seqüência de centros consumidores e refinarias que segue o navio 3 do caminho 3	102
A.1	Combinações possíveis da rota 1	109
A.2	Quantidades carregadas nas plataformas na rota 1	109
A.3	Combinações possíveis da rota 2	110
A.4	Quantidades carregadas nas plataformas na rota 2	110
A.5	Combinações possíveis da rota 3	110
A.6	Quantidades carregadas nas plataformas na rota 3	111
A.7	Combinações possíveis da rota 4	111
A.8	Quantidades carregadas nas plataformas na rota 4	111
A.9	Combinações possíveis da rota 5	111
A.10	Quantidades carregadas nas plataformas na rota 1	112
A.11	Tempo de atracamento do navio 1	112
A.12	Tempo de desatrachamento do navio 1	112
A.13	Tempo de atracamento do navio 2	113
A.14	Tempo de desatrachamento do navio 2	113
A.15	Tempo de atracamento do navio 3	113
A.16	Tempo de desatrachamento do navio 3	113
A.17	Possíveis seqüências das rotas que compõem o caminho 1	114
A.18	Seqüência de plataformas e refinarias que segue o navio 1 do caminho 1	114
A.19	Possíveis seqüências das rotas que compõem o caminho 2	115
A.20	Seqüência de plataformas e refinarias que segue o navio 2 do caminho 2	115
A.21	Possíveis seqüências das rotas que compõem o caminho 3	116
A.22	Seqüência de plataformas e refinarias que segue o navio 3 do caminho 3	117
A.23	Matriz de adjacência	118
A.25	Possíveis seqüências das rotas que compõem o caminho 1	128
A.26	Seqüência de plataformas e refinarias que segue o navio 1 do caminho 1	128
A.27	Possíveis seqüências das rotas que compõem o caminho 2	129
A.28	Seqüência de plataformas e refinarias que segue o navio 2 do caminho 2	129
A.29	Possíveis seqüências das rotas que compõem o caminho 3	130
A.30	Seqüência de plataformas e refinarias que segue o navio 3 do caminho 3	131
A.31	Tempo de atracamento do navio 1	135
A.32	Tempo de desatrachamento do navio 1	135
A.33	Tempo de atracamento do navio 2	136
A.34	Tempo de desatrachamento do navio 2	136
A.35	Tempo de atracamento do navio 3	136
A.36	Tempo de desatrachamento do navio 3	136
B.1	Combinações possíveis da rota 1	139

B.2	Descargas nos centros consumidores da rota 1	140
B.3	Combinações possíveis da rota 2	140
B.4	Descargas nos centros consumidores da rota 2	141
B.5	Possíveis combinações da rota 3	141
B.6	Descargas nos centros consumidores na rota 3	141
B.7	Possíveis combinações da rota 4	142
B.8	Descargas nos centros consumidores da rota 4	142
B.9	Possíveis combinações da rota 5	142
B.10	Descargas nos centros consumidores da rota 5	142
B.11	Tempo de atracamento do navio 1	143
B.12	tempo de desatracamento do navio 1	143
B.13	Tempo de atracamento do navio 2	143
B.14	Tempo de desatracamento do navio 2	144
B.15	Tempo de atracamento do navio 3	144
B.16	Tempo de desatracamento do navio 3	144
B.17	Possíveis seqüências de rotas que segue o navio 1	145
B.18	Seqüência de centros consumidores e refinarias que segue o navio 1 do caminho 1	145
B.19	Possíveis seqüências de rotas que segue o navio 2	146
B.20	Seqüência de centros consumidores e refinarias que segue o navio 2 do caminho 2	146
B.21	Possíveis seqüências de rotas que segue o navio 3	147
B.22	Seqüência de centros consumidores e refinarias que segue o navio 3 do caminho 3	148
B.23	Matriz de adjacência	148
B.25	Possíveis seqüências de rotas que segue o navio 1	156
B.26	Seqüência de centros consumidores e refinarias que segue o navio 1 do caminho 1	156
B.27	Possíveis seqüências de rotas que segue o navio 2	157
B.28	Seqüência de centros consumidores e refinarias que segue o navio 2 do caminho 2	157
B.29	Possíveis seqüências de rotas que segue o navio 3	158
B.30	Sequencia de centros consumidores e refinarias que segue o navio 3 do caminho 3	159
B.31	Tempo de atracamento do navio 1	165
B.32	Tempo de desatracamento do navio 1	165
B.33	Tempo de atracamento do navio 2	166
B.34	Tempo de desatracamento do navio 2	166
B.35	Tempo de atracamento do navio 3	166
B.36	Tempo de desatracamento do navio 3	166

Parte I

Introdução

Hoje em dia a maioria das indústrias petroleiras encontra-se com um dilema de difícil resolução, este é, qual é a melhor forma de movimentar os navios das refinarias às plataformas petroleiras existentes no mar e, das refinarias aos centros consumidores, sem que signifique grande perda de dinheiro e tempo, além de cumprir com as demandas dos centros consumidores e outras restrições que serão vistas neste trabalho.

Mediante o estudo do problema, analisando as restrições que estabelece o sistema e, aplicando algum método dos conhecidos para os problemas de otimização combinatória, pretende-se fazer o *scheduling* das seqüências de plataformas, refinarias e centros consumidores que cada navio no sistema deverá fazer.

Neste problema tem-se muita informação a ser considerada, como por exemplo: o tempo de transporte de produto de uma refinaria até uma plataforma ou um centro consumidor; o tempo máximo de estocagem de petróleo em cada plataforma, uma vez caso atinja o limite de armazenagem do produto, haverá parada de exploração e, conseqüentemente prejuízo; a questão de que dois navios não podem estar na mesma plataforma ao mesmo tempo; necessidade de atendimento das demandas dos centros consumidores, uma vez que deve haver uma reserva do produto proveniente de refinaria; deve-se ter em conta que em cada compartimento de um navio não pode haver mistura de diferentes tipos de produtos; um navio só pode atracar em um porto se houver condições de atracação para este tipo de navio (profundidade e comprimento do *pier*); etc.

Por tanto, é importante realizar um *scheduling* capaz de satisfazer todas essas necessidades, para obter um melhor desempenho no transporte de graneis líquidos: petróleo bruto no caso das plataformas-refinarias; e, derivados do petróleo no caso das refinarias-centro consumidores.

O problema geral, considerando o *scheduling* de escoamento de petróleo bruto das plataformas marítimas e o *scheduling* de atendimento aos centros consumidores, resulta num problema muito grande. Da parte computacional, é praticamente impossível sua solução utilizando os métodos convencionais como por exemplo *Backtracking*, programação dinâmica, *divide & conquer* entre outras (melhor fundamentado na seção 6.9), dada sua grande quantidade de dados além de inúmeras restrições. Assim sendo, neste trabalho estuda-se soluções aos problemas separadamente, usando métodos metaheurísticos, obtendo-se soluções que satisfaçam às restrições de cada um dos casos: *scheduling* de escoamento; e o *scheduling* de atendimento da demanda.

Este trabalho é dividido em quatro partes:

Parte I Nesta, se introduz o problema dando uma idéia geral sobre o mesmo, além de fazer uma pesquisa bibliográfica identificando os trabalhos realizados nesta área, ou áreas relacionadas;

Parte II Nesta, se trabalha o problema de realizar o *scheduling* de escoamento de petróleo bruto das plataformas marítimas, definindo-o e propondo uma metodologia de solução;

Parte III Nesta, se trabalha o problema de realizar o *scheduling* de atendimento a centros consumidores, definindo-o e propondo uma metodologia de solução;

Parte IV Apresenta a conclusão geral do trabalho e as propostas de trabalhos futuros.

Capítulo 1

Estado da arte

Ao longo da pesquisa bibliográfica realizada para a elaboração desta dissertação, encontraram-se diversos artigos, teses e livros que fizeram possível um melhor entendimento dos conceitos que foram desenvolvidos nos capítulos posteriores. Estas bibliografias introduziram elementos importantes que ajudaram à eleição da melhor ferramenta possível para a resolução do problema proposto inicialmente.

Existem várias formas de considerar o problema de *scheduling* e roteamento dos navios, tendo em conta as restrições aplicadas por cada autor, como o tamanho do navio, a carga que transporta, a velocidade, entre outras (Ronen 1983).

Ao realizar a seleção da frota a utilizar para o transporte do petróleo, é importante ter em conta a estrutura dos navios. Alguns autores estudaram a possibilidade de usar um algoritmo não-linear para este tipo de problema (Augusto & Kawano 1998).

Em muitos dos trabalhos encontrados, o estudo do problema da janela de tempo, considera a possibilidade de aumentar o tempo estipulado para a entrega do produto, e também que o navio carregue mais de um produto para realizar várias entregas sem perder mais tempo de viagem (Al-Yakoob 1997), de forma a reduzir a penalização por demora. Por isso, Almeida Lima (2002) propôs como solução deste problema, realizar uma simulação do caso de venda, com todas as restrições que o conformam, para lograr estender o horizonte de tempo requerido para o envio do produto ao cliente sem sofrer penalização. Fagerholt (2001) idealizou a mudança da janela de tempo rígida, ou seja, que não permite uma margem de erro, a outra não rígida, ou seja, que tem uma margem de erro, permitindo um controle de erros, utilizando a especulação para otimizar o período de entrega do produto, sabendo que a avaliação da janela de tempo com respeito à carga do navio é parcialmente

conhecida, e que o planejamento do problema é distribuído em um número de pessoas que fazem o mesmo (Schut 2005).

Hoje em dia, no panorama mundial, a utilização de petróleo e seus derivados é muito importante na economia. Assim sendo, pesquisadores, baseiam seus estudos na procura de uma melhor solução para o problema de transporte deste produto tão precioso. Além disso, é uma área pouco explorada. As considerações que se deve ter em conta no processo de exploração e produção de petróleo, são os custos diretos e indiretos do trabalho com este material. Soares de Medeiros (1999) utiliza uma metodologia de custeio baseado em atividades para a resolução do problema.

Pereira Motta Franco (2003) propôs a utilização de sistemas inteligentes que ajudem na tomada de decisão para o planejamento de plataformas marítimas, tendo em conta os aspectos econômicos, políticos e ambientais que trazem este tipo de assunto, assim como, conhecer qual frota é melhor para o transporte. Por outro lado, Boardman et al. (1997) propuseram a utilização de um Sistema de Suporte de Decisão (DSS).

Durante o transporte de produtos é muito importante fazer uma revisão do equipamento usado, de modo a evitar problemas ambientais. No caso do transporte de petróleo, o vazamento implica em um impacto muito forte para muitos organismos que vivem no mar (Reis da Silva 2004).

Fagerholt & Christiansen (2000) estudaram o problema do transporte fazendo uma analogia com o problema do caixeiro viajante com a incorporação da janela do tempo para otimizar o conjunto de portos visitados, em uma grande frota de barcos. Soletti (2006), em seu trabalho, considera o problema do transporte de petróleo e seus derivados como um problema de Programação Linear Inteira Mista (PLIM), atendendo as demandas dos centros consumidores e das refinarias, para o qual propõe um modelo matemático capaz de identificar dentre um conjunto de navios, o mais apropriado para o transporte do produto. Malandraki & Daskin (1992) estudaram a possibilidade de resolver o problema de veículos com uma heurística *nearest-neighbor*, considerando que o melhor é fazer o atendimento dos clientes que fiquem mais perto do ponto de partida do transporte, o que pode ser aplicado à carga de petróleo. Uma solução ao problema pode ser enviar um navio aos portos que ficam mais próximos ao ponto de partida e, assim, minimizar custos.

A minimização de custos, é um dos condicionantes no planejamento e roteamento de navios de carga, considerando que menores custos não implicam menor qualidade do produto (Pinto Junior 2001). Kim & Barnhart (1997) desenvolveram um modelo que permite conhecer qual é o caminho, o custo e como minimizá-lo, baseado em um método de redução de problemas,

que implica em: consolidação de nó; de caminhos; derivação de programas; e, um procedimento de solução *branch-and-price-and-cut*. Também pode se ver este tema no trabalho de Shih (1997).

Para realizar o envio de petróleo é preciso fazer o roteamento e *scheduling*, obtendo assim, uma melhor escolha dos navios. Paolucci et al. (2002) fizeram uma simulação do processo tendo em conta aspectos do plano de chegada dos petroleiros aos portos, e a seqüência de produção nas refinarias. No roteamento de navios, Terumichi Ono (2001), formulou um modelo matemático que permite dimensionar as frotas dedicadas ao serviço de transporte, assim como, estabelecer as rotas a percorrer segundo a demanda. Por outro lado, Iskendar et al. (2001) estudaram o problema do planejamento de navios, como um veículo, considerando uma frota heterogênea e numerosas viagens, ou seja, um conjunto de navios e uma certa quantidade de viagens a realizar, sempre que a duração total de cada veículo não supere o período de planejamento; Persson & Gothe-Lundgren (2004) integraram o planejamento de envio e o planejamento do processo na refinaria para dar solução ao problema do planejamento e *scheduling*.

Quando se estuda a complexidade computacional do problema, Calégari (1999) baseia-se na utilização da paralelização com base em Algoritmos Evolutivos (AE), mas nem sempre as soluções teóricas dadas são possíveis na implementação computacional.