

## SCHEDULING OF CRUDE OIL FLOW FROM OFFSHORE PLATFORMS

Adrian E. Muract<sup>a</sup>, João I. Soletti<sup>b</sup> and Sandra H. V. Carvalho<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional e do Conhecimento,  
amuract@gmail.com*

<sup>b</sup>*de Sistemas de Separação e Otimização de Processos (LASSOP), Universidade Federal de Alagoas, Maceió Alagoas, Brasil, jisoletti@gmail.com,  
<http://www.ctec.ufal.br/laboratorio/lassop/>*

**Keywords:** Offshore platforms, ship transportation, scheduling

**Abstract.** Currently one of the oil industry challenges is the optimization of logistic problem of bulk liquids transport from oil production units at sea (platforms offshore) to the processing units and storage (refineries). In this problem, several restrictions were considered from a fleet of ships: commuting product time from the platform to the refinery; capacity of oil storage in each platform; impossibility of mixing different types of oils in the same compartment vessel; limitation of the ship dock at the port only if the present depth and pier length longer than the draft and the length of the vessel, respectively; restriction to the maximum volume transported in each compartment and the total volume of the vessel. The mathematical model was formulated as a mixed integer linear programming problem (MILP) and intends to minimize transportation costs and ensure the oil flow from offshore platforms. To solve this problem CPLEX solver was used in GAMS software package (General Algebraic Modeling System). As a result of this model, scheduling was obtained determining the planning of routes that each ship must do to comply with the oil delivery, in an optimal way.

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Motivação e Justificativa

As indústrias petrolíferas encontram-se com um dilema de difícil resolução, este é, qual é o melhor jeito de mover os navios das refinarias às plataformas petrolíferas que há no mar sem que signifique grande perda de dinheiro, tempo e equipamento, além de cumprir com as demandas dos centros consumidores entre outras restrições.

Mediante o estudo do problema, analisando as restrições que estabelece o sistema e, aplicando alguns métodos dos conhecidos para os problemas de otimização combinatoria, pretende-se fazer o planejamento (o melhor conhecido na bibliografia como *Scheduling*) das seqüências de plataformas e refinarias que cada navio no sistema deve fazer.

Neste problema tem-se muita informação que se deve ter em conta, como por exemplo:

- O tempo invertido no recorrido desde uma refinaria até uma plataforma;
- O tempo máximo em que tem-se que ir a procurar o petróleo a uma plataforma, dado que elas têm um limite de armazenagem deste produto e se chegasse a esse limite a plataforma tem que parar a produção, e isso leva a muita perda;
- O problema que dois navios não podem estar na mesma plataforma ao mesmo tempo;
- Deve-se ter em conta que em cada compartimento de um navio não pode-se misturar os tipos de produtos;
- Um navio pode atracar em um porto só se o porto tem disponibilidade para este tipo de navio;
- Um navio pode atracar ou desatracar de um porto só se seu calado fosse menor que a profundidade do piers mais a altura da maré, com isto anexa-se ao problema a variável tempo, a qual determina um área que a tomados muita importância nos últimos tempos para os problemas de scheduling, esta é conhecida na bibliografia como janela de tempo, ou seu nome em inglês *time windows*;
- etc.

Por todo o mencionado antes, é importante realizar um scheduling capaz de satisfazer todo este tipo de necessidades para lograr um melhor desempenho na labor de transportar os graneis líquidos (petróleo bruto).

## 1.2 Metodologia do trabalho

Neste trabalho procede-se da seguinte forma:

- Primeiro, vai-se fazer uma pesquisa sobre os artigos, dissertações e livros nos quais apresentam-se temas relacionados com este trabalho.
- Segundo, vai-se introduzir os conceitos previos que faram mais facil o entendimento do problema além de esclarecer a metodologia e aplicação desta;
- Terceiro, vai-se trabalhar sobre o problema de realizar o Scheduling de escoamento de petróleo bruto das plataformas marítimas, definiendo-lo bem para logo explicar a metodologia usada para a solução deste e como foi aplicada a mesma, para só depois disto apresentar um caso específico com a solução obtida pelo software desenvolvido neste trabalho;
- Por ultimo, vai-se dar a conclusão geral do trabalho e as propostas a trabalhos futuros baseados neste.

## 2 ESTUDO DA ARTE

Ao longo da pesquisa bibliográfica realizada, encontraram-se diversos artigos, teses e livros que fizeram possível um melhor entendimento dos conceitos que foram desenvolvidos nos capítulos mais adiante. Estas bibliografias introduzem elementos importantes que ajudaram à eleição da melhor ferramenta possível para a resolução do problema proposto inicialmente, logo de uma revisão exaustiva e a relação comparativa realizada a continuação.

À hora de analisar o assunto dos navios e o scheduling e roteamento dos mesmos, tem muitos jeitos de considerar o problema, tendo em conta as restrições aplicadas por cada autor, em consideração ao tamanho do navio, a carga que transporta, velocidade, entre outras coisas [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, o qual resultou ser muito eficaz já que foi usado como coração para o desenho de navios, mas também pode ser relacionado a área de engenharia [Augusto and Kawano \(1998\)](#).

Se tomaram em consideração, em muitos dos trabalhos encontrados, na hora de estudar o problema da janela de tempo, a possibilidade de aumentar o tempo estipulado para a entrega do produto e também que o navio carregue mais de um produto para realizar varias entregas sem perder mais tempo de viagem [Al-Yakoob \(1997\)](#), e para que a penalização por demora não seja muito elevada, é por isso que [Almeida Lima \(2002\)](#) propõe como solução deste problema, realizar uma simulação do caso de janela, 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 \(2001\)](#) dá a idéia de mudar de uma janela de tempo rígida, ou seja que não permite uma margem de erro, a outra não rígida, ou seja que tem margem de erro permitindo deste jeito 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 da carga do navio é parcialmente conhecida, e que o planejamento do problema é distribuído em um número de planejadores [Schut \(2005\)](#).

Hoje em dia, no panorama mundial, a utilização de petróleo e seus derivados, são muito importantes na economia, pelo que alguns pesquisadores, baseiam seus estudos na procura de uma melhor solução para o problema de transporte deste produto tão precioso, mas ainda é uma área pouco explorada. As considerações que devem-se ter em conta no processo de exploração e produção de petróleo, é o custo que tem o mesmo, ou seja, quais 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, já que os resultados são mais exatos.

Se propuseram também a utilização de sistemas inteligentes que ajudem na toma de decisão para o planejamento de plataformas marítimas, tendo em conta os aspectos econômicos, políticos e ambientais que trazem este tipo de assuntos assim como também conhecer que frota é melhor para o transporte [Pereira Motta Franco \(2003\)](#), por outro lado, [Boardman et al. \(1997\)](#) propõem a utilização de um Sistema de Suporte de Decisão (DSS).

No momento do transporte do produto, é muito importante fazer uma revisão do equipamento usado, já que pode trazer muitos problemas ambientais, se fosse danado, mais ainda, no caso do transporte de petróleo, o que significa um impacto muito forte para muitos organismos que moram no mar [Reis da Silva \(2004\)](#).

[Fagerholt and Christiansen \(2000\)](#) estudam o problema do transporte fazendo uma analogia com o problema do Caixeiro Viajante com a incorporação da Janela do Tempo e a Coação de preferencias para otimizar o conjunto de dados dos portos visitados, em uma grã quantidade de encaminhamento de barcos. [Soletti \(2006\)](#), em seu trabalho, considera o problema do transporte de petróleo e seus derivados como um problema de Programação Inteira Mista (MIP), com respeito das demandas dos centros consumidores e das refinarias, para o qual propõe um modelo matemático capaz de identificar de entre um conjunto de navios, o mais apropriado para o transporte do produto. Não em tanto, outros autores, estudam 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 [Malandraki and Daskin \(1992\)](#), o qual pode ser aplicado à carga de petróleo, já que uma solução ao problema pode ser enviar um navios aos portos que ficam mais próximos ao seu ponto de partida, e assim minimizar custos.

A minimização de custos, é um dos condicionante no planejamento e roteamento de

navios de carga, já que tem que se considerar que menores custos não implicam menor qualidade do produto [Pinna Ferreira Pinto Junior \(2001\)](#), [Kim and Barnhart \(1997\)](#) desenvolvem um modelo que permita conhecer qual é a ramal, o custo e como minimizá-lo, baseado em um método de redução de problemas que implicam a 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 a realização de roteamento e scheduling, logrando assim uma melhor escolha dos navios, em seu trabalho [Paolucci et al. \(2002\)](#) fazem uma simulação do processo tendo em conta dois aspectos na planificação, a chegada dos petroleiros aos portos e a seqüência de partes ordinárias processadas na refinaria. No roteamento de navios, [Terumichi Ono \(2001\)](#), formula 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. \(2001\)](#) estudam o problema do planejamento de navios, como um veículo que encaminha o problema com a frota heterogênea de veículos e numerosas viagens, ou seja, um conjunto de navios determinados e uma certa quantidade de viagens a realizar, sempre que a duração total de cada veículo não supere o período de planificação; [Persson and Gothe-Lundgren \(2004\)](#) integram a planificação do envio e a planificação 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, mas nem sempre as soluções dadas são possíveis do lado computacional.

### 3 CONCEITOS PREVIOS

Antes de começar com a descrição de cada problema, é necessário introduzir alguns conceitos que vão ser utilizados para dar solução a cada problema. Estes conceitos fazem referencia a como é que se considerou neste trabalho uma rota e um caminho.

#### 3.1 Conceito de Rota

Uma rota é aquela que começa com uma refinaria e termina na mesma ou outra refinaria passando por um conjunto de plataformas. Uma rota tem associada uma matriz a qual contem todas as possíveis seqüências que um navio pode fazer nessa rota com as distâncias destas seqüências. Além desta matriz, a rota tem associada por cada plataforma, a quantidade de petróleo que vai ter que carregar nessa plataforma.

Vamos a apresentar um exemplo de uma rota para esclarecer melhor este conceito. Seja uma rota onde as refinarias e plataformas que compõem esta, são:

$$\langle Ref\_S : 70 \rangle \langle Plat : 1 \rangle \langle Plat : 3 \rangle \langle Plat : 4 \rangle \langle Ref\_C : 60 \rangle$$

onde *Ref\_S* é a refinaria de partida e *Ref\_C* é a refinaria de chegada, as combinações

possíveis destas, com suas distâncias, as quais são conhecidas pela distâncias entre refinarias e plataformas, são:

Distância	Ref_P	Plat	Plat	Plat	Ref_C
577	70	4	1	3	60
577	70	3	1	4	60
775	70	4	3	1	60
775	70	1	3	4	60
784	70	3	4	1	60
784	70	1	4	3	60

e a quantidade que tem-se que carregar em cada plataforma é:

Na plataforma 1 carrega-se:	4120 m <sup>3</sup>
Na plataforma 3 carrega-se:	4320 m <sup>3</sup>
Na plataforma 4 carrega-se:	4420 m <sup>3</sup>

### 3.2 Conceito de Caminho

Um caminho é um conjunto de rotas, este tem associado um navio o qual tem que fazer as rotas e uma matriz onde vai-se ter todas as possíveis combinações de seqüências das rotas que compõem o caminho.

Um caminho além de ter associado um conjunto de rota, um navio e uma matriz, tem asociado um vetor de longitude igual a quantidade de rotas no conjunto, neste vetor armazena-se um número que vai determinar a fila da matriz das possíveis seqüências de cada rota, conseguindo deste jeito obter a seqüência total, de refinarias e plataformas ou centro consumidores, que o navio vai ter que fazer.

Apresentemos um exemplo para o esclarecimento deste conceito. Seja um caminho, o qual tem associado um navio e o seguinte conjunto de rotas

$\langle \text{Rota 1} \rangle \langle \text{Rota 2} \rangle \langle \text{Rota 3} \rangle$

a matriz com as possíveis combinações de seqüência de rotas são:

Distância	Rota	Rota	Rota
1940	3	2	1
1940	1	2	3
2040	3	1	2
2040	2	3	1
2040	2	1	3
2040	1	3	2

Agora o leitor pode-se perguntar, como é que se calcula a distância de cada seqüência de rotas?

Como a matriz das possíveis combinações de rotas é estática, ou seja é gerada no momento da sua criação, ela é calculada pela soma das distâncias mínimas de cada rota.

Outra pergunta que surge agora é, se temos as mesmas rotas com as mesmas distâncias mínimas, porque difere a distância de cada seqüência?

Isto é a causa da combinação das refinarias de chegada e saída de cada rota, a o que refere-se com isto é que se por exemplo, tem-se o caso de que a refinaria de chegada da rota  $R_1$  é distinta à refinaria de partida da rota  $R_2$ , isto em teoria deveria solucionar-se somando a distância entre estas duas refinarias, mas na prática, não tem sentido que um navio traslade-se de uma refinaria a outra sem a necessidade de descarregar na segunda refinaria, já que isto implica gastos não necessários.

Então, como é que resolve-se este problema?

Para resolver isto o que se faz é:

1. À distância total (sem considerar a soma da distância entre as refinarias) resta-se a distância entre a refinaria de partida da segunda rota em questão (em este caso seria a refinaria de partida da rota  $R_2$ ) e a primeira plataforma ou centro consumidor na seqüência da mesma rota;
2. Soma-se a distância entre a refinaria de chegada da primeira rota em questão (em este caso seria a refinaria de chegada da rota  $R_1$ ) e a primeira plataforma ou centro consumidor na seqüência da segunda rota em questão ( $R_2$ ).

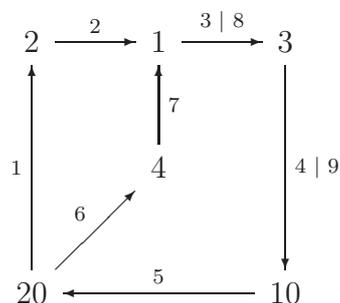
Apresentemos um exemplo para esclarecer esta técnica. Sejam as seguintes seqüências correspondientes as rotas, onde 20 e 10 são refinarias

$$R_1 \Rightarrow 20 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 10$$

$$R_2 \Rightarrow 20 \rightarrow 4 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 10$$

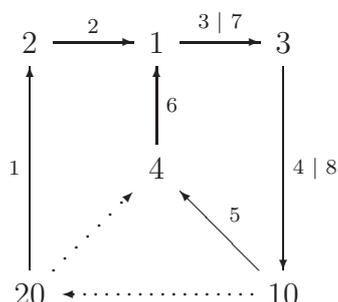
e as seqüência de rotas como já se falou, ou seja  $R_1 \rightarrow R_2$

A seqüência que o navio associado ao caminho teria que seguir é:



**Seqüência Original:**  $20 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 10 \rightarrow 20 \rightarrow 4 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 10$

Agora se aplicamos a técnica que já falamos, a nossa seqüência tem que ser:



**Seqüência Final:**  $20 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 10 \rightarrow 4 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 10$

onde a distância total da seqüência calcula-se do seguinte jeito

$$Distancia = Distancia\_total - custo\_aresta(20, 4) + custo\_aresta(10, 4)$$

onde  $Distancia\_total$  é a soma das distâncias mínima de cada rota.

Agora pode surgir mais uma pergunta sobre a construção das possíveis seqüências de rotas e caminhos, é por isso que na seguinte seção explica-se qual foi o método escolhido para dar resposta a esta incognita

### 3.3 Permutações sem Repetição

Para obter todas as possíveis seqüências que um navio pode fazer em uma rota e todas as possíveis seqüências de rotas que pode-se ter em um caminho, primeiro considerou-se as plataformas como elementos de um conjunto, dado que todas as possíveis seqüências vão començar na refinaria de partida da rota e vão terminar na refinaria de chegada da mesma, com o qual só vamos a ter que achar as possíveis combinações das plataformas, e além disto tem-se que considerar as rotas de um caminho como elementos de um conjunto. O método usado para a obtenção das possíveis seqüências, foi baseado na técnica das *Permutações sem Repetição* ou também conhecida como *Permutações ordinarias* a qual define-se da seguinte forma:

“As permutações sem repetição de  $n$  elementos se define como as distintas formas de ordenar todos os elementos distintos”, pelo que a única diferencia entre elas é a ordem de colocação de seus elementos. O número destas permutações é:

$$CP_n = n!$$

Uma permutação é uma possível seqüência de plataformas que o navio pode seguir, então no caso de ter 4 plataformas em uma rota, tem-se  $4!$  formas de que o navio visite

estas, ou seja temos  $4! = 4 * 3 * 2 * 1 = 24$  possíveis seqüências de plataformas. Agora se por exemplo tivéssemos 8 plataformas, teríamos  $8! = 40320$  possíveis seqüências de plataformas as que são muitas combinações para uma só rota, dado que para cada rota vamos a ter que calcular todas as possíveis seqüências. Além da quantidade de possíveis seqüências de plataformas, na seguinte tabela vai-se apresentar quanto é que demora-se para calcular estas, considerando que o computador faz uma operação por microsegundo.

$N$	$N!$	Tiempo
11	39916800	40 segundos
12	479001600	8 minutos
13	6227020800	2 horas
14	87178291200	1 dia
15	1307674368000	2 semanas
16	20922789888000	8 meses
17	355689428096000	10 años

Na literatura existem muitos algoritmos que dão solução ao problema de permutações, entre eles pode-se destacar o trabalho de [Sedgewick \(1977\)](#).

Com os conceitos de rota, caminho e permutações já introducidos, pode-se proceder com a introdução do problema Scheduling de escoamento de petróleo bruto de plataformas marítimas.

#### 4 SCHEDULING DE ESCOAMENTO DE PETRÓLEO BRUTO DE PLATAFORMAS MARÍTIMAS

Para dar solução ao problema de fazer um scheduling para o escoamento de petróleo bruto de plataformas marítimas, se tomou como ponto de partida o trabalho desenvolvido pelo grupo de pesquisa do “Laboratório de Sistema de Separação e Otimização de Processos” (**LASSOP**), onde mediante Programação Matemática conseguiu-se resolver o problema de fazer o scheduling de um conjunto de navios, um conjunto de plataformas e um conjunto de refinarias, nenhum de estes vazios, para poder minimizar o tempo conseguindo como resultado um scheduling que determina a que plataformas tem que ir a carregar petróleo bruto um navio determinado e a que refinaria tem que ir a descarregar o petróleo coletado, logrando com isto associar um navio a uma rota específica. Então se pode dizer que o resultado do problema já mencionado, define que rotas tem que fazer um navio determinado para minimizar o tempo.

O problema que trata-se com o nome de *Scheduling de escoamento de petróleo bruto de plataformas marítimas*, é fundamentado pelo motivo que este scheduling obtido pelo grupo de pesquisa de **LASSOP** não determina a seqüência em que o navio vai visitar as plataformas de cada rota associada a ele, nem também não as possíveis seqüências que pode-se seguir, além de que se temos mais de uma rota associada a um navio, não

pode-se determinar qual é a rota que vai-se fazer primeiro. Todo isto também acarreta o problema de que neste sistema temos restrições que dependem destas seqüências e dos tempos em que realizam-se.

#### 4.1 Problema a Resolver

Considerando que a primeira parte do scheduling está feito, e que cada navio tem um conjunto de rotas associado, onde, recordando a definição de rota, uma rota é aquela que começa em uma refinaria e termina na mesma ou outra refinaria, passando unicamente por plataformas. Na prática, este conjunto de plataformas, chega a um número menor de 6 por rota, o qual é muito importante dado que, como se esclareceu na seção 3.3, mentras menor seja a quantidade de plataformas no conjunto, muito mais curto vai ser o tempo invertido nesse calculo.

O problema a resolver é encontrar a seqüência de plataformas e refinarias, garantindo minimizar a distância percorrida, assegurando que esta seqüência cumpre com as seguintes restrições :

- Dois navios não podem ficar ao mesmo tempo na mesma plataforma;
- Uma plataforma não pode chegar ao máximo de sua capacidade de armazenamento, provocando assim que a plataforma pare de produzir, é dizer, deve-se atender antes que a quantidade de petróleo armazenada nesta chegue à capacidade máxima de armazenamento da plataforma;
- Um navio só pode atracar em uma refinaria se tem algum piers disponível;
- Um navio só pode atracar ou desatracar de um porto, se a profundidade do piers, onde esta atracado, mais a altura da maré é maior que o calado do navio.

#### 4.2 Métodos Utilizados

Ainda que desde o ponto de vista teórico se pode enumerar todas as possíveis soluções e avaliar cada uma delas com respeito ao valor da função objetivo, na prática, em um computador, é muitas veces impossível analisar e avaliar todas as possíveis soluções já que o número de combinações cresce exponencialmente com o tamanho do problema. É por este motivo que primeiro, se criaram todas as possíveis seqüências de uma rota, para assim reduzir o *Universo de Soluciones*.

Uma vez terminado o processo de criar todas as possíveis seqüências nas rotas, aplica-se um método GREEDY ou também conhecido como *método voraz*, o qual se baseia na suposição que se tem-se todos caminhos mínimos, é dizer distâncias mínimas, a longitude global é mínima, conseguindo deste jeito chegar a uma solução que se não é ótima, é muito próxima a ela, o qual é muito útil considerando que para chegar a uma solução ótima deveria-se usar outros métodos como por exemplo backtracking, divide & conquers, programação dinâmica, programação matemática entre outras, que avalian

todas as possíveis combinações, e isto, dependendo do tamanho do problema, pode ser impossível de calcular computacionalmente.

### 4.3 Descrição do Método

O metodologia GREEDY é aquela que para resolver um determinado problema, segue uma *metaheurística* baseada em escolher a opção ótima em cada passo local com a esperança de chegar a uma solução geral ótima. Normalmente aplica-se aos problemas de otimização.

Os algoritmos GREEDY mais conhecidos são:

- **Algoritmo de Dijkstra:** A idéia neste algoritmo consiste em ir explorando todos os caminhos mais curtos que partem do vértice origem e que levam a todos os demais vértices; quando obtém-se o caminho mais curto desde o vértice origem, ao resto de vértices que compõem o grafo, o algoritmo detém-se.
- **Algoritmo de Kruskal:** Este é um algoritmo da teoria de grafos para achar uma árvore cobertor mínimo em um grafo conexo e ponderado, ou seja que de um nó posso chegar a qualquer outro nó no grafo e que toda aresta no grafo tenha um custo associado. Em outras palavras o algoritmo procura um subconjunto de arestas que, formando uma árvore, incluem todos os vértices e onde o valor total de todas as arestas da árvore é o mínimo.
- **Algoritmo de Prim:** O algoritmo de Prim é um algoritmo da teoria de grafos para achar uma árvore cobertor mínimo em um grafo conexo e ponderado, não dirigido. Em outras palavras o algoritmo acha um subconjunto de arestas que formam uma árvore com todos os vértices, onde o peso total de todas as arestas na árvore é o mínimo possível.

### 4.4 Aplicação do Método

Agora, antes de explicar como funciona o método usado para dar solução ao problema de achar um scheduling de escomaneto que satisfaça todas as restrições, devem-se introduzir mais alguns conceitos para fazer a explicação o menos ambígua possível.

Seja  $C$  um objeto da classe caminho e  $R_1, R_2, R_3$  objetos da classe rota os quais estão no conjunto de rotas no  $C$ , então define-se o nível da rota  $R_1$  no caminho  $C$  como  $N_{C,R_1}$  e define-se o sucesor do nível, ou seja o nível incrementado em um, como  $SN_{C,R_1}$ .

Sejam  $C_1, C_2$  e  $C_3$  três caminhos e  $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5$  e  $R_6$  seis Rotas, onde:

- $C_1$  tem as Rotas  $R_1, R_3$  e  $R_5$ ;
- $C_2$  tem as Rotas  $R_2, R_4$  e  $R_6$ ;
- $C_3$  tem as Rotas  $R_1, R_2$  e  $R_5$ .

onde os respectivos níveis nas rotas são:

- $C_1$  tem os seguintes níveis  $N_{C_1,R_1}$ ,  $N_{C_1,R_3}$  e  $N_{C_1,R_5}$ ;
- $C_2$  tem os seguintes níveis  $N_{C_2,R_2}$ ,  $N_{C_2,R_4}$  e  $N_{C_2,R_6}$ ;
- $C_3$  tem os seguintes níveis  $N_{C_3,R_1}$ ,  $N_{C_3,R_2}$  e  $N_{C_3,R_5}$ .

E sejam as seqüências de rotas com distância mínima em cada caminho como se apresentou, ou seja:

- No  $C_1$  a seqüência de rotas é  $R_1 \rightarrow R_3 \rightarrow R_5$ ;
- No  $C_2$  a seqüência de rotas é  $R_2 \rightarrow R_4 \rightarrow R_6$ ;
- No  $C_3$  a seqüência de rotas é  $R_1 \rightarrow R_2 \rightarrow R_5$ .

O conjunto de caminhos que vão a ser avaliados, para ver se satisfazem as restrições, vão ser  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$ , e o ordem que vai-se seguir no Scheduling que gera-se a partir deste conjunto de Caminhos é:

$C_1$	$R_1$	$R_3$	$R_5$
$C_2$	$R_2$	$R_4$	$R_6$
$C_3$	$R_1$	$R_2$	$R_5$

Se considera-se que, por exemplo, tem-se conflito com os caminhos  $C_1$  e  $C_3$  na rota  $R_1$ , então o que se faz é encontrar a combinação de distância mínima que cumpra com que não exista conflito, e no caso de que todas as combinações tenham conflito, então pega-se a de menor distância e faz-se recursivamente o mesmo até chegar a uma combinação sem conflitos.

Mas quais são as combinações que pode-se ter?

- Incrementar o nível da Rota que tem conflito no primeiro Caminho e deixar a Rota do segundo Caminho sem modificação. Então o nível das Rotas seguindo a ordem das mesmas por cada Caminho seria o seguinte:

$C_1$	$SN_{C_1,R_1}$	$N_{C_1,R_3}$	$N_{C_1,R_5}$
$C_2$	$N_{C_2,R_2}$	$N_{C_2,R_4}$	$N_{C_2,R_6}$
$C_3$	$N_{C_3,R_1}$	$N_{C_3,R_2}$	$N_{C_3,R_5}$

- Incrementar o nível da Rota que tem conflito no segundo Caminho e deixar a Rota do primeiro Caminho sem modificação. Então o nível das Rotas seguindo a ordem das mesmas por cada Caminho seria o seguinte:

$C_1$	$N_{C_1,R_1}$	$N_{C_1,R_3}$	$N_{C_1,R_5}$
$C_2$	$N_{C_2,R_2}$	$N_{C_2,R_4}$	$N_{C_2,R_6}$
$C_3$	$SN_{C_3,R_1}$	$N_{C_3,R_2}$	$N_{C_3,R_5}$

- Incrementar o nível da Rota que tem conflito no primeiro e segundo Caminho. Então o nível das Rotas seguindo o ordem das mesmas por cada Caminho seria o seguinte:

$C_1$	$SN_{C_1,R_1}$	$N_{C_1,R_3}$	$N_{C_1,R_5}$
$C_2$	$N_{C_2,R_2}$	$N_{C_2,R_4}$	$N_{C_2,R_6}$
$C_3$	$SN_{C_3,R_1}$	$N_{C_3,R_2}$	$N_{C_3,R_5}$

Agora, pega-se estas três configurações do conjunto de caminhos e avalia-se se cumprem com a primeira restrição, a qual é que em uma plataforma não podem ficar dois navios ao mesmo tempo, no caso de não ter nenhuma configuração do conjunto de caminhos que cumpra com a primeira restrição, então pega-se o que tem a menor distância global e faz-se recursividade sobre esta nova configuração do conjunto de caminhos. No caso de ter mais de uma solução viável, ou seja que cumpram com a primeira restrição, pega-se a de menor distância global, ou seja a que a soma de todos os caminhos, com seus respectivas combinações, seja menor.

Já tendo uma combinação de caminhos que cumpre com a primeira restrição, com esta combinação verifica-se a segunda restrição, a qual é que uma plataforma tem que ser atendida antes de chegar a seu limite de armazenamento. No caso de não cumprir-se a segunda restrição, volta-se a procurar uma nova configuração do conjunto de caminhos que cumpra com a primeira restrição, mas agora com a configuração do conjunto de caminhos que temos agora, incrementando o nível da rota na qual a segunda restrição não se cumpriu.

No momento que encontra-se uma configuração do conjunto de caminhos que cumpre com a primeira e a segunda restrição, verifica-se a terceira restrição, a qual é que um navio só pode atracar em uma refinaria se tem disponibilidade de piers, além de verificar também a quarta restrição que diz que o calado do navio tem que ser menor que a profundidade do piers disponível somado à altura da maré na hora de atracar e desatracar. No caso de não cumprir-se a terceira e quarta restrição, volta-se a procurar uma nova configuração do conjunto de caminhos que cumpra com a primeira e segunda restrição, mas agora com a configuração do conjunto de caminhos que temos agora, incrementando o nível da rota na qual a terceira ou quarta restrição não se cumpriu.

## 5 ESTUDOS DE CASOS: SCHEDULING DE ESCOAMENTO DE PETRÓLEO BRUTO DE PLATAFORMAS MARÍTIMAS

Nesta seção vai-se apresentar um cenário, o qual foi construído com a finalidade de testar o software desenvolvido, ele não corresponde a um cenário real, só consideraram-se dados determinados para facilitar à hora de avaliar o resultado, nele considerou-se que temos 4 Plataformas, 2 Refinarias, 5 Rotas, 3 Navios os quais tem associados Rotas, por o qual temos 3 Caminhos.

### 5.1 Dados de Entrada

#### 5.1.1 Estado inicial das Plataformas

##### PLATAFORMA 1

Nome: ESPF

A produção em uma hora é:  $311 m^3$

Capacidade Maxima de armazenamento:  $110000 m^3$

Hora da Ultima descarrega: 0

Resto da Ultima descarrega:  $100 m^3$

##### PLATAFORMA 2

Nome: FPSO-RJ

A produção em uma hora é:  $322 m^3$

Capacidade Maxima de armazenamento:  $120000 m^3$

Hora da Ultima descarrega: 0

Resto da Ultima descarrega:  $100 m^3$

##### PLATAFORMA 3

Nome: FPSO-FLU

A produção em uma hora é:  $333 m^3$

Capacidade Maxima de armazenamento:  $130000 m^3$

Hora da Ultima descarrega: 0

Resto da Ultima descarrega:  $100 m^3$

##### PLATAFORMA 4

Nome: FPSO-BR

A produção em uma hora é:  $344 m^3$

Capacidade Maxima de armazenamento:  $140000 m^3$

Hora da Ultima descarrega: 0

Resto da Ultima descarrega:  $100 m^3$

### 5.1.2 Estado inicial das Refinarias

#### REFINARIA 10

Nome: Refinaria Duque de Caixas

Quantidade de Portos: 1

Cidade: Duque de Caixas

Estado: RJ

Pais: Brasil

Descarregado:  $500 m^3$

#### REFINARIA 20

Nome: Refinaria Landulpho Alves

Quantidade de Portos: 1

Cidade: São Francisco do Conde

Estado: BA

Pais: Brasil

Descarregado:  $700 m^3$

### 5.1.3 Rotas

#### ROTA 1

As Refinarias e Plataformas que compõem esta rota são:

$\langle Ref\_S : 10 \rangle \langle Plat : 1 \rangle \langle Plat : 2 \rangle \langle Plat : 3 \rangle \langle Plat : 4 \rangle$   
 $\langle Ref\_C : 20 \rangle$

A quantidade que tem-se que carregar em cada Plataforma é:

Na Plataforma 1 Carrega-se:	$3110 m^3$
Na Plataforma 2 Carrega-se:	$3210 m^3$
Na Plataforma 3 Carrega-se:	$3310 m^3$
Na Plataforma 4 Carrega-se:	$3410 m^3$

#### ROTA 2

As Refinarias e Plataformas que compõem esta rota são:

$\langle Ref\_S : 20 \rangle \langle Plat : 1 \rangle \langle Plat : 3 \rangle \langle Plat : 4 \rangle \langle Ref\_C : 10 \rangle$

A quantidade que tem-se que carregar em cada Plataforma é:

Na Plataforma 1 Carrega-se:	$4120 m^3$
Na Plataforma 3 Carrega-se:	$4320 m^3$
Na Plataforma 4 Carrega-se:	$4420 m^3$

#### ROTA 3

As Refinarias e Plataformas que compõem esta rota são:

$\langle Ref\_S : 10 \rangle \langle Plat : 1 \rangle \langle Plat : 2 \rangle \langle Plat : 4 \rangle \langle Ref\_C : 20 \rangle$

A quantidade que tem-se que carregar em cada Plataforma é:

Na Plataforma 1 Carrega-se:	3130 $m^3$
Na Plataforma 2 Carrega-se:	3230 $m^3$
Na Plataforma 4 Carrega-se:	3430 $m^3$

#### ROTA 4

As Refinarias e Plataformas que compõem esta rota são:

$\langle Ref\_S : 20 \rangle \langle Plat : 1 \rangle \langle Plat : 2 \rangle \langle Plat : 3 \rangle \langle Ref\_C : 10 \rangle$

A quantidade que tem-se que carregar em cada Plataforma é:

Na Plataforma 1 Carrega-se:	4140 $m^3$
Na Plataforma 2 Carrega-se:	4240 $m^3$
Na Plataforma 3 Carrega-se:	4340 $m^3$

#### ROTA 5

As Refinarias e Plataformas que compõem esta rota são:

$\langle Ref\_S : 10 \rangle \langle Plat : 3 \rangle \langle Plat : 4 \rangle \langle Ref\_C : 20 \rangle$

A quantidade que tem-se que carregar em cada Plataforma é:

Na Plataforma 3 Carrega-se:	2350 $m^3$
Na Plataforma 4 Carrega-se:	2450 $m^3$

### 5.1.4 Navios

#### NAVIO 1

Descrição: Navio uno

Calado: 18

Comprimento: 71.9

Velocidade: 11

Velocidade de descarrega: 1100  $m^3$  por unidade de tempo

Tempo de Atraco:

Plat ou Ref:	10	20	1	2	3	4
Unidade de Tempo:	1	2	1	1	2	1

Tempo de Desatraco:

Plat ou Ref:	10	20	1	2	3	4
Unidade de Tempo:	1	2	1	1	2	1

A capacidade de carga do navio é:  $14000 m^3$

A carga total do navio é:  $0 m^3$

### NAVIO 2

Descrição: Navio dos

Calado: 16

Comprimento: 52

Velocidade: 12

Velocidade de descarrega:  $1200 m^3$  por unidade de tempo

Tempo de Atraco:

Plat ou Ref:	10	20	1	2	3	4
Unidade de Tempo:	1	2	2	2	2	1

Tempo de Desatraco:

Plat ou Ref:	10	20	1	2	3	4
Unidade de Tempo:	1	2	2	2	2	1

A capacidade de carga do navio é:  $24000 m^3$

A carga total do navio é:  $400 m^3$

### NAVIO 3

Descrição: Navio tres

Calado: 17

Comprimento: 73.9

Velocidade: 13

Velocidade de descarrega:  $1300 m^3$  por unidade de tempo

Tempo de Atraco:

Plat ou Ref:	10	20	1	2	3	4
Unidade de Tempo:	2	2	1	1	1	1

Tempo de Desatraco:

Plat ou Ref:	10	20	1	2	3	4
Unidade de Tempo:	2	2	1	1	1	1

A capacidade de carga do navio é:  $18000 m^3$

A carga total do navio é:  $300 m^3$

### 5.1.5 Caminhos

#### CAMINHO 1

O navio associado a este caminho é : Navio 1

As Rotas que compõem o caminho são:

*< Rota 1 > < Rota 2 > < Rota 3 >*

A hora de inicio deste caminho é: 4

#### CAMINHO 2

O navio associado a este caminho é : Navio 2

As Rotas que compõem o caminho são:

*< Rota 2 > < Rota 3 > < Rota 4 >*

A hora de inicio deste caminho é: 6

#### CAMINHO 3

O navio associado a este caminho é : Navio 3

As Rotas que compõem o caminho são:

*< Rota 2 > < Rota 4 > < Rota 5 > < Rota 3 >*

A hora de inicio deste caminho é: 0

### 5.1.6 Distâncias entre as Refinarias e Plataformas

#### Grafo com a distâncias entre as Refinarias e Plataformas

	10	20	1	2	3	4
10	0	400	101	102	103	104
20	400	0	201	202	203	204
1	101	201	0	120	130	140
2	102	202	120	0	230	240
3	103	203	130	230	0	340
4	104	204	140	240	340	0

## 5.2 Resultado

Os Caminhos resultantes que retornou o software foram os que se amostram a continuação, junto com o gráfico do Scheduling, o qual se apresenta na Figura 1. Esta gráfica

basea-se no Diagrama de Gantt.

### 5.2.1 Caminhos Resultantes

#### CAMINHO 1

O navio associado a este caminho é : Navio 1

As Rotas que compõem o caminho são:

< Rota 1 > < Rota 2 > < Rota 3 >

A hora de inicio deste caminho é: 4

A seqüência que o Navio 1 segue é:

Descarrega-se	<i>Ref_10</i>
Carrega 3410 m <sup>3</sup>	<i>Plat_4</i>
Carrega 3210 m <sup>3</sup>	<i>Plat_2</i>
Carrega 3110 m <sup>3</sup>	<i>Plat_1</i>
Carrega 3310 m <sup>3</sup>	<i>Plat_3</i>
Descarrega-se	<i>Ref_20</i>
Descarrega-se	<i>Ref_20</i>
Carrega 4420 m <sup>3</sup>	<i>Plat_4</i>
Carrega 4120 m <sup>3</sup>	<i>Plat_1</i>
Carrega 4320 m <sup>3</sup>	<i>Plat_3</i>
Descarrega-se	<i>Ref_10</i>
Descarrega-se	<i>Ref_10</i>
Carrega 3430 m <sup>3</sup>	<i>Plat_4</i>
Carrega 3130 m <sup>3</sup>	<i>Plat_1</i>
Carrega 3230 m <sup>3</sup>	<i>Plat_2</i>
Descarrega-se	<i>Ref_20</i>

Distância total desta seqüência = 1940

#### CAMINHO 2

O navio associado a este caminho é : Navio 2

As Rotas que compõem o caminho são:

< Rota 2 > < Rota 3 > < Rota 4 >

A hora de inicio deste caminho é: 6

A seqüência que o Navio 2 segue é:

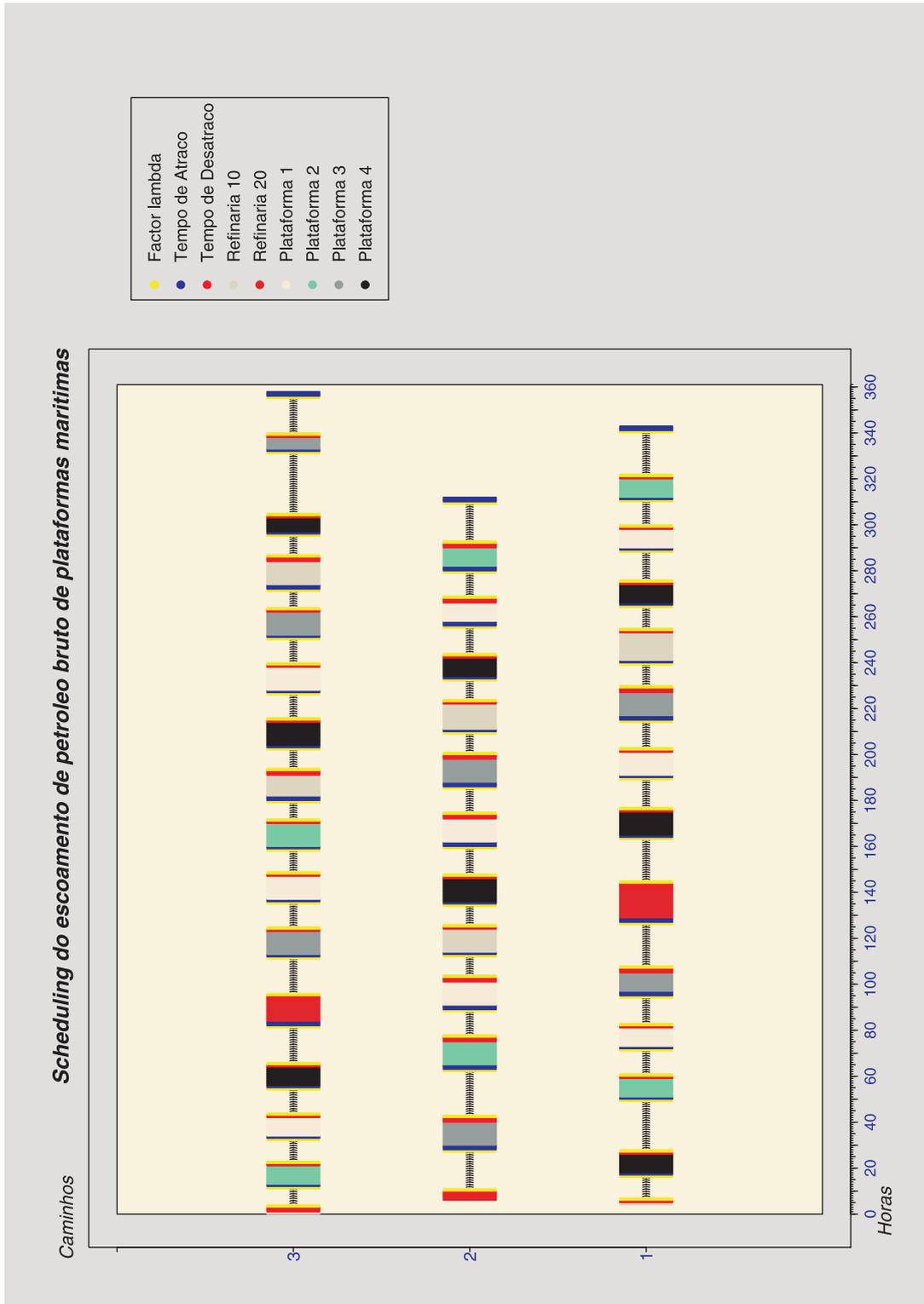


Figure 1: Grafica do Scheduling de escoamento de petróleo bruto de plataformas marítimas

Descarrega-se	<i>Ref_20</i>
Carrega 4240 m <sup>3</sup>	<i>Plat_2</i>
Carrega 4140 m <sup>3</sup>	<i>Plat_1</i>
Carrega 4340 m <sup>3</sup>	<i>Plat_3</i>
Descarrega-se	<i>Ref_10</i>
Descarrega-se	<i>Ref_10</i>
Carrega 4420 m <sup>3</sup>	<i>Plat_4</i>
Carrega 4120 m <sup>3</sup>	<i>Plat_1</i>
Carrega 4320 m <sup>3</sup>	<i>Plat_3</i>
Descarrega-se	<i>Ref_10</i>
Descarrega-se	<i>Ref_10</i>
Carrega 3430 m <sup>3</sup>	<i>Plat_4</i>
Carrega 3130 m <sup>3</sup>	<i>Plat_1</i>
Carrega 3230 m <sup>3</sup>	<i>Plat_2</i>
Descarrega-se	<i>Ref_20</i>

Distância total desta seqüência = 1598

### CAMINHO 3

O navio associado a este caminho é : Navio 3

As Rotas que compõem o caminho são:

< *Rota 2* > < *Rota 4* > < *Rota 5* > < *Rota 3* >

A hora de inicio deste caminho é: 0

A seqüência que o Navio 3 segue é:

Descarrega-se	<i>Ref_10</i>
Carrega 3230 m <sup>3</sup>	<i>Plat_2</i>
Carrega 3130 m <sup>3</sup>	<i>Plat_1</i>
Carrega 3430 m <sup>3</sup>	<i>Plat_4</i>
Descarrega-se	<i>Ref_20</i>
Descarrega-se	<i>Ref_20</i>
Carrega 4340 m <sup>3</sup>	<i>Plat_3</i>
Carrega 4140 m <sup>3</sup>	<i>Plat_1</i>
Carrega 4240 m <sup>3</sup>	<i>Plat_2</i>
Descarrega-se	<i>Ref_10</i>
Descarrega-se	<i>Ref_10</i>
Carrega 4420 m <sup>3</sup>	<i>Plat_4</i>
Carrega 4120 m <sup>3</sup>	<i>Plat_1</i>

Carrega 4320 $m^3$	<i>Plat_3</i>
Descarrega-se	<i>Ref_10</i>
Descarrega-se	<i>Ref_10</i>
Carrega 2450 $m^3$	<i>Plat_4</i>
Carrega 2350 $m^3$	<i>Plat_3</i>
Descarrega-se	<i>Ref_20</i>

Distância total desta seqüência = 2245

## 6 CONCLUSÃO

### 6.1 Conclusão

Neste trabalho usaram-se diferentes métodos para dar solução ao problema. Estes metodos são:

- Programação Matemática Inteira;
- Método GREEDY;
- Método de permutações;
- Método de clusterização de caminhos.

Com esta combinação conseguiu-se fazer um Scheduling de escoamento de petróleo bruto de plataformas marítimas, garantindo com este Scheduling que se cumprem as restrições que o problema tem associado.

Tambem pode-se dizer que para estes problemas específicos a combinação dos métodos com a programação orientada a objetos resultou em um sistema, o qual retorna uma solução em um tempo bastante curto, além de ter todas as vantagens da programação orientada a objetos a qual permite uma fácil ampliação com bibliotecas ou funcionalidades além de uma facil manipulação das funcionalidades do mesmo.

O software desenvolvido gera automaticamente um relatorio final, onde coloca-se neste toda a informação correspondiente ao estado inicial e final das plataformas e refinarias além de fazer um conjunto de graficos vectoriais, um deles é baseado no grafico de Gant e permite visualizar o scheduling em forma grafica sobre a linha do tempo, outros graficos gerados, são polinomios de frecuencia acumulada (usados na estatistica) que para este tranbalho foram usados com a finalidade de reflejar o estado das plataformas e centros consumidores na linha do tempo e os ultimos graficos gerados são para determinar nos momentos que os navios que participam no sistema podem atracar nos piers, facilitando assim olhar a janela de tempo em que eles podem atracar ou desatracar.

As ferramentas usadas são dois ferramentas de software libre e gratuitas, estas são muito usadas é reconhecidas pela comunidade de pesquisadores de diferentes áreas. Estas ferramentas são:

- **L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X**: este é uma linguagem para a preparação de documentos, formado por um conjunto de macros de T<sub>E</sub>X, escritas inicialmente por Leslie Lamport (**LamportTeX**) em 1984, com a intenção de facilitar o uso da linguagem de composição tipográfica gerado por Donald Knuth. L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X é muito utilizado para a composição de artigos acadêmicos, dissertações e livros técnicos, dado que a qualidade tipográfica dos documentos feitos em L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X é comparável à de uma editorial científica de primeira linha. L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X é um software livre sub licença LPPL. A página oficial para o sistema operativo *Windows* [www.miktex.org](http://www.miktex.org), e para sistemas *Unix* utiliza-se pacotes como por exemplo *teTeX* ([www.tug.org/tetex](http://www.tug.org/tetex)) ou *TeXLive* ([www.tug.org/texlive](http://www.tug.org/texlive)).
- **R-Project**: R é uma linguagem e entorno de programação para análise estatístico e gráfico. Trata-se de um projeto de software livre, resultado da implementação GNU do premiado linguagem S. R e S-Plus (versão comercial de S) são, provavelmente, as duas linguagens mais utilizadas em pesquisa pela comunidade estatística, sendo além muito populares no campo da pesquisa biomédica, a bioinformática e as matemáticas financeiras. A isto contribui a possibilidade de carregar diferentes livrarias ou pacotes com finalidades específicas de cálculo ou gráfico. Pagina oficial [www.r-project.org](http://www.r-project.org).

A tudo isto anexa-se a vantagem que o sistema desenvolvido usa só software livre de código aberto e está desenvolvido em umas das linguagens de programação mais usadas por a comunidade computacional, favorecendo desta forma a melhora contínua dos compiladores do mesmo.

Como trabalhos a futuro baseados neste, pode-se propor:

- A implementação da solução destes problemas com Algoritmos Genéticos, os quais são um método heurístico que dia a dia toma mais potência entre os métodos de otimização combinatória, dado a que estes conseguem obter resultados, que se não são ótimos ficam muitos próximos a ele, em tempos muitos menores que os métodos baseados na procura exaustiva;
- Paralelizar o problema, conseguindo desta forma diminuir o tempo de execução.

## REFERENCES

- Al-Yakoob S.M. *Mixed-Integer Mathematical Programming Optimization Models and Algorithms for an Oil Tanker Routing and Scheduling Problem*. Ph.D. thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, 1997.
- Almeida Lima C.A.d. *Riscos de Atrasos na Cadeia Logística de Suprimento de Petróleo*. Master's Thesis, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.
- Arranz L. *Imágenes vectoriales y mapas de bits*. Centro Nacional de Información y Comunicación Educativa, Madrid, 2005. URL:

- <http://observatorio.cnice.mec.es/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=293> Ultima visita: 11/8/2008.
- Augusto O.B. and Kawano A. A mixed continuous and discrete nonlinear constrained algorithm for optimizing ship hull structural design. *Ocean Engng.*, 25:793–811, 1998.
- Boardman B.S., Malstrom E.M., Butler D.P., and Cole M.H. Computer assisted routing of intermodal shipments. In *Proceedings of the 21st international conference on Computers and industrial engineering*, pages 311–314. Elsevier Science Publishers Ltd., Essex, UK, 1997.
- Calégari P.R. *Parallelization of Population-Based Evolutionary Algorithms for Combinatorial Optimization Problems*. Ph.D. thesis, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1999.
- Cutland N. *Computability: An Introduction to Recursive Function Theory*. Cambridge University Press, 1997.
- Fagerholt K. Ship scheduling with soft time windows: An optimisation based approach. *European Journal of Operational Research*, 13:559–571, 2001.
- Fagerholt K. and Christiansen M. A travelling salesman problem with allocation, time window and precedence constraints - an application to ship scheduling. *International Transactions in Operational research*, 7:231–244, 2000.
- González Vargas G. and González Aristizábal F. Metaheurísticas aplicadas al ruteo de vehículos. un caso de estudio. parte 2: algoritmo genético, comparación con una solución heurística. *Revista Ingeniería e Investigación*, 27:149–157, 2007.
- Hartley R. *Theory of Recursive Functions and Effective Computability*. McGraw–Hill Book Copany, 1987.
- Iskendar, Suprayogi, and Yamato H. Ship routing design for the oily liquid waste collection. *The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers*, 190:325–335, 2001.
- Jones N.D. *Computability and Complexity: From a Programming Perspective*. Foundation of Computing Series, 1997.
- Kim D. and Barnhart C. Multimodal express shipment service design: Models and algorithms. *Computer Industrie and Engeniering*, 33:685–688, 1997.
- Larman C. *UML y Patrones – Introducción al Análisis y Diseño Orientado a Objetos*. Addison Wesley Longman, 2003.
- Lippman S.B. *Essential C++*. Addison Wesley, 2002.
- Malandraki C. and Daskin M.S. Time dependent vehicle routing problems: Formulations, properties and heuristic algorithms. *Transportation Science*, 6–3:185–198, 1992.
- Paolucci M., Sacile R., and Boccalatte A. Allocating crude oil supply to port and refinery tanks: a simulation–based decision support system. *Decision Support Systems*, 33:39–54, 2002.

- Pereira Motta Franco K. *Desenvolvimento de um Sistema Inteligente para Auxiliar a Escolha de Sistema para Produção no Mar*. Master's Thesis, Universidade Estadual de Campinas, 2003.
- Persson J.A. and Gothe-Lundgren M. Shipment planning at oil refineries using column generation and valid inequalities. *European Journal of Operational Research*, pages 2–22, 2004.
- Pinna Ferreira Pinto Junior O. *Simulação e Otimização; Desenvolvimento de uma Ferramenta de Análise de Decisão para Suprimento de Refinarias de Petróleo através de uma Rede de Oleodutos*. Master's Thesis, Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.
- Reis da Silva P. *Transporte Marítimo de Petróleo e Derivados na Costa Brasileira: Estrutura e Implicações Ambientais*. Master's Thesis, Universidade Federal de Rio de Janeiro, 2004.
- Resende M.G. and González Velarde J.L. Grasp: Greedy randomized adaptive search procedures. *Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, 19:61–76, 2003.
- Ronen D. Cargo ships routing and scheduling: Survey of models and problems. *European Journal of Operational Research*, 2:119–126, 1983.
- Rumbaugh J., Jacobson I., and Booch G. *The Unified Modeling Language Reference Manual*. Addison Wesley, 2004.
- Schut M.C. Distributed ship scheduling with partially known time windows. Vrije Universiteit, Amsterdam (The Netherlands), 2005.
- Sedgewick R. Permutations generation methods. *ACM Computing Surveys*, 9, 1977.
- Shih L.H. Planning of fuel coal imports using a mixed integer programming method. *International Journal of Production Economics*, 51(3):243–249, 1997.
- Soares de Medeiros E. *Metodologia para Implementação do Sistema de Custeio Baseado em Atividades (ABC) nos Serviços Logísticos da indústria de Exploração e produção de Petróleo: Aplicação no Provedor de Transporte do órgão de Exploração e Produção da Petrobras na Bacia de Campos*. Master's Thesis, Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.
- Soletti L. *Planejamento e Distribuição de Derivados de Petróleo Via Transporte Marítimo*. Master's Thesis, Universidade Federal de Alagoas, 2006.
- Terumichi Ono R. *Estudo de Viabilidade do Transporte Marítimo de Contêineres por Cabotagem na Costa Brasileira*. Master's Thesis, Universidade de São Paulo, 2001.