

## **Simulador Interactivo de Docagem de Navios em Ambiente Tridimensional**

**José Miguel dos Santos Sousa Rodrigues**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia e Arquitectura Naval**

### **Júri**

Presidente: Prof. Carlos António Pancada Guedes Soares

Orientador: Prof. Carlos António Pancada Guedes Soares

Vogais: Prof. Tiago Alexandre Rosado Santos

Prof. Manuel Filipe Simões Ventura

**Novembro de 2008**

## **Resumo**

É apresentada uma aplicação informática que consiste numa simulação em tempo-real, interactiva e em ambiente tri-dimensional da docagem de navios num estaleiro de reparação naval. São controladas as operações de alagamento e esgotamento da doca bem como dos tanques de lastro presentes no navio. São visualizadas em tempo real as grandezas físicas em mundança e existe a possibilidade de extrair todos os dados num determinado instante para um ficheiro com vista a um posterior tratamento e análise.

Os principais dados a observar são os esforços primários aplicados à estrutura do navio, os carregamentos suportados pelos picadeiros e consequentemente os esforços na estrutura da doca, bem como a estabilidade da embarcação em cada instante.

Os cálculos hidrostáticos são na sua maioria realizados recorrendo à interpolação dos valores presentes nas tabelas de características hidrostáticas das embarcações. A análise estrutural advém da consideração do navio como uma viga com características estruturais constantes a todo o seu comprimento. O cálculo dos carregamentos sobre os picadeiros é feito recorrendo a fórmulas semi-empíricas que são aplicadas pelo estaleiro em causa, demonstrando-se a não aplicabilidade de um método hiperestático para este caso.

São apresentadas algumas validações, retiradas algumas conclusões qualitativas com base nos resultados obtidos e sugerem-se alguns desenvolvimentos futuros da aplicação.

O estaleiro em causa é o da Lisnave – Estaleiros Navais, S.A. localizado na Mitrena – Setúbal.

### **Palavras chave:**

DOCAGEM, LISNAVE, SIMULAÇÃO, 3D, DOCA, XNA

## **Abstract**

A computer program is presented which consists of an interactive 3D real time simulation of dry-docking of ships in a repair shipyard. The flooding and emptying of the dock, as well as of the ballast tanks are controlled by the user. The changing physical values can be visualized and there is the possibility to save all the data to a file for post-processing and analysis.

The main data consists on the loading applied to the ship's primary structure, the loads supported by the keel blocks and, consequently, the load applied to the dock's structure, and the stability of the vessel at each instance.

The majority of the hydrostatic calculations come from interpolation of the values present in the hydrostatic tables of the ships. The structural analysis is done considering the ship as a beam with constant structural characteristics throughout its entire length. The loading calculations on the keel blocks are based on semi-empirical formulae applied every day by the mentioned shipyard. It's demonstrated the non applicability of an hiperstatic approach in solving this problem.

A few qualitative conclusions coming from the obtained results are shown and suggestions are made concerning the future development of the program.

The shipyard mentioned is Lisnave – Estaleiros Navais, S.A. located at Mitrena – Setúbal.

### **Key words:**

DRY-DOCKING, LISNAVE, SIMULATION, 3D, DOCK, XNA

# Índice

1- Introdução .....	9
1.2 – Porquê um simulador interactivo em ambiente tri-dimensional.....	9
1.3 – Opções adoptadas.....	10
1.4 - Estrutura do texto .....	11
1.5 – A Lisnave e o Estaleiro da Mitrena .....	11
 2 – Cálculos e outras considerações técnicas na docagem de navios.....	14
2.1 – A manutenção de navios e as docagens.....	14
2.2 – Tipos de doca .....	15
2.2.1 - Doca tradicional .....	15
2.2.2 - Doca tipo plataforma.....	16
2.2.3 - Doca flutuante.....	16
2.2.4 - Hydrolift.....	17
2.3 - Processos de docagem .....	18
2.3.1 - Doca tradicional .....	18
2.3.2 – Doca tipo plataforma .....	19
2.3.3 - Hydrolift .....	20
2.4 – Variáveis e factores críticos na docagem.....	20
2.4.1 - Carga nos picadeiros .....	20
2.4.2 - Esforços aplicados ao piso e vigas mestras da doca .....	21
2.4.3 - Esforços na estrutura primária do navio .....	21
2.4.4 - Estabilidade do navio .....	21
2.4.5 - Alinhamento do navio e adornamento .....	21
2.4.6 - Flutuação posterior a um primeiro assentamento .....	22
2.4.7 – Maré .....	22
2.5 – Distribuição dos picadeiros .....	23
2.5.1 – Linhas orientadoras na preparação do berço .....	23
2.5.2 – Determinação da carga por picadeiro .....	25
2.6 – Estimativa do Peso Leve .....	26
2.7 – Análise hidrostática do navio .....	27
2.7.1 – Navio livre .....	27
2.7.2 – Navio em contacto com o picadeiro pivot .....	28
2.7.3 – Navio completamente assente nos picadeiros .....	29
2.8 – Análise estrutural do navio .....	29
2.8.1 – Navio livre.....	30
2.8.2 – Navio em contacto com o picadeiro pivot .....	30
2.8.3 – Navio completamente assente nos picadeiros .....	31
 3 – Estado da arte .....	34

4 – Arquitectura, código e funcionamento da aplicação .....	34
4.1 – O XNA.....	35
4.2 – Visão geral .....	36
4.3 – Implementação .....	39
4.3.1 - <i>Components</i> .....	39
4.3.2 – Objectos gestores .....	40
4.3.3 – Objectos principais.....	43
4.3.4 – Objectos elementares .....	45
4.3.5 - Objectos accessórios.....	47
 5 – Desenvolvimento da aplicação.....	47
5.2 - Ferramentas .....	47
5.3 – Elementos tridimensionais.....	49
5.3.1 – Estaleiro .....	49
5.3.2 - Docas.....	50
5.3.3 – Navio e Tanques de lastro .....	50
5.3.4 – Superfícies Livres.....	51
5.3.5 – Picadeiros .....	51
5.3.6 – Cais .....	52
5.4 – Ficheiros de Input .....	52
 6 – Funcionamento da aplicação .....	59
6.1 – OpenningScene .....	59
6.2 – InitialOptionsScene.....	59
6.3 – SimulationScene .....	60
6.3.1 – Menu Application.....	60
6.3.2 – Menu View .....	61
6.3.3 – Menu Hydrostatics .....	61
6.3.4 – Menu Flow.....	62
6.3.5 – Menu Structure.....	63
 7 – Validações e casos de estudo.....	64
7.1 - Validações .....	64
7.2 – Casos de estudo.....	65
 8 – Conclusões e desenvolvimentos futuros.....	69
8.1 – Análise qualitativa dos resultados .....	70
8.2 – Desenvolvimentos futuros .....	70
 9 – Bibliografia.....	71

ANEXOS.....	72
Anexo A .....	73
Anexo B .....	79
Anexo C.....	82

## **Lista de figuras**

Figura 1- Estaleiro da Mitrena .....	12
Figura 2 – Estaleiro da Margueira .....	12
Figura 3 – Localização geográfica .....	13
Figura 4 – Organização produtiva .....	13
Figura 5 – Principais equipamentos .....	14
Figura 6 – Exemplo de uma doca tradicional .....	16
Figura 7 – Exemplo de uma doca flutuante.....	17
Figura 8 – O hydrolift na Mitrena .....	17
Figura 9 – Docagem numa doca tradicional.....	18
Figura 10 – Docagem numa doca do tipo plataforma .....	19
Figura 11 – Cargas máximas nas vigas mestras e lajes.....	24
Figura 12- Estimativa da distribuição longitudinal do carregamento .....	25
Figura 13 - Estimativa da distribuição transversal do carregamento .....	26
Figura 14 - Tabela orientadora para determinação do peso leve .....	26
Figura 15 – Cálculo do Momento e Força de Corte na viga-navio livre-livre .....	30
Figura 16 - Cálculo do Momento e Força de Corte na viga-navio apoiada-livre.....	30
Figura 17 - Viga-navio, sistema hiperestático .....	31
Figura 18 – Cálculo do Momento e Força de Corte na viga-navio hiperestática .....	32
Figura 19 – Estrutura básica do ciclo do XNA.....	35
Figura 20 - Esquema da hierarquia das classes .....	37
Figura 21 – Execução de ordem para esgotar tanque de lastro .....	38
Figura 22 – IDE do XNA no Visual Studio 2005.....	48
Figura 23 – Exemplo ficheiro Tanksoundings_ .....	52
Figura 24 – Exemplo ficheiro TankLongitudinalDistribution_ .....	53
Figura 25 – Exemplo ficheiro TankCapacity_.....	53
Figura 26 – Exemplo ficheiro ModelsInit_ .....	54
Figura 27 – Exemplo ficheiro MainParticulars_ .....	54
Figura 28 – Exemplo ficheiro LightWeight_.....	55
Figura 29 – Exemplo ficheiro InititalTankLoads_ .....	56
Figura 30 – Exemplo ficheiro Hydrostatics_.....	56
Figura 31 – Exemplo ficheiro Elements_.....	56
Figura 32 – Exemplo ficheiro DockPosition_.....	57
Figura 33 – Exemplo ficheiro doca_.....	57
Figura 34 – Exemplo ficheiro Bonjean_ .....	58
Figura 35 – Exemplo ficheiro Blocks_.....	58
Figura 36 – Cena OpenningScene .....	59
Figura 37 – Cena InitialOptionsScene.....	60
Figura 38 – Cena Simulation .....	60
Figura 39 – Exemplo de um ficheiro de resultados .....	61

Figura 40 – Características hidrostáticas do navio e doca .....	61
Figura 41 – Características hidrostáticas dos tanques de lastro .....	62
Figura 42 – Controlo do enchimento ou esgotamento da doca .....	62
Figura 43 – Controlo das transfegas de lastro .....	63
Figura 44 – Esforços estruturais aplicados ao navio .....	63
Figura 45 – Esforços estruturais aplicados aos picadeiros.....	64
Figura 46 – Caso de estudo A (calados e adornamento) .....	65
Figura 47 – Caso de estudo A (centro de gravidade e e centro de flutuação) .....	65
Figura 48 – Caso de estudo A (altura metacêntrica longitudinal e momento de cimento unitário) ....	66
Figura 49 – Caso de estudo A (deslocamento e deslocamento unitário) .....	66
Figura 50 – Caso de estudo A (impulsão e esforço transverso) .....	67
Figura 51 – Caso de estudo A (força de corte e momento flector) .....	67
Figura 52 – Caso de estudo B (calados e adornamento) .....	67
Figura 53 – Caso de estudo B (centro de gravidade e centro de flutuação) .....	67
Figura 54 – Caso de estudo B (altura metacêntrica longitudinal e momento de cimento unitário) ....	68
Figura 55 – Caso de estudo B (deslocamento e deslocamento unitário) .....	68
Figura 56 – Caso de estudo B (impulsão, esforço transverso e carregamento máximo nos picadeiros) .....	69
Figura 57 – Caso de estudo B (força de corte e momento flector) .....	69

## **1- Introdução**

### **1.1 – Objectivos**

Este trabalho tem por base o objectivo de criar um protótipo de uma aplicação que seja um simulador interactivo em ambiente tridimensional das operações de docagem navios num estaleiro de reparação naval específico. A simulação, pela sua própria natureza não pretende realizar e apresentar dados em tempo real de um sistema físico, mas sim o de simular esse mesmo sistema seguindo uma lógica sustentada e monitorizar em tempo real (no espaço temporal da simulação) as grandezas físicas em jogo.

O ponto de partida é o estaleiro de reparação naval Lisnave - Estaleiros Navais S.A. situado na margem norte do Rio Sado na Mitrena – Setúbal. De facto todos os dados físicos, especificações de equipamentos, dimensões dos mesmos, etc., são baseados nos existentes neste estaleiro.

### **1.2 – Porquê um simulador interactivo em ambiente tri-dimensional**

Um dos pontos essenciais aquando do delinejar dos objectivos de qualquer projecto consiste na fundamentação dos mesmos. Nesta secção pretende-se esclarecer a lógica basilar do trabalho.

#### ***Simulador***

Um simulador representa uma descrição de um qualquer processo, logo a aplicação mais imediata é o de servir como ferramenta de aprendizagem. Por outro lado a consideração de casos atípicos pode, de uma forma segura, ser aplicada ao sistema e permite a análise dos mesmos com custos muito reduzidos. O estudo de novas soluções também é um dos campos principais de aplicação de uma simulação onde é possível o estudo das mesmas muito antes da sua implementação.

Finalmente, para além da aprendizagem, consideração de casos atípicos e estudo de novas soluções que por si só apresentam vantagens evidentes, a simulação permite uma análise detalhada de uma operação, que assim poderá levar a um aprimoramento de todo o processo numa lógica de optimização de recursos.

#### ***Interactivo***

As ferramentas de simulação puras não permitem a interacção em tempo real na execução de uma simulação. Assim torna-se impossível a inclusão de factores “externos” em tempo real que não previstos inicialmente. Apesar de ser possível a consideração de variáveis com valores aleatórios

durante a simulação, esses valores são sempre limitados de acordo com princípios probabilísticos deterministas. A interactividade em tempo real permite então modificar as circunstâncias em tempo real a partir do interveniente externo que é o utilizador, representando assim uma verdadeira incorporação de um factor impoderável.

Por outro lado, um simulador interactivo, dá lugar a respostas no imediato às diversas situações e permite a análise das mesmas. Ora isto é de suprema importância no caso de se estar em presença de um sistema que na realidade tem incorporado o factor humano na forma de decisões no imediato, como é de resto o caso das docagens de navios.

### ***Tridimensional***

A visualização de um processo é um factor essencial na compreensão do mesmo. Apesar de uma análise posterior de dados recolhidos durante uma operação poder revelar situações que não são evidentes em tempo-real, essa mesma análise deverá ser sempre que possível complementada por uma visualização *in-loco* de modo a não haver lugar à criação de conhecimento que não reflecte a realidade. Este caso poderá ser produto da consideração cega de valores de parâmetros analisados, parâmetros esses que por si só poderão não ser os mais correctos ou serem demasiado redutores na descrição de um problema. Uma visualização num ambiente tri-dimensional apresenta-se então como a mais intuitiva e permite a observação de pormenores que escapam à análise puramente numérica.

Um outro ponto, de menos importância imediata, mas que importa não descurar é a possibilidade da criação de uma visualização com boa qualidade estética que tem o seu máximo partindo de um ambiente tri-dimensional. Assim, existe a possibilidade de ser usada como ferramenta comercial no que diz respeito a apresentações que pretendam transmitir um conceito de modernidade e “know-how”.

Finalmente, tendo um motor gráfico tri-dimensional funcional, este pode servir de base para aplicações mais específicas que requeiram uma visualização a três dimensões representando assim um ponto a favor no que diz respeito à expansibilidade do programa.

### **1.3 – Opções adoptadas**

Um dos objectivos passa pela representação tridimensional de todas as docas de um ponto de vista visual e, acima de tudo, dimensional rigoroso. O mesmo se aplica aos picadeiros, ao navio e respectivos tanques de lastro. Estes são precisamente os intervenientes fundamentais na operação em termos de cálculos primários.

Os equipamentos mecânicos, nomeadamente bombas e válvulas deverão futuramente também ser alvo de uma especificação precisa das suas características, sendo apesar disso, nesta primeira

abordagem, consideradas soluções que, recorrendo a parâmetros médios do seu funcionamento, simplificam a operação destes equipamentos no âmbito da simulação que excluem a necessidade do conhecimento pormenorizado das mesmas.

A modelação tridimensional dos elementos pertencentes ao estaleiro/embarcação é feita de uma forma razoavelmente detalhada, tentando atingir um ponto de equilíbrio entre o tempo de modelação e implementação, a velocidade de execução da simulação e a qualidade gráfica da mesma. Os sistemas mecânicos, de encanamentos, etc. em causa também seguem a mesma lógica pois um exagerado detalhe na definição destes introduz complicações adicionais à simulação que não só resultam nos efeitos acima mencionados como também restringem a flexibilidade do software no que diz respeito aos dados de input necessários. No limite chegar-se-ia a um ponto em que a introdução de uma embarcação na simulação representaria por si só uma tarefa extremamente morosa e, claro, com as dificuldades inerentes à obtenção dos imensos dados reais necessários.

Pretende-se assim que esta aplicação seja um protótipo, uma primeira abordagem flexível e relativamente simplista, que permita a análise do ponto de vista funcional da mesma e sirva de base para aplicações mais específicas, onde então será refinada, optimizada e complementada com classes personalizadas em linha com esses objectivos mais restritos.

#### **1.4 – Estrutura do texto**

O texto está organizado de acordo com um padrão que espelha aproximadamente a ordem cronológica do desenvolvimento deste trabalho. Da mesma forma que esta sequência permitiu ao autor uma introdução, aprendizagem, desenvolvimento e execução do trabalho, também deverá permitir ao leitor a tomada de conhecimento de uma forma progressiva e metódica dos assuntos tratados, tentando-se apresentar as respostas nos locais certos às dúvidas que vão surgindo ao longo do texto.

#### **1.5 – A Lisnave e o Estaleiro da Mitrena**

Como já foi referido todo este trabalho é realizado com dados reais do estaleiro da Lisnave na Mitrena. Ainda mais o facto de o autor fazer parte do pessoal da empresa e de boa parte dos conhecimentos práticos em relação ao assunto em causa terem sido adquiridos no dia a dia de trabalho neste estaleiro, é crucial que se faça uma pequena apresentação desta organização.



**Figura 1- Estaleiro da Mitrena**

### ***História***

A empresa foi estabelecida a 1 de Janeiro de 1937 pelo grupo CUF (Companhia União Fabril) quando esta conseguiu a concessão do estaleiro naval da Rocha situado na margem norte do estuário do Tejo. Em setembro de 1961, a empresa mudou a sua denominação para Linsnave – Estaleiros Navais de Lisboa, na sequência da sua expansão para a margem sul, com a construção do primeiro estaleiro de grandes dimensões pensado de raiz para a reparação naval. Este estaleiro situado na Margueira tinha capacidade para a permanência dos maiores navios de então.

Em 1973 a Setenave – Estaleiros Navais de Setúbal é inaugurada, de modo a responder à procura crescente de reparação bem como de construção naval.

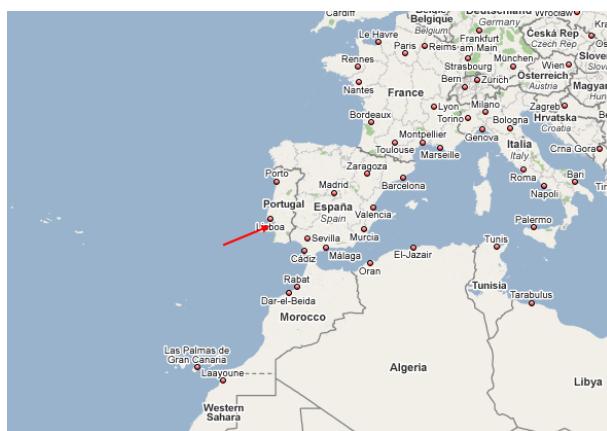
Em meados de 1997, um plano de restruturação foi posto em prática de modo a fazer corresponder os serviços oferecidos às previsões procura do mercado para reparações e conversões de navios. Daqui resultou, em finais de 2000 a modernização geral do estaleiro da Mitrena, e a construção neste de três novas docas, capazes de albergar navios Panamax. Desde então todas as actividades estão baseadas na Mitrena e o estaleiro da Margueira foi permanentemente encerrado.



**Figura 2 – Estaleiro da Margueira**

## **Localização**

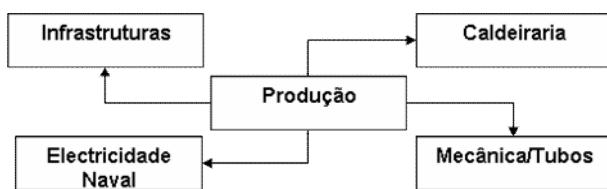
O estaleiro da Mitrena encontra-se situado numa posição geográfica muito apetecível para a sua actividade. É uma opção ideal para navios que operam ou que tem a sua rota a passar pelo Atlântico Norte e Mediterrâneo. Também o clima relativamente seco (baixa humidade) e a baixa pluviosidade anual nesta região permite o tratamento de cascos num intervalo de meses superior à maioria dos estaleiros da Europa sem recorrer à cobertura das docas.



**Figura 3 – Localização geográfica**

## *Organização produtiva*

A produção está organizada de uma forma orientada por área de actuação do ponto de vista técnico. Os sectores principais são a Caldeiraria, Mecânica e Infra-estruturas. A Caldeiraria é responsável por todos os componentes estruturais, usualmente reparação de aço. A Mecânica encontra-se ainda subdividida nos sub-sectores de Mecânica, Tubos e Electricidade Naval. É responsável por todos os equipamentos que não se enquadram na Caldeiraria. O sector das Infra-estruturas encarrega-se não só da manutenção de toda a unidade industrial, mas também de vários serviços fornecidos ao cliente como sejam a marinharia, carpintaria, prevenção e segurança, andaimes, reparação e calibração de ferramentas, testes de carga, etc.



**Figura 4 – Organização produtiva**

## Equipamentos principais

Em termos de equipamentos principais a Lisnave mantém ao seu serviço um total de seis docas:

- Doca n.º 20 - 420 m x 75 m, calado 4,6 m
- Doca n.º 21 - 450 m x 75 m, calado 7,6 m
- Doca n.º 22 - 350 m x 55 m, calado 7,6 m
- Doca n.º 31 - 280 m x 39 m, calado 5,1 m
- Doca n.º 32 - 280 m x 39 m, calado 5,1 m
- Doca n.º 33 - 280 m x 39 m, calado 5,1 m

Existem ainda 9 cais de reparação com uma extensão agregada de 1 400 m, calado 6,6 m.

Em termos de Equipamentos de alagem tem 20 Guindastes móveis (até 100 t) e 1 Pórtico (500 t) que serve as docas n.º 20 e n.º 21. O estaleiro ocupa uma área total de cerca de 1 500 000 m<sup>2</sup>.

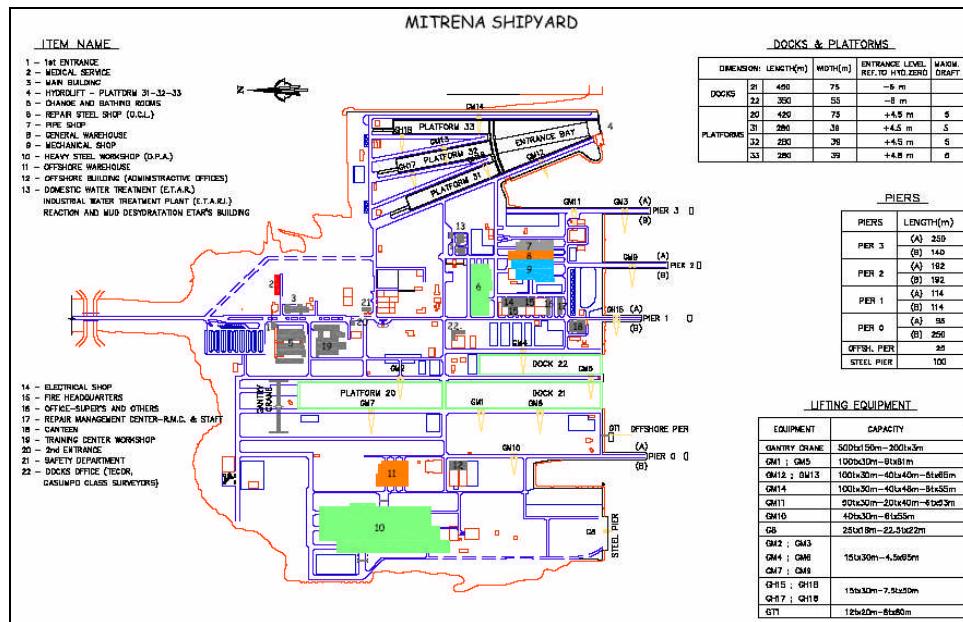


Figura 5 – Principais equipamentos

## 2 – Cálculos e outras considerações técnicas na docagem de navios

### 2.1 – A manutenção de navios e as docagens

Após a sua construção, cada navio tem, de acordo com as regras definidas pela sociedade classificadora que classifica o navio, pelo porto de registo e pelo armador em si, delineado um plano de manutenção. Este plano varia consoante o tipo de classe que é atribuída ao navio e consiste numa

série de inspecções visuais, execução de testes a alguns dos equipamentos presentes a bordo e a elementos estruturais da embarcação, bem como docagens periódicas. Para além disso, a qualidade do tratamento da superfície do casco e de outros compartimentos do navio tais como os tanques de lastro (caso estes tenham sido alvo deste tipo de tratamento) deteriora-se continuamente com a sua utilização, pelo que os fornecedores dão garantias do produto por períodos que normalmente coincidem com os intervalos entre docagens obrigatórias por parte da sociedade classificadora e restantes intervenientes.

Tirando casos de acidentes, avarias graves do ponto de vista quer da complexidade da reparação necessária, como da importância que tal avaria possa ter em relação à operação normal do navio, ou ainda outros factores pontuais, uma embarcação tipicamente visita um estaleiro de reparação somente nos intervalos estipulados referidos anteriormente.

A docagem representa assim a possibilidade de inspeccionar o navio e proceder às necessárias reparações com este fora de água, permitindo o acesso a zonas normalmente só acessíveis por mergulhadores.

## **2.2 – Tipos de doca**

Existem basicamente três tipos de doca, sendo que dois deles são os mais comuns. Estes são a doca tradicional (“graving dock”), a doca flutuante e a plataforma. Ainda podemos considerar o “Hydrolift” como um tipo de doca adicional, no entanto este enquadra-se no mesmo princípio de funcionamento da plataforma.

### **2.2.1 – Doca tradicional**

Neste tipo de doca, o fundo encontra-se vários metros abaixo da cota média da superfície de água exterior adjacente a esta, e tem um limite superior que pode ir desde o nível do solo do estaleiro até vários metros acima (como é o caso se tiver uma doca do tipo plataforma adjacente). Os navios entram na doca directamente vindos do exterior e uma comporta que permite a estanquicidade da doca é colocada na posição fechada. A doca é então esgotada por meio de bombas para o exterior e o navio fica assente nos picadeiros.

A manobra de flutuação corresponde ao enchimento da doca por gravidade (pois esta encontra-se sempre abaixo da cota da água no exterior) através de válvulas. Finda esta operação a comporta é colocada na posição aberta e o navio sai com o auxílio de rebocadores.



**Figura 6 – Exemplo de uma doca tradicional**

### **2.2.2 – Doca tipo plataforma**

Aqui o conceito é o oposto do da doca tradicional já que esta apresenta-se com o fundo a uma cota superior ao nível médio das águas no exterior. Uma das vantagens da utilização deste tipo de equipamento é o facto de podermos ter o piso da doca nivelado com os terrenos circundantes do estaleiro, o que significa um fácil acesso à zona de trabalho reduzindo a necessidade do uso de meios de elevação.

A principal desvantagem passa pela necessidade de elevar o navio até ao nível requerido. Uma das formas de contornar o problema consiste na colocação de uma doca tradicional adjacente a esta e com a qual haja a possibilidade de movimentar uma embarcação que lá se encontre para a plataforma com um nível da água igual ao necessário tendo em conta o calado que o navio apresenta. Aqui está a causa de uma doca tradicional poder ter muros laterais (ou muralhas como são vulgarmente conhecidos) a uma altura superior à do terreno circundante. Esta solução no entanto impede o acesso directo da doca ao exterior, o que é uma condicionante extremamente limitativa.

### **2.2.3 – Doca flutuante**

Este equipamento funciona com um conceito contrário ao dos anteriores, aqui a doca é que emerge e submerge, eliminando assim a necessidade de movimentar o navio a um nível superior e/ou da existência de uma comporta. Apesar de ser um equipamento versátil, que normalmente pode ser transportado de um lugar para outro, implica uma dificuldade acrescida na sua própria manutenção pois terá sempre zonas abaixo da linha de água. Não sendo uma estrutura fixa está igualmente mais vulnerável às intempéries, nomeadamente aos ventos fortes, correntes e estado do mar (ou outro tipo de corpo de água em que esta se encontra).



**Figura 7 – Exemplo de uma doca flutuante**

#### **2.2.4 – Hydrolift**

É uma variação da plataforma, sendo que neste caso a doca tradicional adjacente é substituída por uma baía de enchimento que funciona de acordo com os mesmos princípios da doca tradiconal. Esta baía no entanto pode servir várias docas-plataforma simultaneamente e em teoria poderá realizar uma manobra de docagem e outra de flutuação ao mesmo tempo (em diferentes docas). Este tipo de sistema de docagem foi desenvolvido, e pela primeira vez aplicado, pela Lisnave Estaleiros Navais. S.A. e teve como ponto de partida para a opção da sua construção a impossibilidade técnica de construir docas tradicionais nos terrenos arenosos disponíveis para o efeito.



**Figura 8 – O hydrolift na Mitrena**

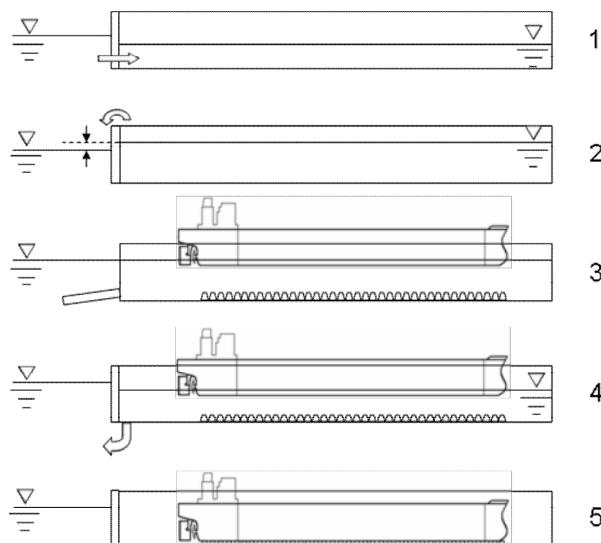
## 2.3 – Processos de docagem

Por motivos de simplicidade, iremos neste ponto do texto, referirmo-nos-emos somente à operação de docagem, já que a flutuação é em tudo semelhante, só que com toda a sequência de procedimentos cronologicamente inversa. A repetição não só representaria uma redundância conceptual, como tornaria o texto desnecessariamente mais longo.

Como já foi referido, este trabalho apresenta como alvo da simulação os estaleiros da Lisnave, pelo que, tendo em conta que este não apresenta doca flutuantes, não haverá necessidade de descrever com maior detalhe os processos em causa neste tipo de docas do que o que já foi apresentado no ponto anterior. Restringe-se assim a apresentação aos casos das plataformas, Hydrolift e tradicionais. Uma nota importante é a de que com excepção da doca 20 (originalmente construída com vista à construção e não reparação de navios), todas as docas presentes do estaleiro da Mitrena apresentam um declive próprio igual a 1 pé por cada 100 m de comprimento.

### 2.3.1 – Doca tradicional

A doca é inicialmente inundada através das válvulas existentes na comporta até ao nível exterior, momento em que a comporta é colocada na posição aberta. Imediatamente ou aquando da maré seguinte, altura em que as condições de calado do navio são compatíveis com a profundidade da soleira da comporta (ver figura 9), o navio entra na doca recorrendo ao auxílio de rebocadores e guinchos situados nas muralhas da doca.



**Figura 9 – Docagem numa doca tradicional**

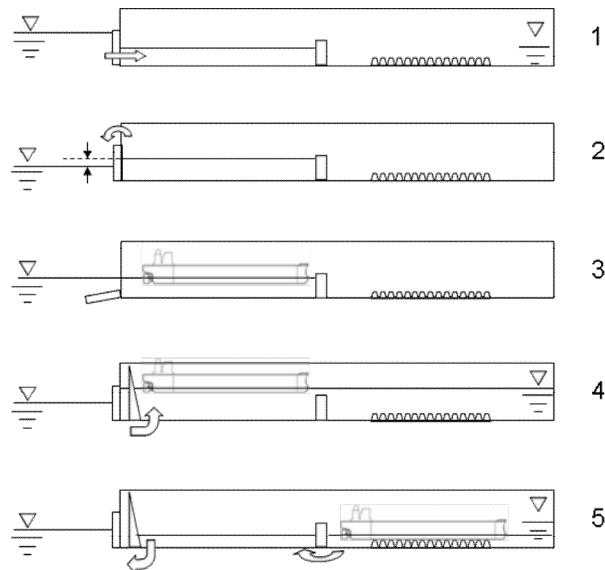
(1: Enchimento de doca por gravidade, 2+3: Abertura da comporta,  
4: esgotamento da doca por bombagem, 5: Assentamento nos picadeiros)

Após o alinhamento deste com os picadeiros (cujas posições nas extremidades de vante e de ré são reconhecidas pela existência de flutuadores fixos por cordas fixas aos picadeiros aí colocados, a doca é parcialmente vazada até a um nível em que o navio esteja completamente assente nos picadeiros, mas com uma impulsão gerada pelo seu deslocamento suficiente para que não ocorra o sobrecarregamento dos mesmos. Nesta situação o navio encontra-se com lastro nos seus tanques de lastro e normalmente os pesos e a distribuição destes implicam a necessidade de efectuar descargas de lastro antes de esgotar a doca completamente.

Precisamente devido ao referido no parágrafo anterior, existe a necessidade de efectuar o deslastre gradualmente com o esvaziamento da doca. Quando as quantidades de lastro existentes nos tanques correspondem pelo menos aos máximos definidos pelo estaleiro para aquela distribuição de picadeiros, a doca é então “arriada” (esgotada).

### 2.3.2 – Doca tipo plataforma

No caso da Lisnave, a plataforma que existe é contígua a uma doca tradicional tal como referido anteriormente. Esta foi originalmente construída tendo em vista a sua utilização na construção naval, pelo que está localizada junto a um grande plano, bem como à oficina de caldeiraria pesada. Um pórtico com capacidade para elevação de cargas até 500 t serve esta doca, a doca contígua e o plano adjacente.



**Figura 10 – Docagem numa doca do tipo plataforma**

(1: Enchimento de doca adjacente por gravidade, 2+3: Abertura da comporta, 4: enchimento por bombagem, 5: passagem para a plataforma e assentamento nos picadeiros)

Tendo como ponto de partida a localização do navio a docar dentro da doca contígua, começa-se por colocar as comportas móveis entre esta doca e o exterior. A partir do momento em que a

estanquicidade em relação ao exterior é atingida, bombeia-se água para a doca até ao ponto em que o nível desta dentro da doca é suficiente para que a embarcação possa passar para a plataforma. Após a realização desta última manobra, a embarcação fica nas mesmas condições já referidas anteriormente para o caso da doca tradicional e os procedimentos são os mesmos que os já apresentados.

### **2.3.3 – Hydrolift**

O Hydrolift consiste num conjunto de três docas do tipo plataforma, que ficam aproximadamente ao nível dos terrenos circundantes ficando o fundo das mesmas com acesso por meio de rampas de pequeno declive.

Estas três docas são servidas por uma “lagoa de elevação”, designada por “eclusa” que permite a elevação do navio até ao nível destas.

O processo é equivalente ao do anteriormente descrito para as docas do tipo plataforma, com a ressalva que a eclusa serve as três docas ao mesmo tempo e não uma só. Por outro lado não é possível docar navios na eclusa.

## **2.4 – Variáveis e factores críticos na docagem**

Entre as várias grandezas físicas e fenómenos associados a uma operação de docagem, alguns destacam-se pela importância que apresentam no sucesso da manobra.

### **2.4.1 – Carga nos picadeiros**

Os blocos onde assenta o fundo da embarcação, denominados por picadeiros, têm uma resistência estrutural própria. No caso de o navio não apresentar um cimento igual ao da doca, dar-se-á o caso de o picadeiro no qual este assenta primeiro sofrer o maior carregamento.

Quando o navio ainda não está completamente assente nos picadeiros, este terá normalmente um único ponto de apoio - tipicamente o picadeiro situado na zona do cadaste – e a embarcação, com a descida do nível da água na doca irá rodar em torno deste ponto (apesar de no referencial móvel do navio este rodar sempre em torno do centro de flutuação). Imediatamente antes do assentamento completo, este único ponto de contacto será responsável não só por um momento que produz uma correção do cimento para o mesmo da doca, como também por uma redução no deslocamento do navio. Após o assentamento, o esforço neste picadeiro é reduzido e distribui-se pelos restantes picadeiros.

Para além deste “picadeiro pivot” , é igualmente importante considerar a carga aplicada a cada um dos picadeiros em geral, sendo que, em zonas onde a distribuição do peso por metro longitudinal apresenta valores elevados, poder-se-á dar o caso de haver sobrecarregamento.

#### **2.4.2 – Esforços aplicados ao piso e vigas mestras da doca**

Os esforços aplicados nos picadeiros são transmitidos ao piso da doca e por consequência às vigas-mestras que o suportam. Apesar destas serem concebidas de uma forma bastante robusta, a sua present condição de conservação pode apresentar falhas de maior ou menor gravidade que impõem limitações ao seu carregamento em segurança.

#### **2.4.3 – Esforços na estrutura primária do navio**

A distribuição do esforço transverso e do momento fletor é de suprema importância no cálculo da resistência estrutural do navio. A localização dos picadeiros e as cargas por estes aplicadas podem contribuir para que uma destas grandezas possa atingir valores superiores ao limite imposto pela sociedade classificadora, apresentando-se então como um factor crítico na operação.

#### **2.4.4 – Estabilidade do navio**

Aquando do vazamento da doca, o centro de gravidade do navio, quando considerado em relação ao referencial solidário com este, sobe. Esta subida provoca uma perda de estabilidade progressiva que a dada altura torna-se mesmo negativa. No caso de navios com um fundo chato esta instabilidade não é preocupante, no entanto nas embarcações que apresentam pé de caverna, existe a necessidade de escorar o navio lateralmente, recorrendo-se à utilização de picadeiros com a parte superior em cunha ou com outra configuração que permita o contacto com o casco enquanto a quilha esta assente nos picadeiros centrais.

Os navios de grande porte, na sua esmagadora maioria, não apresentam pé de caverna, pelo que num estaleiro de grandes dimensões este problema só aparece de quando em vez. É ainda assim um factor crítico, mesmo que só aplicado em certos casos.

#### **2.4.5 – Alinhamento do navio e adornamento**

Os planos de distribuição dos picadeiros têm em mente um assentamento com uma posição do navio bem definida. Dando-se o caso de a quilha do navio estar desviada lateralmente da fiada de picadeiros central, ou o navio apresentar um adornamento superior a um valor que possa ser considerado negligenciável, as consequências poderão ser graves, especialmente para os elementos

estruturais locais. Nesta situação estes últimos ficam susceptíveis a esforços aplicados em zonas não preparadas para o efeito como sejam as chapas do casco em pontos que não correspondam a localizações de reforços (carlingas, cavernas, longarinas, esquadros, balizas, etc.).

#### **2.4.6 – Flutuação posterior a um primeiro assentamento**

Após o assentamento do navio, poderá acontecer, que, por necessidade ou outro qualquer acontecimento imponderável, este tenha que flutuar novamente. Nestes casos há sempre o risco de que a sucessão destas duas manobras provoque o deslocamento de alguns picadeiros ou até o arranque da parte superior destes da estrutura principal.

Um caso especialmente perigoso no que a este assunto diz respeito, é aquele em que o navio é colocado numa situação em que está assente, mas com um calado na doca muito pouco inferior ao necessário para este deixar o contacto com todos os picadeiros. O que acontece neste caso é que o fundo do navio está em contacto com os picadeiros mas a força vertical exercida é mínima, pelo que o navio não encontra grande resistência à movimentação horizontal. Devido a factores exteriores, como o vento, pode haver lugar a um movimento horizontal e o consequente derrube de picadeiros ou danificação dos mesmos. Ainda mais importante do que isso é o caso de poderem haver consequências catastróficas caso os cabos de amarração do navio não estejam postos.

Não é de todo invulgar haver a “necessidade” de ter o navio nesta condição principalmente quando estamos a falar de manobras de flutuação, em que para efectuar o arranque dos geradores (que convém ser efectuado antes do navio estar na condição livre) o nível da água tem de ser o mais alto possível para que o sistema de refrigeração dos mesmos possa efectuar a aspiração através da tomada de fundo. No entanto esta necessidade não deve ser encarada como tal e deve ser secundária à importância da execução de procedimentos ser baseada numa metodologia de risco controlado.

#### **2.4.7 – Maré**

A maré, ou melhor a variação desta, apresenta-se como o maior factor crítico em termos de tempo. Tal como descrito anteriormente aquando da descrição dos procedimentos de docagem e flutuação, a abertura da comporta e a passagem do navio da doca para o exterior só é possível de executar com um intervalo de nível da água no exterior restrito.

Convém referir que, quando o desnível entre as superfícies da água exterior e interior da doca não é o necessário, existe a possibilidade de tentar a abertura da comporta com o auxílio a um rebocador. No entanto a prática mostra que tal nem sempre é bem sucedido, pelo que representa um solução de último recurso, que deve ser evitada a todo o custo.

## **2.5 – Distribuição dos picadeiros**

A preparação da distribuição de picadeiros, ou seja do berço, para um determinado navio representa o ponto nuclear do ponto de vista técnico deste tipo de operação. Nesta secção descrevem-se os procedimentos adoptados pela Lisnave na preparação dos berços<sup>[4]</sup>.

### **2.5.1 – Linhas orientadoras na preparação do berço**

É recorrente a ausência ou inacessibilidade de um “Docking Plan” para uma determinada embarcação, pelo que cada estaleiro terá necessariamente de manter procedimentos de cálculo de distribuição de picadeiros com base em dados que por vezes se resumem ao arranjo geral e pouco mais. Por outro lado, mesmo quando esse documento é fornecido ao estaleiro, este, por razões que depreendem das especificações das suas docas, muitas vezes não segue à risca o referido plano.

O seguinte conjunto de desenhos é requerido ao armador sendo considerado o mínimo para uma preparação segura:

- Distribuição do peso leve (“Lightweight distribution”)
- Arranjo Geral (“General Arrangement”)
- Secção Mestra (“Midship Section”)
- Plano de Capacidades (“Capacity Plan”)
- Planificação do Casco (“Shell Expansion”)

#### ***Preparação inicial***

Partindo do valor do peso leve, elabora-se em linhas gerais um primeiro esboço da distribuição dos picadeiros. Considera-se que os picadeiros na linha de centro que actuam sob a quilha serão carregados com aproximadamente 2/3 do peso leve do navio, ficando cada bordo com uma força total de 1/6 do peso leve.

No caso de navios do tipo VLCC (“Very Large Crude Carrier”), considera-se o carregamento da fiada situada na linha de centro, igual a 50% do peso leve, com 25% a cada bordo. Neste caso o peso suportado a cada bordo deverá ser suportado por duas fiadas de picadeiros.

O berço deverá ser reforçado em função do lastro residual para cada um dos tanques respectivos. Estes picadeiros são distribuídos de uma forma regular, tendo em mente uma distribuição equitativa das cargas aplicadas.

Como já foi referido, os picadeiros são colocados em pontos estruturalmente reforçados, como seja o cruzamento entre anteparas e balizas reforçadas.

A localização do picadeiro pivot é alvo de grande atenção, fundamentalmente quando se tratam de navios com cadaste fechado.

Finalmente, na elaboração do berço, ter-se-á de ter em conta a localização dos bujões de fundo (“Bottom plugs”), sonar e odómetro (“speed log”), e outros pontos ou instrumentos referenciados pelo armador.

### ***Carga nos picadeiros***

Os picadeiros utilizados pela Lisnave, estão dimensionados para, em termos médios, suportarem cargas até 180 t. Nos cálculos a efectuar durante a preparação do berço o valor máximo em qualquer instante não deverá ultrapassar as 200 t.

### ***Berço “Standard”***

As docas da Lisnave, possuem fiadas de picadeiros sobre as vigas centrais com a seguinte distribuição:

- Área da Casa da Máquina: picadeiros alinhados com espaçamento de 1 m;
- Restantes zonas: picadeiros contrafiados com espaçamento de 1.4 m.

Em docas com vigas laterais o espaçamento entre picadeiros é definido em função do navio a docar.

### ***Cargas nas vigas mestras e lajes***

A seguinte tabela apresenta os valores limites dos esforços a aplicar nas diferentes docas.

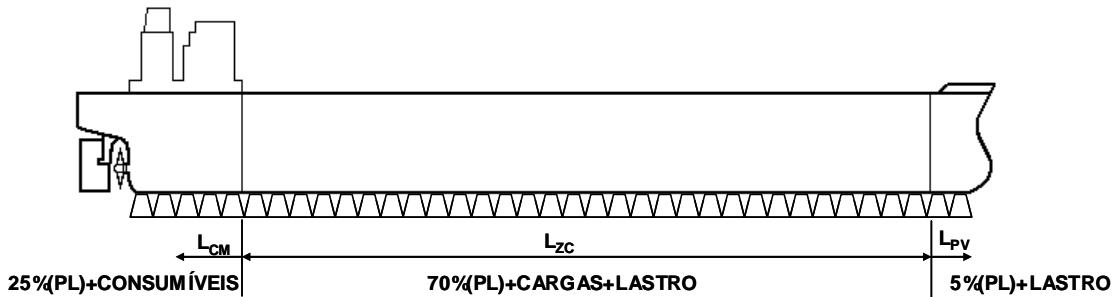
Doca	N.º de vigas mestras	Carga máx. nas Vigas	Carga máx. na laje
	[ - ]	[t/m]	[t/m]
20	1	250 a 370	36
21	3	450 a 600, 250	36
22	1	450 a 330	36
30's	1	150 a 250	65

**Figura 11 – Cargas máximas nas vigas mestras e lajes**

Os valores presentes na tabela da figura 11 apresentam-se numa forma de intervalo devido a que em todas as docas a carga máxima que pode ser aplicada às suas vigas não é constante, sendo um valor mais elevado nos topo norte. No caso da doca 21, o segundo valor diz respeito ao par de vigas laterais que esta doca apresenta.

## 2.5.2 – Determinação da carga por picadeiro

A estimativa da distribuição das cargas no sentido longitudinal passa pela discriminação do peso leve do navio (PL) em três zonas distintas como se pode ver na figura 12.



**Figura 12- Estimativa da distribuição longitudinal do carregamento**

Assim, a carga linear para cada zona é:

$$W_{CM} = \frac{PL \times 0.25 + Consumíveis}{L_{CM}} \quad [t/m] \quad (1)$$

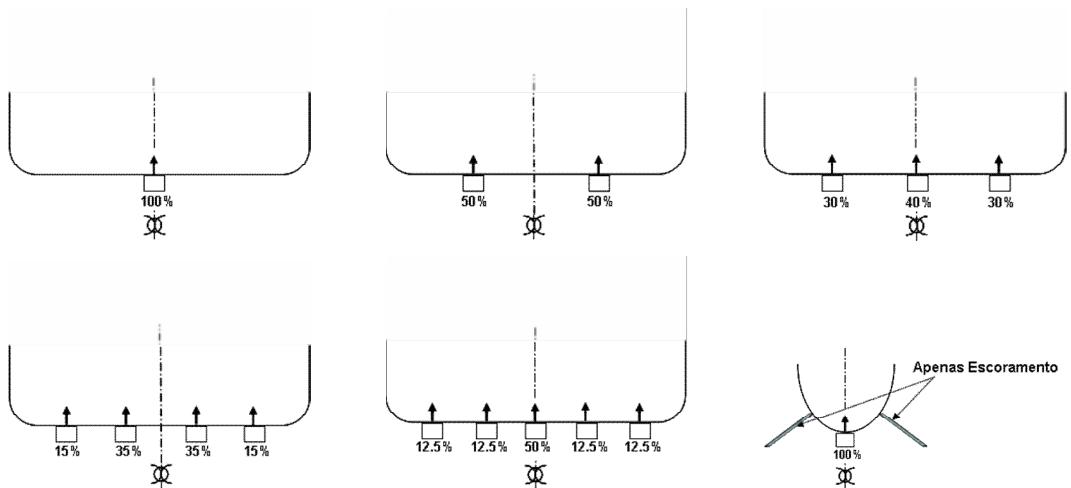
$$W_{ZC} = \frac{PL \times 0.70 + Carg a + Lastro}{L_{ZC}} \quad [t/m] \quad (2)$$

$$W_{PV} = \frac{PL \times 0.05 + Lastro}{L_{PV}} \quad [t/m] \quad (3)$$

A carga linear estimada na zona de carga é distribuída transversalmente de acordo com o tipo de arranjo considerado em cada secção transversal. Os carregamentos parciais estimados para cada fiada transversal são dados pela figura 13.

O espaçamento longitudinal dos picadeiros para cada fiada é, partindo da distribuição inicial, ajustado para o espaçamento entre balizas, tendo a atenção da necessidade da carga por picadeiro não ser superior ao limite.

É prática usual considerar o peso estrutural na zona de carga igual a 80% do Peso Leve ao invés dos 70% referidos de modo a obter uma margem de segurança adicional.



**Figura 13 - Estimativa da distribuição transversal do carregamento**

Na zona da casa da máquina, é relativamente comum que os cálculos aqui descritos resultem num carregamento por picadeiro nessa zona superior ao admissível. Nesses casos, a colocação de uma fiada lateral adicional a cada bordo (conhecidas por “terço de ré”) deverá ser considerada sempre que a geometria do navio o permita.

## 2.6 – Estimativa do Peso Leve

Quando os navios não dispõem de informação acerca da distribuição do Peso Leve, há que recorrer à sua estimativa baseada em tabelas orientadoras semi-empíricas que são apresentadas na figura 14 para o caso de navios graneleiros.

Porte $\times 10^{-3}$ [t]	Aço na zona de carga [t/m]	Peso Leve [t]	Peso da C. da Máq. [t]	Peso do Pique de Vante
40 a 50	55 a 60	7 a 9	0.2 x Peso Leve	$\text{Aço na zona de } \\ \text{carga (t/m)} \times \\ \text{Comprimento} \\ \text{Pique de Vante} \\ \times 0.8$
50 a 60	60 a 65	9 a 11		
60 a 80	65 a 70	11 a 14		
80 a 100	70 a 85	14 a 18		
100 a 150	85 a 95	18 a 25		
150 a 200	95 a 100	25 a 30		
200 a 250	100 a 120	30 a 35		
250 a 300	120 a 130	35 a 42		
300 a 350	130 a 145	42 a 45		

**Figura 14 - Tabela orientadora para determinação do peso leve**

## 2.7 – Análise hidrostática do navio

Podemos considerar três situações distintas aquando da docagem: quando o navio encontra-se a flutuar livremente, quando existe contacto com um, e só um, picadeiro (pivot), e quando o navio se encontra completamente assente nos picadeiros.

Dos ficheiros de input extraiem-se várias grandezas que são interpoladas de acordo com a condição do navio num determinado instante (considerando a situação de cimento nulo, i.e. carenas direitas). De seguida apresentam-se as grandezas que são passíveis que estão presentes nos ficheiro de input e que são passíveis de serem interpoladas.

Navio:

- calado (m);
- volume deslocado (m<sup>3</sup>);
- centro de flutuação longitudinal (m);
- altura do metacentro longitudinal (m);
- altura do metacentro transversal (m);
- momento de cimento unitário (t.m/cm).

Tanques de lastro:

- leitura do nível (m);
- nível de enchimento real (m);
- percentagem de enchimento (%);
- volume de água (m<sup>3</sup>);
- massa de água (t);
- centro de gravidade longitudinal (m);
- centro de gravidade vertical (m);
- área da superfície livre (m<sup>2</sup>).

### 2.7.1 – Navio livre

Recorrem-se aos conceitos e equações familiares da Hidrostática de Navios. Apresentam-se aqui os valores que são calculados e não interpolados.

A altura metacêntrica é definida por:

$$GM = KM - KG \quad (4)$$

O momento inclinante é dado por:

$$M_I = \Delta \cdot |G_x - L_{CF}| \quad (5)$$

O cairmento (em metros) vem:

$$d = \frac{M_I}{M_{CU} \times 100.0} \quad (6)$$

A variação do calado a ré é então calculada da seguinte forma:

$$\begin{cases} d_{AR} = \frac{L_{CF}}{L_{PP}} \cdot d & , se \quad G_x < L_{CF} \\ d_{AR} = \frac{L_{PP} - L_{CF}}{L_{PP}} \cdot d & , c.c. \end{cases} \quad (7)$$

A variação do calado a vante corresponde à operação aritmética simples:

$$d_{AV} = d_{AR} - d \quad (8)$$

Os calados finais ficam:

$$\begin{cases} t_{AR} = t + d_{AR} \\ t_{AV} = t + d_{AV} \\ t_{AM} = \frac{t_{AR} + t_{AV}}{2} \end{cases} \quad (9)$$

O ângulo de cairmento é igual a:

$$\arctan\left(\frac{d_{AR}}{L_{CF}}\right) \quad (10)$$

O ângulo de adornamento fica:

$$\arctan\left(\frac{G_y}{KM - G_z}\right) \quad (11)$$

## 2.7.2 – Navio em contacto com o picadeiro pivot

Quando da diminuição progressiva do nível da água na doca, haverá o instante em que numa determinada posição o casco entrará em contacto com o picadeiro pivot. Sabendo os valores dos calados do navio e a distribuição dos picadeiros da doca, bem como o cairmento desta, é possível, recorrendo a um algoritmo de verificação de colisão entre entidades geométricas, reconhecer com precisão o momento e a localização onde ocorre o contacto.

O ponto chave aqui é, ao invés de considerar que o navio roda em torno do ponto de contacto (utilizando assim um referencial fixo solidário com a doca), utilizar o referencial móvel do navio e

realizar cálculos com este a rodar em torno do seu centro de flutuação sobre a acção de uma nova força que não é nada mais que a reacção do picadeiro sobre o navio no sentido vertical aplicado no ponto da superfície do casco onde ocorre o contacto.

O valor desta força é calculado a partir da diferença de deslocamento real do navio entre a situação do navio livre e do navio que vê uma diminuição do seu calado na vertical colinear com o ponto de contacto:

$$F = \left( t_{PC}^{doca} - t_{PC}^{navio\ livre} \right) \cdot d_u \times 100.0, \quad \text{com } t \text{ em metros} \quad (12)$$

Tendo calculado o valor da intensidade desta força, procede-se à actualização do centro de gravidade considerando a força como uma subtracção de massa no ponto de contacto. A nova posição do centro de gravidade resulta numa alteração do cimento do navio e uma diminuição efectiva do seu calado médio. O resultado final é o de o navio ter rodado em torno do ponto de contacto no referencial fixo da doca.

### **2.7.3 – Navio completamente assente nos picadeiros**

A partir do momento em que existe contacto simultâneo dos picadeiros situados a ré e os situados a vante com o casco, estamos na situação de um assentamento completo. Neste caso, enquanto esta situação se mantiver, o navio encontra-se impossibilitado de realizar qualquer movimento pelo que a actualização das grandezas hidrostáticas não produz qualquer efeito que seja complementar à análise estrutural.

Por outro lado, se a opção fosse seguir o mesmo procedimento, aplicado no ponto anterior, para a actualização da posição e rotação do navio, tendo em conta da necessidade da correção do centro de gravidade a cada instante para dezenas de forças, resultaria numa execução do código lenta e possivelmente numa imprecisão do posicionamento do navio, devido ao desfasamento na actualização dos diversos sistemas que funcionam em simultâneo.

Não havendo esse desfasamento dar-se-ia o caso da observação de pequenos, mas constantes, ajustes na posição do navio que na realidade deveria estar absolutamente imóvel (a aplicação de controladores ou outras soluções que minimizassem este efeito não foram consideradas pois trariam uma complexidade excessiva à solução de um problema que na realidade é fictício).

Assim, optou-se por não realizar estes cálculos enquanto o navio se encontra nesta situação deixando os mesmos para uma futura versão do programa.

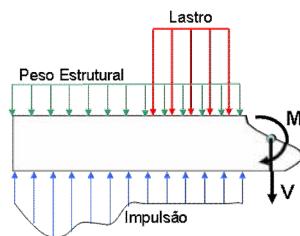
## **2.8 – Análise estrutural do navio**

A análise do comportamento estrutural do navio na direcção longitudinal, em particular do esforço transverso e do momento fletor pode ser facilmente realizada através da simplificação da estrutura do navio. Esta simplificação corresponde à equivalência da estrutura do mesmo ao de uma viga com

um valor de Módulo de Elasticidade e Momento de Inércia transversal constante ao longo do seu comprimento. Esta viga, usualmente denominada de viga-navio, é largamente utilizada para cálculos de estimativa de esforços longitudinais e fornece valores com razoável precisão, precisão essa que aumenta com o comprimento do navio pois este tenderá a manter numa maior extensão características estruturais das secções constantes. Visto que o momento é tipicamente maior na secção mestra, e sendo esta a zona onde o momento de inércia não varia consideravelmente, os resultados podem considerar-se satisfatórios na perspectiva de uma estimativa.

### 2.8.1 – Navio livre

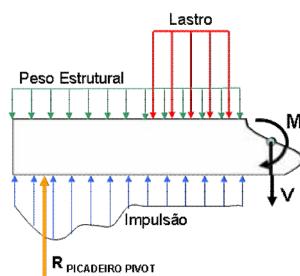
O navio actua como uma viga livre sujeita a carregamento transversal. A partir das áreas das secções transversais imersas em cada secção longitudinal (Curvas de Bonjean) e da distribuição longitudinal do Peso do Navio (peso leve mais peso da agua nos tanques de lastro), faz-se a soma vectorial de ambos para cada secção. Assim pode-se obter a distribuição do esforço transverso e do momento fletor em função de EI de uma forma directa (ver fig. 15).



**Figura 15 – Cálculo do Momento e Força de Corte na viga-navio livre-livre**

### 2.8.2 – Navio em contacto com o picadeiro pivot

Nesta situação, como já foi referido anteriormente, considera-se o navio como estando livre e a sofrer uma alteração de cimento de acordo com a força calculada da reacção do picadeiro pivot sobre o casco do navio (fig. 16). Em suma o procedimento é equivalente ao do ponto anterior.



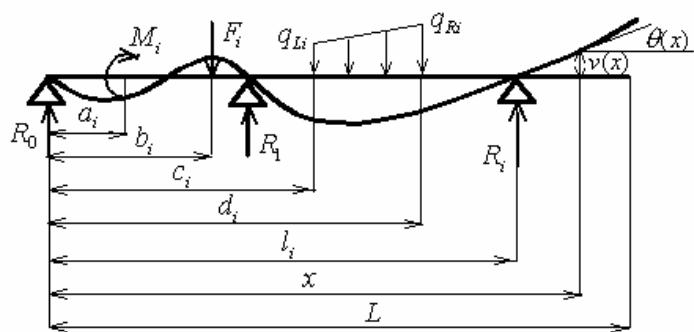
**Figura 16 - Cálculo do Momento e Força de Corte na viga-navio apoiada-livre**

### 2.8.3 – Navio completamente assente nos picadeiros

Com o navio completamente assente nos picadeiros, a situação é a de um sistema estaticamente indeterminado de grau igual ao número de picadeiros menos 2. Numa situação destas, as equações de equilíbrio estático não são suficientes para a resolução do problema do cálculo das forças exercidas pela distribuição combinada dos pesos do navio e da impulsão.

#### Abordagem analítica

Uma das formas que se poderia considerar para a resolução deste problema consiste na obtenção das equações em falta a partir da mecânica dos materiais, nomeadamente da deformada da viga-navio e aplicação das condições fronteira nos pontos de apoio (fig. 17).



**Figura 17 - Viga-navio, sistema hiperestático**

Onde, a equação de equilíbrio dos momentos aplicados em relação ao apoio mais à direita é:

$$M_0 + M_r + \sum M_i - \sum F_i(l - b_i) + R_0l + \sum R_il_i + \sum q_B(d_i - c_i)(l - (c_i + d_i)/2) + \sum (q_R - q_B)(d_i - c_i)/2(l - (c_i + 2(d_i - c_i)/3)) = 0 \quad (13)$$

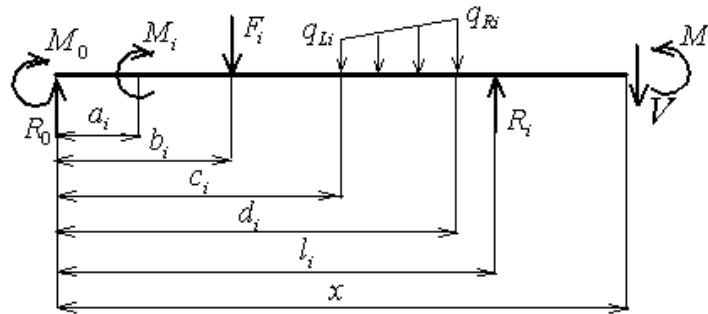
A equação de equilíbrio estático na direcção vertical é:

$$-R_0 - R_r - \sum R_i + \sum F_i + \sum q_B(d_i - c_i) + \sum (q_R - q_B)(d_i - c_i)/2 = 0 \quad (14)$$

As condições fronteira a aplicar são:

$$v(l_i) = 0 \quad v(0) = 0, \quad M_0 = 0 \quad (15)$$

O momento e a força de corte em cada secção da viga são dados pela solução do diagrama de corpo livre da parte à esquerda da secção (fig. 18).



**Figura 18 – Cálculo do Momento e Força de Corte na viga-navio hiperestática**

A força de corte é então dada por:

$$V = R_0 + \sum R_i - \sum F_i - \sum q_B(x - c_i) - \sum (q_B - q_B)(x - c_i)^2(d_i - c_i)/2 + \sum q_B(x - d_i) + \sum (q_B - q_B)(x - d_i)^2(d_i - c_i)/2 \quad (16)$$

E o momento fletor por:

$$\begin{aligned} M = M_0 + \sum M_i + R_0 x - \sum F_i(x - b_i) + \sum R_i(x - l_i) - \sum q_B(x - c_i)^2/2 - \sum (q_B - q_B)(x - c_i)^3/(d_i - c_i)/6 \\ + \sum q_B(x - d_i)^2/2 + \sum (q_B - q_B)(x - d_i)^3/(d_i - c_i)/6 \end{aligned} \quad (17)$$

Da equação da deflexão de uma viga prismática:

$$EI \frac{d^2v(x)}{dx^2} = M(x) \quad (18)$$

Integrando:

$$\begin{aligned} EI\theta(x) = EI\theta_0 + M_0 x + \sum M_i(x - a_i) + R_0 x^2/2 - \sum F_i(x - b_i)^2/2 + \sum R_i(x - l_i)^2/2 - \sum q_B(x - c_i)^3/6 \\ - \sum (q_B - q_B)(x - c_i)^4/(d_i - c_i)/24 + \sum q_B(x - d_i)^3/6 + \sum (q_B - q_B)(x - d_i)^4/(d_i - c_i)/24 \end{aligned} \quad (19)$$

Integrando novamente:

$$\begin{aligned}
 EI\nu(x) = & EI\nu_0 + EI\theta_0x + M_0x^2/2 + \sum M_i(x - a_i)^2/2 + R_0x^3/6 - \sum F_i(x - b_i)^3/6 + \sum R_i(x - l_i)^3/6 - \sum q_B(x - c_i)^4/24 \\
 & - \sum (q_B - q_B)(x - c_i)^5/(d_i - c_i)/120 + \sum q_B(x - d_i)^4/24 + \sum (q_B - q_B)(x - d_i)^5/(d_i - c_i)/120
 \end{aligned} \tag{20}$$

Estas duas últimas equações (em conjunto com as de equilíbrio estático) permitem, aplicando as condições fronteira nos apoios, a construção de um sistema de equações lineares que tem uma solução única.

Existe ainda um pormenor que é deveras importante: os picadeiros só podem exercer carregamentos sobre a viga-navio no sentido de baixo para cima. Ora, poderá perfeitamente acontecer que a solução do sistema de equações conte em um ou mais apoios que exercem uma força no sentido descendente. Para contornar a situação, eliminam-se os apoios que exibem tal comportamento e resolve-se o sistema novamente, podendo nessa altura aparecer outros apoios na mesma situação que não estavam antes. O processo é então iterativo, eliminando a cada passo os apoios nessa situação, estando finalizado no momento em que as reacções nos picadeiros são todas positivas.

No entanto, este método de solução despreza uma componente que se torna essencial para uma realista abordagem ao problema – a deformação dos topos dos picadeiros em contacto com o casco do navio! Este fenómeno é de extraordinária importância já que na prática invalida esta abordagem. Nos parágrafos seguintes procede-se à descrição do raciocínio implícito nesta afirmação.

### ***Abordagem por aproximação***

Ao considerar o navio como um corpo rígido numa situação de contra-alquebramento (como é usual nas docagens), este, ao assentar, devido aos picadeiros só poderem ser carregados com esforços de compressão, irá necessariamente ser suportado somente pelos dois picadeiros extremos. Ao considerar os picadeiros igualmente como corpos rígidos indeformáveis, esta situação mantém-se enquanto a distribuição do carregamento combinado da impulsão e dos pesos a bordo no sentido longitudinal não cause pelo menos uma deformação negativa algures na viga entre estes pontos extremos. Mesmo quando o nível da doca já se encontra relativamente baixo e os esforços provenientes da impulsão começam a ser cada vez mais limitados, os resultados continuam a ser irrealistas com valores de cargas aplicadas aos picadeiros demasiado elevados, pois uma deflexão infinitesimal da viga no sentido ascendente é o suficiente para desprezar o suporte do picadeiro nesse ponto!

Não considerando o cálculo dos esforços aplicados aos picadeiros tendo em conta a sua deformação, algo que não só implicaria uma execução do código demasiado lenta, mas também uma complexidade acrescida que foge do âmbito deste trabalho, uma solução para este problema consiste

em utilizar as considerações de carregamento dos picadeiros tal como foram descritas na secção 2, só que aplicando o verdadeiro carregamento presente em cada zona longitudinal.

Convém realçar que nos procedimentos descritos acima, cada apoio não deverá necessariamente equivaler a um picadeiro, mas sim a um conjunto de picadeiros alinhados transversalmente. Não é o caso dos picadeiros situados junto à perpendicular a vante ou do cadaste, mas é uma situação comum nas zona intermédia (zona de carga).

A distribuição longitudinal do peso leve está presente nos cadernos técnicos de uma determinada embarcação, o mesmo não acontecendo com a transversal. Importa então aplicar fórmulas semi-empíricas que permitam uma estimativa dessa mesma distribuição.

As fórmulas que foram consideradas neste trabalho são aquelas descritas na secção 2.5.2, pois têm seguramente provas dadas, dado os milhares de berços bem sucedidos que foram preparados de acordo com as mesmas.

### **3 – Estado da arte**

Após a definição dos objectivos propostos, procedeu-se à procura e estudo de soluções já existentes disponíveis. Foi com um certo grau de estranheza que o autor constatou a inexistência de qualquer software (ou outro tipo de ferramenta) que cumprisse todos, ou pelo menos uma parte significativa, dos objectivos. A inexistência não está assim provada, mas, de acordo com as pesquisas exaustivas efectuadas na Internet, não será absurdo afirmar que tais aplicações não existem ou, existindo, não estão divulgadas.

Foram sim encontrados vários “motores de física” implementados em diversas linguagens de programação, que, quando incorporados num determinado código permitem a computação de várias grandezas físicas afectas a objectos, e a sua manipulação com base nesses cálculos. No entanto tais motores, apesar de aplicarem com sucesso os conceitos e fórmulas presentes na Mecânica Geral, tipicamente negligenciam a componente aquática, e quando não o fazem, o normal é considerarem os conceitos da mecânica dos fluídos, mas numa perspectiva mais “infinitesimal”, ou seja, considerando “partículas de fluídos”.

Assim, não tendo qualquer modelo disponível para servir como base, todo o trabalho é não só construído, mas também pensado quase a 100% de raiz. A ausência de feedback de soluções anteriormente desenvolvidas, leva a que este protótipo tenha seguramente de ser alvo de várias alterações com base em futuros testes.

### **4 – Arquitectura, código e funcionamento da aplicação**

Nesta secção pretende-se fazer uma exposição da arquitectura do código, fazendo uma descrição conceptual dos seus principais componentes e uma explicação algo mais detalhada das entidades

fundamentais presentes. Descreve-se igualmente as interacções presentes entre as várias entidades e modo como estas ocorrem.

É no entanto essencial que se faça inicialmente uma apresentação do modo de funcionamento de uma aplicação desenvolvida recorrendo ao XNA que siga a sua arquitectura standard. Existem pois conceitos fundamentais que importa informar para que as descrições do funcionamento do código façam sentido ao leitor. Daí que se decidiu incorporar uma subsecção deste capítulo inicial dedicada a este objectivo.

#### 4.1 – O XNA

O XNA foi desenvolvido pela Microsoft e lançado em 2006 como um sucessor do DirectX. Consiste numa framework de classes com vista a facilitar o desenvolvimento de jogos para computador com um componente gráfico ou aplicações semelhantes. O XNA permite o encapsulamento das várias fases de importação de conteúdos e configuração de parâmetros necessários para a criação de um motor gráfico.

Consiste em três partes principais:

- “*Graphics Engine*”, que se ocupa de todos os procedimentos de baixo nível necessários à implementação de um motor gráfico;
- “*Game Application Model*”, que implementa o ciclo básico de jogo e permite a utilização de components (tipo de classe que corre “paralelamente” ao ciclo de jogo principal, com os seus métodos *Update()* e *Draw()* a serem activados por este último automaticamente);
- “*Content Pipeline*”, permite a importação de dados como ficheiros contendo modelos gráficos desenvolvidos por aplicações especializadas, sem no entanto haver a necessidade de implementar a baixo nível métodos específicos que tratem os ficheiros de determinado formato.

A estrutura básica de um programa desenvolvido nesta ferramenta é representada na figura 19.

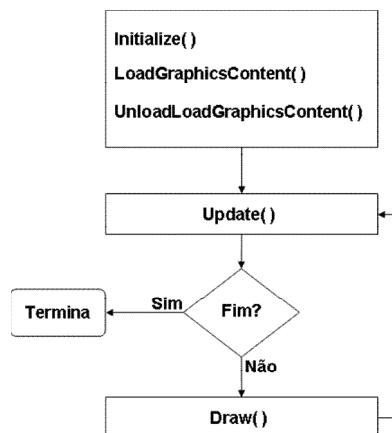


Figura 19 – Estrutura básica do ciclo do XNA

Após a criação e inicialização da classe Game1, esta contém alguns métodos que são basilares para o programa:

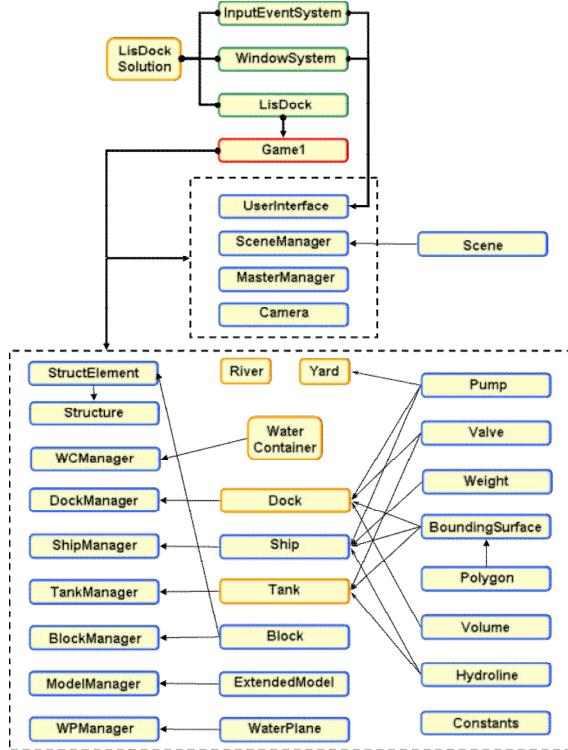
- *Initialize( )* – neste método implementa-se o código que deverá ser executado aquando do arranque do programa, tipicamente são inicializados os objectos principais e os components;
- *LoadGraphicsContent( )* – este método é semelhante ao anterior, só que ao invés de ser chamado uma única vez no momento do arranque do programa, é chamado sempre que por algum motivo existe uma interrupção e reinicialização do contacto entre o programa e a placa gráfica. Não é essencial que se inicializem componentes gráficos aqui, no entanto é uma salvaguarda para quando no meio da execução de um programa, a placa gráfica passa a ser utilizada por uma outra aplicação a 100%, algo que não é usual nos programas executados em Windows;
- *UnloadGraphicsContent( )* – este método permite “libertar” explicitamente a placa gráfica de algumas tarefas sempre que a ligação à mesma é interrompida;
- *Update( )* – é neste método que se encontra o código propriamente dito, i.e., toda a componente lógica da aplicação, nomeadamente os cálculos.
- *Draw( )* – este método consiste na ordem à placa gráfica para a aceitação e tratamento das entidades a serem desenhadas.

O ciclo de jogo principal percorre os métodos *Update( )* e *Draw( )* continuamente a uma velocidade (que pode ser ajustada, ou deixada livre de restrições) de 60 ciclos por segundo.

Uma aplicação desenvolvida com esta ferramenta consiste na criação de classes que são inicializadas no método *Initialize( )*, cujos métodos lógicos são executados no método *Update( )* e os resultados são apresentados no ecrã aquando da execução do método *Draw( )*. A implementação de components simplesmente consiste na consideração de classes com estes métodos que são chamados pelo ciclo principal, como de resto já foi dito.

## 4.2 – Visão geral

Na programação orientada por objectos, aquando da definição das principais classes é comum seguir a lógica que assenta em cada classe ter uma equivalência no mundo real. Ou seja, as entidades reais independentes deverão ter uma correspondência no código a um objecto também este independente. A definição das classes neste trabalho seguiu este mesmo raciocínio.



**Figura 20 - Esquema da hierarquia das classes**

Na figura 20 é possível observar as diversas classes que constituem o código bem como a sua estrutura hierárquica.

O programa “LisDock” (*LisDock Solution*), compreende três projectos: *InputEventSystem* e *WindowSystem* que são conjuntos de classes que permitem a implementação do interface gráfico semelhante ao *MS Windows* (desenvolvidas por terceiros) e o *LisDock* que é o programa principal em si.

O projecto *LisDock*, sendo um projecto do *XNA*, terá como já foi referido a sua classe principal *Game1*. Esta por sua vez contém quatro *Components*: *UserInterface* (faz a ligação com os outros projectos), *SceneManager* (gera a abertura e fecho de “cenas”), *MasterManager* (controla globalmente a actualização dos objectos que não são *Components*) e *Camera* (permite a navegação no ambiente tridimensional).

Existem então as classes que gerem os objectos que representam as entidades em jogo: *DockManager* (“gestor da doca”), *ShipManager* (“gestor do navio”), etc. Cada uma destas classes com o nome de gestor (“manager”) gerem então os objectos a eles assignados – *Ship* (navio), *Dock* (doca), *Tank* (tanques), etc.

Em certas classes, como é o caso da classe *River*, a sua estrutura é muito simples, e, sendo em qualquer caso a existência de mais de um objecto dessa classe impossível fisicamente, optou-se por não definir nenhum gestor para as mesmas.

Finalmente pode-se também verificar a existência de pequenos objectos, uns físicos, outros conceptuais que representam entidades básicas simples que são utilizadas como propriedades das várias classes descritas acima. É caso de *Pump* (bomba centrífuga) e *Weight* (massa), por exemplo.

Na figura 20 verifica-se que as classes *Tank*, *Dock*, *River* e *Yard*, partilham a mesma cor na sua representação com a classe *WaterContainer*. Isto é porque estas classes são derivadas desta última, ou seja, são também representações de um qualquer reservatório de água ao qual a classe *WCManager* pode aplicar transfega de uns para os outros.

Uma pequena nota, optou-se por manter o nome standard da classe *Game1*, já que assim, é mais fácil a implementação de código escrito exteriormente. De facto, poucos são os casos em que esta classe muda de nome nos códigos disponibilizados livremente para consulta.

**Nota: as classes Pump, Valve, WaterPlane e WaterPlaneManager apesar de implementadas, requerem ainda alguns ajustes no seu funcionamento que impedem que as mesmas estejam activas na versão da aplicação que acompanha este texto.**

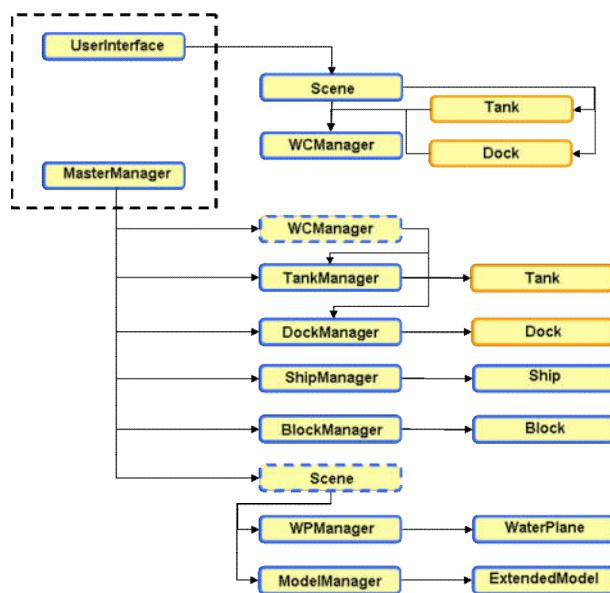


Figura 21 – Execução de ordem para esgotar tanque de lastro

A figura 21 representa a execução de uma ordem dada pelo utilizador e pretende servir de exemplo pragmático para todas as interacções que existem entre os vários objectos presentes no código. Neste caso é dada uma ordem para esgotar um qualquer tanque de lastro para a doca.

Começando pelo *UserInterface* (um componente que a cada ciclo principal executa o seu método *Update*), este, através do objecto *WCManager*, cria um novo objecto do tipo *Flow* tendo como dados de inicialização o tanque especificado como fonte, a doca como poço e a bomba inerente ao navio como entidade motriz do fluxo de água. Na nova execução do ciclo principal, o *MasterManager* executa os métodos *Update* em cada um dos gestores, entre os quais o *WCManager*. Este por sua vez, de acordo com o caudal calculado a partir do número de fontes e poços (neste caso só um de

cada) e da capacidade da bomba em funcionamento para esta transfega, actualiza o volume no tanque e na doca (no tanque haverá uma diminuição e na doca um aumento). O *MasterManager* prossegue então a actualização dos restantes objectos gestores: actualiza as características hidrostáticas do referido tanque com base no novo volume (nível, centro de gravidade, etc.), actualiza as características hidrostáticas do navio de acordo com a nova distribuição de pesos. o nível da doca é também actualizado. Finalmente, actualiza os planos de água desenhados no ambiente tridimensional para os novos níveis (caso estes se tenham alterado significativamente), desenha novamente o navio a partir da sua nova posição/rotação e por último, representa a operação e os valores calculados no *UserInterface*. Naturalmente, um teste de colisão é aplicado aos picadeiros a cada ciclo sempre que os calados do navio estejam próximos dos da doca e, se houver contacto, também há lugar à actualização das cargas sobre estes.

## 4.3 – Implementação

De seguida faz-se uma descrição de cada uma das classes implementadas. Não dos métodos e propriedades que as constituem, pois uma descrição dessas é algo redundante tendo em conta que só uma consulta atenta do código permite uma compreensão abrangente do seu funcionamento, mas sim do ponto de vista conceptual.

### 4.3.1 – Components

#### *UserInterface*

Esta classe serve de ponto de contacto entre os códigos *InputEventSystem* e *WindowSystem* e o programa principal. Estes códigos referidos consistem num conjunto de classes desenvolvidas por terceiros que implementam a capacidade de o programa apresentar um interface com o utilizador baseado em eventos como é o caso das típicas aplicações para *Windows*. Existem classes para botões, janelas, menus, caixas de diálogo, etc. e podem ser definidas facilmente as funções inerentes à activação de cada um dos objectos destas classes.

#### *SceneManager*

Esta classe, e o seu objecto único, faz o controlo das várias cenas que são apresentadas. Estas consistem na cena de apresentação (*OpeningScene*) onde são apresentadas algumas informações sobre o software desenvolvido, na cena de opções iniciais (*InitialOptionScene*) onde o utilizador pode escolher a doca e o navio a utilizar na simulação, e na cena principal de simulação (*SimulationScene*)

onde é implementado o ambiente tridimensional e se apresentam todos os modelos desenhados, bem como os menus e seus sub-componentes que permitem a interacção com a aplicação.

### ***Camera***

Esta classe permite ao utilizador a navegação sem restrições pelo ambiente tridimensional.

### ***MasterManager***

Classe que, de acordo com a cena activada, invoca a actualização dos objectos gestores e define os intervalos em que a mesma deverá ser efectuada. Também é aqui que o factor aplicado ao tempo de simulação é definido e aplicando, sendo passado como parâmetro para as actualizações dos objectos principais.

#### **4.3.2 – Objectos gestores**

### ***DockManager***

Esta classe, permite a interacção e gestão das docas em utilização com o restante código. Na implementação específica deste trabalho é criado um objecto único pois só é permitido a consideração de uma doca por simulação.

A doca é inicializada recorrendo aos dados de input e é actualizada partindo do volume de água existente no seu interior a cada chamada do *MasterManager*.

Como input temos o ficheiro que representa a sua posição e rotação no referencial do estaleiro, bem como outras informações tais como as válvulas e bombas que têm à sua disposição. Um outro ficheiro insere no sistema uma tabela que faz a correspondência entre o volume e o nível de água na doca.

A actualização é feita como já referido partindo do volume e o nível é interpolado utilizando a tabela respectiva, naturalmente subtraindo o volume ocupado pela parte imersa do casco do navio.

### ***ShipManager***

Uma das classes mais importantes, este gestor procede à inicialização e actualização dos valores das grandezas hidrostáticas e estruturais do navio, através da inicialização do objecto da classe *Ship* (uma classe derivada de *WaterContainer*). Os métodos afectos a esta última classe permitem o

cálculo dos esforços de que o navio é alvo bem como a sua condição hidrostática, como sejam os coeficientes de forma, altura metacêntrica, calados, etc.

A inicialização é conseguida com recurso a ficheiros de input: um com a posição e rotação do navio inicial no referencial do estaleiro, um com as condições de carregamento iniciais no que diz respeito ao peso leve e outras massas que não aquelas presentes nos tanques de lastro e ainda outro com as tabela das características hidrostáticas afectas ao navio com cimento nulo.

A actualização tem por base a distribuição de pesos a bordo, sendo posteriormente efectuados o cálculo do deslocamento. Com base no deslocamento (que deve ser chamado de peso ou massa no caso do navio estar completamente assente nos picadeiros pois neste caso o deslocamento será menor), recorre-se às tabelas hidrostáticas previamente carregadas no sistema e actualiza-se os valores das várias grandezas hidrostáticas. Posteriormente calcula-se a matriz de translação e rotação que irá efectuar as mudanças no posicionamento do navio no ambiente tridimensional.

### **TankManager**

O único objecto inicializado desta classe, procede à inicialização, gestão e interacção dos tanques de lastro existentes no navio através da declaração e inicialização de uma lista de objectos do tipo *Tank* (uma classe derivada de *WaterContainer*).

A inicialização é efectuada recorrendo aos ficheiros de input que afectam ao navio: um ficheiro com a distribuição espacial dos tanques, outro com as quantidades iniciais presentes em cada tanque e ainda um último com as características físicas de cada tanque para os vários níveis de enchimento de cada um (volume, posição de centro de gravidade, percentagem de enchimento, etc.).

A actualização é sempre efectuada com base no volume presente em cada tanque, sendo então corrigidos os valores das restantes grandezas.

### **BlockManager**

O objecto único declarado e inicializado desta classe, procede à gestão dos picadeiros e da sua interacção com o restante sistema, através da declaração e inicialização de uma lista de objectos do tipo *Block*.

A inicialização é feita recorrendo ao ficheiro de input que descreve cada bloco (dimensões e tipo) e a sua posição espacial num referencial com origem na intersecção da linha base do navio com a perpendicular a ré e com cimento nulo. De acordo com a doca escolhida e a posição inicial do navio no referencial do estaleiro, cada picadeiro é então rodado, e movimentado de acordo com estas informações.

A actualização é efectuada executando um algoritmo de verificação da colisão de cada um dos picadeiros com a superfície do casco do navio. Caso aconteça que um e só um dos picadeiros esteja em contacto com o navio, procede-se ao cálculo do carregamento sentido, e actualização consequente da distribuição dos pesos do navio que vê uma adição de uma massa negativa aplicada

no ponto de contacto. No caso de termos um resultado dos testes de colisão positivos simultaneamente nos picadeiros mais a ré e nos picadeiros mais a vante, então entramos na situação do navio estar completamente assente nos mesmos com a consequente actualização dos esforços estruturais do navio ser efectuada recorrendo à solução apresentada na secção 2.4.4.

### ***WCManager***

Classe com um único objecto criado, que efectua a criação, gestão, interacção e destuição das transfugas de fluidos (objectos do tipo *Flow*) entre os vários objectos cuja classe é derivada da classe *WaterContainer*.

### ***ModelManager***

Esta classe e o seu único objecto criado, contém uma lista de objectos do tipo *ExtendedModel* que representam cada um uma entidade a ser desenhada no espaço tridimensional e podendo ter acoplada uma lista de polígonos (classe *Polygon*) que permitem a obtenção e manipulação a 100% de uma malha (classe *BoundingSurface*) que pode ou não ser semelhante à do modelo desenhado. Esta última malha é utilizada para fins de detecção de colisões, mas uma futura expansão do código permitirá tirar partido deste objecto para outros fins como sejam efeitos visuais avançados ou outros cálculos que requeiram a descrição completa e exacta da superfície de um determinado objecto presente no espaço tridimensional.

Tendo em conta que este gestor só tem sentido quando estamos na presença de um ambiente tridimensional, o mesmo apesar de ser criado logo no início da execução do código, só é inicializado e preenchido com os modelos afectos pela cena *SimulationScene* quando esta é activada.

### ***WPManager***

Este classe, e o seu único objecto criado, permite a criação e manipulação de planos de água do ponto de vista visual. Contém pois uma lista de objectos do tipo *WaterPlane* que são assignados a cada entidade passível de conter uma superfície livre.

Da mesma forma que o *ModelManager*, também este gestor só faz sentido de ser executado em ambiente tridimensional, pelo que é inicializado pela cena *SimulationScene* aquando da activação desta última. A descrição geométrica inicial de cada plano é conseguida através do finheiro de um ficheiro de input onde o prefixo “WP” permite a consideração do mesmo. Deverá assim existir uma entrada nesse ficheiro para cada um dos planos, bem como um modelo préviamente criado numa aplicação de desenho 3D com origem na intersecção da linha base do navio com a perpendicular a ré

e a uma cota vertical equivalente ao ponto mais baixo da entidade que é possível de ter um qualquer volume de água.

A actualização, por ser puramente visual, é invocada pela cena *SimulationScene* no seu método *Update* e na prática corresponde a uma destruição do plano anterior e criação posterior de um novo, caso haja uma variação do nível da água na entidade em causa superior a determinado intervalo pré-definido.

#### **4.3.3 – Objectos principais**

Por objectos principais entendem-se aqueles objectos que interagem uns com os outros de forma a harmonizar os cálculos efectuados por cada um. Tipicamente são geridos pelos objectos gestores referidos anteriormente, no entanto isto não é essencial, pois no caso do referido objecto ser extremamente simples, um gestor só iria criar uma complexidade acrescida sem sentido algum. Estes objectos são então acessíveis directamente pelos restantes componentes presentes no sistema.

##### ***Structure***

O objecto criado desta classe é responsável por todos os cálculos estruturais efectuados pelo programa. Entre outros contém listas com os valores do momento fletor e força de corte em cada secção transversal do navio, a carga exercida em cada fiada transversal de picadeiros, a carga em cada picadeiro, etc.

##### ***River***

O objecto desta classe (derivada da classe *WaterContainer*) representa o rio adjacente ao estaleiro. Tem uma um único campo que é o nível da sua superfície livre em relação ao zero hidrostático. É com base neste que, no caso da operação de docagem, é definido o nível no interior da doca.

##### ***Yard***

O objecto desta classe (derivada da classe *WaterContainer*) representa o estaleiro no ponto de vista do fornecimento de água salgada para o lastro do navio. Tem um objecto do tipo de bomba como campo e é com base nas características deste que se efectua a operação referida.

### **Dock**

Os objectos desta classe (derivada da classe *WaterContainer*), pretende representar uma doca do estaleiro. Os objectos desta classe são criados, geridos e destruídos pelo gestor *DockManager*.

Esta classe, para além dos campos presentes na classe base *WaterContainer*, contém outros que representam o tipo de doca, o conjunto de válvulas e bombas que a servem, bem como uma lista que contém a tabela de interpolações do nível de água da doca em função do seu volume.

### **Ship**

Cada objecto desta classe representa um navio, sendo estes geridos pelo gestor *ShipManager*. Para além dos campos afectos à sua representação tridimensional (vectores e matrizes), estão também presentes as características principais do navio (comprimento entre perpendicular, boca, calado de projecto, etc.) e as características hidrostáticos do mesmo (calado a vante, calado a ré, cimento, ângulo de adornamento, altura metacêntrica, etc.).

### **Tank**

Cada objecto desta classe representa um tanque de lastro do navio activo. Estes objectos são geridos pelo gestor *TankManager*. As características principais de uma tanque (localização, volume máximo, etc.) bem como uma lista que representa uma tabela com valores de várias grandezas em função do volume presente no tanque em cada instante, são campos desta classe.

### **Block**

Os objectos da classe *Block* representam os picadeiros presentes em determinada doca para determinado navio. A sua distribuição é única para cada navio e permanece a mesma em cada doca. Para cada objecto *Block*, estão definidos campos que representam a sua posição, força aplicada dimensões principais, tipo de picadeiro (no contexto da natureza de cada fiada presente num berço), etc.

### **ExtendedModel**

Os objectos criados a partir desta classe correspondem à representação geométrica de modelos tridimensionais modelados externamente por uma aplicação de modelação 3D e posteriormente incorporados no código através do *ContentManager*. Entre os campos presentes destacam-se o tipo de modelo (estático, navio, doca, etc.), a sua posição e rotação inicial, a malha que define o mesmo

(caso haja lugar a posterior manipulação da mesma) e o efeito visual que será aplicado na sua representação no espaço tridimensional.

### ***WaterPlane***

Esta classe fornece ao espaço tridimensional representações de superfície livre. Através de um algoritmo que permite a discriminação entre pontos de um referido plano que se encontram dentro do perímetro de cada entidade e os que estão fora, e aplicando intensidades de cor diferentes para cada um dos pontos consoante a sua condição, resulta numa superfície livre desenhada com limites iguais às das paredes/anteparas na qual está inserida.

### ***Scene***

Esta classe representa uma determinada cena que contém vários actores.

#### **4.3.4 – Objectos elementares**

Os objectos elementares são aqueles que representam entidades básicas que são sempre subobjectos dos objectos principais descritos no ponto anterior. As classes de objectos elementares tipicamente não contêm outras classes no seu interior, mas não sendo este o caso, os referidos objectos são sempre muito simples, existindo com o objectivo de tornar o código mais fácil de manipular e não representando verdadeiras entidades físicas independentes.

### ***Pump***

Classe que representa uma bomba, contém informação sobre a sua capacidade e posição.

### ***Valve***

Classe que representa uma válvula, contém informação acerca da sua posição e área.

### ***Polygon***

Classe que representa um polígono, nesta implementação é sempre um triângulo. Contém informação sobre os vértices que o constituem e a normal.

### ***BoundingSurf***

Classe que representa uma malha de um determinado modelo (classe *ExtendedModel*). É constituída por uma lista de objectos do tipo *Polygon*.

### ***Volume***

Classe que representa uma linha em cada tabela hidrostática.

### ***UWLine***

Classe que representa uma linha na tabela de interpolação das Curvas de Bonjean.

### ***BonjeanVolume***

Classe que representa um curva de Bonjean sendo que as áreas são calculadas como a média entre as áreas nas extremidades da secção em causa.

### ***TankSoundingLine***

Classe que representa uma linha na tabela de interpolação das características de um determinado tanque.

### ***StructElement***

Classe de objectos que consistem os elementos estruturais considerados para o cálculo dos esforços estruturais no navio e nos picadeiros.

### ***Weight***

Os objectos desta classe representam pesos com uma determinada massa e ponto de aplicação.

### ***DistributedWeight***

Um objecto deste tipo consiste num peso distribuído uniformemente com uma determinada massa e pontos extremos.

#### **4.3.5 – Objectos acessórios**

Por objectos acessórios, deve-se entender todos aqueles que são puramente abstractos e existem com o único objectivo de funcionarem como fornecedores de funções abstractas (ex. interpolação, solução de sistemas de equações lineares, etc.).

### ***Constants***

Classe cujo único objecto contém várias constantes que são usadas pelo restante sistema.

### ***MathFunctions***

Classe cujo único objecto criado permite o acesso a funções matemáticas utilizadas por várias vezes pelos restantes objectos contidos no sistema.

## **5 – Desenvolvimento da aplicação**

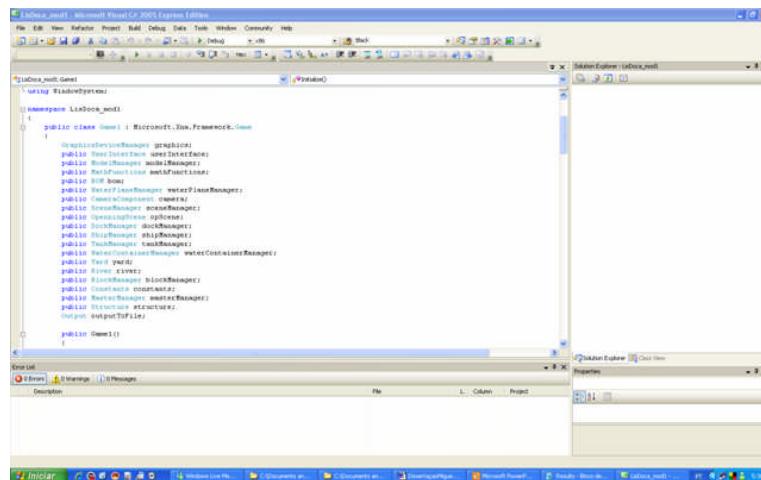
Nesta secção apresentam-se as várias fases do desenvolvimento deste projecto. Fazem-se referência às diversas opções possíveis, justificam-se as decisões tomadas e descrevem-se as etapas envolvidas no estudo, preparação e implementação dos vários componentes que no seu conjunto dão forma à aplicação desenvolvida.

### **5.2 – Ferramentas**

No desenvolvimento de uma aplicação em ambiente tridimensional, há sempre a necessidade do uso de pelo menos três ferramentas: um compilador (ou ambiente integrado), um software de modelação e uma ferramenta para a criação e/ou formatação de texturas a aplicar aos modelos criados.

## **Compilador**

O compilador, ou melhor dizendo, o IDE (Integrated Development Environment) escolhido foi o Microsoft XNA Game Studio Express, como de resto já havia sido referido anteriormente. A facilidade do desenvolvimento deste tipo de aplicações com esta ferramenta quando comparada com qualquer outra opção disponível não deixa qualquer margem para dúvidas quando a optimização extrema do código não é um dos objectivos. O facto de ser um software de licença livre reforçou ainda mais esta opção.



**Figura 22 – IDE do XNA no Visual Studio 2005**

## **Modelação geométrica e texturização**

Para a modelação geométrica dos objectos tridimensionais utilizou-se o Autocad para a criação de geometria a partir de plantas e alçados com dimensões exactas, pois é um programa que estava disponível ao autor e comprehende um conjunto de ferramentas incorporadas que permitem uma relativamente rápida criação de elementos deste tipo.

Para a criação do casco do navio e dos tanques de lastro, tendo em conta que a superfície deste tem de estar desempolada, utilizou-se o Rhino 3D já que esta ferramenta permite uma criação e manipulação de superfícies NURBS muito fluída. A compartimentação (tanques de lastro) também é rapidamente efectuada com este software. Utilizou-se ainda uma versão de demonstração do plug-in RhinoMarine, que permitiu o cálculo das características hidrostáticas do casco aí definido, servindo de base para os dados de input referentes à geometria do navio empregues na aplicação desenvolvida.

A criação e/ou manipulação de texturas foi efectuada recorrendo ao programa GIMP. Esta ferramenta, apesar de ter uma licença de utilização livre, é muito completa e permite a formatação de texturas com quase o mesmo grau de flexibilidade que o software líder neste segmento – Adobe Photoshop.

Finalmente, os modelos criados com as ferramentas acima descritas, são exportados para o 3D Studio Max, ferramenta esta que permite uma manipulação pormenorizada dos modelos importados, bem como a posterior exportação dos mesmos nos formatos legíveis pelo ContentManager do XNA - .fbx (modelo) e .ase (malha). É também aqui que são aplicadas as texturas aos modelos e outros efeitos visuais básicos.

## 5.3 – Elementos tridimensionais

### 5.3.1 – Estaleiro

Por estaleiro depreende-se o conjunto de modelos estáticos (que não se alteram durante a simulação) sobre os quais não são realizados quaisquer cálculos do ponto de vista da física (exclui-se os efeitos visuais aplicados sobre os mesmos).

#### *Terreno*

A modelação do terreno teve por base um desenho no formato .dwg onde se encontram representados os contornos dos limites de propriedade do estaleiro.

Apesar de haver uma variação na cota do estaleiro em certas zonas, esta variação é sempre inferior a 1m em relação à cota média do estaleiro considerada igual a 4m acima do zero hidrográfico. Assim, considerando a cota como constante e igual a 4m, extraiu-se o contorno do limite de propriedade do estaleiro e converteu-se este num mapa de níveis (“height map”).

O height map consiste numa textura com um código de níveis de cinzento que, partindo da introdução dos valores extremos de altura, a cada intensidade de cor faz corresponder um nível de altura. Os gradientes de cor da imagem representam incinações no terreno com valores de declive proporcionais aos gradientes.

Cria-se então um plano com as dimensões aproximadas do estaleiro (neste caso com 2000x2000m) e aplica-se o referido mapa sobre este. O resultado é um modelo do terreno do estaleiro com as elevações provenientes do mapa. Este no entanto será posteriormente ajustado devido ao fraco nível de detalhe com que é possível criar o mapa referido.

O estaleiro, tem vários tipos de solo que se estendem por variadas zonas (asfalto, areia, gravilha, etc.). Partindo de um desenho existente em formato .dwg onde se mapeiam estas zonas, foram criados contornos individuais para cada uma delas. Estes contornos foram então exportados para o 3DS Max e aplicados um a um na sua posição correcta sobre a malha do terreno. Aqui por aplicação entende-se uma partição da malha existente de modo a poder descriminar cada zona.

Tendo as zonas definidas, resta a aplicação de texturas a cada uma delas. As texturas utilizadas foram adquiridas on-line de fontes que as disponibilizam livremente sem direitos de autor. Estas texturas são basicamente fotografias tiradas a curta distância de um determinado tipo de solo (ou outro tipo de entidade). De modo a manter uma boa resolução da textura mesmo quando observada a curta distância, há que fazer aplicar estas texturas como um mosaico (“tiling”), ou seja, cobrir uma determinada zona com a repetição da textura por toda a sua extensão – um padrão.

Importa referir que o motor gráfico do XNA (em linha com a generalidade dos motores gráficos existentes) só aceita texturas com dimensões múltiplas de 2x8 bits, ou seja, 16x16, 32x32, ..., 256x256, 512x512, etc. Por outro lado, quando queremos aplicar um mosaico com uma determinada textura sobre uma superfície há que ter em atenção que as fronteiras de cada textura têm que permitir uma continuidade na transição dessa para a textura adjacente.

A solução passa então por primeiro redimensionar a imagem e posteriormente aplicar um filtro que permite a modificação das zonas limites da textura para que a continuidade referida anteriormente seja conseguida. Finalmente, aplica-se ainda uma desfocagem (“blur”) à imagem de modo a minimizar o fenómeno da observação de um padrão pouco natural quando uma determinada superfície é vista a grande distância.

A última fase diz respeito ao ajuste e correcção da malha. Esta tarefa foi realizada manualmente vértice a vértice, pois é essencial um controlo preciso de modo a fazer corresponder a malha à superfície real. Os “erros” presentes na malha (“artifacts”), como seja a duplicação de vértices, são também eliminados nesta fase.

### **5.3.2 – Docas**

Tendo como ponto de partida os desenhos da planta e alçado de cada doca, as mesmas são modeladas no Autocad, sendo de seguida exportadas para o 3s Studio Max de modo a serem incorporadas no espaço global e serem-lhes aplicadas as texturas correspondentes.

A integração no espaço global serve dois propósitos: a necessidade de obter uma imagem abrangente de todos os modelos antes da passagem destes para o XNA, e o ajuste das posições e rotações dos mesmos, sendo estes últimos dados inseridos no ficheiro que lista os modelos presentes no sistema.

### **5.3.3 – Navio e Tanques de lastro**

Partindo de uma imagem do plano vertical do navio importada para o Autocad, desenham-se manualmente por sobreposição as linhas que definem cada secção. Estas linhas são então passadas

para o Rhino3D e, recorrendo à partição das várias zonas do casco, aplicação do comando “loft” e ajustando as superfícies obtidas (esta sequência é feita iterativamente até chegar a um resultado aceitável), obtém-se a modelação do casco.

Da aplicação da análise hidrostática do plug-in RhinoMarine ao casco modelado, resultam várias tabelas com valores de grandezas hidrostáticas referentes ao mesmo. Estas, como já foi referido anteriormente, servirão de base para o input das mesmas na aplicação desenvolvida.

Os tanques de lastro são modelados a partir do arranjo geral do navio de onde se retira a sua geometria que por sua vez é criada no Rhino3D e manipulada de acordo com o necessário.

Finalmente, tanto o navio como os tanques de lastro são exportados para o 3DStudioMax, onde são posicionados e aplicados os “pontos pivot” (que na prática servem de origem para os modelos), aplicadas as texturas correspondentes e ajustadas as malhas se necessário.

O ajuste dos pontos pivot de cada objecto é de suprema importância, pois se não estiverem definidos de acordo com o pré-definido no código, a sua representação tridimensional não fará sentido algum, com rotações e translações a serem aplicadas em relação a origens erradas.

A origem considerada para o navio e os respectivos tanques de lastro é a intersecção entre a linha base e a perpendicular à ré.

#### **5.3.4 – Superfícies Livres**

A cada modelo que representa um objecto passível de conter no seu interior uma superfície livre, é feito corresponder um plano que irá representar essa mesma superfície. Este plano tem as dimensões ligeiramente superiores às da superfície livre com maior extensão que poderá ocorrer no interior desse objecto. Este plano depois de criado é posicionado no ponto mais baixo do modelo correspondente e a sua origem é corrigida de modo a ser igual à do modelo.

Aquando da aplicação deste plano pelo programa desenvolvido, cada vértice pertencente à malha do plano é alvo de um teste que verifica se o mesmo se encontra no interior ou exterior do modelo. Com base no resultado é então aplicada uma transparência a 100% caso este se encontre no exterior. É então importante que a modelação da malha tenha em consideração a necessidade da mesma ser refinada nos locais onde a transição do interior para o exterior ocorra, sob pena de o resultado final ser irrealista.

#### **5.3.5 – Picadeiros**

A modelação dos picadeiros, por ser simples, foi realizada directamente no 3dStudioMax. De acordo com as especificações dos mesmos procedeu-se à modelação e consequente aplicação de texturas.

### 5.3.6 – Cais

A modelação dos cais, foi realizada no Autocad, partindo de elementos bidimensionais a que o autor teve acesso, posteriormente os mesmos foram texturizados no 3D studio Max.

### 5.4 – Ficheiros de Input

A criação dos ficheiros de input foi naturalmente uma das fases cruciais no desenvolvimento deste projecto. Estes servem de base à configuração do sistema, criando e inicializando vectores, matrizes, listas, modelos, superfícies, constantes, etc. Descreve-se aqui como esta criação foi efectuada ou, melhor dizendo, os passos que foram seguidos para a sua obtenção.

#### TankSoundings\_

Este ficheiro contém as tabelas hidrostáticas de cada tanque. As tabelas são retiradas de tabelas existentes em formato de imagem a que o autor teve acesso. Aplicando um software de reconhecimento de caracteres (“Optic Character Recognition”), exportando o resultado para o *MS Excel* e efectuando algumas correcções de erros resultantes do reconhecimento de caracteres, ficamos com as tabelas definidas que são posteriormente copiadas para um ficheiro .txt que é lido sequencialmente pela aplicação.

The screenshot shows a Windows Notepad window titled "TankSoundings\_ContainerVessel.txt - Notepad". The window contains a table of data with the following columns: SOUND, H, FILL, VNET, WL, LCG, VCG, AwP, and TMY. The rows represent different water levels (H) and their corresponding values for the other parameters. The table starts with a header row and then lists 11 data points for the "FORE\_PEAK" condition.

SOUND	H	FILL	VNET	WL	LCG	VCG	AwP	TMY
<b>FORE_PEAK</b>								
0.00	0.14	0.00	0.10	0.10	186.70	0.00	0.09	1.00
0.10	0.23	0.00	0.20	0.20	186.97	0.00	0.15	1.70
0.20	0.33	0.10	0.40	0.40	187.17	0.00	0.22	2.60
0.30	0.42	0.10	0.70	0.70	187.37	0.00	0.28	3.60
0.40	0.51	0.20	1.10	1.10	187.54	0.00	0.35	4.60
0.50	0.61	0.30	1.50	1.60	187.71	0.00	0.42	5.70
0.60	0.70	0.50	2.10	2.20	187.84	0.00	0.48	6.90
0.70	0.80	0.60	2.80	2.90	187.97	0.00	0.55	8.10
0.80	0.89	0.80	3.60	3.70	188.10	0.00	0.61	9.20
0.90	0.98	1.00	4.50	4.60	188.23	0.00	0.68	10.50
1.00	1.08	1.20	5.50	5.70	188.35	0.00	0.74	11.70

Figura 23 – Exemplo ficheiro Tanksoundings\_

#### TanksLongitudinalDistribution\_

Este ficheiro informa a aplicação dos limites longitudinais (ou seja das suas anteparas transversais) de cada um dos tanques de lastro.

Os limites não são no entanto rigorosamente iguais à realidade, mas sim ajustados para pontos coincidentes com a localização longitudinal dos picadeiros. A necessidade de assim o fazer advém de

os processos de cálculo considerados para a análise estrutural do navio não permitirem a consideração de pesos distribuídos com fronteiras não coincidentes com os elementos estruturais definidos.

É de salientar que a definição dos elementos desta forma bem como a restrição aqui descrita são simplificações aplicadas pelo autor, havendo a possibilidade de, num posterior desenvolvimento do código, tornar estes cálculos mais rigorosos. No entanto essa é uma tarefa morosa que implica a implementação de processos mais avançados que terão de ser bem definidos e testados exaustivamente.

```

File Edit Format View Help
LONGITUDINAL DISTRIBUTION OF TANKS
TANK      XMIN      XMAX
FORE_PEAK    185.1    200.8712
NO1_DEEP_TANK_C 166.1    181.1
NO1_SIDE_TANK_P 151.9    166.1
NO1_SIDE_TANK_S 151.9    166.1
NO2A_DEEP_TANK_P 136.5    151.9
NO2A_DEEP_TANK_S 136.5    151.9
NO2C_DB_TANK_C 121.1    136.5
NO2B_SIDE_TANK_P 121.1    136.5
NO2B_SIDE_TANK_S 121.1    136.5
NO3_DB_TANK_P 95.4     121.1
NO3_DB_TANK_S 95.4     121.1
NO3_DB_TANK_C 95.9     121.1
NO4_DB_TANK_P 63.7     95.9

```

**Figura 24 – Exemplo ficheiro TankLongitudinalDistribution\_**

### **TankCapacity\_**

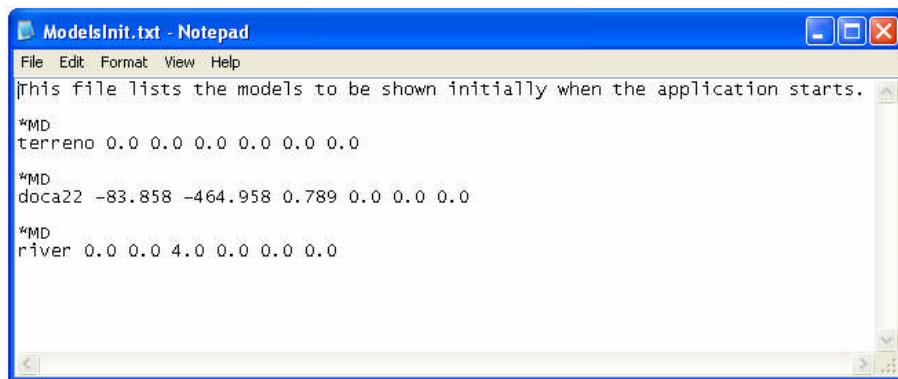
Este ficheiro nada mais é que uma descrição das características físicas de cada tanque, como sejam a altura máxima, o volume máximo, etc.

DESCRIPTION	NAME	VNET m³	WL m	LCG m	TCG m	VCG	SHORT_ID
<b>TANKS</b>							
NO1_DEEP_TANK_C	CF	460.1	471.6	174.52	0	3.67	1DPC
NO1_SIDE_TANK_P	PM	548.3	562	158.76	6.31	6.24	1STP
NO1_SIDE_TANK_S	SM	547.6	561.3	158.77	-6.31	6.25	1STS
NO2A_DEEP_TANK_P	PM	520.4	533.4	144.12	8.4	5.3	2DTP
NO2A_DEEP_TANK_S	SM	520.4	533.4	144.12	-8.4	5.3	2DTS
NO2C_DB_TANK_C	CM	209.3	214.5	130.42	0	0.74	2DBC
NO2B_SIDE_TANK_P	PM	443.8	454.9	129.78	11.05	5.37	2STP
NO2B_SIDE_TANK_S	SM	443.8	454.9	129.78	-11.05	5.37	2STS
NO3_DB_TANK_P	PM	280.2	287.2	107.1	8.48	0.8	3DTP
NO3_DB_TANK_S	SM	280.2	287.2	107.1	-8.48	0.8	3DTS
NO3_DB_TANK_C	CM	396.3	406.2	109.89	0	0.74	3DTC

**Figura 25 – Exemplo ficheiro TankCapacity\_**

### ***ModelsInit***

Aqui estão descritos cada modelo que possa ser estático (no caso da doca, de acordo com a que for escolhida, essa não será estática, mas as restantes sim), com a sua identificação (que serve para a aplicação procurar o ficheiro com o modelo correspondente) e a translação e rotação correspondentes a aplicar sobre o mesmo.



```
ModelsInit.txt - Notepad
File Edit Format View Help
This file lists the models to be shown initially when the application starts.

*MD
terreno 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

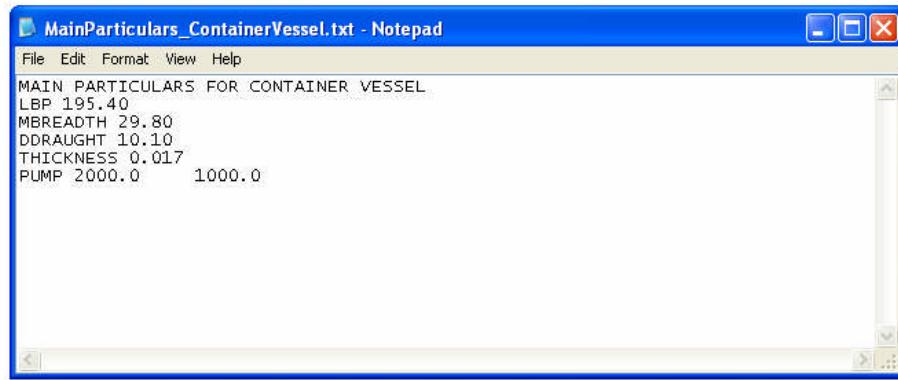
*MD
doca22 -83.858 -464.958 0.789 0.0 0.0 0.0

*MD
river 0.0 0.0 4.0 0.0 0.0 0.0
```

**Figura 26 – Exemplo ficheiro ModelsInit\_**

### ***MainParticulars***

Um ficheiro simples contendo a informação das características principais do navio.



```
MainParticulars ContainerVessel.txt - Notepad
File Edit Format View Help
MAIN PARTICULARS FOR CONTAINER VESSEL
LBP 195.40
MBREADTH 29.80
DDRAUGHT 10.10
THICKNESS 0.017
PUMP 2000.0    1000.0
```

**Figura 27 – Exemplo ficheiro MainParticulars\_**

### ***LightWeight***

Contém informação sobre o valor e distribuição longitudinal do peso do navio na condição leve. Ou seja, este “Peso Leve” é o equivalente ao deslocamento do navio na condição de docagem retirando os pesos da água contida nos tanques de lastro.

LightWeight_ContainerVessel.txt - Notepad				
File Edit Format View Help				
<b>"LIGHTWEIGHT" = DOCK CONDITION - MINUS BALLAST</b>				
LW	11143.914	77.004	0.000	11.904
XMIN	XMAX	LCG	LOAD_PER_METRE	
-3.908	15.100	5.596	97.232	
15.100	16.100	15.600	49.991	
16.100	17.100	16.600	59.551	
17.100	18.100	17.600	66.532	
18.100	19.100	18.600	68.134	
19.100	20.100	19.600	54.524	
20.100	21.100	20.600	44.550	
21.100	22.100	21.600	46.487	
22.100	23.100	22.600	44.937	

Figura 28 – Exemplo ficheiro LightWeight\_

Partindo de uma imagem com a representação gráfica da distribuição do peso por metro do navio na condição de docagem (onde estão incluídas as massas dos tanques de lastro que não estão vazios), esta é importada para o Autocad e aplica-se uma subdivisão no sentido longitudinal com 250 secções. É então criado um conjunto de segmentos de recta com extremidades coincidentes com a intersecção de cada secção com a linha da distribuição de pesos pertencente à imagem que foi previamente escalada para as dimensões reais. As coordenadas das extremidades dos segmentos são exportadas e incluídas numa tabela de Excel. O passo seguinte é a conversão da distribuição do peso com estas 250 secções para uma distribuição coincidente com a dos picadeiros (tal como foi feito para os tanques de lastro). O peso por metro assim obtido é uma média de cada um dos pesos por metro, na distribuição original, presentes entre as novas extremidades.

De forma a obter uma distribuição sem a presença das massas contidas nos tanques de lastro, resta eliminá-las. Ora, devido à conversão da distribuição espacial dos tanques original para as suas novas posições é natural que desta operação as aproximações efectuadas passem a ser evidentes em algum ponto. Ainda assim, no que diz respeito aos resultados globais tal não é importante pois consistem em erros muito localizados que se diluem aquando do enchimento dos tanques em causa. Há que referir que, devido à separação entre análise hidrostática e análise estrutural realizada pela aplicação, este efeito não é sentido pela primeira pois aí o centro de gravidade da massa presente em cada um dos tanques é exacto, retirado da correspondente tabela de características hidrostáticas préviamente calculadas.

### InitialTankLoads\_

Um ficheiro com a informação da condição inicial dos tanques de lastro.

```

InitialTankLoads_ContainerVessel.txt - Notepad
File Edit Format View Help

TANKS
NO1_DEEP_TANK_C 469.2682927
NO1_SIDE_TANK_P 460.0975610
NO1_SIDE_TANK_S 548.226829
NO2A_DEEP_TANK_P 441.4634146
NO2A_DEEP_TANK_S 414.1463415
NO2C_DB_TANK_C 0.0
NO2B_SIDE_TANK_P 0.0
NO2B_SIDE_TANK_S 0.0
NO3_DB_TANK_P 0.0
NO3_DB_TANK_S 0.0
NO3_DB_TANK_C 0.0
NO4_DB_TANK_P 0.0
NO4_DB_TANK_S 0.0
NO4_SIDE_TANK_P 0.0

```

**Figura 29 – Exemplo ficheiro InitialTankLoads\_**

### **Hydrostatics\_**

Contem a tabela de características hidrostáticas do navio para a situação de cimento zero.

HYDROSTATIC DATA - NO TRIM						
T	VOLM	LCG	KM	KML	MCT	TCP
0.206	138.721	92.710	302.179	12726.986	105.269	18.416
0.306	329.352	92.361	159.995	6571.191	127.964	20.544
0.406	536.245	92.431	113.037	4515.249	142.043	21.906
0.506	755.036	92.585	89.351	3488.191	153.368	23.007
0.606	983.680	92.727	74.705	2862.629	162.857	23.924
0.706	1220.651	92.873	64.604	2441.266	171.213	24.722
0.806	1465.036	93.021	57.273	2137.721	178.789	25.447
0.906	1716.243	93.163	51.693	1908.460	185.891	26.118
1.006	1973.720	93.301	47.221	1727.914	192.430	26.735
1.106	2236.983	93.438	43.519	1581.468	198.481	27.300
1.206	2505.591	93.570	40.443	1460.379	204.227	27.832
1.306	2779.251	93.707	37.814	1358.946	209.712	28.335
1.406	3057.718	93.844	35.543	1272.519	214.959	28.815

**Figura 30 – Exemplo ficheiro Hydrostatics\_**

### **Elements\_**

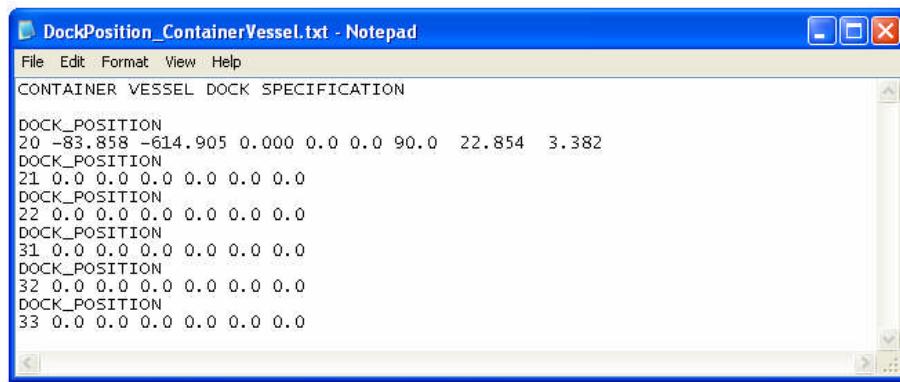
Este ficheiro contem a informação referente à distribuição dos elementos utilizados na análise estrutural que tem por base a distribuição de picadeiros do berço do navio em questão.

ELEMENT LIST FOR CONTAINER VESSEL		
XMIN	XMAX	LCG
-3.908	15.100	5.596
15.100	16.100	15.600
16.100	17.100	16.600
17.100	18.100	17.600
18.100	19.100	18.600
19.100	20.100	19.600
20.100	21.100	20.600
21.100	22.100	21.600
22.100	23.100	22.600
23.100	24.100	23.600
24.100	25.100	24.600
25.100	26.100	25.600

**Figura 31 – Exemplo ficheiro Elements\_**

### **DockPosition**

Estão presentes o posicionamento do navio no referencial fixo do estaleiro para cada uma das docas.

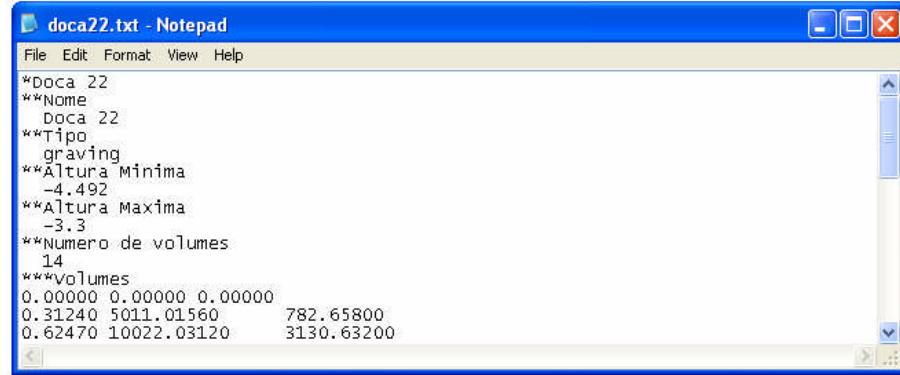


```
DockPosition_ContainerVessel.txt - Notepad
File Edit Format View Help
CONTAINER VESSEL DOCK SPECIFICATION
DOCK_POSITION
20 -83.858 -614.905 0.000 0.0 0.0 90.0 22.854 3.382
DOCK_POSITION
21 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
DOCK_POSITION
22 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
DOCK_POSITION
31 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
DOCK_POSITION
32 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
DOCK_POSITION
33 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
```

**Figura 32 – Exemplo ficheiro DockPosition**

### **Doca**

Cada um destes ficheiros contem informação acerca das características de uma doca como sejam as bombas, as válvulas, etc., bem como uma tabela que faz corresponder o volume com o nível da água presente no interior da doca.



```
doca22.txt - Notepad
File Edit Format View Help
*Doca 22
**Nome
  Doca 22
**Tipo
  graving
**Altura Minima
  -4.492
**Altura Maxima
  -3.3
**Numero de volumes
  14
***Volumes
  0.00000 0.00000 0.00000
  0.31240 5011.01560    782.65800
  0.62470 10022.03120   3130.63200
```

**Figura 33 – Exemplo ficheiro doca**

### **Bonjean**

Um ficheiro com uma tabela que contem informação para as curvas de Bonjean (ou curvas de áreas), cujas secções estão já convertidas para o espaçamento considerado para a análise estrutural, não sendo estas aplicadas para qualquer cálculo puramente hidrostático. São usadas para o cálculo dos volumes imersos em cada faixa transversal da parte imersa do casco do navio, necessários para a obtenção da distribuição longitudinal da força de impulsão.

Bonjean_ContainerVessel.txt - Notepad											
File	Edit	Format	View	Help							
LCG	0.206	0.306	0.406	0.506	0.606	0.706	0.806	0.906	1.006		
5.596	0.006	0.023	0.048	0.077	0.110	0.154	0.213	0.284	0.367		
15.600	0.024	0.100	0.205	0.330	0.474	0.640	0.832	1.048	1.285		
16.600	0.034	0.158	0.332	0.543	0.782	1.046	1.334	1.643	1.970		
17.600	0.027	0.160	0.357	0.595	0.865	1.162	1.483	1.825	2.186		
18.600	0.017	0.156	0.370	0.629	0.922	1.244	1.591	1.959	2.348		
19.600	0.008	0.152	0.384	0.663	0.979	1.326	1.698	2.094	2.510		
20.600	0.004	0.162	0.414	0.717	1.058	1.431	1.832	2.256	2.702		
21.600	0.009	0.193	0.471	0.801	1.171	1.574	2.005	2.461	2.940		
22.600	0.016	0.232	0.537	0.896	1.295	1.729	2.192	2.681	3.193		
23.600	0.023	0.271	0.604	0.990	1.419	1.884	2.379	2.901	3.447		
24.600	0.031	0.310	0.671	1.087	1.546	2.042	2.569	3.125	3.705		
25.600	0.039	0.348	0.740	1.188	1.680	2.209	2.770	3.359	3.974		
26.600	0.048	0.386	0.810	1.291	1.817	2.380	2.975	3.599	4.249		
27.600	0.057	0.424	0.880	1.395	1.954	2.551	3.181	3.840	4.525		

Figura 34 – Exemplo ficheiro Bonjean

### Blocks

Ficheiro que contem a distribuição e informação respectiva dos picadeiros do berço preparado para um determinado navio.

Blocks_ContainerVessel.txt - Notepad									
File	Edit	Format	View	Help					
BLOCKS FOR CONTAINER VESSEL									
ID	X (M)	Y (M)	SP (M)	START	NO	DESC	LENGTH	WIDTH	HEIGHT
0	15.100	0.000	1.000	15.100	0	KEEL_AFT_B	0.600	2.000	
1	16.100	0.000	1.000	15.100	1	KEEL_AFT_B	0.600	2.000	
2	17.100	0.000	1.000	15.100	2	KEEL_AFT_B	0.600	2.000	
3	18.100	0.000	1.000	15.100	3	KEEL_AFT_B	0.600	2.000	
4	19.100	0.000	1.000	15.100	4	KEEL_AFT_B	0.600	2.000	
5	20.100	0.000	1.000	15.100	5	KEEL_AFT_B	0.600	2.000	
6	21.100	0.000	1.000	15.100	6	KEEL_AFT_B	0.600	2.000	
7	22.100	0.000	1.000	15.100	7	KEEL_AFT_B	0.600	2.000	
8	23.100	0.000	1.000	15.100	8	KEEL_AFT_B	0.600	2.000	
9	24.100	0.000	1.000	15.100	9	KEEL_AFT_B	0.600	2.000	
10	25.100	0.000	1.000	15.100	10	KEEL_AFT_B	0.600	2.000	
11	26.100	0.000	1.000	15.100	11	KEEL_AFT_B	0.600	2.000	

Figura 35 – Exemplo ficheiro Blocks

### **Ficheiros de Modelos**

Os ficheiros contendo informação sobre a modelação (.fbx) e sobre as malhas para manipulação (.ase), são criados pelo 3DStudio Max, pelo que não se descrevem aqui. No entanto fica a noção geral de que cada um dos mesmos contem basicamente a listagem dos polígonos que constituem as malhas (e respectivos vértices e normais), bem como informação das texturas a aplicar e modo como são mapeadas. Outros elementos como efeitos visuais básicos também estão presentes no ficheiro .fbx.

## 6 – Funcionamento da aplicação

Nesta secção demonstra-se o funcionamento da aplicação desenvolvida, passando pelas acções principais que o programa permite. Existem três cenas, uma de boas vindas, outra de opções principais e a última a da simulação propriamente dita. Cada cena é constituída por vários actores – modelos, menus, botões, etc.

### 6.1 – OpenningScene

Um ecrã de boas vindas é apresentado, o utilizador tem a opção de continuar, desistir da aplicação ou visualizar algumas informações gerais sobre a mesma.



Figura 36 – Cena OpenningScene

### 6.2 – InitialOptionsScene

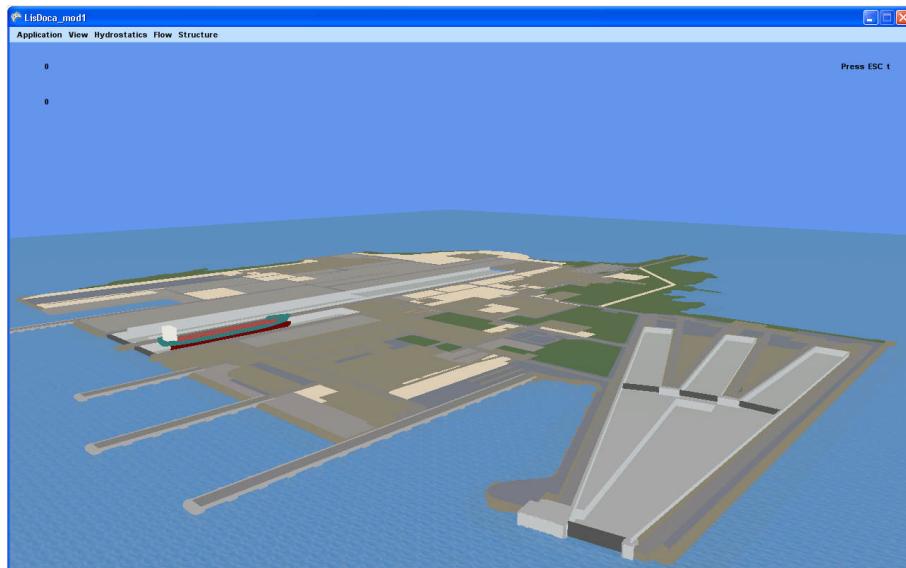
Aqui o utilizador escolhe o navio e a doca a utilizar na simulação, bem como se pretende fazer uma docagem ou flutuação. No entanto só a doca 22 e Navio porta-contentores e o caso da docagem estão implementados.



**Figura 37 – Cena InitialOptionsScene**

### 6.3 – SimulationScene

Esta cena é a principal já que é nesta que é apresentado o espaço tridimensional e onde ocorre verdadeiramente a simulação.



**Figura 38 – Cena Simulation**

#### 6.3.1 – Menu Application

Este menu permite o acesso ao controlo da velocidade do tempo, a saída do programa ou a gravação de um ficheiro com os resultados dos cálculos efectuados nesse instante.

```

Results - Bloco de notas
Ficheiro Editar Formatar Ver Ajuda
Results file of calculated data of LisDock

Date & Time: 01-10-2008 4:55:15
Dock: doca22
Ship: containervessel
Simulation Time: 6min

-----SHIP-----
Draught at aft perp (m): 5.261517
Draught at mid perp (m): 4.739215
Draught at Fwd perp (m): 4.216914
Displacement (t): 14141.32
LCF (m): 97.2851
KMC (m): 447.23
KMI : 446.419 [m]
MCT: 332.03 [t.m/cm]
TCP: 37.946 [t/cm]
CG (x): 94.832 [m]
CG (y): 0.025 [m]
CG (z): 10.478 [m]
GIM: 1.244 [m]
HEEL: 1.053 [deg]

```

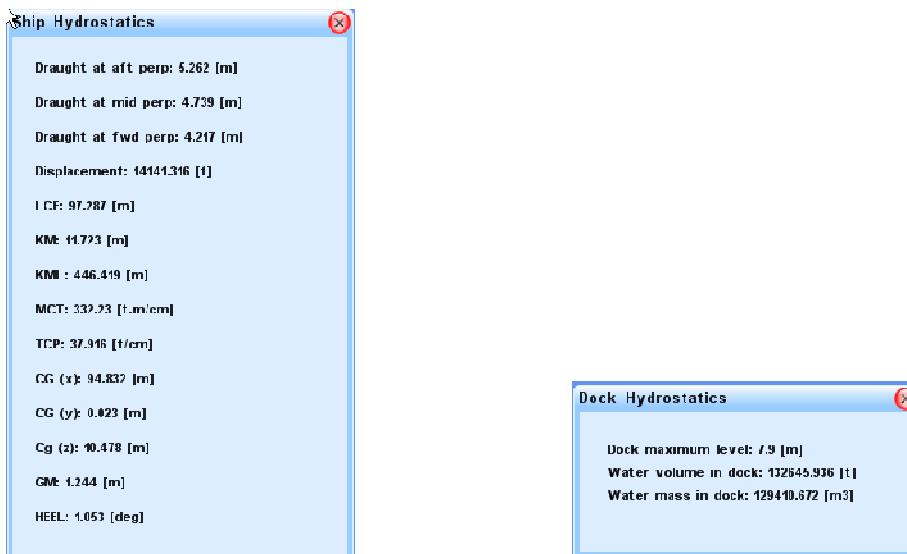
**Figura 39 – Exemplo de um ficheiro de resultados**

### 6.3.2 – Menu View

Este menu permite o acesso à camera que serve de navegação pelo ambiente tridimensional.

### 6.3.3 – Menu Hydrostatics

Permite a visualização das características hidrostáticas do navio em mudança, os valores dos parâmetros correspondentes aos tanques de lastro e o nível, volume e massa de água na doca.



**Figura 40 – Características hidrostáticas do navio e doca**

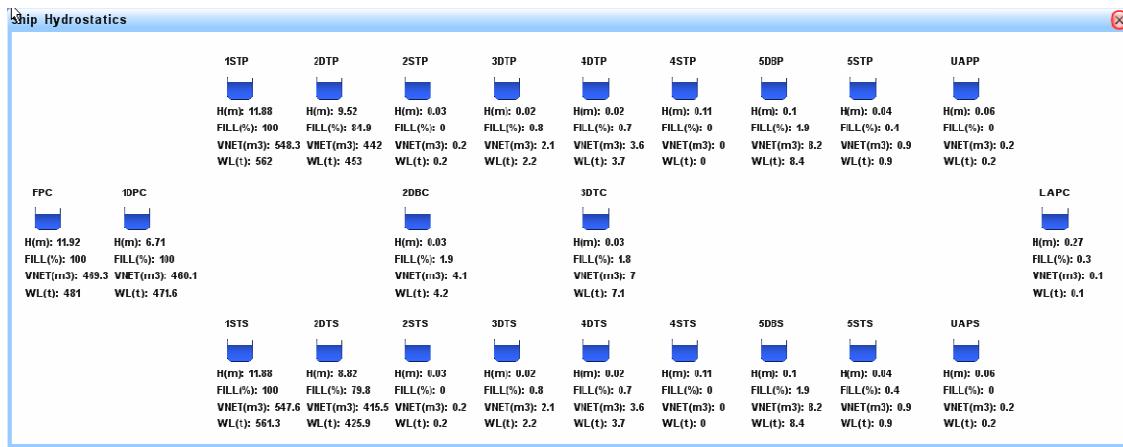


Figura 41 – Características hidrostáticas dos tanques de lastro

### 6.3.4 – Menu Flow

Permite o acesso ao controlo das transfegas entre tanques, entre o navio e a doca, entre o estaleiro e o navio e entre a doca e o rio.

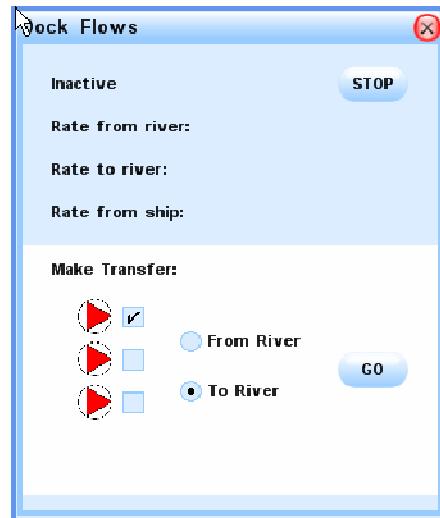


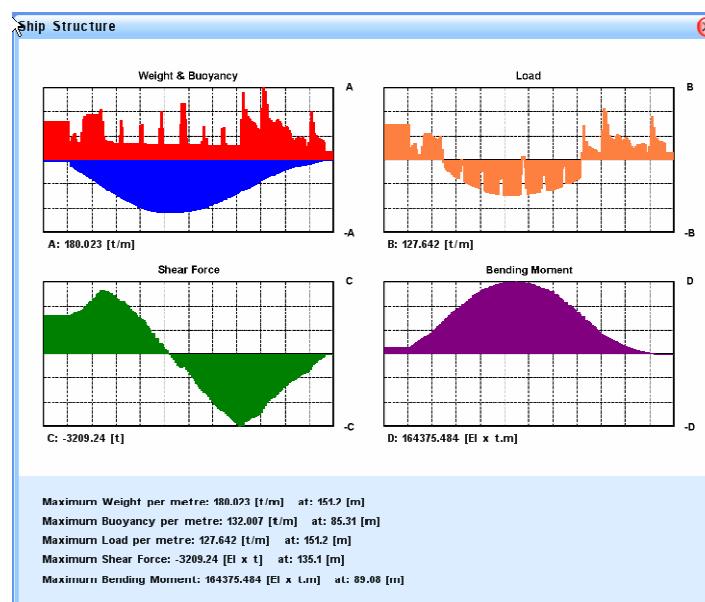
Figura 42 – Controlo do enchimento ou esgotamento da doca



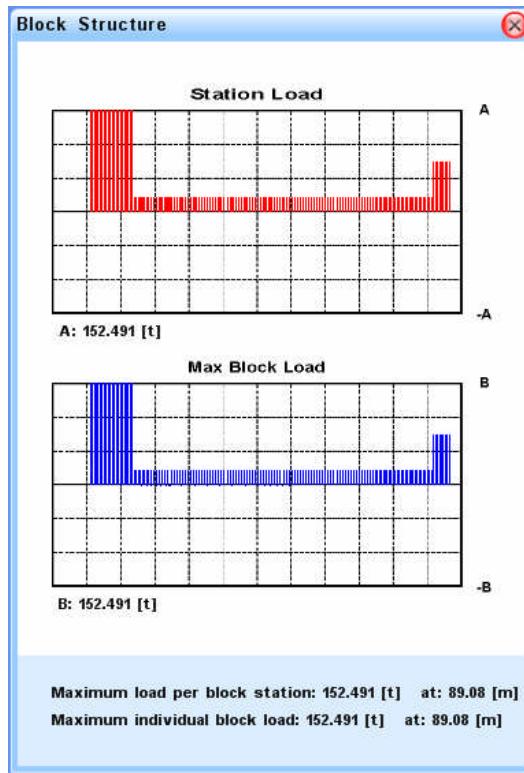
**Figura 43 – Controlo das transfegas de lastro**

### 6.3.5 – Menu Structure

Permite a visualização da distribuição longitudinal dos esforços aplicados ao navio (peso próprio, impulsão, carregamento resultante, força de corte e momento fletor. Também é possível a monitorização dos esforços aplicados nos picadeiros (ver página seguinte).



**Figura 44 – Esforços estruturais aplicados ao navio**



**Figura 45 – Esforços estruturais aplicados aos picadeiros**

## 7 – Validações e casos de estudo

Tendo em conta que estamos na presença de um protótipo, importa que o código seja validado do ponto de vista da necessidade de os resultados obtidos seguirem uma lógica consistente. Ou seja, que os fundamentos da física subjacentes ao programa sejam aplicados com sucesso e que os resultados façam sentido à luz desses mesmos fundamentos.

Isto em oposição a uma validação que se fundamente na calibração de diversos componentes do programa a partir de observações reais. No caso deste trabalho implicaria uma monitorização permanente dos níveis de lastro nos tanques, calados do navio e da doca, etc., durante uma docagem ou flutuação.

O procedimento adoptado é então o referido no primeiro parágrafo e os testes pretendem demonstrar a robustez elementar dos vários algoritmos presentes recorrendo a pequenos testes com soluções facilmente calculadas analiticamente ou que são passíveis de serem verificadas recorrendo a ferramentas com uma fiabilidade reconhecida.

### 7.1 - Validações

Foram realizados, aquando do desenvolvimento do código, os seguintes testes:

## Hidrostática

- Embarque de peso
- Movimentação de peso
- Navio em contacto com picadeiro pivot

## Análise estrutural:

- Sistema de equações lineares (não activo)
- Resolução sistema hiperestático (não activo)

## 7.2 – Casos de estudo

Recorrendo à opção que permite a exportação dos valores dos vários parâmetros e grandezas em mudança aquando da execução da simulação, analizaram-se duas situações que fornecem dados que possibilitam uma análise dos resultados ainda que a nível qualitativo.

A primeira situação (“Caso de estudo A”) corresponde ao esgoto parcial (50%) do pique tanque de vante de um navio quando este se encontra a flutuar livremente. Os resultados são apresentados nas figuras 46 a 51.

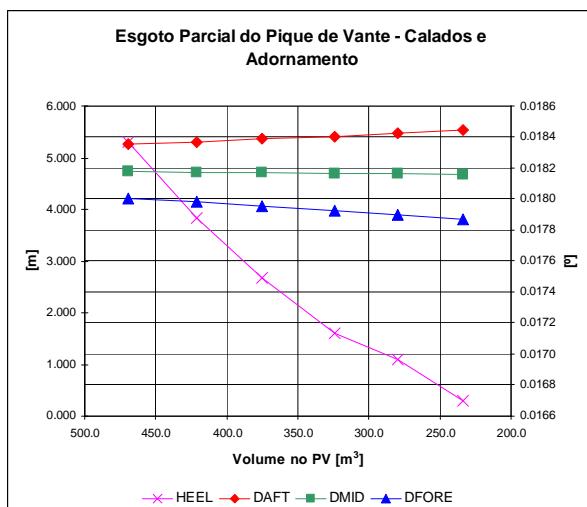


Figura 46 – Caso de estudo A (calados e adornamento)

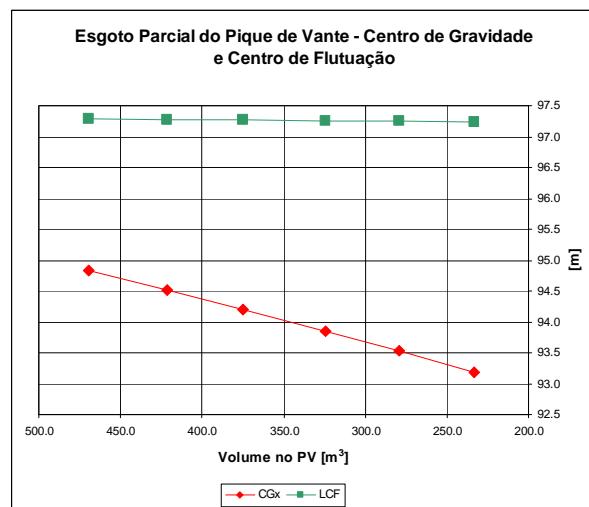


Figura 47 – Caso de estudo A (centro de gravidade e centro de flutuação)

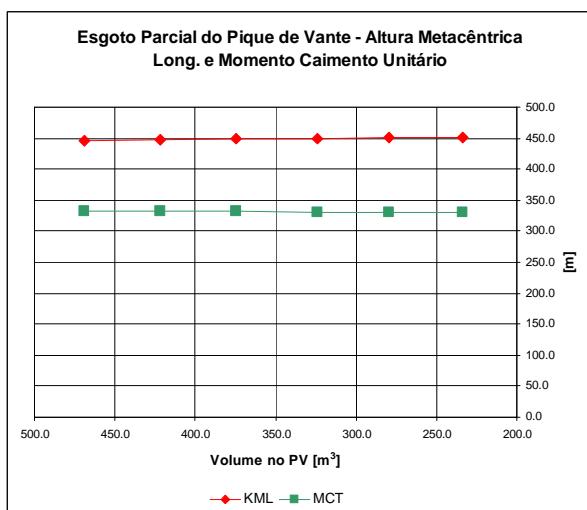
Nestes resultados importa salientar que, no que diz respeito a esforços, força de corte, momento flector e carregamento sobre os picadeiros, a informação apresentada diz respeito unicamente aos máximos destes valores.

Na figura 46 é visível a alteração a diminuição do peso na extremidade de vante do navio provoca nos calados, aumentado a imersão na perpendicular a ré e diminuindo a da perpendicular a vante. Tendo em conta que estamos em presença de uma verdadeira diminuição do deslocamento,

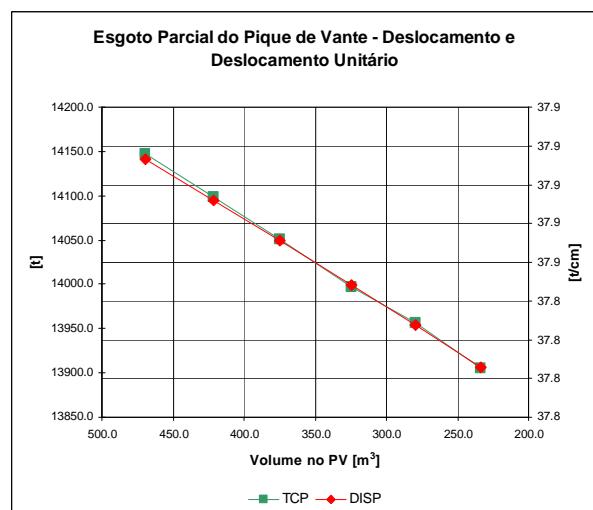
naturalmente existe uma ligeira diminuição do calado médio. Por outro lado, a ínfima variação do ângulo de adornamento é provocada por este logo à partida não ter um adornamento nulo.

Na figura 47 é apresentada a variação do centro de gravidade longitudinal e a respectiva alteração do centro de flutuação. O resultado aqui vai de encontro ao esperado, havendo uma progressiva movimentação da localização de ambos para ré, sendo que menos significativa no caso do centro de flutuação fruto de que este tem em conta a geometria do navio (cuja figura de flutuação apresenta larguras transversais na zona mais a ré superiores às da zona mais a vante) que compensa parcialmente a deslocalização para ré do centro de gravidade.

Como é sabido, a altura metacêntrica longitudinal de uma embarcação com uma razão comprimento/boca significativamente grande é igualmente elevada, daí que os efeitos sobre a mesma de uma subtracção de peso de cerca de 200 ton deverão ser desprezáveis. Tal é observável na figura 48 que ainda assim permite identificar um aumento na altura metacêntrica mas, ao mesmo tempo, uma diminuição do momento de cimento unitário. Este fenómeno requer uma análise posterior, sendo que poderá ser explicado por um simples encadeamento de interpolações realizadas pelo programa que gera erros desta natureza. Ainda assim a existir, este erro é seguramente negligenciável do ponto de vista prático tendo em consideração a grandeza dos valores em causa.

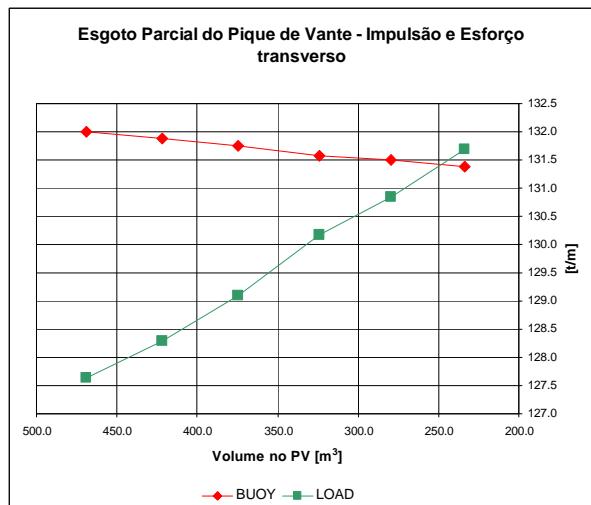


**Figura 48 – Caso de estudo A (altura metacêntrica longitudinal e momento de cimento unitário)**

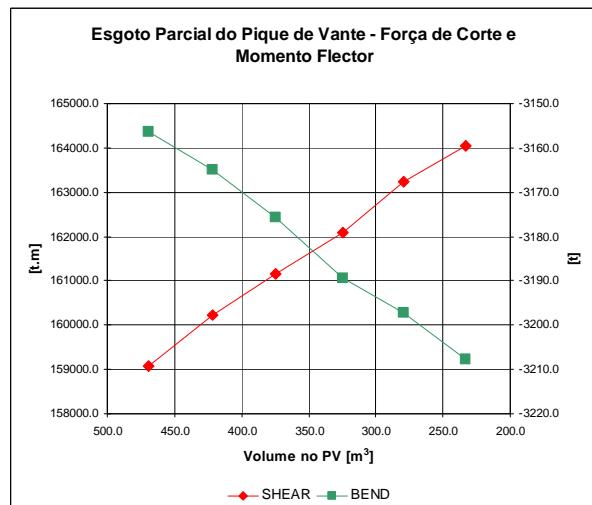


**Figura 49 – Caso de estudo A (deslocamento e deslocamento unitário)**

Na figura 50 verifica-se uma ligeira diminuição da impulsão por unidade de comprimento longitudinal e o respectivo aumento do valor máximo do carregamento transversal que a estrutura do navio sofre. Finalmente, analisando a figura 51 constata-se o aumento tanto da força de corte máxima bem como do momento fletor longitudinal máximo, fruto da menor homogeneidade da distribuição de peso e impulsão ao longo do comprimento do navio.

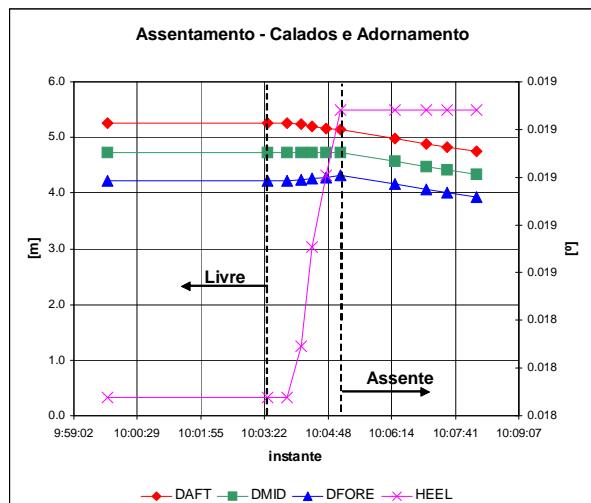


**Figura 50 – Caso de estudo A (impulsão e esforço transverso)**

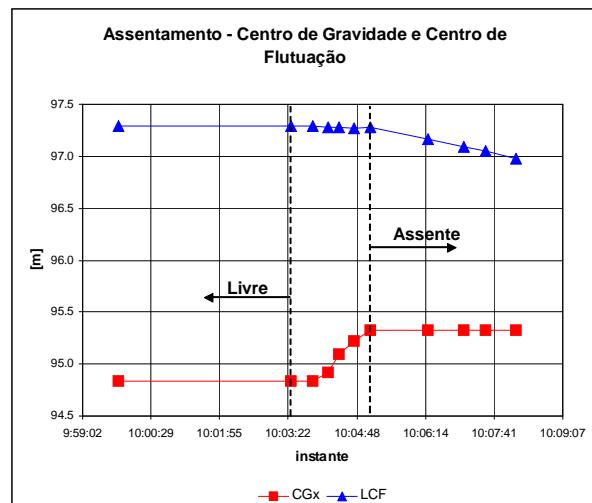


**Figura 51 – Caso de estudo A (força de corte e momento fletor)**

A segunda situação (“Caso de estudo B”) corresponde ao assentamento de um navio nos picadeiros, iniciando-se a recolha de dados num instante em que a embarcação se encontra a flutuar livremente, passando pelo contacto com o picadeiro pivot e o assentamento completo nos picadeiros e finalizando num instante posterior ao assentamento com um menor volume de água na doca que o necessário para impedir que o navio flutue.. Os resultados são apresentados nas figuras 52 a 57.



**Figura 52 – Caso de estudo B (calados e adornamento)**

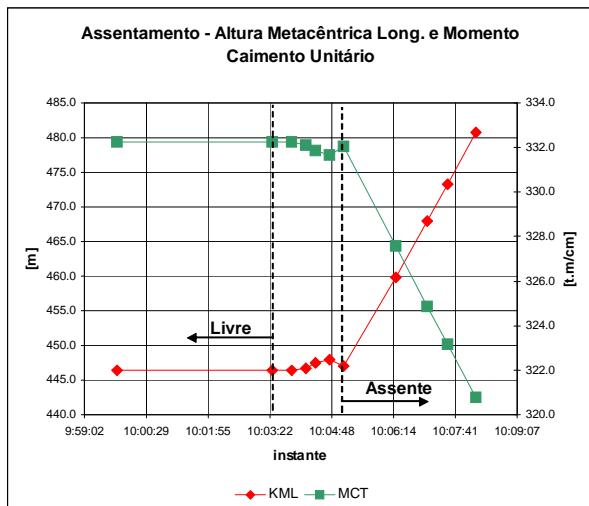


**Figura 53 – Caso de estudo B (centro de gravidade e centro de flutuação)**

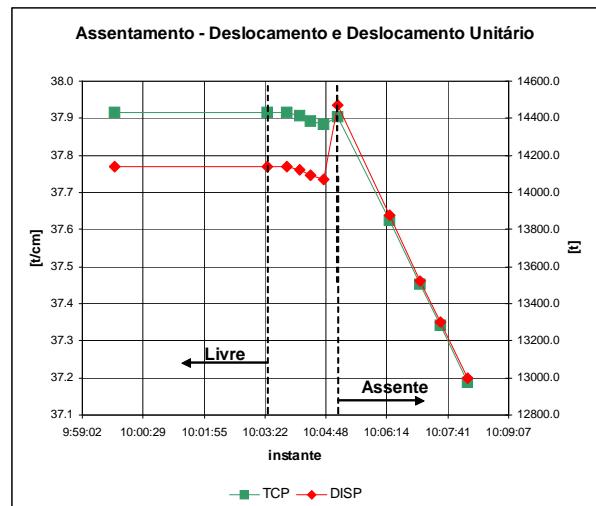
Nas figura 52 verifica-se que a partir do instante em que o navio está completamente assente nos picadeiros a variação dos calados é constante a ré e a vante pois o mesmo não tem liberdade para alterar o seu caiimento sendo este sempre igual ao da doca. Já na figura 53 é visível a variação da localização do centro de gravidade longitudinal para vante durante o tempo em que o navio está somente em contacto com o picadeiro pivot localizado na “zona do cadaste”. isto vem ao encontro da

consideração de uma subtracção de massa nessa zona equivalente ao valor da reacção do picadeiro no navio.

Como já foi referido, no que diz respeito a cálculos de natureza puramente hidrostática a aplicação não garante valores fidedignos que necessitem da consideração das reacções dos picadeiros quando o navio se encontra na condição de completamente assente, o que poderá explicar a não variação da localização do centro de gravidade longitudinal observável na figura 53.



**Figura 54 – Caso de estudo B (altura metacêntrica longitudinal e momento de cimento unitário)**



**Figura 55 – Caso de estudo B (deslocamento e deslocamento unitário)**

Nas figuras 54 e 55 é notório a correcção que o programa faz aquando da consideração do navio como estando completamente assente nos picadeiros. Esta correcção não é nada mais que a simples imposição do cimento do navio a ser rigorosamente semelhante ao da doca e a consequente alteração dos calados com base no calado a ré no instante imediatamente anterior ao assentamento total. Apesar de esta correcção ser muito limitada (como se pode verificar na figura 54), os seus efeitos são naturalmente ampliados, especialmente nos valores dos parâmetros que têm os calados por base e que ao mesmo tempo exibem valores típicos de uma grandeza significativamente superior como é o caso do deslocamento. Ainda assim, a ampliação não é significativa do ponto de vista da precisão que se pretende obter neste protótipo.

Analizando a figura 56 verifica-se o aparecimento de uma força não-nula no que diz respeito ao carregamento máximo sentido pelos picadeiros, somente num instante posterior ao assentamento do navio. Tal facto advém do desfasamento existente entre os vários cálculos que o programa efectua. No caso particular deste caso, o instante de recolha de dados escolhido como posterior ao assentamento foi claramente infeliz, serve no entanto para demonstrar o fenómeno descrito neste ponto.

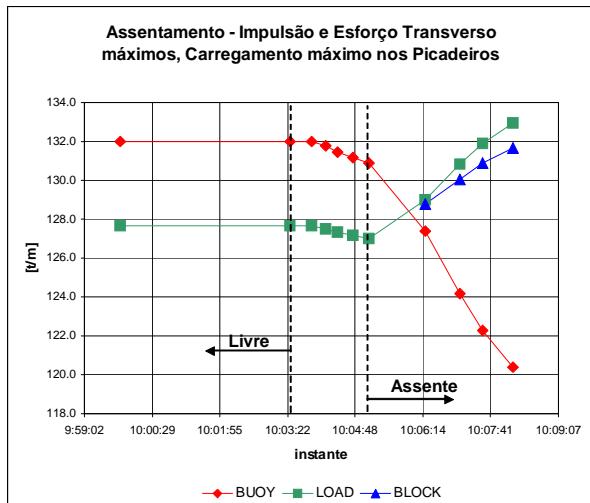


Figura 56 – Caso de estudo B (impulsão, esforço transverso e carregamento máximo nos picadeiros)

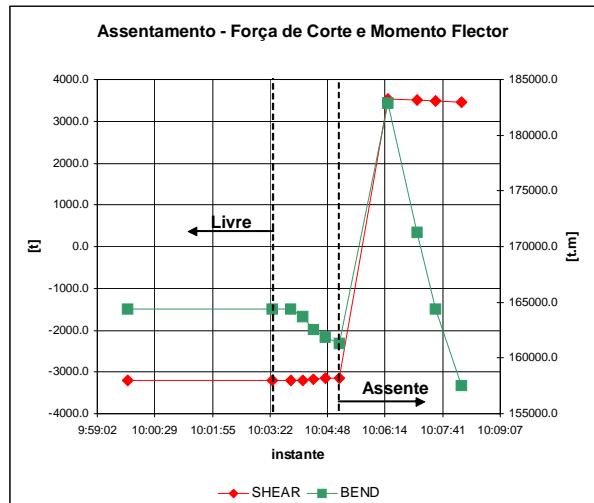


Figura 57 – Caso de estudo B (força de corte e momento flector)

Finalmente observando a figura 57 é novamente visível a ampliação dos efeitos da correcção do cimento aquando da consideração do assentamento completo do navio nos picadeiros. Por outro lado, é evidente a natural diminuição progressiva dos valores máximos da força de corte e do momento flector longitudinal.

## 8 – Conclusões e desenvolvimentos futuros

Foi desenvolvida uma ferramenta que simula num ambiente tridimensional a docagem de navios e foram aplicadas com sucesso os conceitos da mecânica geral subjacentes aos fenómenos físicos que ocorrem nestas operações.

O desenvolvimento de raiz de um projecto desta natureza implica um trabalho multi-disciplinar e a aprendizagem de muitos conceitos e procedimentos que, apesar de independentes, contribuem cada um de forma decisiva para o sucesso do trabalho. É de salientar que cada uma das partes que integram a aplicação final são em si ciências próprias, com vários anos de desenvolvimento e que são normalmente desempenhadas por pessoal especializado. Foi precisamente pela necessidade do autor em executar cada uma das fases que este se apercebeu do progresso notório destas áreas, fruto de longos anos de estudos efectuados por entidades que se especializaram em absoluto. Na conclusão do trabalho, o autor ganhou conhecimentos diversos em todas essas áreas que, ainda que relativamente introdutórios, possibilitam uma fácil progressão no aprofundar de conhecimentos sobre as mesmas.

Como já foi referido os objectivos deste trabalho estão primordialmente afectos ao desenvolvimento de um simulador. No entanto existem algumas conclusões que podem ser retiradas de alguns resultados obtidos da execução do código.

## **8.1 – Análise qualitativa dos resultados**

Na análise dos berço efectuado pela Lisnave para o navio porta-contentores, estes apresentam-se com uma margem de segurança em relação às cargas que os picadeiros realmente apresentam extremamente elevada. De facto, as cargas aplicadas a cada fiada de picadeiros não ultrapassam as 150t (200t é o máximo admissível). Ora, estas cargas ainda deverão ser na realidade distribuídas pelos picadeiros que fazem parte dessa fiada o que irá reduzir consideravelmente a carga aplicada. Para além disso, temos de ter em conta que os resultados aqui obtidos consideram que cada picadeiro está em contacto com o casco do navio num único ponto (muitas das fiadas transversais consideradas pela aplicação são na realidade fiadas únicas como que contra-fiadas, pelo que a carga aplicada deverá ser ainda mais distribuída!)

Existe no entanto um factor que tem de ser considerado que é o estado de conservação da doca em si. Havendo uma degradação considerável existe uma natural apreensão que justifica parcialmente os factores de segurança elevadíssimos aplicados, especialmente quando a área total dos picadeiros em contacto com a doca é limitada como é o caso do berço deste navio.

Estes resultados, apesar de baseados num único navio e numa única doca, sugerem ainda assim que não seria de todo absurdo considerar uma abordagem à elaboração dos berços mais científica e menos empírica, pois reduziria os custos de movimentação e alinhamento de picadeiros de uma forma significativa.

## **8.2 – Desenvolvimentos futuros**

É um facto que a aplicação desenvolvida apresenta-se num estádio relativamente primário.

No que diz respeito à parte gráfica, a modelação e implementação dos vários edifícios existentes no estaleiro e outros pormenores, bem como a representação do espaço de uma forma mais realista ou atractiva recorrendo a efeitos visuais personalizados, deverão melhorar a apresentação da simulação drasticamente.

Igualmente, caso se pretenda um uso sistemático do software, há que desenvolver métodos de input de dados simplificados recorrendo a estimativas de características hidrostáticas e geométricas em geral.

No que concerne aos cálculos que a aplicação efectua, poder-se-á considerar casos mais absurdos, mas possíveis, como por exemplo a possibilidade do navio assentar com um considerável ângulo de adornamento.

No entanto o ponto fundamental, no qual há espaço para evidentes melhorias será o do cálculo das cargas aplicadas aos picadeiros. É da opinião do autor que este elemento deverá ser alvo de uma abordagem diferente, onde, mesmo não considerando a solução exacta com picadeiros ou navio deformáveis, pelo menos outra forma mais científica e menos empírica deverá ser aplicada na medida do possível.

Falando do código em geral, o mesmo poderá ser mais estruturado e optimizado em certas tarefas, aplicando funções mais evoluídas do ponto de vista das suas capacidades. Particularmente, a

utilização extensiva de components permitirá uma grande portabilidade dessas mesmas classes, servindo para outras aplicações a desenvolver.

Finalizando, poder-se-ão considerar situações mais específicas a integrar no sistema, em particular a gestão operacional dos recursos do estaleiro nas operações de docagem, uma monitorização mais pormenorizada das características de estabilidade no caso de navios com pé de caverna, etc.

## **9 – Bibliografia**

- 1 – “Beginning XNA 2.0 Game Programming: From Novice to Professional”, A. S. Lobão, Apress, 2008;
- 2 – “Texto de Apoio para Estruturas Navais I – Solicitações em águas tranquilas, Vol. 1”, Y. Garbatov, 2001;
- 3 – “Mechanics of Materials”, F. P. Beer, E. R. Johnson Jr., McGraw-Hill, 2001;
- 4 – “Considerações Técnicas para Docar Navios – Formação de Docagem (Definição do Berço para Assentamento”, D. Robalo, T. Carvalho e C. Rodrigues, Lisnave, 2008.

# **ANEXOS**

## **Anexo A**

**– Exemplo de um ficheiro de resultados –**

Results file of calculated data of LisDock

Date & Time: 01-10-2008 4:55:15

Dock: doca22

Ship: containerVessel

Simulation Time: 6min

-----SHIP-----

Draught at aft perp (m): 5.261517

Draught at mid perp (m): 4.739215

Draught at fwd perp (m): 4.216914

Displacement (t): 14141.32

LCF (m): 97.28651

KM (m): 446.4185

MCT (t.m/cm): 332.2303

TCP (t/cm): 37.91606

CGx (m): 94.83236

CGy (m): 94.83236

CGz (m): 94.83236

GM (m): 1.244319

HEEL (°): 0.01836991

-----DOCK-----

Draught at lowest point (m): 7.900119

Water volume inside dock (m3): 129410.7

-----TANKS-----

Name: FORE\_PEAK

H (m): 11.92

Fill (%): 100

VNet (m3): 469.3

WL (t): 481

Name: NO1\_DEEP\_TANK\_C

H (m): 6.71

Fill (%): 100

VNet (m3): 460.1

WL (t): 471.6

Name: NO1\_SIDE\_TANK\_P

H (m): 11.88

Fill (%): 100

VNet (m3): 548.3

WL (t): 562

Name: NO1\_SIDE\_TANK\_S

H (m): 11.88

Fill (%): 100

VNet (m3): 547.6

WL (t): 561.3

Name: NO2A\_DEEP\_TANK\_P

H (m): 9.52

Fill (%): 84.9

VNet (m3): 442

WL (t): 453

Name: NO2A\_DEEP\_TANK\_S

H (m): 8.82

Fill (%): 79.8

VNet (m3): 415.5

WL (t): 425.9

Name: NO2C\_DB\_TANK\_C

H (m): 0.03

Fill (%): 1.9

VNet (m3): 4.1

WL (t): 4.2

Name: NO2B\_SIDE\_TANK\_P

H (m): 0.03

Fill (%): 0

VNet (m3): 0.2

WL (t): 0.2

Name: NO2B\_SIDE\_TANK\_S

H (m): 0.03

Fill (%): 0

VNet (m3): 0.2

WL (t): 0.2

Name: NO3\_DB\_TANK\_P

H (m): 0.02

Fill (%): 0.8

VNet (m3): 2.1

WL (t): 2.2

Name: NO3\_DB\_TANK\_S

H (m): 0.02

Fill (%): 0.8

VNet (m3): 2.1

WL (t): 2.2

Name: NO3\_DB\_TANK\_C

H (m): 0.03

Fill (%): 1.8

VNet (m3): 7

WL (t): 7.1

Name: NO4\_DB\_TANK\_P

H (m): 0.02

Fill (%): 0.7

VNet (m3): 3.6

WL (t): 3.7

Name: NO4\_DB\_TANK\_S

H (m): 0.02

Fill (%): 0.7

VNet (m3): 3.6

WL (t): 3.7

Name: NO4\_SIDE\_TANK\_P

H (m): 0.11

Fill (%): 0  
VNet (m3): 0  
WL (t): 0

Name: NO4\_SIDE\_TANK\_S  
H (m): 0.11  
Fill (%): 0  
VNet (m3): 0  
WL (t): 0

Name: NO5\_DB\_TANK\_P  
H (m): 0.1  
Fill (%): 1.9  
VNet (m3): 8.2  
WL (t): 8.4

Name: NO5\_DB\_TANK\_S  
H (m): 0.1  
Fill (%): 1.9  
VNet (m3): 8.2  
WL (t): 8.4

Name: NO5\_SIDE\_TANK\_P  
H (m): 0.04  
Fill (%): 0.4  
VNet (m3): 0.9  
WL (t): 0.9

Name: NO5\_SIDE\_TANK\_S  
H (m): 0.04  
Fill (%): 0.4  
VNet (m3): 0.9  
WL (t): 0.9

Name: LOWER\_AFT\_PEAK  
H (m): 0.27  
Fill (%): 0.3  
VNet (m3): 0.1  
WL (t): 0.1

Name: UPPER\_AFT\_PEAK\_P

H (m): 0.06

Fill (%): 0

VNet (m3): 0.2

WL (t): 0.2

Name: UPPER\_AFT\_PEAK\_S

H (m): 0.06

Fill (%): 0

VNet (m3): 0.2

WL (t): 0.2

-----SHIP STRUCTURE-----

Ship state: FREE

Maximum weight per metre (t/m): 180.023 at (m from AP): 151.2

Maximum buoyancy per metre (t/m): 132.0066 at (m from AP): 85.31

Maximum load per metre (t/m): 127.6425 at (m from AP): 151.2

Maximum shear force (EI x t): -3209.24 at (m from AP): 135.1

Maximum longitudinal bending moment (EI x t.m): 164375.5 at (m from AP): 89.08

-----BLOCKS-----

Maximum load per block transverse station (t): 0

Maximum individual block load (t): 0

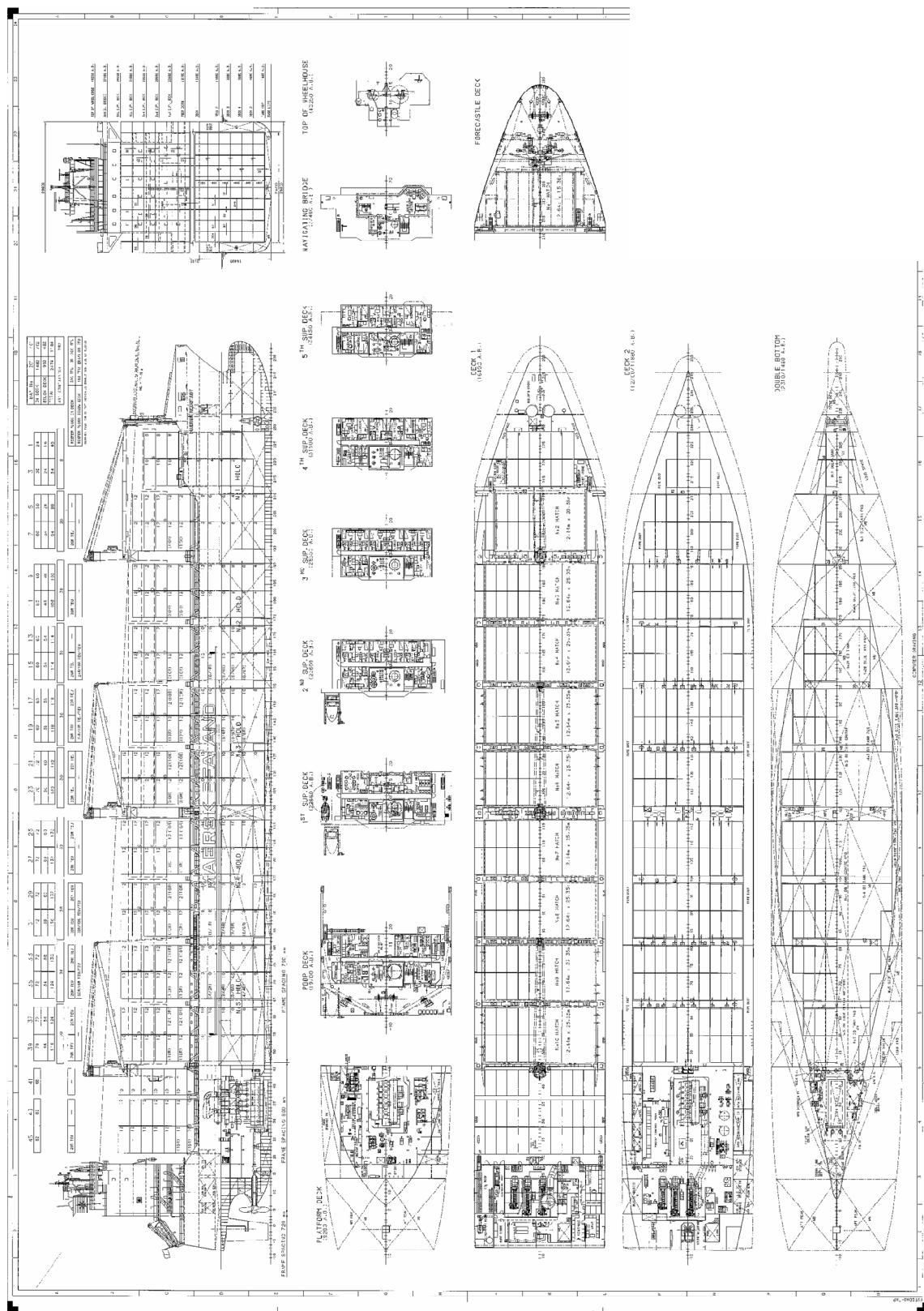
-----END-----

## Anexo B

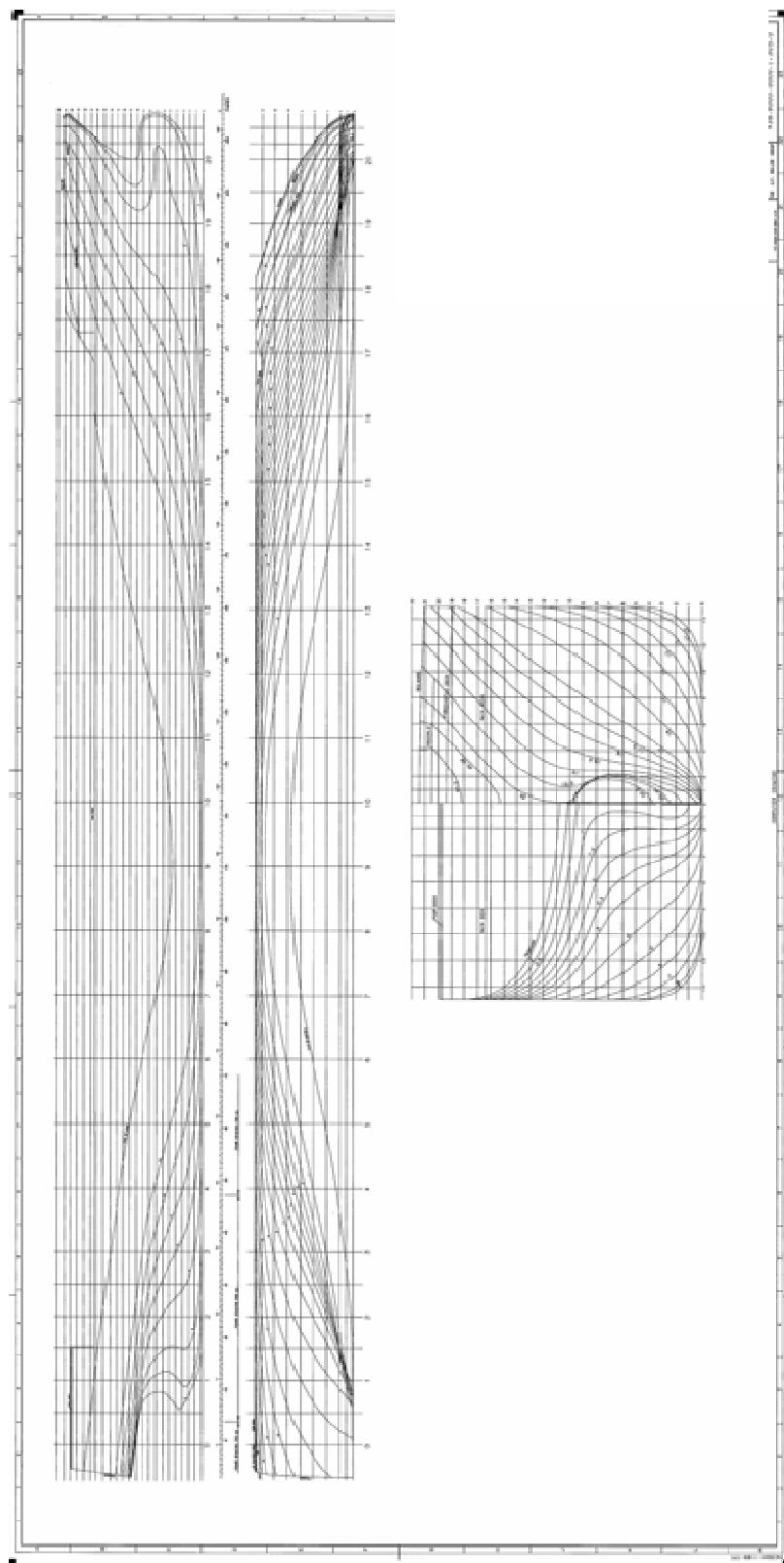
### – Desenhos “ContainerVessel” –

*Nota: Nos desenhos apresentados neste anexo omite-se propositadamente a identificação dos mesmos de modo a salvaguardar o anonimato da embarcação.*

#### **ARRANJO GERAL “ContainerVessel”**



**PLANO GEOMÉTRICO “ContainerVessel”**



## **Anexo C**

### **– Berço “ContainerVessel” –**

*Nota: Nos desenhos apresentados neste anexo omite-se propositadamente a identificação dos mesmos de modo a salvaguardar o anonimato da embarcação.*

Berço do Nav

Enc./Obn

O Berço do Navio acima referenciado previsto para a Doca N° 21  
no dia 09-Ago-08 tem as seguintes características:

- BERÇO ESPECIAL (com quilha standard)
- BERÇO COM FIADAS PRÓPRIAS (com quilha standard)
- BERÇO COM PÉ DE CAVERNA (com quilha standard)
- BERÇO RAIZ (berço novo na doca com quilha NÃO standard)

Para o berço referido são movimentados 185 picadeiros na Doca.

Mirena 08-Ago-08

Elab.por: Tobias



Aprov.por: Cesar Calhancas





**BALLAST DRY DOCK CONDITION**

(CONDICÃO DE LASTRO EM DOCA SECA)

SHIP:

YARD

DOCK N° 21

MAXIMUM BALLAST IN TANKS WHEN DOCK COMPLETELY DRY:

TANK COMPART		BALLAST-TONS	OBS.
F. P. TK		20	RESIDUAIS
Nº1 DEEP TK WB	C	20	RESIDUAIS
Nº1 SIDE TK WB	P/S	50 + 50	RESIDUAIS
Nº2A DEEP TK WB	P/S	50 + 50	RESIDUAIS
Nº2B SIDE TK WB	P/S	50 + 50	RESIDUAIS
Nº2 DB TK WB	C	200	
Nº3 DB TK WB	C	50	RESIDUAIS
Nº3 DB TK WB	P/S	50 + 50	RESIDUAIS
Nº4 DB TK WB	P/S	100 + 100	
Nº4 SIDE TK HEELING	P/S	50 + 50	RESIDUAIS
Nº5 SIDE TK HEELING	P/S	50 + 50	RESIDUAIS
Nº5 DB TK WB	P/S	50 + 50	RESIDUAIS
A. P. TK	P/S	20 + 20	

MITRENA: 08-Ago-08 Elab.por: Tobias  Aprov. Por: Cesar Calhancas 