

CONSIDERAÇÕES SOBRE A CONCEPÇÃO E O PROJECTO DE DOCAS SECAS PARA NAVIOS DE GRANDE DIMENSÃO

José Manuel G. Cerejeira

PROMAN – Centro de Estudos e Projectos, S.A.

jose.cerejeira@proman.pt

SUMÁRIO

Num estaleiro naval as obras marítimas têm uma enorme preponderância, podendo atingir 65% do custo total do empreendimento, o que justifica a necessidade de sólida experiência na concepção dessas obras para se conseguir a sua melhor adaptação às condições físicas naturais, geralmente muito adversas. Nele se encontram, praticamente, todos os tipos de obras marítimas (docas secas, muros cais, pontes-cais, duques d’Alba, obras de protecção e abrigo, dragagens e aterros) e, normalmente, requerem complexas obras geotécnicas (tratamento e consolidação de solos, ensecadeiras e rebaixamentos do nível freático).

O custo da doca seca do estaleiro pode representar cerca de 35% do valor global do investimento e, em alguns casos onde as condições locais sejam muito desfavoráveis, pode mesmo ultrapassar em muito essa percentagem.

Assim, o lançamento de um empreendimento desta natureza constitui sempre forte desafio à criatividade do projectista na procura de soluções estruturais e construtivas que, satisfazendo exigentes requisitos operacionais, ambientais e de segurança, objectivem a optimização do custo e do prazo da construção.

No presente artigo apresentam-se algumas considerações sobre a concepção e o projecto de docas secas para navios de grande dimensão baseadas na experiência nacional de mais de 40 anos em grandes estaleiros navais portugueses e estrangeiros.

1. INTRODUÇÃO

No início dos anos 70 do século XX, alguns estaleiros de reparação naval desenvolveram-se na área do Mediterrâneo (Espanha, França, Itália e Malta) e na área do Golfo Árabe (Bahrain, Irão e Dubai) para beneficiar, principalmente, da vantagem da localização no regresso dos navios, em lastro, nas rotas que demandam a principal fonte de abastecimento mundial de petróleo. Iniciativas semelhantes foram realizadas em outras regiões, designadamente na América Latina (Equador, Venezuela e Brasil) e em África.

A engenharia portuguesa¹ esteve profundamente envolvida nos estudos de base, projectos e construção de alguns dos maiores estaleiros navais levados a efeito no mundo nesse período, com especial destaque para os da Lisnave, na Margueira, da Setenave, em Setúbal, dos Astilleros Españoles, em Cadiz, Espanha, do ASRY, Arab Shipbuilding and Repair Yard, no Bahrain e do JSRY, Jeddah Shipbuilding and Repair Yard, na Arábia Saudita.

Num estaleiro naval, construído de raiz, as obras marítimas têm uma enorme preponderância, podendo atingir 65% do custo total do empreendimento, o que justifica a necessidade de sólida experiência na concepção dessas obras para se conseguir a sua melhor adaptação às condições físicas naturais, geralmente muito adversas. Nele se encontram, praticamente, todos os tipos de obras marítimas (docas secas, muros cais, pontes-cais, duques d'Alba, obras de protecção e abrigo, dragagens e aterros) e, normalmente, requerem complexas obras geotécnicas (tratamento e consolidação de solos, ensecadeiras e rebaixamentos do nível freático). O custo da doca seca, sua principal infraestrutura, pode representar cerca de 35% do valor global do investimento e, em alguns casos onde as condições locais sejam muito desfavoráveis, pode mesmo ultrapassar em muito essa percentagem.

Assim, o lançamento de um empreendimento desta natureza constitui sempre um forte desafio à criatividade do projectista na procura de soluções estruturais e construtivas que, satisfazendo exigentes requisitos operacionais, ambientais e de segurança, proporcionem a optimização do custo e do prazo de construção.

Esta situação surgiu em Portugal quando a Lisnave, por força do encerramento do estaleiro da Margueira, em Almada, concentrou no início do ano 2001 a sua actividade no estaleiro da Mitrena, no estuário do rio Sado, em Setúbal. Os estudos do mercado mundial da reparação naval revelaram que a desactivação daquele grande estaleiro impunha a construção na Mitrena de mais duas ou três docas secas para navios tipo Panamax (80.000tpb). Foi atendendo, por um lado, a todas as exigências operacionais, ambientais e de segurança e, por outro lado, às condições geotécnicas locais, que foi concebido um sistema não convencional para a docagem de navios de grande dimensão, designado por *Hydrolift*. Este sistema é, em síntese, constituído por três docas secas com as lajes situadas próximo da superfície do terraplano e por uma eclusa frontal que tem a função de, em relação ao nível de maré exterior, elevar o navio a reparar e, inversamente, baixar o navio depois de reparado (Sardinha, J.M. e Cerejeira, J.M., 2001).

Mais recentemente, de 2005 até à data, em resultado da enorme expansão da prospecção petrolífera *offshore*, alguns grandes estaleiros navais estão a ser projectados e construídos de raiz no Brasil. Esses estaleiros requerem docas secas de grande dimensão para a construção de navios e de unidades de prospecção *offshore*. A engenharia portuguesa² teve a oportunidade de participar em algumas fases do projecto de alguns desses estaleiros, nomeadamente dos dois novos estaleiros que iniciaram a construção naval em 2010, o Estaleiro Atlântico Sul, no Suape, Pernambuco, e o Estaleiro Rio Grande, no Rio Grande do Sul.

A elaboração do projecto conceptual de um estaleiro naval e, particularmente, das suas principais infra-estruturas, as docas secas, constitui a fase mais importante dos estudos, e

¹ Através da PROFABRIL nas décadas de 1960 e 1970 e da PROMAN depois de 1980

² Através da PROMAN

requer a intervenção de experiente equipa pluridisciplinar de engenharia no apoio à operadora para se conseguir atingir os objectivos principais do empreendimento: minimizar o investimento inicial e os custos operacionais e maximizar a produtividade.

No presente artigo é enfatizada, especialmente, a importância do conhecimento das condições hidro-geológicas na concepção de docas secas para navios de grande dimensão. Isso é tão importante que, também, deverá ser devidamente considerado na fase prévia da escolha do local para o estaleiro. Na prática, uma vez escolhido o local, fica estabelecida a ordem de grandeza do valor do investimento a realizar.

2. PRINCIPAIS FACTORES BÁSICOS DA CONCEPÇÃO

Para que um estaleiro naval, como qualquer outro empreendimento industrial, possa competir num regime de concorrência é fundamental que se encontre inserido em todo um conjunto favorável de condições locais e de mercado, ser bem concebido tecnicamente, ser projectado com um racional arranjo geral das instalações e possuir um eficiente sistema de organização e gestão do trabalho, para minimizar os custos dos investimentos e se obter a máxima produtividade da mão de obra e dos meios de equipamento e materiais instalados.

No presente artigo cingimo-nos aos mais importantes aspectos da engenharia civil relacionados com a localização e a concepção do estaleiro naval, mas é certo que existem outros factores da maior importância que condicionam o sucesso de um empreendimento desta natureza. Citamos, pela sua preponderância, o arranjo geral do estaleiro, o dimensionamento e a disposição relativa das suas infra-estruturas e instalações, para o que converge todo um conjunto multidisciplinar de factores.

De entre as condições físicas naturais são de destacar, principalmente, as seguintes:

- as condições de acesso terrestre e marítimo;
- as condições hidrográficas e de protecção marítima;
- as condições geológicas e geotécnicas.

No presente artigo é dado especial enfoque à importância do conhecimento das condições geológicas e geotécnicas locais.

Com efeito, a natureza, a capacidade de carga e a permeabilidade das formações geológicas pode condicionar muito a concepção estrutural das principais infra-estruturas do estaleiro naval e os tipos de construção respectivos.

Conforme antes referido, o custo de uma doca seca pode representar cerca de 35% ou mais do valor global do investimento e, em alguns casos onde as condições locais sejam muito desfavoráveis, pode ultrapassar muito essa percentagem.

O valor dos trabalhos de investigação do local não representa, normalmente, mais do que 0,5% a 1% do custo das obras, o que não tem significado quando comparado com as vantagens técnicas e económicas que advém de uma concepção bem ajustada às condições locais.

Uma boa caracterização das formações geológicas que envolvem a doca seca, nomeadamente a respeito da situação, natureza, capacidade de carga e permeabilidade dessas formações, é requisito fundamental para o estudo da sua concepção. Se apresentam permeabilidade suficientemente baixa ($K < 10^{-5} \text{m/s}$), pode ser adoptada uma solução de “fundo drenado”, na qual se efectua a dissipação da subpressão hidrostática por meio de adequado sistema de drenagem.

A solução do tipo doca de “fundo drenado”, apoiada directamente no terreno, é consideravelmente mais económica quando comparada com as outras soluções, de “gravidade” ou de “fundo ancorado”, nas quais a reacção à subpressão hidrostática é garantida, respectivamente, pelo peso próprio das estruturas ou por ancoragens nos solos. A solução de “gravidade”, que antigamente era a usual, torna-se impraticável em doca seca de grande dimensão. O aumento da dimensão transversal faz desvanecer a contribuição do

peso próprio das paredes e do terreno adstrito para contrariar a subpressão, de modo que é inevitável ter que ancorar, pelo menos em parte, a laje de fundo da doca.

A redução do custo da construção de uma doca seca de grande dimensão e de “fundo drenado” apoiada directamente no terreno é muito significativa. Pode ser de 20 a 30% mais económica do que a de uma doca de “fundo ancorado”.

Apresentam-se no capítulo seguinte exemplos das soluções estruturais que foram adoptadas em docas de diversos estaleiros de construção e reparação naval, com a indicação dos factores que foram determinantes na escolha dessas soluções e dos custos da construção.

3. DOCAS SECAS CONVENCIONAIS

3.1 Docas com laje de fundo drenada e fundada directamente no terreno

a) Estaleiro de reparação naval da Lisnave, na Margueira, Almada

As figuras 1 e 2 mostram a vista geral e o *lay-out* deste estaleiro, cuja construção foi faseada de 1964 a 1971 e que foi fechado em 2000.



Figura 1 - Estaleiro da Margueira - Vista Geral



Figura 2 - Estaleiro da Margueira
Lay-out

Ao nível da fundação das paredes e das lajes de fundo das docas ocorrem areias argilosas do Mioceno, muito densas, cujo coeficiente de permeabilidade médio é de cerca de 10^{-7} m/s. Com estas características foi possível adoptar soluções estruturais muito económicas, com lajes de fundo drenadas apoiadas directamente no terreno conforme mostram as figuras 3 e 4.

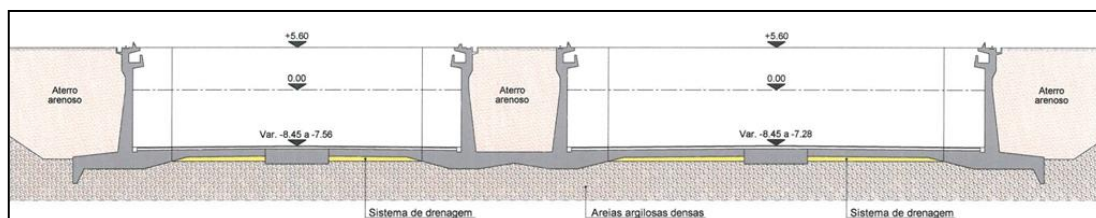


Figura 3 - Estaleiro da Margueira – Cortes-tipo das docas 11 (350mx54m) e 12 (266mx42m), construídas em 1964-1967

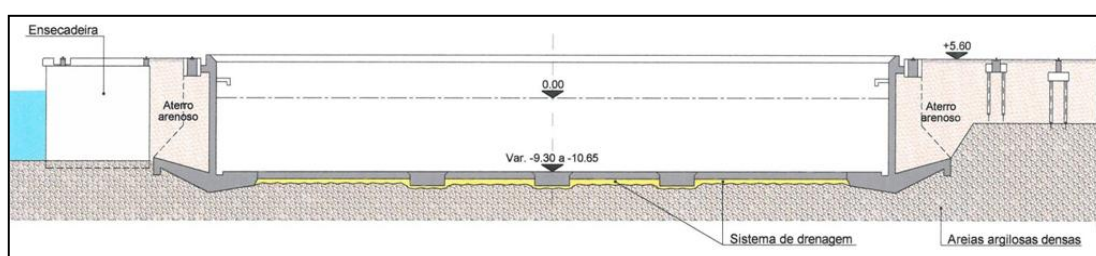


Figura 4 - Estaleiro da Margueira - Corte-tipo da doca 13 (520mx97m), construída em 1969-1971

b) Estaleiro de reparação naval dos Astilleros Españoles, Cádiz, Espanha

A figura 5 mostra a vista geral do estaleiro.

A pequena profundidade abaixo do nível de fundação das paredes e da laje de fundo da doca ocorre uma camada de areias argilosas densas do Plioceno, cujo coeficiente de permeabilidade médio é de cerca de 10^{-5} m/s.



Figura 5 - Estaleiro de Cádiz - Vista geral

Com estas características foi possível adoptar uma solução drenada, não apenas da laje de fundo, como também das paredes da doca, conforme mostra a figura 6.

As paredes dos muros cais adjacentes às paredes da doca são de parede moldada e funcionam como cortina estanque em todo o perímetro exterior (*cut off*).

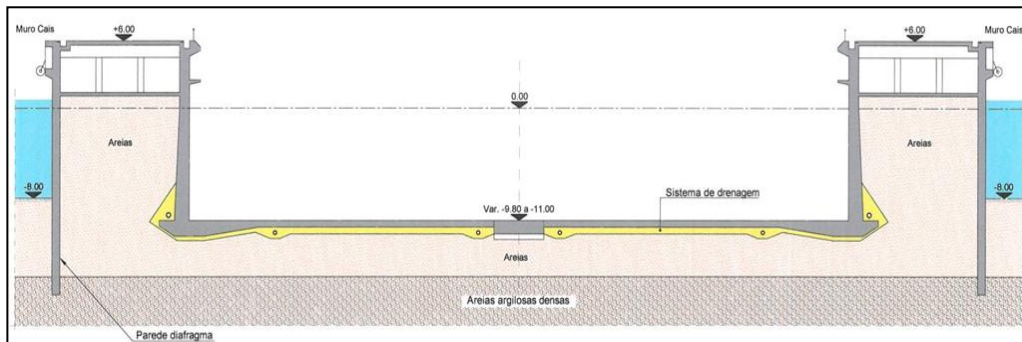


Figura 6 - Estaleiro de Cádiz - Corte-tipo da doca (380mx67m), construída em 1971-1974

O custo da doca seca foi de £ 12.500.000 e o prazo de construção foi de 24 meses.

c) Estaleiro do ASRY – Arab Shipbuilding and Repair Yard, Bahrain

A figura 7 mostra a vista geral do estaleiro.



Figura 7 - Estaleiro do ASRY - Bahrain

A pequena profundidade abaixo do nível de fundação das paredes e da laje de fundo da doca ocorre uma formação calcária com coeficiente de permeabilidade médio de cerca de $4 \times 10^{-6} \text{m/s}$. Com estas características foi possível adoptar uma solução com a laje de fundo drenada e fundada directamente no terreno natural compactado, construindo uma cortina estanque, de estacas prancha metálicas e em todo o perímetro (*cut off*), a fim de impedir o afluxo de água das camadas superiores arenosas muito permeáveis, conforme mostra a figura 8.

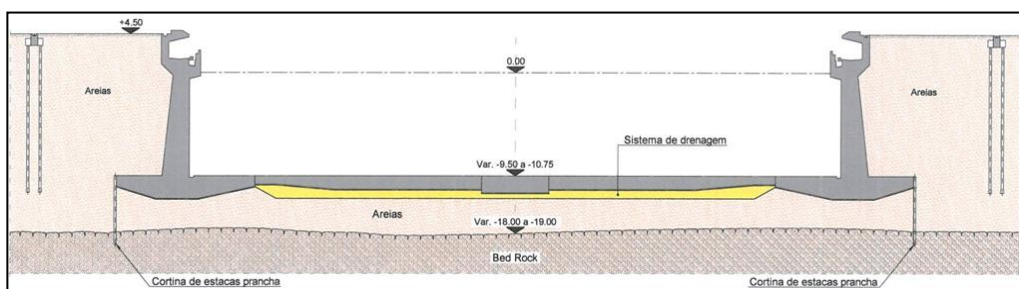


Figura 8 - Estaleiro de ASRY - Bahrain – Corte-tipo da doca (375mx75m), construída em 1974-1977

O custo da doca foi de US\$ 95.000.000, correspondente a 35% do custo global do estaleiro de US\$ 275.500.000, e o prazo da construção foi de 24 meses.

3.2 Docas com laje de fundo drenada e fundada sobre estacas

a) Estaleiro Atlântico Sul, Porto de Suape, PE, Brasil

A figura 9 mostra a vista geral do estaleiro, com dois pórticos de 1500t, cada, um dos quais a ser montado.



Figura 9 - Estaleiro Atlântico Sul, Suape

As principais características dos solos locais são as seguintes:

- argilas siltosas ao nível da base da laje de fundo;
- arenitos, a partir da cota -24m, com coeficiente de permeabilidade médio da ordem de 10^{-6} m/s.

A solução adoptada foi de laje de fundo drenada. Como a formação geológica com capacidade de carga necessária está muito profunda ela foi apoiada em estacas. As paredes da doca são em parede moldada em forma de T e funcionam como *cut off*.

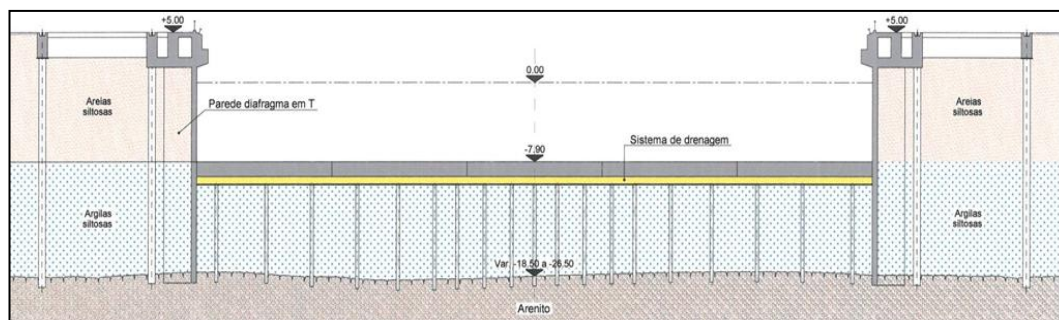


Figura 10 - Estaleiro Atlântico Sul, Suape. Corte-tipo da doca (401mx72m), construída em 2007-2010

O custo da doca foi de R\$ 520.000.000, correspondente a 35% do custo global do estaleiro de R\$ 1.465.000.000, e o prazo de construção foi de 32 meses.

3.3 Docas com laje de fundo ancorada

3.3.1 Estaleiro da Mitrena, Setúbal (1.ª fase)

A figura 11 mostra a vista geral do estaleiro na primeira fase (1972-2000). Esta primeira fase constituía uma expansão do estaleiro da Lisnave da Margueira e levado a efeito pela Setenave com vista à construção e reparação de navios de até 600.000 tpb.



Figura 11 - Estaleiro da Mitrena (1.ª fase) - Vista geral

No local existe uma formação aluvionar, com mais de 40m de espessura, de areias limpas de grão médio a grosso, cujo coeficiente de permeabilidade médio varia entre 2 a 3×10^{-3} m/s.

Com estas características dos solos foi necessário, ancorar as duas docas secas 21 e 22 com 6300 estacas de betão armado $\phi 520$ mm, para 85tf de tracção e 130tf de

compressão. As estacas têm comprimentos variáveis de 11 a 13m e o comprimento total é de 70.000m.

O custo das docas foi de US\$ 35.000.000, correspondente a 35% do custo global do estaleiro de US\$ 100.000.000, e o prazo da construção foi de 31 meses.

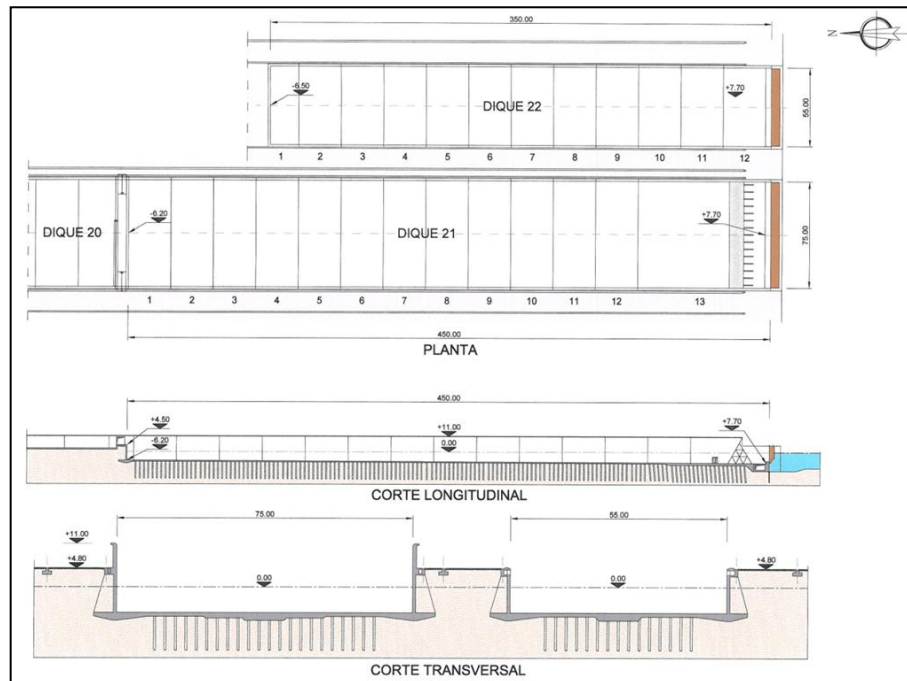


Figura 12 - Estaleiro da Mitrena (1.ª fase) - Cortes-tipo das docas 21 (450mx75m) e 22 (350mx55m)

3.3.2 Estaleiro Rio Grande, RS, Brasil

A figura 13 mostra a vista geral do ERG, inaugurado em Setembro de 2010.



Figura 13 - Estaleiro Rio Grande - Vista geral

Ao nível da base de fundação da laje de fundo ocorrem argilas silto-arenosas não consolidadas e a formação de areias muito densas, com capacidade de carga suficiente para suportar as cargas actuantes, encontra-se a elevada profundidade, -40 a -45m (figura 14).

Foi, por consequência, necessário utilizar cerca de 5000 estacas metálicas, num comprimento total de 120.000m.

O custo da doca foi de R\$ 500.000.000, cerca de 60% do custo total do estaleiro de R\$ 840.000.000 e o prazo da construção foi de 4 anos.

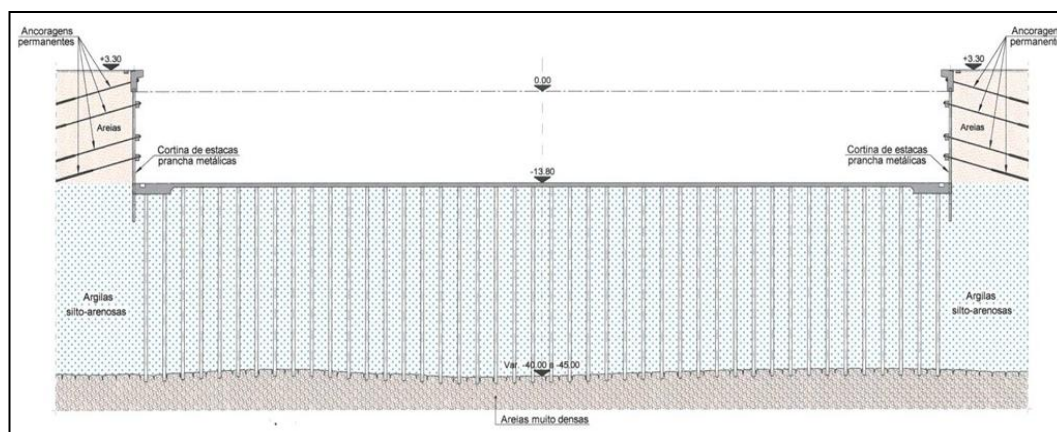


Figura 14 - Estaleiro Rio Grande - Corte-tipo da doca (350mx130m), concluída em 2010

4. TENDÊNCIAS ACTUAIS NA CONCEPÇÃO

4.1 A construção sobre o terraplano

A construção sobre o terraplano (“on ground shipbuilding”) de grandes navios e de unidades de prospecção *offshore* é, sem dúvida, uma tendência muito actual e muito interessante pois que não existem as restrições inerentes à construção confinada em doca convencional.

A figura 15 mostra algumas imagens da construção de navio e de secções de unidades FPSO – Floating, Production, Store and Offloading Systems construídas sobre o terraplano que são, posteriormente, sujeitas a operações delicadas de deslizamento e de transferência para barcaças especiais (figura 16) (*skid launching and load out*), com transporte para doca seca, onde é feita a montagem final da unidade.

Este processo, que exige meios de equipamento e tecnologia especiais, está sendo utilizado em produções em série, em estaleiros do extremo oriente (China e Coreia do Sul).



Figura 15 - Construção sobre o terrapleno



Figura 16 - Cargueiro semi-submersível

4.2 A solução plataforma

Na primeira fase do estaleiro da Mitrena adoptou-se uma importante inovação que consistiu no conjunto formado por uma doca de construção naval ao nível do terrapleno, a doca 20, e a doca 21 atrás referida (figura 12.). Esta doca, mais vocacionada para a reparação naval, também serve de “elevador hidráulico”, ou eclusa, para retirar os navios construídos na doca 20, designada por “plataforma” pelo autor da solução (Sardinha, J.M., 1967), conforme mostra a figura 17.

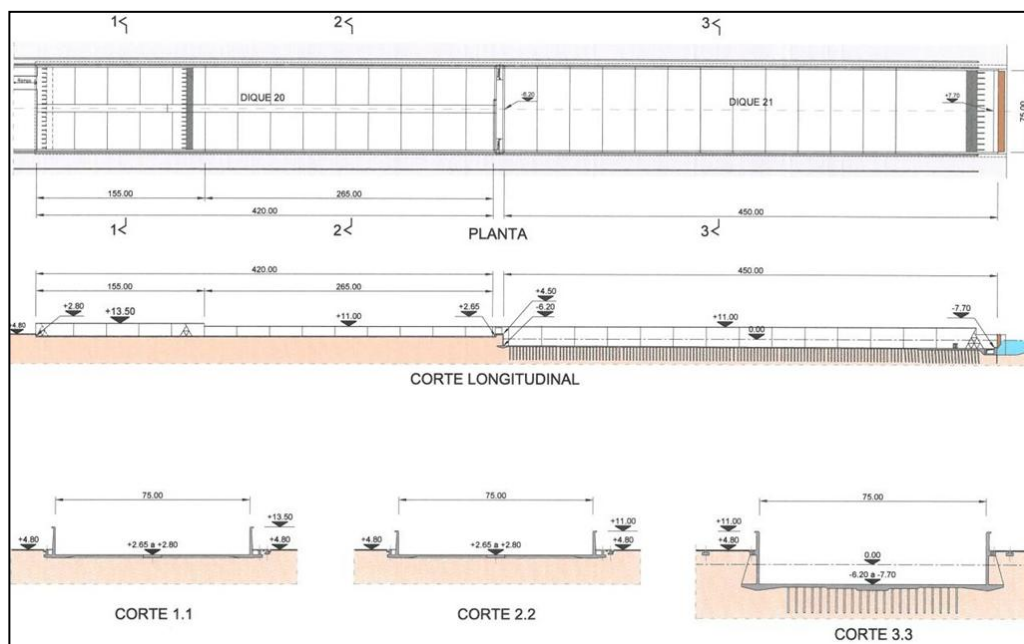


Figura 17 - Estaleiro da Mitrena - Solução plataforma (docas 20 e 21)

Para servir de elevador hidráulico é colocada uma comporta autoportante, com o pórtico de 500t, na frente da doca 21 (figura 18) e outra estruturalmente idêntica na parte de trás da plataforma 20.

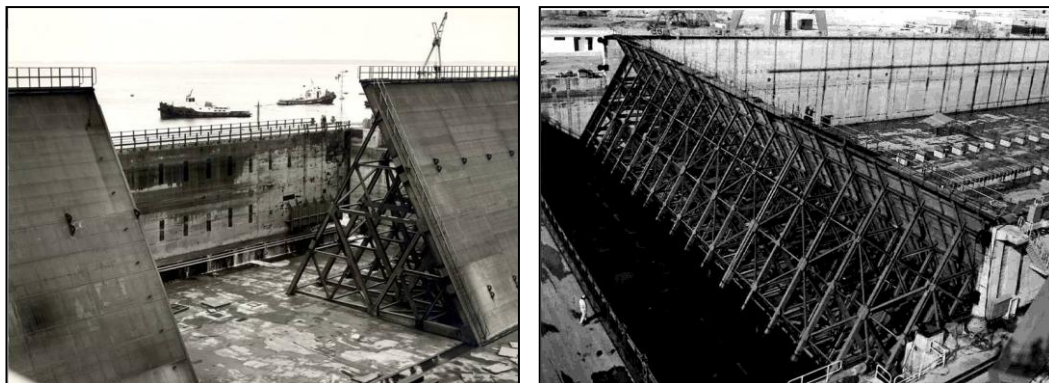


Figura 18 - Estaleiro da Mitrena - Comportas da entrada da doca 21

Esta “solução plataforma”, concebida há quase quatro décadas, para a construção “on ground” de grandes navios VLCC, revelou-se eficiente e muito económica.

A partir de 2001 a actividade do estaleiro da Mitrena, no quadro das directivas da EU, passou a dedicar-se unicamente à reparação naval e a doca 20, concebida como “plataforma” de construção naval, passou a ser utilizada, igualmente com eficiência, em trabalhos de reparação mais demorados.

Na fase de expansão deste estaleiro, realizada em 1998-2000, os mesmos projectistas que tinham estado na concepção da fase inicial, tiveram a oportunidade de conceber outro sistema inovador (figura 19), agora para docar navios para reparar, baseado na “solução plataforma”, que se designou por *hydrolift* (Sardinha, J.M. e Cerejeira, J.M., 2001).



Figura 19 - Estaleiro da Mitrena - Vista geral do *Hydrolift*

Este sistema, com 3 plataformas e uma eclusa frontal, comparado na fase do projecto conceptual com 2 docas convencionais, foi considerado vantajoso tendo em conta as seguintes principais razões:

- o custo total (€ 50.000.000) e o prazo da construção (24 meses) eram equivalentes nas duas soluções;
- a capacidade de docagem é 50% maior (nos últimos 3 anos foram docados 23 navios por ano e plataforma);
- a protecção ambiental é melhor porque facilita a segregação para tratamento das águas e resíduos sólidos.

A solução adoptada nesta expansão do estaleiro revelou-se muito bem adequada às condições locais:

- a formação aluvionar arenosa, com espessura superior a 40m, tem permeabilidade muito elevada ($k=3 \times 10^{-3} \text{m/s}$) de modo que interessava evitar soluções de docas de “fundo ancorado”, devido ao elevado custo das ancoragens;
- as lajes das plataformas são colocadas a uma cota tal que evite a subpressão hidrostática e que minimize a cota do topo das paredes elevadas;
- a eclusa frontal nunca fica vazia de modo que não necessita de ancoragem;
- os solos arenosos, após adensamento por vibroflutuação, são muito adequados para fundar directamente todas as estruturas.

A figura 20 mostra a planta geral e a figura 21 os cortes-tipo das plataformas e da eclusa.

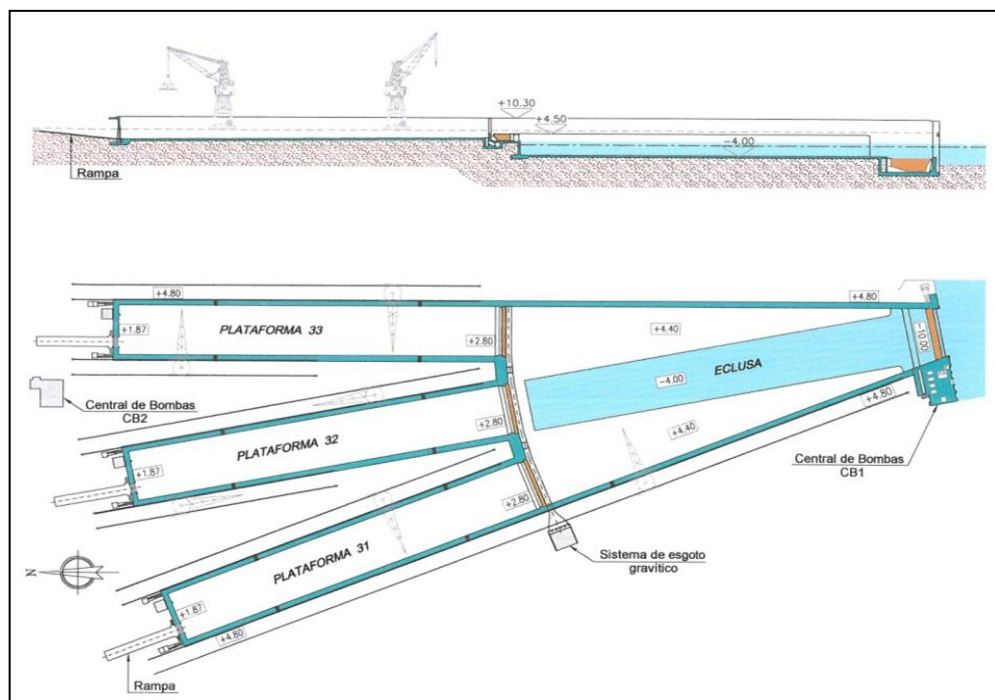


Figura 20 - Hydrolift - Planta geral

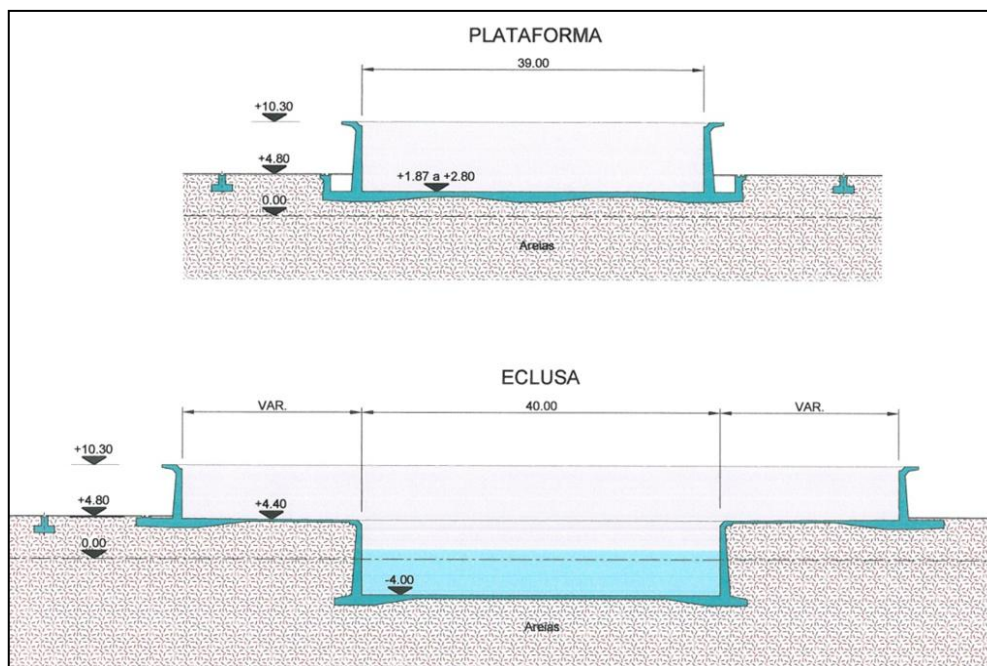


Figura 21 - Hydrolift - Cortes-tipo

5. ORDEM DE GRANDEZA DO CUSTO DE UMA DOCA SECA

O custo da construção por metro quadrado de área útil de uma doca seca é um parâmetro de base sempre importante na fase inicial da avaliação da viabilidade do investimento. Este parâmetro depende, principalmente, das dimensões da doca e das condições geotécnicas locais. Embora as situações não sejam inteiramente comparáveis, são apresentados no quadro seguinte os custos por metro quadrado de área útil das docas secas construídas recentemente e mencionadas no presente artigo.

	ERG – Estaleiro Rio Grande	EAS – Estaleiro Atlântico Sul	Estaleiro da Mitrena	
	Doca convencional	Doca convencional	Hydrolift com 3 plataformas	Duas docas convencionais ^(*)
Custo total, incluindo comportas (US\$)	312.000.000	328.000.000	120.000.000 (valor act.)	120.000.000 (valor act.)
Área útil das lajes das docas (m ²)	45.500	28.872	32.760	21.840
Custo por metro quadrado de laje (US\$)	6.857	11.360	3.700	5.495

(*) Alternativa rejeitada

Conforme referido, os valores não são inteiramente comparáveis pois há que pesar devidamente alguns aspectos, em especial os seguintes:

- a relação entre o comprimento e a largura da doca (2,7 no ERG, 5,6 no EAS e 7,2 na Mitrena);

- a profundidade da laje de fundo da doca (soleiras da entrada -12,0m no ERG, -6,0m no EAS e -4,0m na Mitrena);
- as condições geotécnicas locais, especialmente a profundidade da formação com capacidade de carga (significativamente mais desfavoráveis no ERG e no EAS);
- o apetrechamento mecânico principal (comportas, equipamentos de bombagem e sistema de alagem dos navios, etc.).

6. CONCLUSÕES

A concepção e o projecto de um estaleiro naval e, em especial, das suas principais infra-estruturas, as docas secas, constituem sempre um grande desafio à criatividade dos engenheiros projectistas na procura de soluções que, satisfazendo os normalmente muito exigentes requisitos operacionais, de segurança e ambientais, proporcionem a optimização da produção, do custo e do prazo de construção.

Observa-se actualmente a tendência para se construírem os navios e as unidades *offshore* sobre o terraplano para evitar os constrangimentos da construção confinada em doca seca convencional. Em alguns casos, esta serve apenas para a montagem final das partes pré-fabricadas "on gound".

É interessante registar:

- que a engenharia nacional concebeu há quase quatro décadas uma solução, a "solução plataforma", para esse tipo de construção de grandes navios e que se tem revelado, ao longo do tempo, eficiente e económica.
- que o mesmo princípio de operar sobre o terreno presidiu recentemente à concepção do *hydrolift* para a reparação naval de grandes navios e que, igualmente, se tem revelado eficiente e económica.

Dependendo dos requisitos operacionais e das condições físicas de cada local, julga-se que este tipo de solução merece ser posto, a nível conceptual, em comparação técnica e económica com as várias outras soluções possíveis, para a construção ou reparação naval, sejam sobre o terreno ou em docas convencionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Sardinha, J. M. (1967)

“A Solução Plataforma como alternativa aos Diques de Construção Naval”, 6.º Congresso da SOBENA, Rio de Janeiro, 1967.

Sardinha, J. M. e Cerejeira, J. M. (2001)

“*Hydrolift* – Um sistema não convencional para a docagem de navios”, 2.ªs Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, Sines, Outubro de 2001.