

Adução Mostaganem -Arzew- Oran, Argélia. Reservatórios de Oran e Mostaganem

Carlos Oliveira¹

**Filipe Telmo
Jeremias²**

**António. Pereira
da Silva³**

Cristina Costa¹

Acácio Santo¹

RESUMO

Os reservatórios de Oran e Mostaganem inserem-se no Sistema de Adução Mostaganem-Arzew-Oran, Argélia.

O reservatório de Mostaganem tem uma capacidade de armazenamento de 120 000 m³ distribuída por duas células iguais, com dimensões em planta de 102×102 m². No reservatório de Oran, a capacidade de armazenamento de 300 000 m³ foi distribuída por quatro células com 205×68,5 m² cada uma. Em ambos os reservatórios a altura de água é de 6,9 m.

Nesta comunicação são apresentados os aspectos mais relevantes da solução estrutural adoptada para os reservatórios, que foi desenvolvida tendo em conta os seguintes aspectos fundamentais:

- cotas altimétricas condicionadas pelo funcionamento hidráulico do sistema de adução;
- dimensões em planta que condicionaram a implantação face à topografia;
- capacidade resistente do terreno de fundação face as cargas impostas pela estrutura;
- facilidade e optimização do tempo de execução;
- sismicidade dos locais de implantação.

Na solução estrutural adoptada os reservatórios são semi-enterrados com soleira e espaldas inclinadas (1.5(H):1(V)) assentes sobre o terreno. A cobertura é formada por uma laje maciça assente em vigas longitudinais apoiadas em pilares rectangulares, dispostos numa malha 5,90×5,90 m². As fundações dos pilares são directas sobre sapatas, com 1,70×1,70 m².

PALAVRAS-CHAVE

Reservatório, cobertura, pré-fabricação, optimização da execução.

1 Serviço de Estruturas. COBA, Consultores de Engenharia e Ambiente, Lisboa

2 Serviço de Geotecnia. COBA, Consultores de Engenharia e Ambiente, Lisboa

3 Serviço de Recursos Naturais e Equipamento. COBA, Consultores de Engenharia e Ambiente, Lisboa

1. INTRODUÇÃO

O dimensionamento dos reservatórios de Oran e Mostaganem foi desenvolvido no âmbito do Projecto de Execução do Sistema de Adução Mostaganem-Arzew-Oran designado por Lot 3.1 que está inserido no Projecto mais vasto do Sistema Cheliff-Sidi Hadjel de fornecimento de água da conduta Mostaganem-Arzew-Oran, que inclui ainda duas barragens (Lot 1 e Lot 2) e uma estação de tratamento de água (Lot 3.2). O cliente final é a ANBP- Agence Nationale des Barrages et Transferts, Argélia, para a qual a COBA desenvolveu o APD-Avant Projet Detaille (Projecto Base) de todo o sistema (os quatro lotes, atrás referidos) [1]

O Sistema de Adução Mostaganem-Arzew-Oran com cerca de 89 km é constituído por condutas em betão armado DN1800 a DN2200, com classes de pressão entre 2 e 26 bar. Este sistema destina-se ao abastecimento de água potável aos municípios de Mostaganem e Oran na Argélia, com uma previsão de consumo de 155,0 hm³/ano. Oran é a segunda maior cidade na Argélia com uma população que ronda 1 milhão de habitantes.

O lot 3.1 está em construção, obra a cargo de um consórcio Luso-argelino liderado pela TEIXEIRA DUARTE, S.A.

2. GEOLOGIA E GEOTÉCNIA

A conduta de adução está implantada ao longo do litoral ocidental argelino, entre Mostaganem-Oran, que corresponde morfologicamente a uma zona de relevos moderados com extensas áreas aplanadas. Em termos litoestratigráficos ocorrem no corredor de implantação da infraestrutura formações sedimentares detríticas e carbonatadas de idades holocénica a miocénica. Em termos de distribuição espacial predominam os depósitos quaternários constituídos por calcarenitos, arenitos calcários e arenitos, de cores esbranquiçada, castanha clara, amarelada e avermelhada. Ocorrem ainda, por vezes, intercalados nos terrenos anteriormente referidos níveis de calcários lacustres compactos e, habitualmente, a pequena profundidade níveis de areias mais ou menos argilosas.

Para o projecto de execução foram planeadas e efectuadas diversas campanhas de trabalhos de prospecção que compreenderam a abertura de poços e a realização de sondagens e de ensaios in situ—SPT, PDL e ensaios de placa. Estes trabalhos visaram complementar a informação geotécnica prévia obtida nos trabalhos de reconhecimento efectuados no âmbito dos estudos do ADP. Com base nos trabalhos de prospecção realizados não foi detectado o nível de água, não sendo expectável que possa ocorrer a profundidades que interfira nas condições de construção e de serviço da obra. O reconhecimento e cartografia de pormenor dos terrenos ocorrentes ao longo das superfícies de escavação executadas para a implantação de ambos os reservatórios permitiu ajustar e aferir as condições geológicas antecipadas às reais condições encontradas, possibilitando, assim, a optimização das soluções de fundação adoptadas.

A ocorrência frequente de níveis de calcário compactos, em especial, na área de implantação do reservatório de Oran, determinou a necessidade de utilizar no desmonte de grandes volumes do maciço de meios de escavação relativamente possantes (caterpillar D9 e martelo demolidor).

As condições geológico-geotécnicas reconhecidas permitiram validar a solução prevista no Projecto Base, que consistia na adopção para os reservatórios de fundações directas, designadamente de sapatas individuais para os pilares de suporte da cobertura. De acordo com o dimensionamento realizado as tensões a transmitir ao terreno são da ordem de 260 kPa para uma combinação estática e de 380 kPa para a acção dinâmica (peso das camadas de terra sobre a laje de cobertura e das correspondentes sobrecargas, considerando o eventual trânsito de viaturas) preconizando-se soluções de melhoramento das condições de fundação para as áreas em que à cota de fundação de projecto o terreno não exibia a necessária capacidade de suporte.

3. CONCEPÇÃO DA SOLUÇÃO

A topografia relativamente plana da área do projecto foi favorável na escolha dos locais para implantação dos reservatórios. No entanto devido às suas grandes dimensões em planta as células do reservatório de Oran tiveram de ser ajustados ao relevo da encosta de declive suave onde foram implantadas.

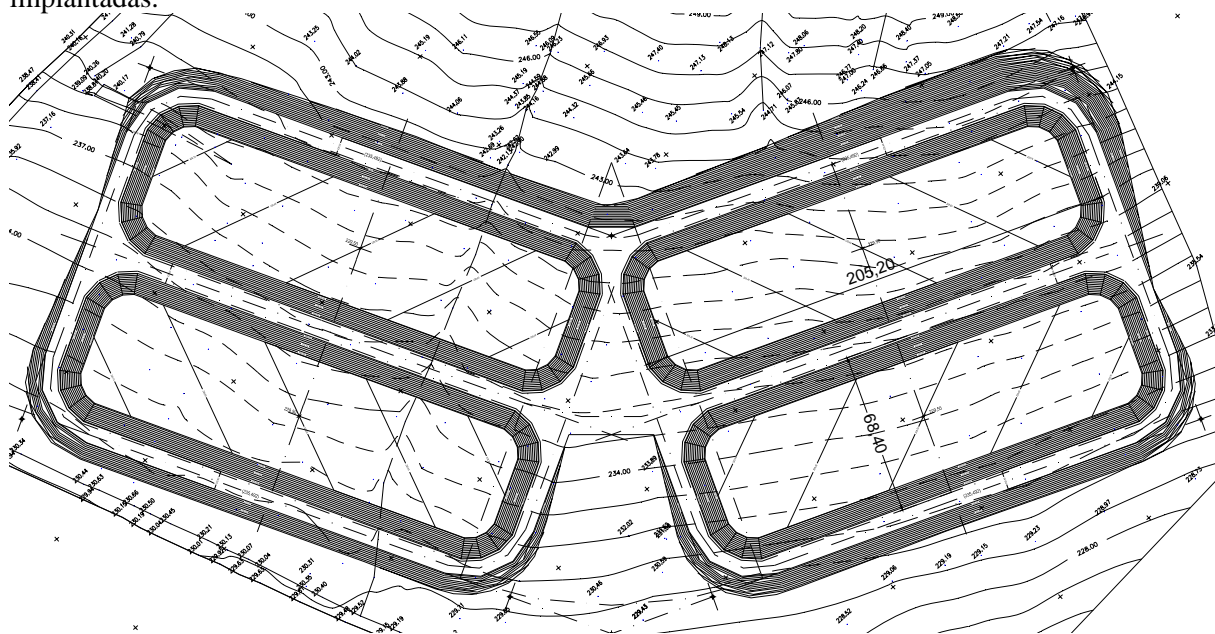


Figura 1. Implantação do reservatório de Oran .

Do ponto de vista estrutural, os reservatórios são semi-enterrados, em escavação, com soleira e espaldas inclinadas (1.5(H):1(V)) assentes sobre o terreno. A cobertura é formada por uma laje maciça assente em vigas longitudinais apoiadas em pilares rectangulares, dispostos numa malha regular.

Na perspectiva da optimização do processo construtivo optou-se por uma solução estrutural idêntica para aos dois reservatórios, com a malha de 5,90x5,90 m². Deste modo em cada uma das quadro células do Reservatório de Oran foram considerados 36 alinhamentos transversais que correspondem aos alinhamentos das vigas e 12 alinhamentos longitudinais. No reservatório de Mostaganem foram considerados 18 alinhamentos em ambas as direcções em cada uma das duas células. A solução teve em vista a possibilidade de construção com elevadíssimo numero de repetições.

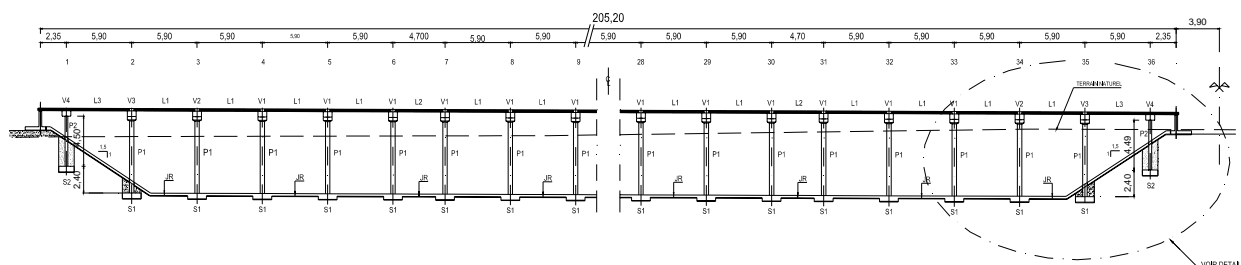


Figura 2. Corte transversal tipo do reservatório de Oran .

A concepção da solução com espaldas inclinadas foi também pensada para a optimização do processo construtivo, e economicamente mais favorável, face a uma alternativa de muros de contenção com 7 m de altura.

Adução Mostaganem -Arzew- Oran, Argélia
Reservatórios de Oran e Mostaganem

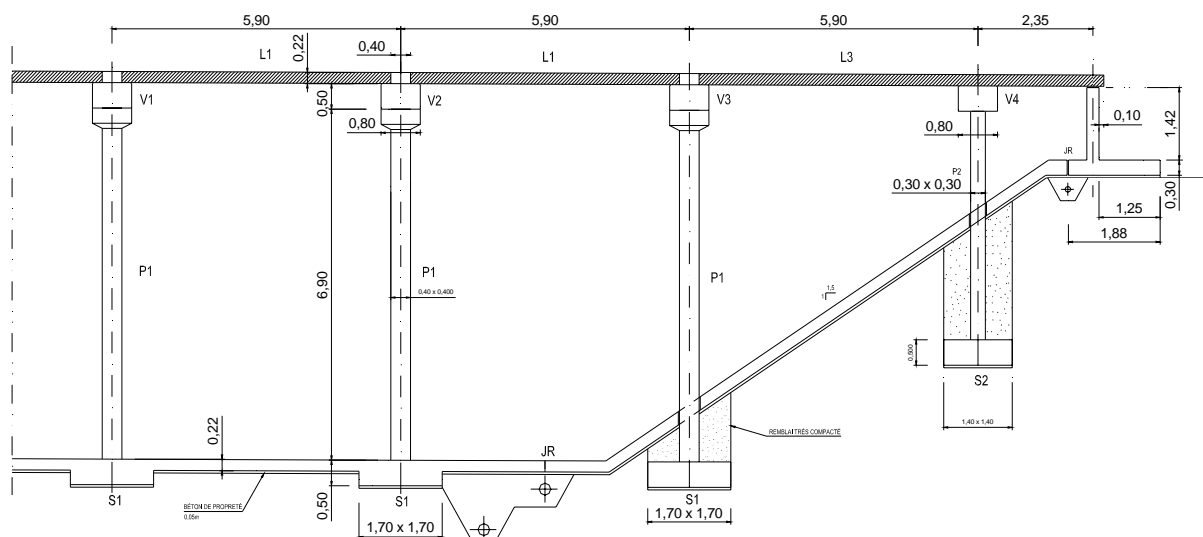


Figura 3. Detalhe do reservatório .

Nas fundações dos pilares adoptaram-se sapatas, com $1,70 \times 1,70 \text{ m}^2$. Para a laje de soleira e espaldas considerou-se uma espessura de 0,22 m. A secção adoptada para os pilares foi de $0,40 \times 0,40 \text{ m}^2$. Estes foram dotados de capitéis para o apoio provisório das vigas pré-fabricadas. Todos estes elementos estruturais foram construídos com betão moldado no local. Adoptaram-se juntas de dilatação afastadas de 12 m na laje de soleira dos reservatórios.

A solução adoptada para a cobertura recorreu à pré-fabricação da maioria das vigas e à pré-fabricação parcial das lajes (sistema do tipo “poutre-dalle”).

As vigas, com uma secção de $0,50 \times 0,80 \text{ m}^2$ foram pré-fabricadas com um comprimento de 5,20 m totalizando um peso de 5,2 ton. por vigas, o permitiu o transporte e colocação sobre os capitéis dos pilares com meios de elevação relativamente ligeiros.

A secção considerada para as lajes pré-fabricadas foi a que consta na Fig. 4, para um vão de 5,5 m. A espessura final da laje 0,22 m, corresponde à altura da nervura central das lajes.

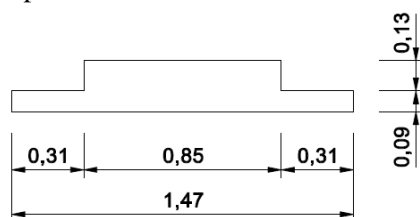


Figura 4. Secção da laje pré-fabricada.

Na fase seguinte serão betonadas as nervuras laterais, entre lajes que permitirá a solidarização destas. Ainda nesta fase serão betonadas as nervuras transversais às anteriores, de fecho das lajes pré-fabricadas sobre as vigas.

A estrutura com pilares relativamente esbeltos permitiu a sua optimização face a acção sísmica, originando no entanto, para esta acção, deslocamentos horizontais elevados ao nível da cobertura, incompatível com uma solução tradicional com juntas de dilatação. A solução encontrada para a compatibilização destes deslocamentos foi a de adoptar coberturas contínuas sem juntas.

As coberturas foram ainda dimensionadas com os vão da periferia a funcionar em consola e desligadas dos do murete de contenção que existe em toda a periferia das células.

Com o objectivo de minimizar os efeitos térmicos que seriam penalizadores numa laje de grandes dimensões e sem juntas, considerou-se um isolamento térmico em poliestireno e uma camada de terras vegetal com cerca de 40 cm de espessura.

Abaixo da laje de soleira foi dimensionada uma rede de drenagem, dividida por sectores, com o objectivo de recolher possíveis águas de níveis fráticos e sobretudo detectar e recolher a água de fugas dos reservatórios.

4. FASEAMENTO CONSTRUTIVO

4.1 Fundações e pilares

Após a fase de escavações procedeu-se à execução das sapatas de fundação dos pilares e da laje de soleira. O passo seguinte referiu-se à betonagem dos pilares seguido da execução dos capitéis de apoio das vigas. Todos estes elementos estruturais foram betonados in-situ.

4.2 Cobertura

Como já referido, para a execução da cobertura, recorreu-se à pré-fabricação.

Numa primeira fase o projecto previu unicamente a pré-fabricação da laje de cobertura, as vigas seriam betonadas “in-situ”. Conclui-se mais tarde ser também vantajoso, do ponto de vista construtivo a pré-fabricação das vigas. No entanto esta solução apresentou alguns inconvenientes como foi a da resolução da ligação entre armaduras da vigas nos nós sobre os pilares.

A construção da cobertura implicou as seguintes fases:

Fase 1 – Aplicação dos troços de vigas pré-fabricadas em estaleiro com os vãos de 5,20 m, sobre os capitéis construídos para este efeito;

Fase 2 – Refechamento, em 2ª fase, dos nós da vigas, sobre os capiteis;

Fase 3 – Aplicação das laje pré-fabricadas da cobertura sobre as vigas;

Fase 4 – Refechamento das nervuras quer transversais quer longitudinais para solidarização final da laje. Esta fase da betonagem é executada após a colocação das armaduras suplementares na face superior das vigas e das lajes

Na Fig. 5 apresenta-se a execução da cobertura na fase 4, de colocação dos elementos de laje, vendo-se em primeiro plano um pilar e o respectivo capitel onde os elementos das vigas apoiam.



Figura 5. Cobertura de célula do reservatório de Oran, em fase de colocação dos elementos de laje pré-fabricados (fase 3).

Cada um destas fase construtivas corresponderam a também a fase de cálculo distintas.

5. METODOLOGIA DE CÁLCULO

Face à importância e dimensões das estruturas os esforços gerais nas secções dos pilares e vigas foram avaliados recorrendo ao programa de cálculo automático SAP2000, com elementos de barras e elementos finitos, para a cobertura.

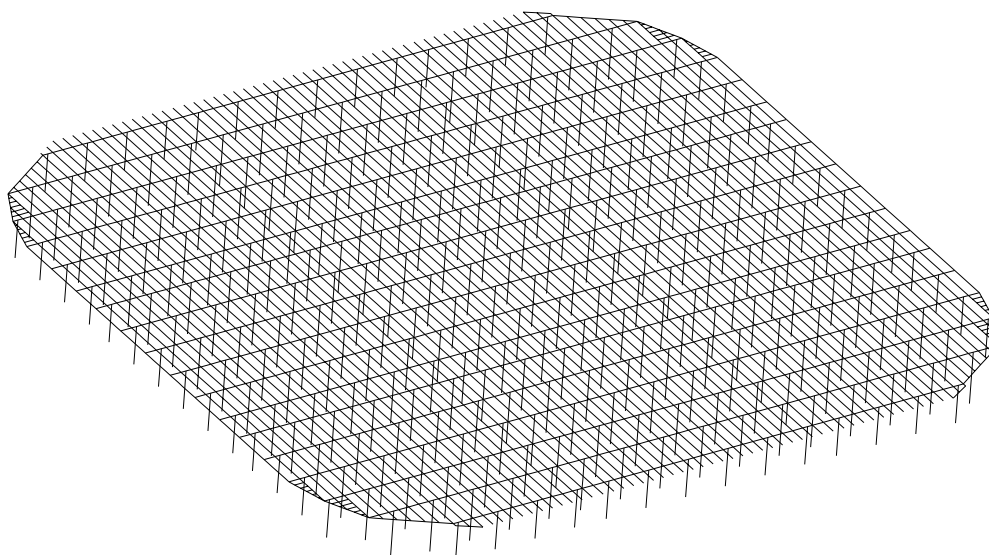


Figura 6. Modelo de cálculo do reservatório de Mostaganem

Foram ainda considerados outros modelos de cálculo parciais, adaptados às diversas fases construtivas ou para modelar zonas particulares das estruturas como seja os cantos dos reservatórios, as entradas de acesso ao interior ou as escadas. Estas partes particulares da estrutura, devido a terem uma geometria menos regular, foram previstas serem construídas com betonagens “in-situ”.

A acção sísmica foi considerada através do método dinâmico com um espectro de resposta conforme a regulamentação argelina sobre esta matéria.

5.1 Sismicidade

O território argelino caracteriza-se por ter uma faixa costeira de sismicidade elevada a moderada, que diminui para o interior do continente. A sul do maciço montanhoso do Atlas a região desértica tem sismicidade nula.

De acordo com o regulamento sísmico argelino, RPA99 [3] a região em estudo fica situada na zona sísmica IIa que corresponde a um coeficiente sísmico de aceleração $A=0,25$. Este coeficiente de aceleração depende não só da localização geográfica da obra mas também do grau de importância da estrutura. A partir do coeficiente $A=0,25$ determinou-se coeficiente sísmico que deverá multiplicar pelas valor das cargas permanentes mais a parcela das sobrecargas, para determinar o valor característico das forças a aplicar na direcção do sismo. O valor calculado para este coeficiente foi de 0,054, ou seja:

$$F_E = 0,054 \cdot (G + \psi \cdot Q) \quad (1)$$

Refira-se que o valor regulamentar, mais elevado, para o coeficiente A é de 0,40.

O mesmo regulamento argelino estabelece uma combinação sísmica para a verificação aos ELU de pilares em estruturas dada pela seguinte expressão:

$$G + Q + 1,2 \cdot E \quad (2)$$

Para os outros elementos estruturais deve utilizar-se uma combinação com o valor característico da acção sísmica.

5.2 Fases de cálculo

O faseamento construtivo, referidos em 4.2, foi reflectido no dimensionamento da cobertura dos reservatórios. Foi ainda considerada a fase de exploração com todas as cargas e sobrecargas a actuarem.

Deste modo para efeitos de calculo foram tomadas as fases abaixo descriminadas.

-Fase 1:

Esta fase corresponde à colocação dos elementos pré-fabricados das vigas, e em que o apoio entre os pilares ainda não está betonado. Nesta situação a única acção a considerar é o peso próprio das vigas com estas funcionam simplesmente apoiadas. Veio verificar-se que esta fase construtiva não foi determinante para a verificação da estabilidade das vigas.

- Fase 2:

A fase 2 de cálculo corresponde às fase de construção denominadas 2 e 3, em que se faz o refechamento das vigas e se colocam os elementos pré-fabricados das lajes. Nesta situação as acções consideradas foram os pesos próprios do materiais (vigas e lajes) e acção térmica sobre as vigas.

Verificou-se que condições de amarração da armadura superior, dos elementos pré-fabricados das vigas, na zona dos nós sobre os pilares, não eram regulamentares, não havendo garantias na resistência aos momentos negativos, pelo que a verificação aos ELU para esta fase, foi efectuada considerando as vigas com vãos como simplesmente apoiados.

O elementos de laje pré-fabricados foram também dimensionados, nesta fase com um modelo de viga simplesmente apoiado.

- Fase 3:

A fase de cálculo corresponde à situação em que os betões de 2ª fase de refechamento das lajes já estão executados. As acções consideradas são as correspondes à fase anterior mais uma sobrecarga adicional referente ao equipamento necessárias para a execução da cobertura.

- Fase de exploração:

No cálculo correspondente à fase de exploração consideraram-se o peso do aterro sobre a laje, os efeitos térmicos e a acção do sismo.

5.3 Resultados

As combinações com a acção sísmica foram determinantes na verificação da segurança dos pilares. A secção considerada 0,40x0,40 m² face à altura de 7,0 m permitiu ter uns pilares relativamente esbeltos e com taxas de armaduras, da ordem dos 4,5%. Deste modo tentou-se ainda limitar os esforços de flexão a transmitir à fundação.

A acção sísmica originou deslocamentos horizontais da ordem de 10 cm, o que dificultaria a adopção de juntas de dilatação nas coberturas, como previsto inicialmente, para minimizar os efeitos das dilatações térmicas.

A solução encontrada foi a de dimensionar a cobertura sem juntas e considerando o efeito da acção térmica, a actuar respectivamente, na fase construtiva sobre as vigas e na fase final a actuar sobre a cobertura. De modo a minimizar os efeitos da temperatura foi adoptado um isolamento térmico em poliestireno, que permitirá, também atenuar o efeito da temperatura na água no interior dos reservatórios. Adicionalmente foi considerada uma camada de terra vegetal com cerca de 40 cm de espessura, sobre a cobertura que veio de encontro as indicações do Dono de Obra para a integração paisagística, e que permitirá também contribuir para a minimização dos efeitos térmicos.

A solução de pré-fabricação das vigas conduziu a um aumento da taxa de armaduras nestes elementos (em cerca de 30%), em relação à solução de viga betonada “in-situ”, que face aos benefícios inerentes ao aumento de rendimento na execução, não suficiente para a sua rejeição.

A solução estrutural regular e com recurso à pré-fabricação com elevados numero de repetições levou a uma optimização dos processos construtivos. Com esta metodologia o caminho crítico da obra passava pelo execução das peças pré-fabricadas, que começaram a ser executadas em estaleiro logo numa fase inicial da obra. Refira-se, como relevante, a previsão do número de elementos pré-fabricados, para cada um dos reservatórios.

-Reservatório de Mostaganem:

Elemento de viga – 396 unidades;
Elementos de laje – 2012 unidades;

-Reservatório de Oran:

Elemento de viga – 1176 unidades;
Elementos de laje – 5832 unidades.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa Teixeira Duarte, S.A., a autorização concedida para a publicação do trabalho.

REFERÊNCIAS

[1] COBA. SA - Systeme Cheliff-Sidi Hadjel et alimentation en eau du couloir Mostaganem-Arzew-Oran. Avant Projet Detaille. Lot 3-Adduction au couloir Mostaganem-Arzew-Oran. Setembro 1997