

Sbo

Sebentas d'Obra Ciclo de construção, do projeto à obra

#16, outubro 2018

Reservatório dos Congregados

Porto

José Padilha, Sara Cunha
Joaquim Poças Martins



Editor

Cadernos d'Obra

Diretor

Vitor Abrantes

Coordenação Editorial

Bárbara Rangel

Comissão Editorial

Abel Henriques

Ana Sofia Guimarães

António Silva Cardoso

Joaquim Poças Martins (presidente da OERN)

Paulo Conceição

Rui Faria

Conceção Gráfica

Incomun

Textos

José Padilha

Sara Cunha

Joaquim Poças Martins

Créditos Fotográficos

Águas do Porto

Joaquim Poças Martins, p. 23

Impressão

Rainho e Neves

2.ª edição, setembro 2019

Depósito legal: 336727/11

ISSN 2184-6065

Tiragem: 500 exemplares

Preço por número

4,50 euros

Publicação periódica

n.º 16. Ano IV, outubro 2018

Propriedade

FEUP/DEC

R. Dr. Roberto Frias s/n

4200-465 Porto

Portugal

Tel./fax: + 351 22 508 19 40

cdo@fe.up.pt

Iniciativa e produção

Departamento de Engenharia Civil da FEUP

Com o apoio de

Universidade do Porto

Câmara Municipal do Porto

Ordem dos Engenheiros Região Norte

É proibida a reprodução sem a autorização escrita dos autores e do editor.

A exatidão da informação, os copyrights das imagens, as fontes das notas de rodapé, bem como a bibliografia, são da responsabilidade dos autores dos artigos, razão pela qual a direção da revista não pode assumir nenhum tipo de responsabilidade em caso de erro ou omissão.

A iniciativa “Fora de Portas engenharia civil à mostra”, resulta da colaboração entre o Departamento de Engenharia Civil da FEUP, a Mostra da UP e o Município do Porto. Realiza-se no contexto da iniciativa Porto Innovation Hub (PIH), que pretende envolver os cidadãos e visitantes da Invicta na descoberta da inovação que transformou a cidade nos últimos séculos. Através da visita a locais históricos e infraestruturas emblemáticas do Porto, procura-se demonstrar o impacto direto da inovação na melhoria da qualidade de vida dos cidadãos. O PIH é uma iniciativa do Município do Porto que pretende ser uma plataforma para o fortalecimento do ecossistema de inovação e empreendedorismo da cidade, contribuindo desta forma para que o Porto se possa destacar no panorama nacional e internacional como uma cidade inovadora e criativa. O PIH propõe a criação de um espaço de experimentação e laboratório vivo, potenciando cenários e oportunidades de desenvolver novos produtos, métodos ou conceitos à escala urbana, contribuindo, assim, para a cultura de transformação para a inovação.

Editorial. As Águas do Porto dão-nos agora a conhecer um dos depósitos de abastecimento mais importantes da nossa cidade, o Depósito dos Congregados que alimenta a zona alta da cidade. Além de ser uma infraestrutura determinante na rede de abastecimento de água, é também um marco urbano na cidade marcando, sobre esta elegante estrutura de betão, um dos pontos mais altos da cidade, assinalado por um marco geodésico colocado na cobertura do seu reservatório vertical. Entre 2007 e 2012, foi alvo de obras de reabilitação enquadrado numa intervenção na rede geral, o Porto Gravítico, dirigida pelo Prof. Joaquim Poças Martins, aquando da sua direção nas Águas do Porto. Esta estratégia inédita, consistiu na distribuição de água por gravidade anulando quase todas as estações elevatórias, o que tem permitido uma redução muito considerável de consumo energético na distribuição de água da cidade.

Na primeira metade do séc. XX, decorrente do aumento de população na zona alta da cidade foi necessário construir um conjunto de torres de pressão que se tornaram referências para cada bairro. No entanto, foi apenas na primeira década do séc. XXI que se começou a dar a devida atenção a estes “referencias” urbanas no âmbito da recuperação patrimonial das infraestruturas hidráulicas a cargo das Águas do Porto. Nesta edição, o Eng.º José Padilha e a Eng.ª Sara Cunha contam-nos a história deste depósito explicando o seu funcionamento inicial e como se ajustou com as obras recentes ao Porto Gravítico e o Prof. Joaquim Poças Martins explica-nos os princípios do Porto Gravítico e como a água se move silenciosamente pela subsolo da nossa cidade.

Para esta edição, a ajuda do Arq.º Mário Mesquita, responsável pelo acervo das Águas do Porto, foi determinante para conseguir reunir a documentação gráfica desta obra, a quem agradecemos o empenho e disponibilidade.

Bárbara Rangel
Porto, 4 outubro 2018

Reservatório dos Congregados

Fotografia da torre no Monte dos Congregados à data da construção.



1. Contextualização histórica

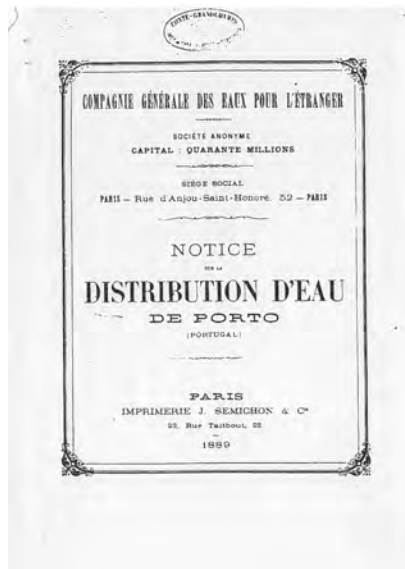
O antigo reservatório dos Congregados foi construído no âmbito do abastecimento de água à zona alta da cidade do Porto, no final da década de 1880. Este encontrava-se situado no Monte dos Congregados, o ponto mais alto da cidade, à cota de 158 metros.

Tratava-se de um reservatório de alvenaria, semi-enterrado, constituído por dois compartimentos iguais e independentes, com uma capacidade total de 3935 m³

e uma cota de água de 160,80 metros.

A alimentação deste reservatório fazia-se por meio de bombas a vapor, que aspiravam no reservatório de Santo Isidro, sendo a distância em planta entre estes dois de 200 metros e a diferença entre os dois planos de água de 36 metros.

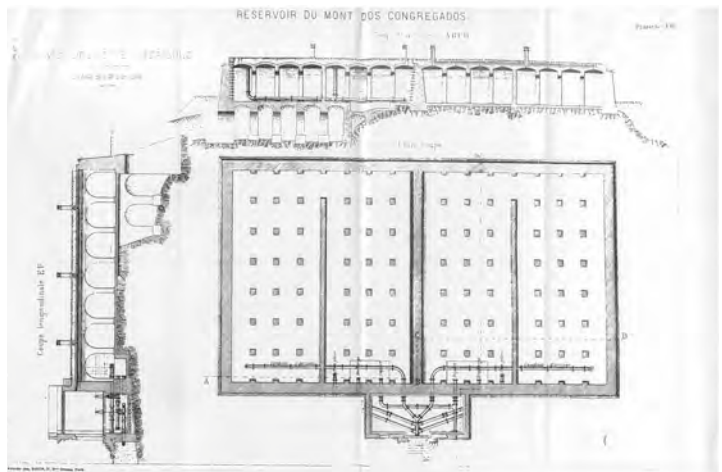
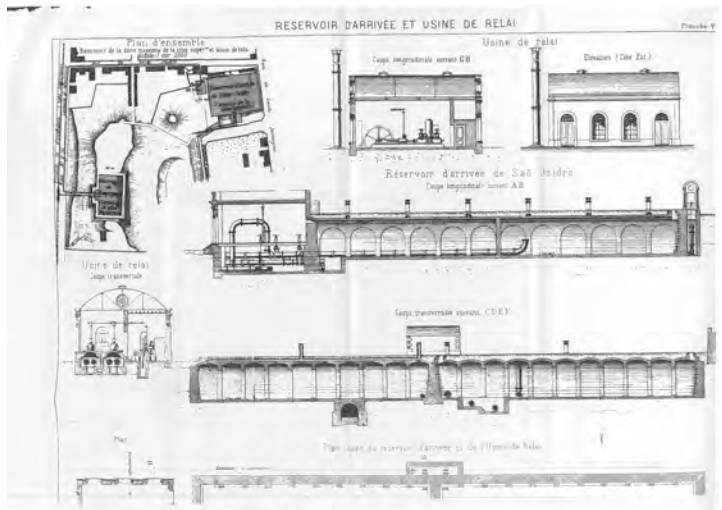
As edificações aumentaram consideravelmente nesta zona e, consequentemente, sentiu-se o acréscimo



Documento relativo ao Projeto de distribuição de água "Notice sur la Distribution d'Eau de Porto" datado de 1882.

Depósito de Santo Isidro, planta de localização, alçado principal, corte transversal e cortes longitudinais. "Notice sur la Distribution d'Eau de Porto", 1882

Depósito de Santo Isidro, planta, corte transversal e corte longitudinal, "Notice sur la Distribution d'Eau de Porto", 1882

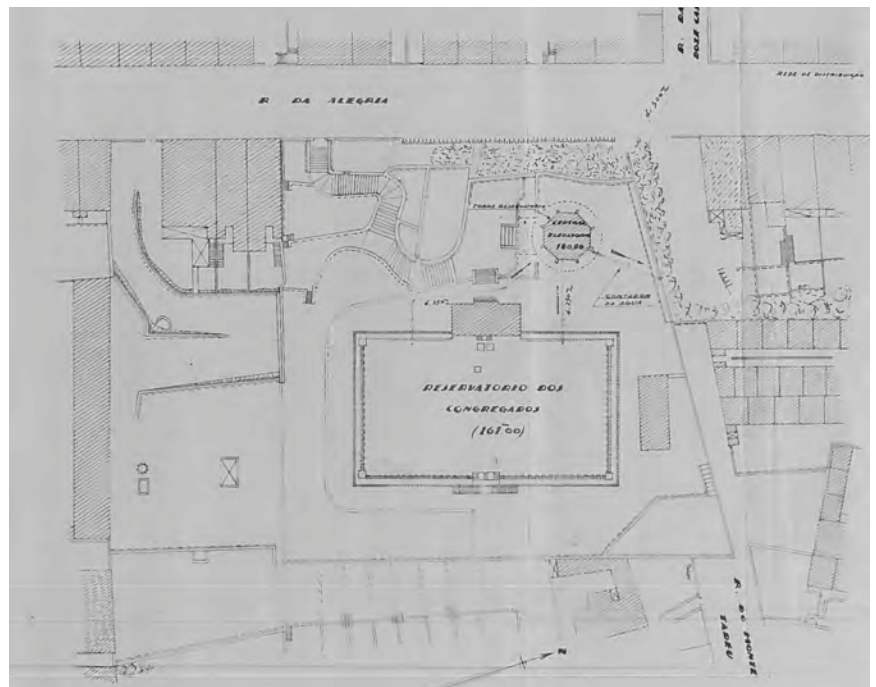
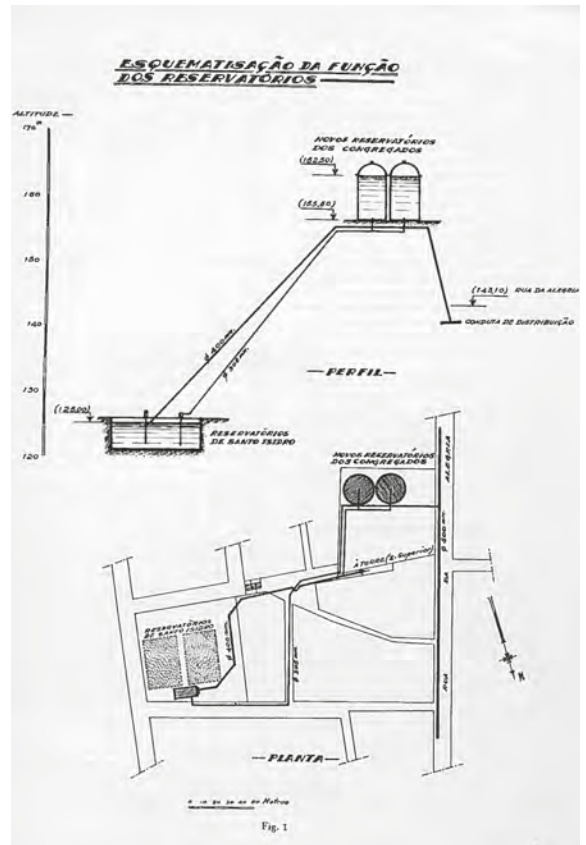


populacional, tornando cada vez mais pequenas as cargas disponíveis. Deste modo, em maio de 1934 foi prevista a sobre-elevação no Monte dos Congregados e no início da década de 40 encontrava-se já construída a Torre - Reservatório dos Congregados, tendo sido assim definida a zona superior.

A Torre era alimentada por água elevada do reservatório dos Congregados e tinha um plano de água à cota de 180,80 metros e uma capacidade de 500 m³. Não se destinava a servir de reserva de abastecimento da nova zona, mas tão somente a manter a carga necessária na rede.

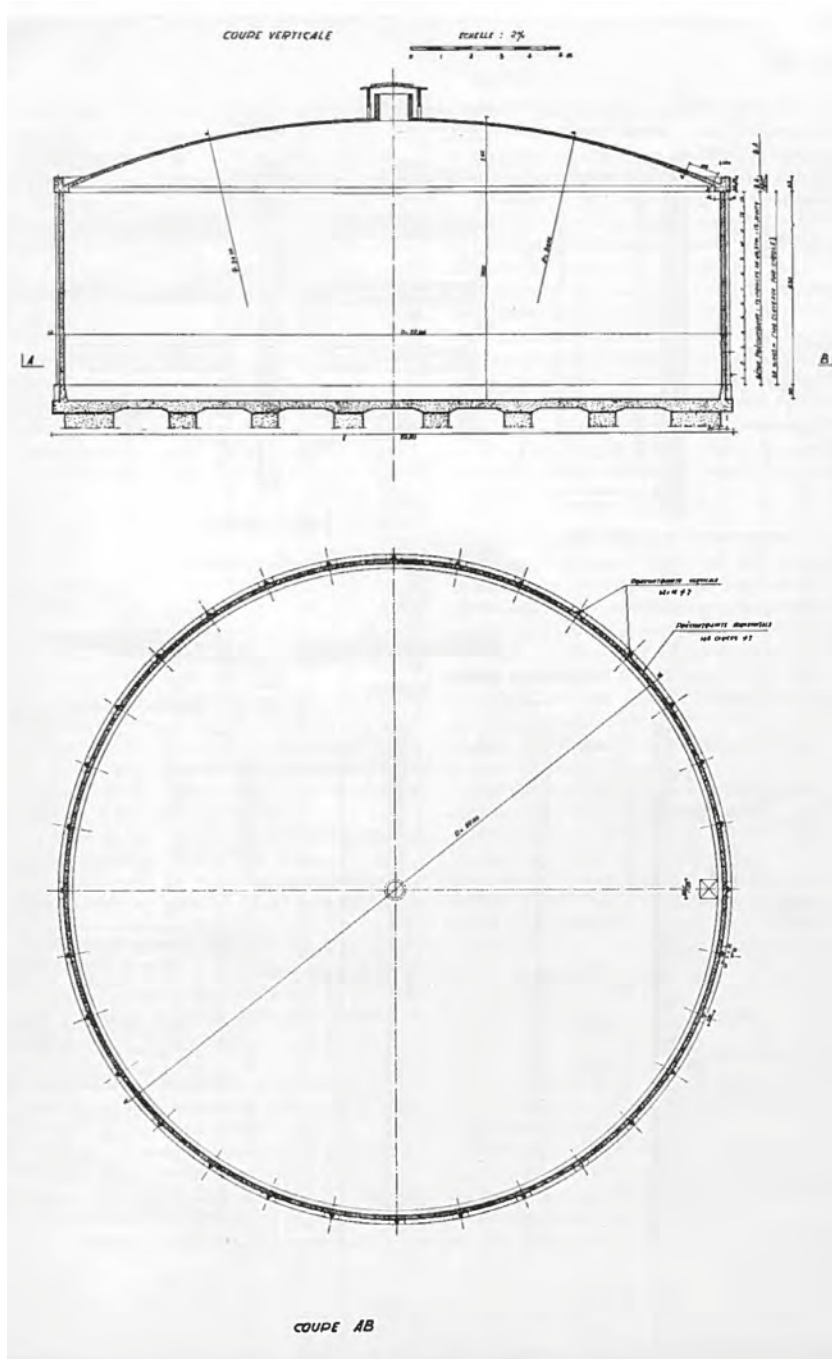
No entanto, elevar a água do reservatório de Santo Isidro ao reservatório dos Congregados e deste para a Torre, dada a pequena distância entre os dois reservatórios, era manifestamente inconveniente, em termos do custo de exploração. Para além disso, o reservatório dos Congregados encontrava-se em muito mau estado, quer quanto ao fundo (invadido pelas raízes), quer quanto às paredes (perdas de água excessivas) e mesmo a cobertura. Por consequência, em 1949, substituiu-se a elevação Congregados - Torre pela elevação Santo Isidro - Torre.

Nesta altura, começaram também a surgir os primeiros projetos para o novo reservatório dos Congregados, não descurando a necessidade de escalonar a construção, por forma a continuar a exploração do reservatório. Desta forma, optou-se pela construção de quatro reservatórios circulares, dos quais se começaria por construir



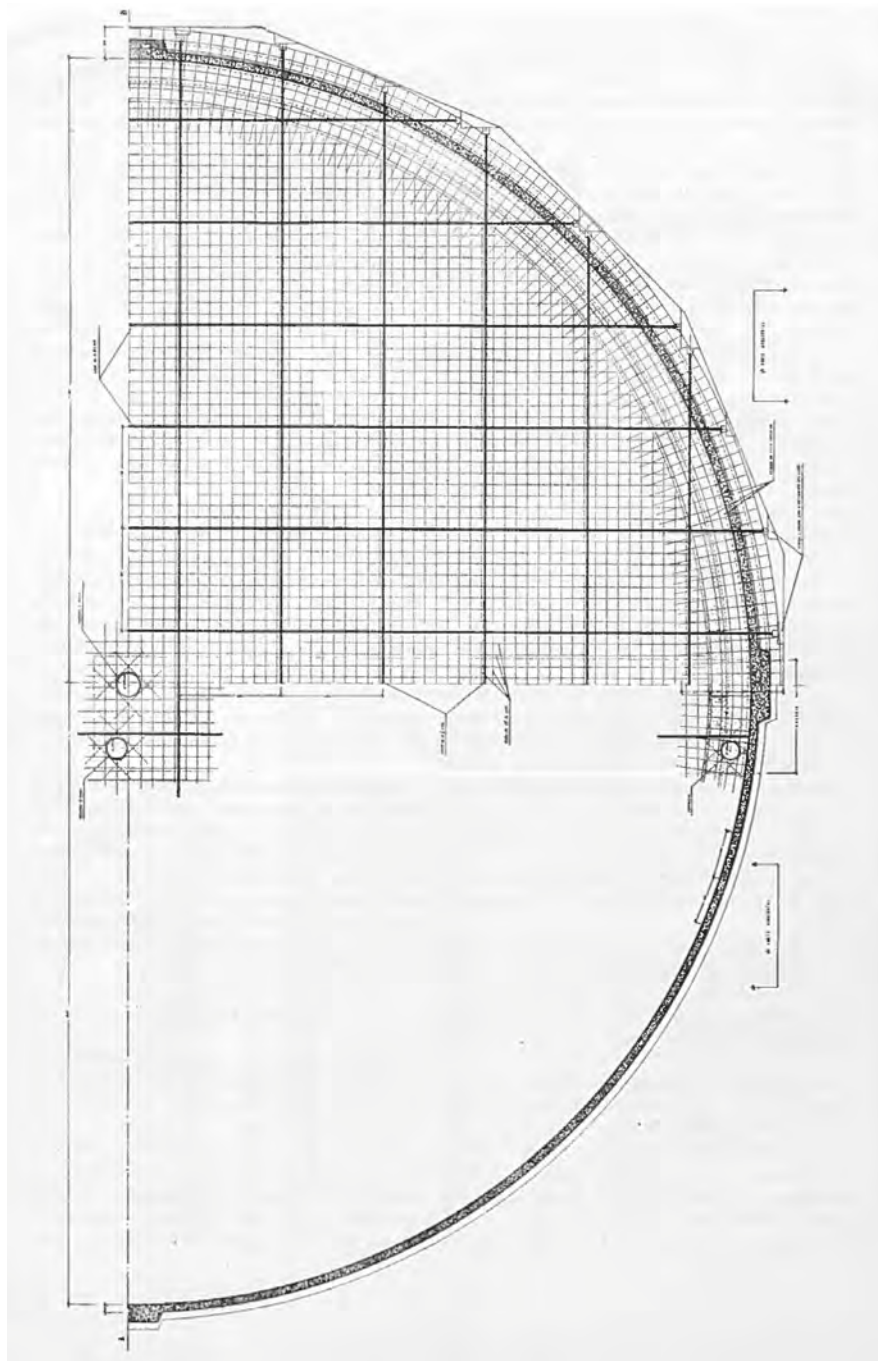
Transferência de água entre o Depósito de Santo Isidro e o Depósito dos Congregados. Esquema de distribuição, planta de localização e corte esquemático, in Sarmento, Eng. Albano Rodrigues do Carmo, *Notícia sobre o Novo Depósito dos Congregados*, na cidade do Porto, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 1958.

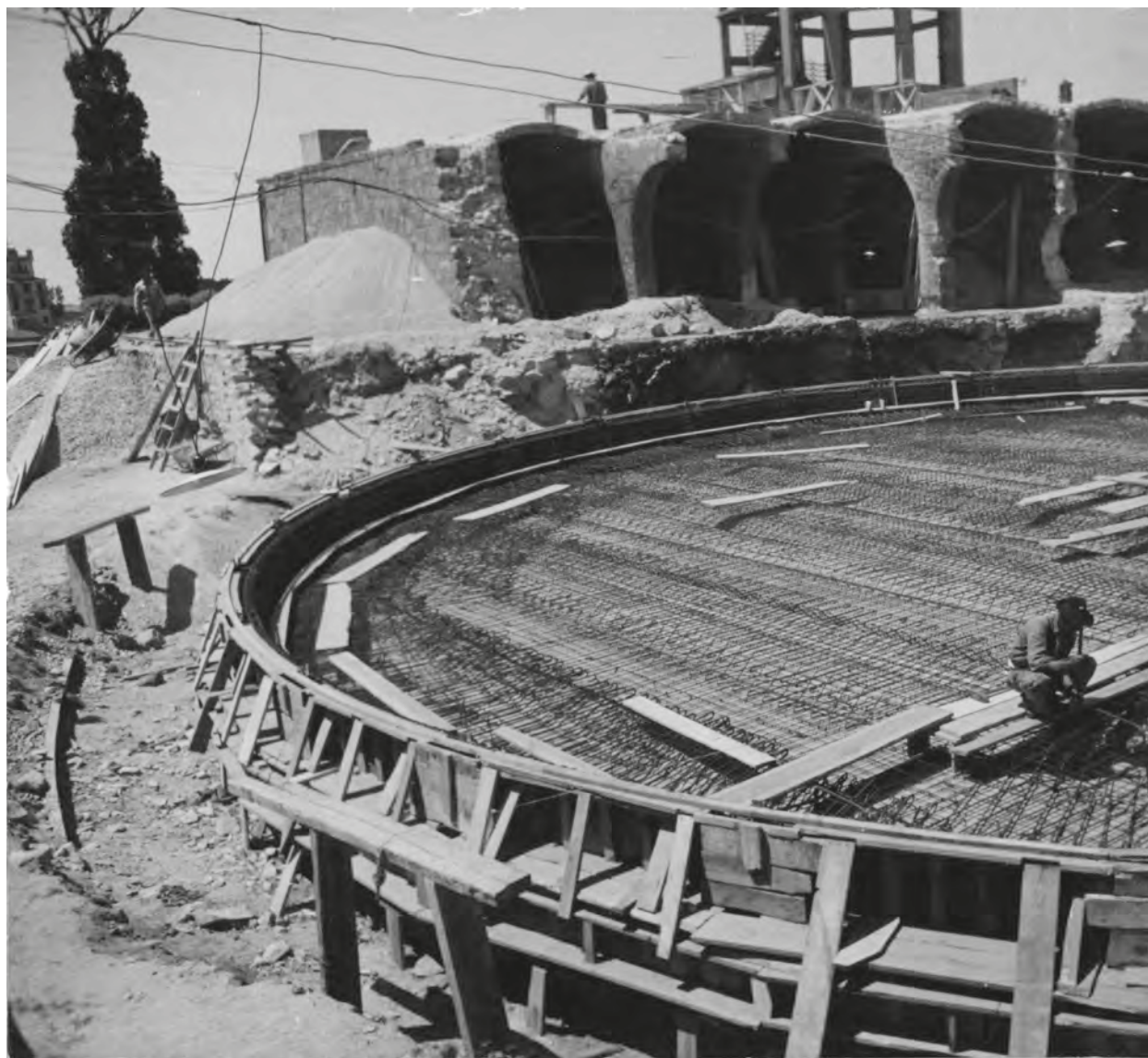
Central elevatória dos congregados, planta tipográfica.



Transferência de água entre o Depósito de Santo Isidro e o Depósito dos Congregados. Depósito principal, planta e corte vertical, in Sarmento, Eng. Albano Rodrigues do Carmo, *Notícia sobre o Novo Depósito dos Congregados*, na cidade do Porto, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 1958.

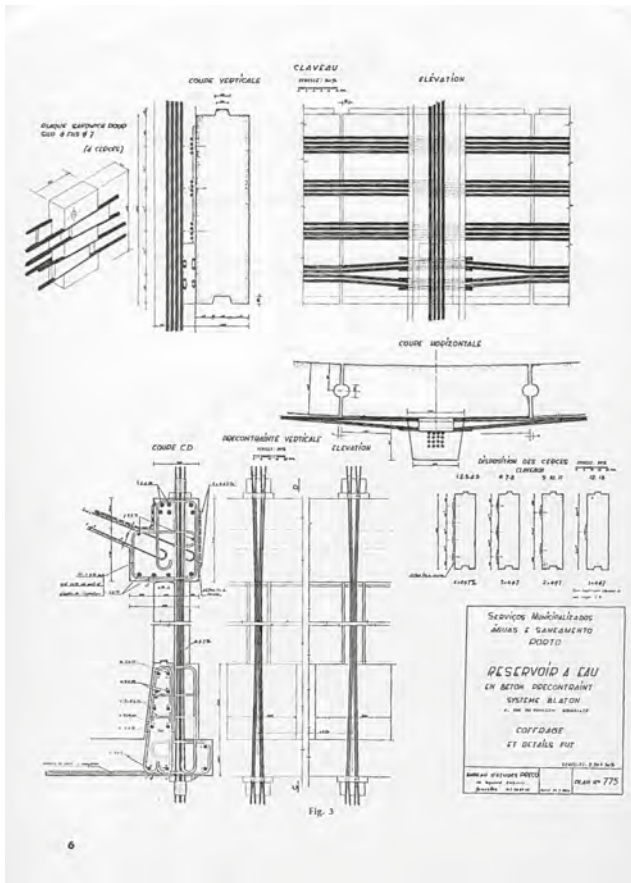
Transfercia de água entre o Depósito de Santo Isidro e o Depósito dos Congregados. Depósito principal, esquema construtivo, planta, in Sarmento, Eng. Albano Rodrigues do Carmo, *Notícia sobre o Novo Depósito dos Congregados*, na cidade do Porto, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 1958.





Fotografia da construção do depósito.





Depósito horizontal, esquema construtivo com desenho e detalhes de fixação dos blocos de betão, in Sarmento, Eng. Albano Rodrigues do Carmo, *Notícia sobre o Novo Depósito dos Congregados*, na cidade do Porto, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 1958.

Depósito horizontal, esquema construtivo com desenho e detalhes de fixação dos blocos de betão, in Sarmento, Eng. Albano Rodrigues do Carmo, *Notícia sobre o Novo Depósito dos Congregados*, na cidade do Porto, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 1958.

>Fotografias da construção.



dois com uma altura de 7 metros, ficando o fundo à cota de 155,5 e o plano da água à cota de 162,5. Por conseguinte, a capacidade unitária seria de 2600 m³.

Em 1953, deu-se início às obras de construção do primeiro reservatório que, no conjunto dos quatro previstos, se encontra no canto sueste. Para isso, começou-se por demolir o compartimento sul dos reservatórios de alvenaria. O processo utilizado designava-se "Blaton-Magnel", patenteado pela Sociedade "Le Câble Sandwich", e foi realizado e dirigido com recurso aos elementos dos Serviços Municipalizados

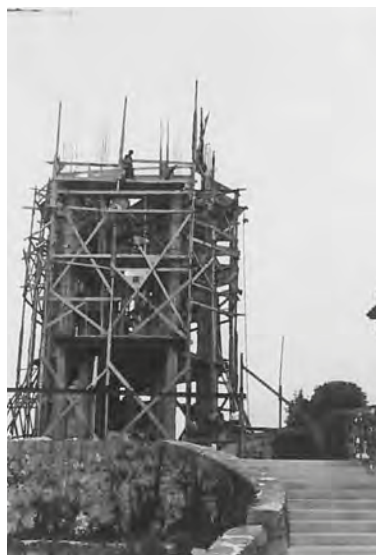
Em 1956, tomou-se a resolução de construir o segundo reservatório, uma vez que a situação do tanque que restava do primitivo reservatório era cada vez mais precária. Contudo, ao invés de apenas reproduzir

o primeiro reservatório, seguiu-se para a aplicação dos cabos "Freyssinet". No final de 1957, os dois reservatórios estavam praticamente concluídos.

Só mais tarde, no final da década de 80, é que se procedeu à construção do terceiro reservatório circular, tendo este uma capacidade de 10 000 m³ e paredes em betão préesforçado.

Atualmente, os três reservatórios circulares fazem a gestão das reservas de água para a zona alta. Nos períodos de maior consumo alimentam a rede de distribuição e nos períodos de menor consumo reservam água. A célula de 10 000 m³ serve igualmente de poço de bombagem para a estação elevatória que abastece a Torre e, consequentemente, a zona superior.

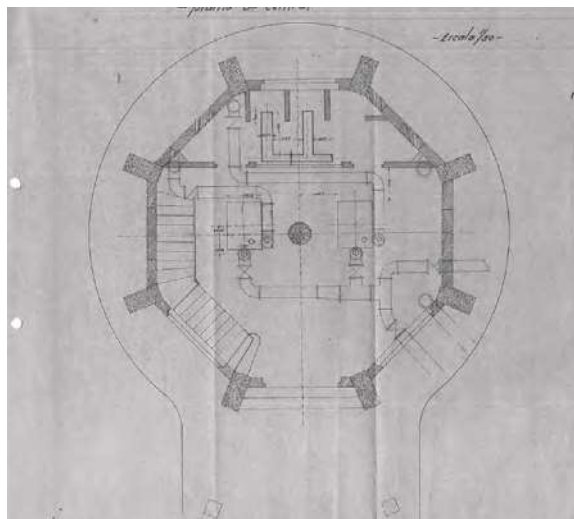




Fotografias da construção.



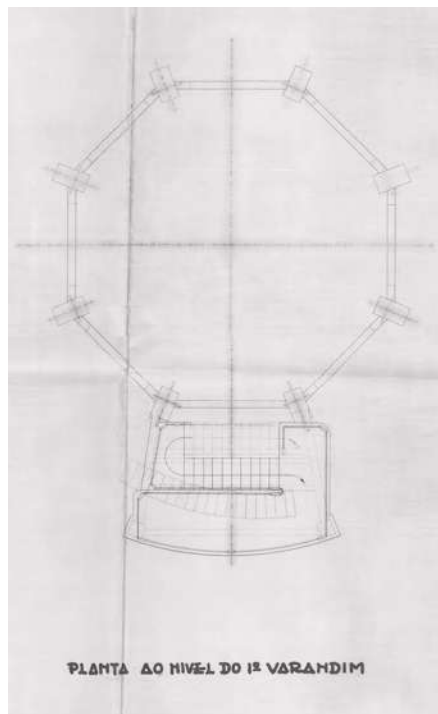
2. A “Torre-Reservatório” dos Congregados



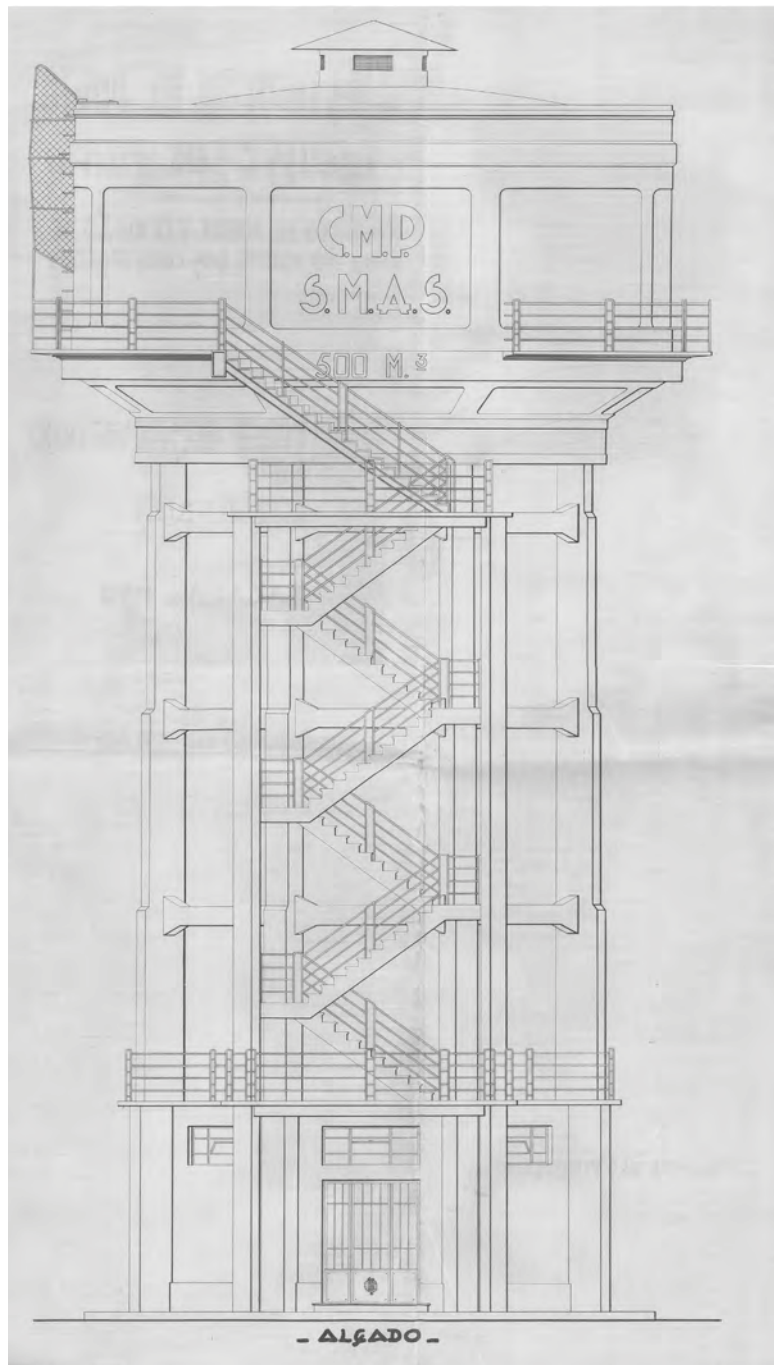
O Reservatório do Monte dos Congregados é abastecido, em “alta”, a partir do ponto de entrega da Águas do Douro e Paiva, S.A. (PE434), na linha de adução Reservatório de Ramalde/Reservatório de Pedrouços. Este reservatório é constituído por um conjunto de 4 (quatro) células, circulares, independentes, em que três são apoiadas e uma é elevada.

A célula elevada (Torre de Pressão), com um volume útil de 500 m³ e uma cota de soleira de 177,33 m, destina-se a abastecer a ZMC Congregados-Superior.

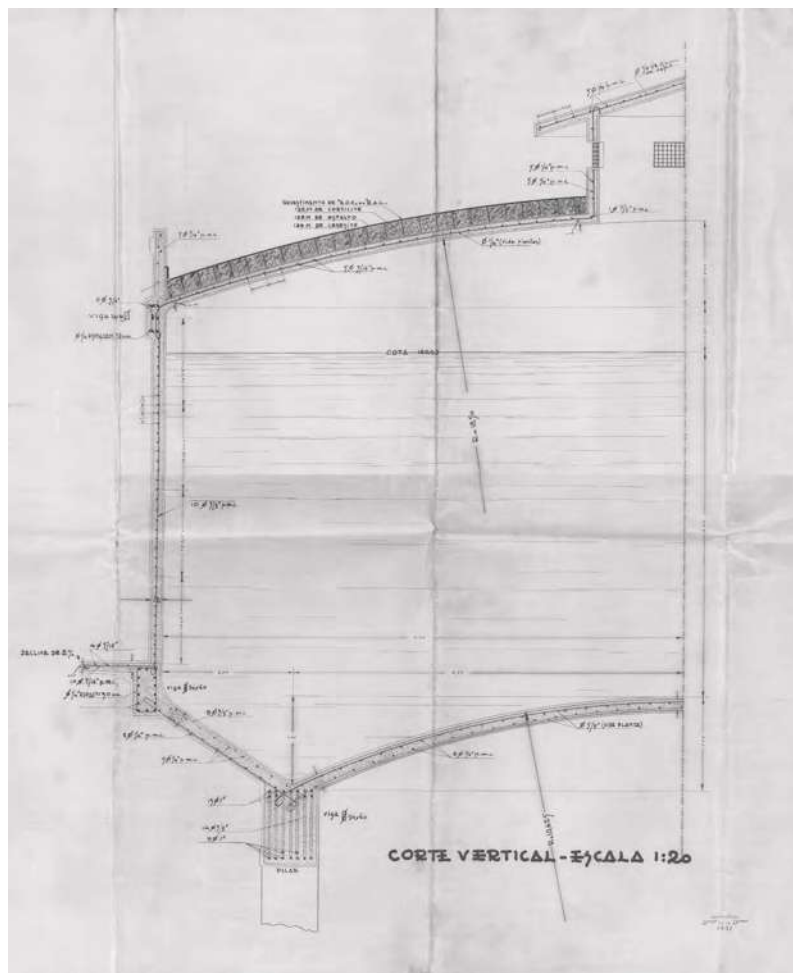
De referir que, no topo da cobertura da Torre de Pressão, sobre o respiradouro existente, encontra-se instalado um marco geodésico para o qual não se prevê intervenção.



Torre de Pressão do Reservatório dos Congregados, planta da central e planta ao nível do 1.º varandim, 1937.



Torre de Pressão do Reservatório dos Congregados, alçado principal, 1937



1. Caracterização

A célula elevada constitui a estrutura mais antiga existente no Reservatório do Monte dos Congregados. A data de construção foi determinada como sendo 1938. É uma estrutura em betão armado, com uma célula circular de 12 metros de diâmetro e 500 m³ de capacidade de armazenamento, elevada acima do solo cerca de 19 metros.

A estrutura de elevação é constituída por oito pilares de secção retangular, variável em altura, ligados entre

si, em três níveis, por vigas de travamento e encimados por uma viga circular de apoio à célula.

Existe ainda uma subestrutura anexa com uma área de 6,50 m por 3,50 m, formada por dois pilares com lajes e escadas de acesso em betão armado.

Torre de Pressão do Reservatório dos Congregados, corte construtivo, 1937.

2. Intervenção

Durante a inspeção visual foram identificadas as seguintes patologias nos elementos de betão armado:

- Microfissuração dispersa no exterior;
- Fissuração em vigas (longitudinal ao longo do alinhamento de armaduras);
- Fissuração e delaminação expressiva nas vigas e lajes das escadas – face inferior;
- Fissuras na face exterior da célula do reservatório de que se destacam duas fissuras horizontais;
- Fissuração radial na consola da varanda;
- Fissuras radiais na abobada de cobertura associadas a forte carbonatação;
- Armaduras à vista na zona da clarabóia.



- Deterioração do sistema de impermeabilização e de drenagem da cobertura, platibanda e gradeamentos de proteção.



Delaminação do betão na zona da escada



Fissuras horizontais na face exterior do reservatório



Armaduras à vista nas vigas de travamento e cintagem



Sistema de impermeabilização da cobertura

Torre de Pressão do Reservatório dos Congregados, fotografias antes das obras, 2017.

Intervenção de Reabilitação Estrutural

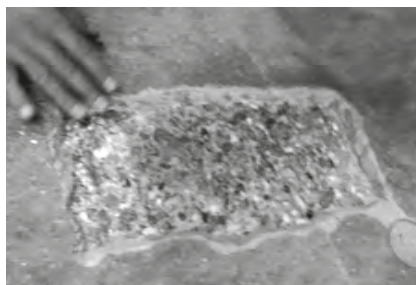
Para proceder à correção das patologias existentes, foram implementados procedimentos de trabalho específicos direcionados para cada caso.

- Tratamento de todos os pontos em que a armadura está visível através da remoção de elementos soltos de betão assim como limpeza da corrosão em armaduras visíveis. Remoção de elementos soltos de betão assim como limpeza da corrosão em armaduras visíveis.

Procedimento -> Picar, Limpeza, decapagem, argamassa de reparação: Sika Monotop 910S e Sika Monotop 612



Injeção de resinas



Remoção de elementos soltos de betão

- Preenchimento e refecimento de fissuras através da injeção de resinas epóxi acompanhadas de refecimento superficial com argamassas de retração controlada e reforço estrutural através de manta.

Procedimento -> Injeção da fenda (Sikadur 52 Injection ou equivalente) e reforço da laje com manta de fibras de carbono (SikaWrap 230 c45 e Sikadur 330



Processo de preparação para Injeção de resinas

- Decapagem com jacto de areia ao grau SA2½, seguida de aplicação de camada de argamassa impermeabilizante e de aplicação de 2 (duas) demãos de revestimento epoxídico nas paredes, teto e pavimento interiores

Procedimento -> Sistema de impermeabilização da Sika top 209 Reservoir ou equivalente



Aplicação de revestimento epoxico

- Remoção da impermeabilização da cobertura e colocação de nova impermeabilização constituída por telas asfálticas cruzadas de 3 kg/m² e 4 kg/m² sob revestimento mineral

Procedimento -> Remoção da impermeabilização da cobertura, reparação eventual e preparação da superfície para colocação de nova impermeabilização constituída por telas cruzadas de ELASTOPLAS 30 FP ou equivalente e ELASTOPLAS 40 G FP ou equivalente sob revestimento mineral ardósia de cor natural



Sistema de impermeabilização da Torre de Pressão



Torre de Pressão em fase final de reabilitação, 2018

. Pintura, após limpeza jacto de alta pressão e decapagem, da superfície exterior da torre de pressão com resistência aos alcalis, ao envelhecimento, aos UV, e à carbonatação, bem como ter flexibilidade e ser permeável ao vapor de água

Foram ainda introduzidas ações corretivas em elementos não estruturais da torre, de entre os quais se destacam:

- . Substituição dos guarda-corpos metálicos por guarda-corpos em compósito pultrudido reforçado a fibra de vidro, PRFV, com 0,90 m de altura, na cobertura e nas escadas de acesso à mesma;
- . Substituição da escada exterior de acesso à cobertura por idêntica escada em PRFV, com guarda-costas em toda a sua extensão;
- . Reabilitação da drenagem da cobertura;
- . Instalação de pavimento em blocos retangulares, no perímetro exterior da tampa de entrada na célula e no “caminho” entre a tampa e o respiradouro, e instalação de guarda corpos em PRFV, com 0,90 m de altura, em ambos os lados do pavimento;
- . Substituição das caixilharias e grelhas de ventilação existentes no respiradouro;
- . Beneficiação da tubagem interior, de adução, distribuição e descargas, de fundo e de emergência, incluindo decapagem e pintura com materiais não tóxicos e apropriados para água potável;
- . Instalação de sonda ultrassônica;
- . Substituição da escada de acesso ao interior da célula por escada em PRFV, com guarda-costas.



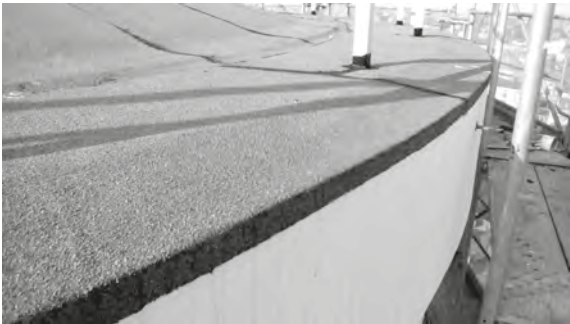
Torre de Pressão antes da reabilitação

Torre

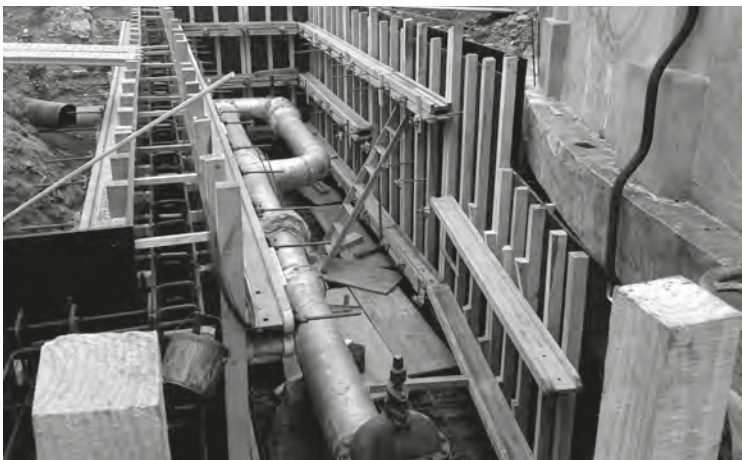


Fotografias da obra, 2018.

Depósito circular



Tubagem geral (?)



Construção da rede, 2018.

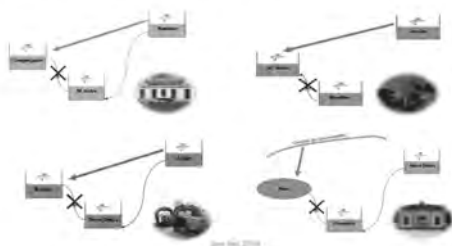
3. Projeto Porto Gravítico

O Projeto Porto Gravítico, da autoria do Eng. Joaquim Poças Martins, consistiu em transformar hidráulicamente a rede de distribuição do Porto, substituindo, entre 2007 e 2012, quase totalmente a bombagem por escoamento gravítico e desativar quase todas as estações elevatórias existentes.

Tal foi possível devido à grande redução de perdas e ao estudo da rede que ocorreu nesse período: foi possível reduzir os caudais escoados e as respetivas perdas de carga nas principais condutas adutoras e, assim, substituir as bombas pela força da gravidade (o desnível entre os reservatórios) para assegurar o escoamento.

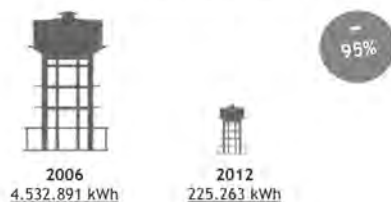
Projecto Porto Gravítico

Desactivação das estações elevatórias e sistemas de bombagem

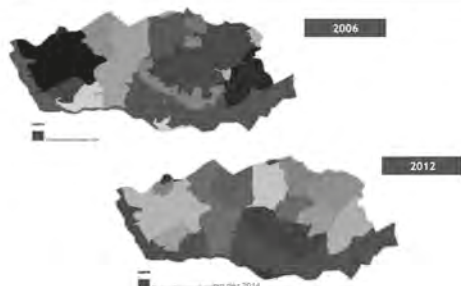


Consumo de energia nas estações elevatórias

– Projecto Porto Gravítico: desactivação das estações elevatórias

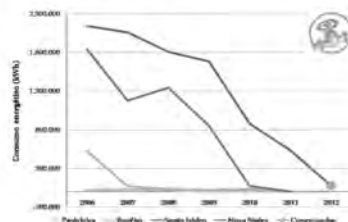


Zonas abastecidas por bombagem



Consumo de energia nas estações elevatórias

– Redução de 95% no consumo energético das estações elevatórias (4.532.891 kWh em 2006 contra 225.263 kWh em 2012)



Porto Gravítico, esquema de princípios e conceito geral.



