

Disaster-ready water storage system for cities

Projeto Integrador de Curso – White Paper

Tiago Lopes Carvalho, Carolina João, Matilde Silva, Tomás Ribeiro, Margarida Sebastião, Francisco Caravana

Scientific Advisor: João Nuno Silva (INESC-ID)

Supervisor: Duarte Mesquita (IST)

Objetivo do projeto

Sistema **modular** e automatizado de armazenamento e distribuição de água potável, **redundante**, público, ponto-a-ponto, em meio **urbano**, na eventualidade de catástrofe natural, colapso ou contaminação da rede pública de água.

Permanentemente monitorizado por meio de um portal web inteligente, de permissões e acesso à informação variável.

Pode ser ativado como medida excepcional temporária, ou com acesso generalizado numa catástrofe. Em períodos de normalidade, pode pontualmente servir a Bombeiros, Proteção Civil em locais de difícil acesso a água.

Enquadramento

1.1 Guerra e compromisso de reservatórios principais

Tendo em conta a crescente instabilidade política atual, exacerbada pelas tensões geopolíticas inter-axiais e as duas grandes guerras atuais no Médio Oriente e Europa do Leste, o risco de guerra é cada vez mais iminente. No evento de sabotagem por inimigos no contexto bélico, chuvas ácidas, ou descargas acidentais de efluentes perigosos, a distribuição de água é frequentemente comprometida.

Case studies: Guerra na Ucrânia (2022-presente); Mísseis russos comprometeram inúmeras ETAs e canalizações essenciais, levando a população a depender de camiões cisterna (ref. <https://www.reuters.com/world/europe/how-water-has-been-weaponised-ukraine-2022-10-22/>; <https://www.reuters.com/world/nearly-300000-people-without-power-water-supply-ukraines-odesa-after-russian-2026-02-12/>)

Cerco de Sarajevo, Bósnia (1992-1996) (ref. <https://www.reuters.com/news/picture/the-siege-of-sarajevo-idJPRTR30BMM/>)

Elk River, Virgínia Ocidental, EUA (2014), onde uma descarga química comprometeu o acesso de 300.000 pessoas a água da torneira (<https://www.reuters.com/article/world/west-virginia-chemical-spill-leaves-300000-without-tap-water-idUSDEEA0A040/>)

Flórida (2021); um ciberataque terrorista alterou remotamente os parâmetros químicos de uma ETA local, aumentando o hidróxido de sódio para envenenar a população (<https://www.abc.net.au/news/2021-02-09/hackers-remotely-gain-access-to-a-florida-city-water-treatment/13134818>; <https://www.wired.com/story/oldsmar-florida-water-utility-hack/>)

Dependência por recursos hídricos

Portugal depende quase-inteiramente de Espanha no que toca às suas águas, que poderá ser condicionada caso o paradigma geopolítico mude. (ref. <https://www.publico.pt/2024/09/24/azul/noticia/sabemos-acordo-partilha-aguas-portugal-espanha-2105192>)

1.2 Iminência de atividade sísmica

Lisboa é especialmente suscetível a terremotos, estando instalada numa zona de risco sísmico elevado; note-se os vários sismos no último ano, dois deles de **magnitude superior a 4** na escala de Richter

Geólogos retratam a possibilidade da reincidência de um terramoto agressivo como o de 1755, no qual um sistema redundante como proposto ajudaria a facilitar o acesso à água. (ref. <https://sicnoticias.pt/pais/2024-08-26-video-para-um-sismo-tipo-o-de-1755-ninguem-esta-preparado-c75d237f>)

Case studies: Kobe, Japão, 1995; o Sismo de Hanshin levou a que 1.3 milhões de domicílios perdessem o acesso à água. Adicionalmente, pelas mesmas razões, o fogo consumiu parte da cidade aquando do impedimento de acesso por parte dos Bombeiros. (ref. <https://www.reuters.com/article/world/us/factbox-japans-recovery-from-the-1995-kobe-earthquake-idUSTRE72O13G/>)

Christchurch, Nova Zelândia, 2011, onde a liquefação do solo pelo sismo colapsou a maioria das canalizações subterrâneas, aumentando também o risco de contaminação (ref. <https://www.theguardian.com/weather/2011/feb/23/new-zealand-christchurch-earthquake-geology>)

1.3 Seca extrema

Potenciados pelas alterações climáticas e aquecimento global, estes períodos reduzem os caudais e criam fortes condicionantes nas distribuições de água

Case studies: Califórnia (2022, 2017): os reservatórios principais de abastecimento da Califórnia do Sul desceram a níveis críticos e foram ativadas medidas de racionamento (ref. <https://www.cbsnews.com/news/water-cutbacks-california-6-million-people-drought/>)

Cidade do Cabo, África do Sul (2017-2018): a cidade esteve a dias de atingir o “Dia Zero”, onde o abastecimento municipal de água estaria completamente esgotado e onde a população dependeu de bidons e reservas de água informais . (<https://www.theguardian.com/world/video/2018/feb/03/cape-town-water-crisis-approaches-day-zero-video-report>; <https://www.theguardian.com/cities/2018/feb/03/day-zero-cape-town-turns-off-taps>)

São Paulo, Brasil (2014-2015): a Bacia de Cantareira desceu a níveis criticamente baixos e o acesso a água ficou efetivamente mitigado por toda a cidade (<https://www.reuters.com/article/world/so-paulo-running-out-of-water-as-rain-making-amazon-vanishes-idUSKCN0ID1Y3/>; <https://time.com/4054262/drought-brazil-video>)

1.4 Crises do foro biológico e contaminações patogénicas de alto risco para a saúde pública

Case studies: Crise de água em Flint, Michigan, EUA (2014-2016): canalizações de chumbo rapidamente elevaram os níveis deste metal perigoso a valores letais, causando o pânico, e levando a uma dependência excessiva e condicionamento na água engarrafada (<https://apnews.com/article/us-news-health-michigan-rick-snyder-flint-7295d05da09d7d5b1184b0e349545897>)

Walkerton, Canadá (2000): Um surto de *E. coli* na rede de águas municipais causou várias vítimas mortais (<https://kitchener.citynews.ca/2025/05/17/a-deadly-e-coli-outbreak-in-walkerton-ont-changed-everything-25-years-ago/>; <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12638997/>)

2 Especificações Técnicas

Depósitos:

Contentores IBC (*Intermediate Bulk Containers*), de 1000L, de alta modularidade, baixo custo, com dimensões padronizadas. Compostos por 3 secções principais:

- A “garrafa”: o depósito interior, amovível e de fácil remoção. Feita de HDPE, um polímero próprio para uso alimentar, resistente a ácidos e bases fortes, leve e estável a UV, com opacidade variável. Possui uma tampa enroscável superior e uma saída inferior.
- A “jaula”: geralmente de aço galvanizado, assegura proteção externa da garrafa interior e serve como suporte para montagem de componentes eletrónicos. Facilita o transporte.
- A “base”: uma paleta de madeira prensada de dimensão standardizada 1200 × 1000 mm (Europallet), compatível com empilhadoras.

O formato IBC foi escolhido dadas:

- Disponibilidade alargada e **baixo custo**, permitindo a **fácil substituição** no evento de falha de um dos tanques

- Dimensões **standardizadas**, permitindo a facilidade de transporte, quer cheio ou vazio.
- **Modularidade**, permitindo o escalamento de um nó(conjunto local de tanques) dependendo da necessidade e espaço disponível
- Alta **densidade** de armazenamento sobreposição (verticalmente, podem ser empilhados até 4 containers deste tipo)
- Variedade de peças e módulos pré-existentes disponíveis no mercado

Outros componentes

- Tubagem PVC para ligação à rede e interligação de depósitos
- Porta autenticada de acesso rápido a autoridades, ultrapassável no caso de falha total da eletrónica
- Válvulas e sifões automatizados para dispensa
- Filtros de carbono ativado no terminal de dispensa
- Sensores de monitorização, para fatores como: nível de água, pH (6.5 – 8.5), cloro dissolvido (0.2 – 0.5 mg/L) , turbidez (< 1 NTU), entre outros.
- Painel LED simples para monitorização local e debugging

Eletrónica, energia e telecomunicações

- Microcontrolador reprogramável de baixo custo e consumo (Raspberry Pi, Arduino, entre outros), para processamento e difusão dos dados de monitorização, controlo remoto, e autenticação para dispensa
- Sistema de autenticação, ou biométrico a definir, para variabilidade de quotas de acesso e possibilidade de self-service em situação de calamidade.
- Comunicação com rede móvel (3G, 4G) em períodos de normalidade, *a avaliar contratos públicos com operadores.*¹
- Protocolo de redundância na eventual falha da anterior, permitindo assegurar a resiliência dos sistemas de monitorização (LoRaWAN, Satélite, Rádio UHF/VHF).
- Baterias de backup estilo UPS para sensores, alimentadas por solar ou por ligação à rede (onde aplicável).

Web e Gestão de Informação

Frontend + backend centralizado de remote tracking e management baseado em Django (Python), com base de dados geospacial (PostGIS) e portal de acesso público, incluindo:

- Vista em mapa satélite da rede de implementação, com número de tanques por nó e estado dos dispositivos
- Acesso a dados de sensores, do foro químico e estado dos dispositivos, a autoridades competentes para rápido acesso e reparação no caso de falha
- Reabastecimento e substituição parcial da água a partir da rede, programada e com regularidade a definir, assegurando simultaneamente a potabilidade permanente desta e a minimização do desperdício
- Comunicação automatizada com autoridades de saúde pública e empresas das águas, para permitir o corte automatizado da reposição dos tanques no evento de uma crise ou contaminação da rede (Legionella, etc.)

¹estimamos uma baixa alocação por nó, <100 MB/mês/nó

3 Implementação

Escala, dimensionamento e geografia

Por decidir, permanece o tempo de disponibilidade de água do sistema na falha total da rede pública de água

Para o atingir, sob consulta, serão preliminarmente estimadas figuras úteis como (*citar OMS e papers*):

- Volume de água potável per capita, per dia, em situação de calamidade²
- Taxa de reposição de água, isto é valor de água reposto por tanque por ano
- Frequência de reposição para assegurar a potabilidade da água.

De modo a atingir uma figura final de implementação de:

$$\boxed{T/1000 \text{ hab.}} \quad \text{ou} \quad \boxed{T/\text{km}^2}$$

onde T denota o número de tanques.

Distribuição geográfica

Finda esta fase, visar-se-á escolher potenciais tipologias e locais de instalação dos tanques na mancha urbana, tais como: parques públicos, zonas urbanas intersticiais (entre prédios), garagens, estações de metropolitano, hospitais, escolas, superfícies comerciais.

Ter-se-ão em conta constrangimentos como permissões municipais e leis de propriedade, acesso veicular e pedonal (quer para manutenção quer para consumo), e ligações à rede da água e energia.

Pretende-se obter uma distribuição preliminar geográfica aplicada ao concelho de Lisboa, assegurando uma distribuição coerente e equitativa do volume de água a toda a população; será produzida um mapa da cidade (ou mais local ao nível de freguesia) com locais de implementação candidatos.

Orçamento

Incorporando as figuras acima, deverão ser calculados:

- Custo de uma unidade **T** (tanque), com os respetivos sensores, tubagens, e eletrónica.
- Custo de implementação por 1000 habitantes
- Custo de instalação e montagem por nó
- Custo de manutenção, tendo em conta: o volume de água reposto, por tanque, por ano; **formação** de técnicos municipais; telecomunicações, como **contratos com operadoras**; hosting distribuído e *mirrored* do portal web

Produzindo-se uma figura para o custo líquido de instalação deste projeto por 100 habitantes, visando um eventual concurso/fundos públicos.

Contactos e entrevistas

Pretende-se passar o mais depressa possível a uma fase de entrevistas, com vista a obter alguma consultoria relativamente a detalhes do projeto e figuras realistas. Para já, têm-se prioritários os seguintes organismos e empresas:

- Câmara Municipal de Lisboa³ para discutir detalhes da implementação de um projeto desta escala, burocracias associadas à instalação de tanques em locais de cariz público, e privado, acesso às redes de água e energia, e custos gerais

²Com tolerâncias aplicáveis, visando simultaneamente redundância mas também o espaço limitado

³<https://www.cm-lisboa.pt/pt>

- LAIST (Laboratório de Análises do IST)⁴, uma instituição de renome nas análises químicas de águas potáveis, para determinar que sensores incluir e que parâmetros deverão ser avaliados para assegurar a qualidade constante da água, e sobre a frequência/ taxa de reposição da mesma
- EPAL ⁵ , empresa responsável pela distribuição de água na cidade de Lisboa
- INESC-ID⁶, nomeadamente o conselheiro científico João Nuno Silva, para consultoria sobre as tecnologias escolhidas para a gestão de informação e infraestrutura tecnológica para o hosting do portal e DB.
- Operadoras de Telecomunicações (PT, NOS, Vodafone)
- Instituto de Telecomunicações (IT)⁷, para a exploração de protocolos de comunicação resilientes e miniaturizáveis.

Potenciais concorrentes

Roadmap

References

⁴<https://la.tecnico.ulisboa.pt/>

⁵<https://www.epal.pt/EPAL>

⁶<https://www.inesc-id.pt/>

⁷<https://www.it.pt/ITSites/Index/1>