

6. Água e Sustentabilidade em Tempos de Mudança: desafios e soluções face às alterações climáticas

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.206.6>

José Vieira

Universidade do Minho

<https://orcid.org/0000-0001-8982-7597>

Resumo

A água é um recurso essencial à vida no planeta e ao funcionamento dos ecossistemas, das economias e das sociedades. No entanto, perante as alterações climáticas aceleradas e o crescimento urbano exponencial, colocam-se desafios sem precedentes à sua gestão sustentável, exigindo abordagens inovadoras, eficazes e integradas. A variabilidade dos padrões de precipitação e o aumento da frequência e intensidade de eventos extremos tornam os sistemas hídricos mais vulneráveis, intensificando desigualdades sociais e tensões geopolíticas. Em muitas regiões, as águas subterrâneas estão a ser exploradas a um ritmo superior ao da sua reposição natural, enquanto as águas superficiais enfrentam níveis crescentes de poluição por substâncias orgânicas, químicas e radiológicas. Estes fatores comprometem a segurança hídrica com impactos na saúde pública, na produção alimentar, na integridade dos ecossistemas e na resiliência das comunidades. Face a este cenário, a gestão da água exige instituições transparentes, responsáveis e capacitadas para desenvolver políticas públicas baseadas em evidência científica, articuladas com os setores da energia, do uso do solo e do ambiente. Este capítulo analisa os principais desafios da gestão da água em contexto de alterações climáticas, as causas estruturais da vulnerabilidade dos recursos hídricos e as estratégias possíveis de adaptação e favorecimento da resiliência dos sistemas.

6.1. A água no centro da crise climática

A água é o fio condutor da vida no planeta, a nossa casa comum. Ocupa um lugar central na crise climática, não apenas como um dos recursos mais diretamente afetados pelas mudanças no clima global, mas também como vetor principal dos impactos que estas provocam nos ecossistemas, a saúde humana, a agricultura e a economia. O equilíbrio deste recurso fundamental está a ser progressivamente ameaçado pelas alterações climáticas e pelo impacto das atividades humanas. O aquecimento global (Figura 6.1), provocado pelo aumento das concentrações atmosféricas de gases com efeito de estufa, sobretudo dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxidos de azoto (NO_x), está a provocar uma alteração mensurável no balanço energético da Terra, desencadeando mudanças profundas nos sistemas meteorológicos e hidrológicos (IPCC, 2021).

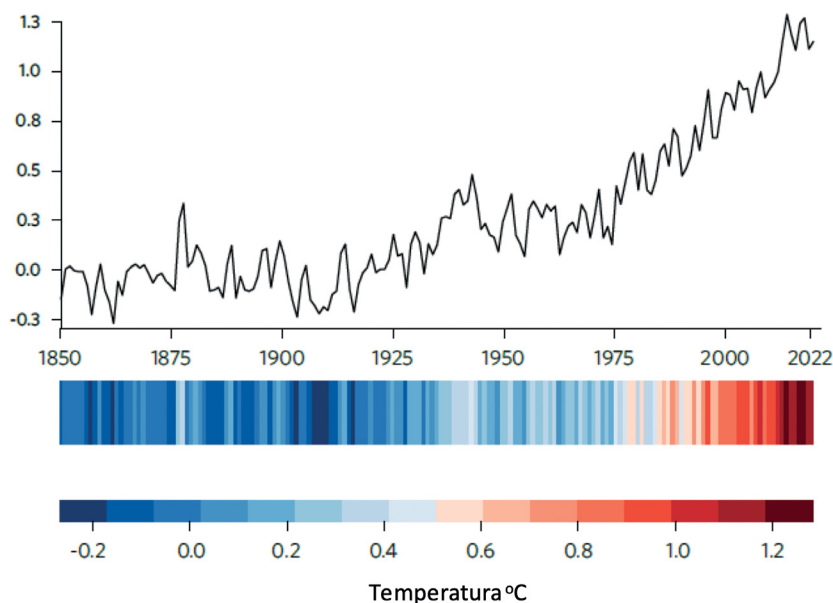


Figura 6.1 Temperatura média anual global em relação aos níveis pré-industriais (média de 1850-1900), 1850-2022 (°C) (Adaptado de UNDESA, 2023).

Estas perturbações intensificam os extremos climáticos e têm efeitos diretos no ciclo hidrológico global, afetando a disponibilidade e a previsibilidade dos recursos hídricos à escala local, regional e planetária (Figura 6.2).

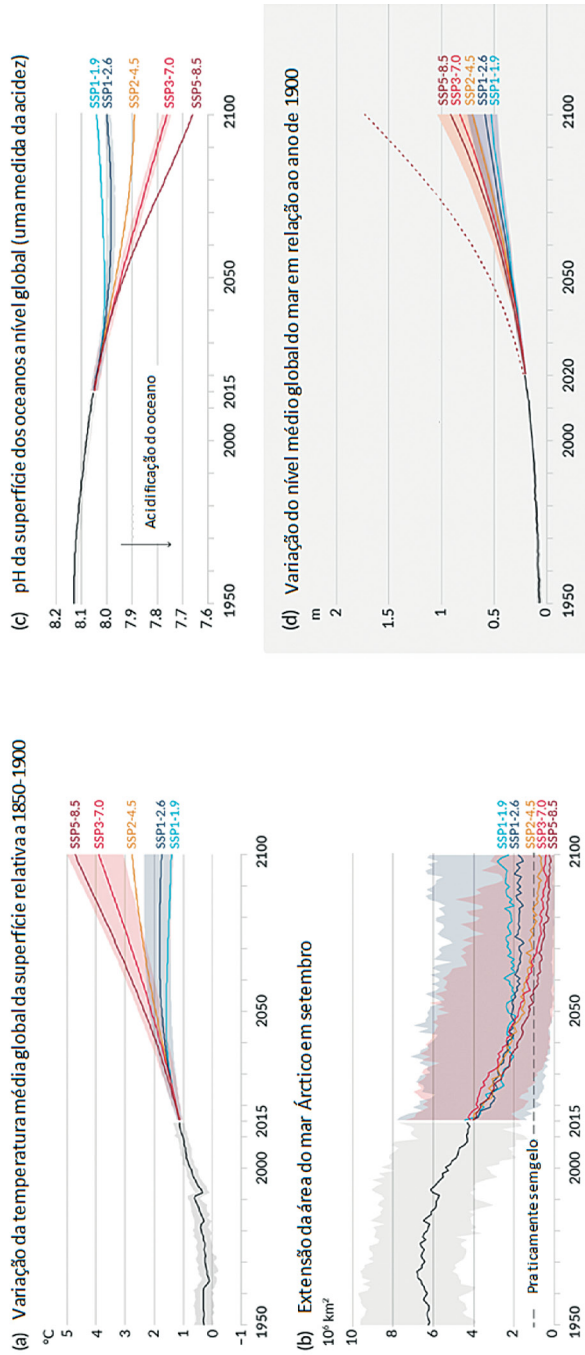


Figura 6.2 Efeitos das alterações climáticas no ciclo hidrológico global (Adaptado de IPCC, 2021).

À medida que a temperatura média global aumenta, intensificam-se os processos de evapotranspiração, alteram-se os padrões de precipitação e aumenta a frequência de eventos extremos, como cheias repentinas, ciclones, secas prolongadas e incêndios florestais.

Segundo o Relatório do IPCC (2021), a precipitação global está a tornar-se mais concentrada em eventos intensos e localizados, o que resulta em aumento do risco de inundações, enquanto outras regiões experienciam secas prolongadas. Em zonas de clima mediterrânico, como em algumas regiões de Portugal, projeta-se uma redução da precipitação anual e uma maior variabilidade interanual, o que compromete a recarga de aquíferos e a disponibilidade de água superficial. Além disso, o recuo dos glaciares e a diminuição da cobertura de neve alteram os regimes fluviais em bacias montanhosas, com impactos significativos para países dependentes de fontes nival-glaciais. Esta alteração do ciclo hidrológico coloca em causa a previsibilidade dos recursos hídricos, complicando o planeamento agrícola, energético e urbano.

Estes fenómenos afetam de forma desproporcional as comunidades mais vulneráveis, tanto nos países em desenvolvimento como em contextos urbanos periféricos das economias desenvolvidas, e põem em causa a segurança hídrica – definida como a capacidade de assegurar água em quantidade e qualidade suficientes para sustentar a vida, os meios de subsistência e os ecossistemas (UNESCO, 2020). A segurança hídrica, por sua vez, está intrinsecamente ligada à saúde pública, à estabilidade social e ao desenvolvimento sustentável, constituindo, portanto, uma componente vital da adaptação às alterações climáticas.

Um fator central que intensifica esses desafios é o crescimento exponencial da população mundial. Desde 1950, a população global mais do que triplicou, ultrapassando os 8 mil milhões de pessoas em 2022 (UNDESA, 2022). Esta pressão demográfica implica uma procura crescente de água para consumo doméstico, produção de alimentos, geração de energia e processos industriais (Figura 6.3). Estima-se que, até 2050, a procura global de água aumente cerca de 55%, sobretudo impulsionada pela agricultura irrigada, que já consome cerca de 70% da água doce disponível (FAO, 2017).

Este aumento acentuado da procura, impulsionado por dinâmicas demográficas, urbanização desordenada e alterações nos padrões de consumo, implica riscos significativos de escassez, sobretudo em regiões onde a infraestrutura de abastecimento e tratamento de água é deficiente ou inexistente.

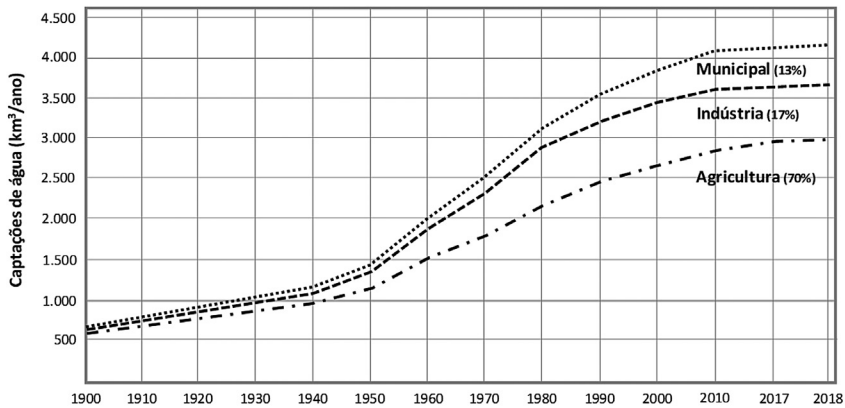


Figura 6.3 Evolução mundial da captação de água (1900–2018) (Adaptado de UNDESA, 2023).

Esta situação revela-se particularmente crítica em pequenas cidades, que frequentemente não conseguem acompanhar o ritmo da expansão populacional nem dispõem de planeamento urbano adequado, o que agrava a pressão sobre os recursos hídricos e compromete a qualidade e a continuidade dos serviços de água. A Figura 6.4 ilustra a evolução, nas últimas décadas, da população a viver em assentamentos informais, evidenciando que o crescimento destes núcleos é mais acelerado em pequenas cidades do que em grandes áreas urbanas (UNDESA, 2022).

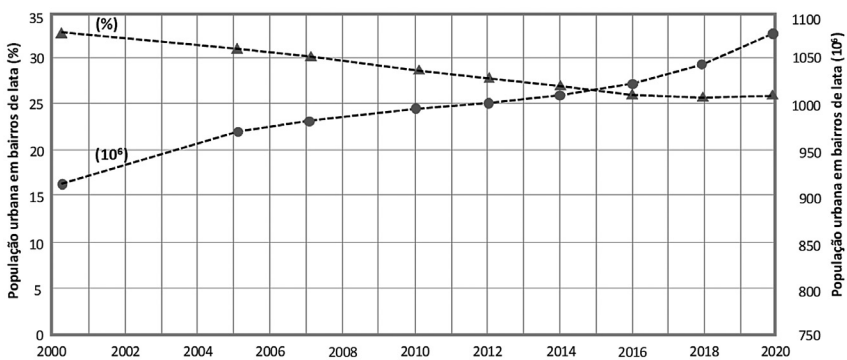


Figura 6.4 População urbana em assentamentos informais (Adaptado de UNDESA, 2022).

Sob o ponto de vista económico, os setores agrícola e energético são especialmente sensíveis às alterações climáticas. A agricultura de regadio, altamente

dependente da disponibilidade de água, enfrenta perdas crescentes de produtividade. A energia hidroelétrica, por sua vez, sofre com a variabilidade dos caudais fluviais, o que reduz a previsibilidade da produção e compromete a estabilidade dos sistemas energéticos.

Neste contexto, a água emerge não apenas como recurso, mas como fator geopolítico, social e sanitário. A escassez de água potável e a má gestão dos recursos hídricos estão diretamente associadas a surtos de doenças transmitidas pela água, como cólera, hepatite A e diarreias infecciosas, que continuam a ser causas principais de mortalidade infantil em países em desenvolvimento (UNICEF/WHO, 2023). Segundo a Organização Mundial da Saúde, mais de 2 mil milhões de pessoas ainda carecem de acesso a serviços de água potável geridos de forma segura, e quase metade da população mundial não tem acesso a saneamento adequado (WHO, 2021). Assim, a questão da água não é apenas ambiental, mas profundamente ética e política, uma vez que o seu acesso é desigual e frequentemente mediado por relações de poder, exclusão e injustiça.

As alterações climáticas tendem a exacerbar estas desigualdades. As soluções de engenharia hidráulica, muitas vezes concebidas num paradigma tecnocrático e centrado na oferta, têm mostrado limitações quando confrontadas com a complexidade dos desafios atuais. Muitas infraestruturas construídas no século XX não foram dimensionadas para enfrentar os eventos extremos cada vez mais frequentes e intensos. A sua fragilidade torna-se evidente em contextos onde a pressão climática se combina com debilidade institucional, ausência de planeamento ou falta de manutenção. Nestes casos, a rotura é inevitável: escassez hídrica, contaminação de fontes, colapso de sistemas urbanos de drenagem ou abastecimento.

Quando os conflitos em torno da água irrompem na esfera social, tornam visíveis as fissuras profundas nas instituições e nas infraestruturas que deveriam sustentar a sua resiliência. Em territórios onde a governação é débil ou as infraestruturas são insuficientes, essas fragilidades traduzem-se em crises humanitárias e ecológicas. A destruição de comunidades, a migração forçada provocada pela seca, ou a deslocação de populações urbanas e rurais após a ocorrência de cheias e inundações, são sintomas evidentes de um modelo de desenvolvimento que, demasiadas vezes, falhou na incorporação dos princípios da justiça ambiental. Esta clivagem entre decisões técnicas e realidades sociais denuncia o esgotamento de uma visão reducionista da água como simples “recurso” e sublinha a urgência de repensar profundamente a relação entre sociedade e sistemas hídricos.

É neste enquadramento que ganha particular relevância a Resolução 64/292 da Assembleia Geral das Nações Unidas, aprovada em 2010, que consagra “o direito à água potável segura e limpa e ao saneamento como um direito humano essencial ao pleno gozo da vida e de todos os direitos humanos”. Este reconhecimento impõe aos Estados-membros o dever de assegurar o acesso universal à água e ao saneamento, sem qualquer forma de discriminação e com prioridade para os grupos mais vulneráveis. Reafirma-se que a privação de água compromete a própria vida, e que os direitos à água e ao saneamento são interdependentes, indissociáveis e fundamentais para uma vida digna. Acresce que não pode haver acesso sustentável e universal à água potável sem sistemas de saneamento eficazes, sendo ainda de reconhecer que a água – e os cursos de água – transporta consigo uma dimensão cultural, espiritual e religiosa profundamente enraizada na vida coletiva das comunidades.

Desta forma, o desafio colocado pelas alterações climáticas ao setor da água é, antes de tudo, um teste à nossa capacidade coletiva de adaptação – técnica, institucional e cultural. A sustentabilidade dos recursos hídricos num mundo em mudança exige mais do que soluções tecnológicas. Implica redesenhar políticas públicas, integrar conhecimento local e científico, reforçar a governança multiescalar e adotar uma abordagem ecossistémica e inclusiva. Neste novo paradigma, a água não é apenas um bem a ser gerido, mas um elo vital entre o clima, os ecossistemas e os direitos humanos.

6.2. Cooperação internacional e compromissos globais

A água é um recurso vital, desigualmente distribuído e interdependente, que transcende fronteiras políticas e exige respostas coordenadas à escala global. Estima-se que cerca de 60% dos recursos hídricos do planeta estejam localizados em bacias hidrográficas transfronteiriças, o que torna a cooperação internacional não apenas desejável mas absolutamente essencial para uma gestão eficaz e sustentável (UN-Water, 2023). Num cenário marcado pelas alterações climáticas, pelo aumento das pressões sobre os ecossistemas aquáticos e por tensões geopolíticas crescentes, a diplomacia da água assume um papel estratégico na promoção da paz, da segurança e do desenvolvimento sustentável.

A água deve ser reconhecida como um bem público global, cuja governança deve assentar no princípio da responsabilidade comum, mas diferenciada, refletindo as assimetrias de capacidade e vulnerabilidade entre países (UNESCO, 2021). A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, em

particular o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 (ODS 6), estabelece metas ambiciosas, como garantir o acesso universal à água potável e ao saneamento, melhorar a qualidade da água, promover o uso eficiente dos recursos hídricos e assegurar a gestão integrada das bacias hidrográficas, com especial destaque para as bacias transfronteiriças (UN-Water, 2023).

A cooperação entre países que partilham aquíferos e rios é fundamental para prevenir conflitos, garantir alocação equitativa da água e promover soluções baseadas na partilha de benefícios (Sadoff & Grey, 2002). Instrumentos jurídicos internacionais como a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito dos Usos dos Cursos de Água Internacionais (1997) e a Convenção da UNECE sobre a Proteção e Utilização dos Cursos de Água Transfronteiriços e dos Lagos Internacionais (1992) oferecem um quadro legal robusto para fomentar a cooperação pacífica e sustentável (UNECE, 1992).

Organizações multilaterais como a UN-Water, a Parceria Global pela Água, o Conselho Mundial da Água e a UNESCO-IHP desempenham um papel vital ao promover o intercâmbio técnico, mobilizar financiamento e facilitar a partilha de boas práticas.

Nos últimos anos, tem-se verificado um crescimento significativo da cooperação Sul-Sul e da cooperação triangular, que permitem a transferência de tecnologias de baixo custo, o reforço da capacitação institucional e a adaptação de soluções a contextos locais vulneráveis. Exemplos notáveis incluem o “Acordo sobre os Aquíferos do Sistema Guarani”, na América do Sul, e a Iniciativa da Bacia do Nilo, em África, que ilustram a possibilidade de se alcançar consensos duradouros em torno da água como bem comum e fator de estabilidade regional (UNESCO, 2021).

Outros modelos positivos incluem a Iniciativa para a Bacia do Mekong, que congrega esforços de vários países do Sudeste Asiático, e o Acordo do Senegal, que criou uma entidade conjunta para a gestão equitativa daquele curso de água (World Bank, 2022). Estes casos demonstram a crescente valorização de instrumentos como a partilha de dados, o reforço das capacidades técnicas e a harmonização de critérios regulatórios na cooperação internacional em matéria de água.

Os compromissos assumidos em fóruns multilaterais, como as Conferências das Partes (COPs) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (UNFCCC), reforçam a necessidade de integrar a gestão da água nos planos nacionais de adaptação e mitigação climática. O acesso facilitado ao financiamento climático é, neste contexto, uma condição indispensável

para reforçar a resiliência hídrica e promover a justiça climática (UNFCCC, 2023).

A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, aprovada na Cimeira das Nações Unidas de 2015, constitui uma visão estratégica de longo prazo, orientando políticas nacionais e iniciativas de cooperação internacional. Dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, vários estão diretamente ligados à água, além do ODS 6, nomeadamente: o ODS 1 (acabar com a pobreza em todas as suas formas); o ODS 2 (acabar com a fome e alcançar a segurança alimentar); o ODS 3 (garantir uma vida saudável e bem-estar para todos); o ODS 7 (garantir energia acessível, confiável, sustentável e moderna); o ODS 11 (tornar cidades e assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis); o ODS 13 (combater a mudança climática); e o ODS 15 (proteger e restaurar a biodiversidade, florestas, e deter o desmatamento).

Apesar dos avanços alcançados na última década, os desafios permanecem significativos, sobretudo nos países em desenvolvimento. Dados recentes sobre a cobertura dos sistemas de abastecimento de água, saneamento e higiene da população mundial (WHO, 2019; UNICEF/WHO, 2023) revelam progressos relativamente lentos, que colocam em causa o alcance dos objetivos propostos até 2030:

- Água potável: 5,3 mil milhões de pessoas têm acesso a serviços geridos com segurança, mas 1,8 mil milhões continuam a utilizar fontes inseguras ou não melhoradas.
- Saneamento: 3,4 mil milhões de pessoas têm acesso a serviços seguros, enquanto cerca de 673 milhões ainda praticam a defecação a céu aberto.
- Higiene: cerca de 3 mil milhões de pessoas ainda não dispõem de instalações básicas de lavagem das mãos com sabão e água em casa.

Estes números revelam a dura realidade higiénico-sanitária vivida por milhares de milhões de pessoas em todo o mundo, evidenciando as profundas desigualdades entre países desenvolvidos e menos desenvolvidos, com graves repercussões em termos de saúde pública, coesão social e desenvolvimento económico.

Para acelerar a concretização do ODS 6, atualmente fora de curso de uma forma alarmante, as Nações Unidas lançaram o *SDG 6 Global Acceleration*

Framework, um plano para ajudar os países a intensificarem os seus compromissos e a avançarem com maior rapidez para as metas nacionais. Esta aceleração contribuirá para o progresso em áreas transversais da Agenda 2030, como a erradicação da pobreza, a segurança alimentar, a equidade de género e a resiliência climática.

Em suma, a cooperação internacional na gestão da água é não apenas um imperativo técnico e ambiental mas, também, uma expressão de solidariedade global e de compromisso ético com um futuro mais justo e sustentável. Num tempo de incertezas e transições, a diplomacia da água pode fazer a diferença entre escassez e segurança, entre exclusão e dignidade.

6.3. Governança, equidade e participação pública

A boa governança da água é um dos pilares fundamentais para alcançar a sustentabilidade hídrica, a equidade no acesso e a resiliência face às mudanças climáticas. No entanto, persistem desafios estruturais que comprometem tanto a eficácia como a justiça na gestão dos recursos hídricos. A fragmentação institucional, a insuficiência regulatória, a obsolescência das infraestruturas e a fraca articulação intersectorial constituem barreiras significativas à implementação de políticas integradas e inclusivas (OECD, 2015).

Um dos entraves mais persistentes à governança da água é a fragmentação institucional. Em muitos países, a responsabilidade pela gestão dos recursos hídricos está distribuída entre múltiplas entidades, com mandatos sobre o abastecimento urbano, a agricultura, a energia, o ambiente, o ordenamento do território e o planeamento hidrológico, frequentemente sem mecanismos eficazes de coordenação (UNESCO, 2021). Esta dispersão de competências gera sobreposições e lacunas, e contribui para conflitos de uso e ineficiência na tomada de decisão.

A gestão integrada dos recursos hídricos, consagrada na Conferência de Dublin (1992) e na Agenda 21, preconiza a articulação entre setores e níveis de governo, a participação pública e a equidade no acesso à água. No entanto, a aplicação prática destes princípios continua limitada. No caso português, apesar da existência dos Planos de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH) e de entidades como a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) e a Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR), subsistem dificuldades de articulação com municípios, operadores privados e organismos intermunicipais (ERSAR, 2023).

Adicionalmente, a regulação económica e de qualidade dos serviços de água, essencial para garantir eficiência, acessibilidade e sustentabilidade financeira, enfrenta desafios técnicos e políticos. A falta de autonomia dos reguladores, a escassez de dados fiáveis e a resistência a reformas por parte de alguns operadores limitam a capacidade de impor boas práticas e fomentar a inovação (World Bank, 2022).

Outro desafio estrutural prende-se com a degradação e desatualização das infraestruturas hidráulicas. Em muitos sistemas urbanos e rurais, as redes de abastecimento e saneamento são antigas, mal dimensionadas e insuficientemente mantidas, resultando em perdas significativas de água e baixa qualidade dos serviços (OECD, 2016). Em Portugal, a ERSAR reportou que, em 2022, 26% da água potável produzida foi perdida nas redes de distribuição, e em cerca de um terço dos sistemas as perdas ultrapassaram os 40% (ERSAR, 2023).

Este problema é especialmente grave em pequenos municípios, que enfrentam constrangimentos financeiros e técnicos para investir em modernização. A recuperação da eficiência operacional requer não só a substituição de condutas mas, também, a reabilitação de reservatórios, estações elevatórias, sistemas de monitorização e plataformas digitais para a gestão da procura. Por outro lado, a incorporação de soluções baseadas na natureza, como zonas húmidas artificiais, valas de infiltração e sistemas de drenagem urbana sustentável, pode contribuir para uma gestão mais resiliente e ecológica da água.

A participação dos cidadãos e das comunidades na tomada de decisão é outro pilar da governança democrática da água. O envolvimento ativo dos utilizadores, nomeadamente através de processos de consulta pública, conselhos de bacia hidrográfica e mecanismos de prestação de contas, reforça a legitimidade das decisões, melhora a transparência e permite que as políticas reflitam melhor as realidades locais (UN-Water, 2023).

A justiça hídrica implica também garantir o acesso equitativo a serviços de água e saneamento, sobretudo para as populações mais vulneráveis, nomeadamente rurais, periféricas, indígenas ou em situação de pobreza. A ausência de uma perspetiva de equidade na formulação e implementação das políticas hídricas tende a perpetuar desigualdades estruturais, comprometendo o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, em particular o ODS 6.

Uma abordagem transformadora da governança da água exige, por isso, a convergência entre inovação institucional, financiamento adequado, reforço das capacidades técnicas e compromisso público. Só assim será possível construir sistemas hídricos mais inclusivos, resilientes e preparados para os desafios de um mundo em rápida transformação.

6.4. Água segura, saúde pública e tecnologia

Ao longo da história da humanidade, é possível afirmar com alguma segurança que os grandes problemas de saúde pública estiveram, muitas vezes, associados à transmissão de doenças infecciosas causadas por microrganismos patogênicos (bactérias, vírus, protozoários e helmintos), sobretudo em contextos de ausência de água potável e de condições adequadas de saneamento. Estas doenças de origem hídrica têm sido responsáveis por crises sanitárias graves e disseminadas, propagando-se através de múltiplas vias: ingestão de água ou alimentos contaminados, inalação de aerossóis, contacto com águas poluídas ou transmissão por vetores como artrópodes e moluscos (Vieira, 2018).

A água potável segura, o saneamento básico e a higiene (conhecidos coletivamente como *WASH*, na sigla em inglês) são elementos essenciais para a saúde e o bem-estar humano. No entanto, milhões de pessoas em todo o mundo continuam a viver sem acesso adequado a estes serviços, o que as expõe diariamente a doenças evitáveis. A carência de *WASH* seguro compromete a qualidade de vida, infringe direitos humanos fundamentais e perpetua desigualdades sociais e sanitárias. Além disso, sistemas de *WASH* precários enfraquecem os serviços de saúde, colocam em risco a segurança sanitária e representam um peso significativo para as economias nacionais.

As doenças e os riscos associados ao *WASH* são vastos e diversos. Incluem infeções transmitidas pela via fecal-oral, efeitos tóxicos decorrentes da exposição a contaminantes químicos na água potável, e impactos significativos no bem-estar físico e mental. Estes riscos podem ser agravados por fatores como as alterações climáticas, o crescimento populacional acelerado, a urbanização desordenada ou, no caso da resistência antimicrobiana, o uso excessivo de antibióticos.

Em 2016, estimava-se que, a nível global, cerca de 1,9 milhões de mortes e 123 milhões de anos de vida ajustados por incapacidade (*DALYs*, disability-adjusted life-years), poderiam ter sido evitados com serviços adequados de *WASH* (ver Quadro 6.1). A carga de doenças atribuível à ausência de

WASH corresponde a 4,6% dos *DALYs* e a 3,3% das mortes globais. No caso de crianças com menos de cinco anos, esta percentagem atinge 13% das mortes.

Quadro 6.1 Carga de doença causada por WASH inadequado, 2016 (Adaptado de WHO, 2019).

Doença	Mortes	DALYs (10³)
Doenças diarreicas	828 651	49 774
Helminthoses transmitidas pelo contacto com o solo	6 248	3 431
Infeções respiratórias agudas	370 370	17 308
Desnutrição	28 194	2 995
Tracoma	<10	244
Esquistossomose	10 405	1 096
Filariose linfática	<10	782
<i>SUBTOTAL: água potável, saneamento e higiene</i>	<i>1 243 869</i>	<i>75 630</i>
Malária	354 924	29 708
Dengue	38 315	2 936
Oncocercose	<10	96
<i>SUBTOTAL: gestão dos recursos hídricos</i>	<i>393 239</i>	<i>32 740</i>
Afogamentos	233 890	14 723
<i>SUBTOTOTAL: segurança dos ambientes aquáticos</i>	<i>233 890</i>	<i>14 723</i>
<i>TOTAL: água, saneamento e higiene inadequados</i>	<i>1 870 998</i>	<i>123 093</i>

A história mostra que grandes avanços na saúde pública estiveram frequentemente associados ao progresso tecnológico e à capacidade de resposta institucional. A partir de meados do século XIX, após sucessivas epidemias de cólera e outras doenças gastrointestinais na Europa, emergiu uma nova consciência sobre a importância de políticas públicas de saúde, higiene e urbanismo. A criação da *Poor Law Commission* na Grã-Bretanha, em 1834, e os estudos liderados por Edwin Chadwick (1842), marcaram um ponto de viragem fundamental para a medicina e a engenharia sanitária. Esse

esforço, de inspiração intervencionista, procurava soluções técnicas para garantir o abastecimento de água limpa e o saneamento urbano, com o objetivo de prevenir e conter epidemias.

Com a Revolução Industrial, o uso do vapor de água como nova fonte de energia tornou possível o desenvolvimento de redes de abastecimento e drenagem mais eficientes, assim como a implementação de sistemas de esgotos sanitários em edifícios e bairros. Esses avanços técnicos não só transformaram as cidades como também passaram a desempenhar um papel central na promoção da saúde pública.

Contudo, o sucesso destas infraestruturas dependia também de avanços científicos. Foi necessário o progresso da medicina e da microbiologia para identificar e isolar os microrganismos patogênicos responsáveis por muitas das doenças até aí mal compreendidas. Só então se consolidou a importância de tratar a água de forma sistemática. A desinfecção da água potável, introduzida no final do século XIX, foi um marco fundamental, contribuindo para a redução significativa de doenças como a cólera e a febre tifóide (Rose & Masago, 2007).

Atualmente, a poluição hídrica continua a representar uma ameaça séria à saúde pública, agravada pela industrialização acelerada, pela urbanização desregulada e pelo uso intensivo de produtos químicos na agricultura. Face a este cenário, e aprendendo com o passado, é imperativo recorrer à engenharia como aliada estratégica para garantir o acesso universal à água limpa e segura – condição essencial para combater doenças emergentes e reemergentes, bem como para promover a equidade e a qualidade de vida nas sociedades contemporâneas.

As soluções de engenharia desempenham, hoje, um papel crucial na concretização do direito humano à água, especialmente num contexto marcado pelas pressões das alterações climáticas, pelo crescimento demográfico e pelas crescentes desigualdades no acesso aos recursos. Estas soluções abrangem desde tecnologias convencionais de tratamento e distribuição até sistemas descentralizados, modulares e resilientes, adaptáveis a diferentes realidades territoriais.

O tratamento avançado da água potável, incluindo filtração por membranas, ozonização, uso de carvão ativado e desinfecção por radiação ultravioleta, permite a remoção de contaminantes emergentes, incluindo resíduos farmacêuticos, pesticidas e microplásticos que os métodos tradicionais não conseguem eliminar eficazmente. Estas tecnologias revelam-se

especialmente relevantes em regiões onde os meios hídricos estão fortemente impactados por descargas industriais e agrícolas (WHO, 2022).

Em contextos rurais, comunidades remotas ou situações de emergência humanitária, as tecnologias de baixo custo e manutenção simples – como filtros cerâmicos, sistemas de captação de água da chuva e unidades móveis de tratamento – têm demonstrado grande eficácia. Paralelamente, a modelação hidráulica e os sistemas de monitorização em tempo real oferecem ferramentas poderosas para otimizar a gestão das redes de abastecimento, detetar contaminações e aumentar a eficiência energética.

No entanto, a engenharia, por si só, não é suficiente para resolver os desafios do acesso à água. As soluções técnicas devem estar integradas em políticas públicas inclusivas, acompanhadas de participação ativa das comunidades, regulação eficaz e financiamento adequado e sustentável. Somente com uma abordagem sistémica e integrada será possível garantir que os avanços tecnológicos se traduzam em benefícios reais e duradouros para a saúde pública global.

6.5. Inovação e soluções para a sustentabilidade da água

As soluções para os crescentes desafios relacionados com a água potável têm sido desenvolvidas através de uma abordagem multidisciplinar, liderada por engenheiros de diversas especialidades que aplicam o conhecimento científico na procura de respostas inovadoras para os problemas globais da água. Tradicionalmente, os engenheiros civis desempenham um papel central na construção de grandes infraestruturas hídricas, como barragens, canais, reservatórios, condutas, estações elevatórias e estações de tratamento. No entanto, outras áreas da engenharia, nomeadamente a ambiental, química, biológica, agrícola, eletrónica, informática e mecânica, têm também oferecido contributos significativos, promovendo avanços tecnológicos e apoiando políticas de gestão mais sustentáveis.

Para além do desenvolvimento físico de infraestruturas, a engenharia tem desempenhado um papel fundamental na modernização dos sistemas hídricos, dotando-os de “inteligência” através da investigação, do desenvolvimento tecnológico e da transferência de conhecimento. Entre as soluções mais relevantes destacam-se: (i) a promoção de uma governação integrada dos recursos hídricos; (ii) o aumento da eficiência no uso da água e a redução de perdas nas redes de distribuição urbana e nos processos industriais e energéticos; (iii) a implementação de soluções baseadas na natureza para

a gestão de rios, aquíferos e drenagem urbana; (iv) a proteção e restauração de ecossistemas aquáticos; (v) a introdução de fontes alternativas de água, como a reutilização segura de águas residuais, a captação de águas pluviais e a dessalinização; e (vi) a gestão de riscos associados a eventos extremos, como secas e inundações.

Nas últimas décadas, os avanços na engenharia hidráulica e ambiental possibilitaram o desenvolvimento de tecnologias mais eficazes para o tratamento da água, incluindo processos de oxidação avançada, adsorção, osmose inversa e filtração com nano- e ultramembranas. Estas técnicas são empregues para remover contaminantes emergentes, assegurando a qualidade da água tratada.

Paralelamente, a digitalização está a revolucionar a gestão, o planeamento e a monitorização dos serviços de água. Tecnologias como a Internet das Coisas (IoT), a inteligência artificial (IA), os sensores em tempo real e os *big data* estão a transformar os sistemas hídricos em unidades adaptáveis, resilientes e mais sustentáveis. Os sistemas de telegestão e telemetria permitem a monitorização contínua de parâmetros relativos a qualidade da água, pressão nas redes e perdas, otimizando o desempenho e permitindo respostas rápidas a falhas ou eventos extremos. A análise preditiva de dados, por sua vez, apoia a tomada de decisões estratégicas e a eficiência dos investimentos (WEF, 2021).

Estas inovações digitais também promovem uma maior transparência e envolvimento dos cidadãos, através de aplicações móveis, painéis interativos e plataformas de reporte que incentivam comportamentos de consumo mais sustentáveis. Além disso, a integração com modelos climáticos e hidrológicos avançados reforça a capacidade de antecipação e resposta dos sistemas urbanos e agrícolas face às alterações climáticas.

A inovação tecnológica está igualmente presente na observação e monitorização remota do ciclo hidrológico. Tecnologias de sensoriamento remoto, satélites e engenharia aeroespacial têm alargado significativamente a capacidade de identificar padrões hidrológicos e prever impactos quantitativos e qualitativos associados às mudanças climáticas.

A transição para modelos circulares, a digitalização dos sistemas e a integração de soluções baseadas na natureza constituem pilares fundamentais desta transformação. A reutilização da água, em particular, assume um papel estratégico na redução da pressão sobre os recursos hídricos convencionais, especialmente em regiões áridas e semiáridas. A água residual

tratada pode ser reaproveitada em contextos agrícolas, industriais, urbanos (como rega de jardins e lavagem de vias) e, em alguns casos, até para recarga de aquíferos ou potabilização indireta. Apesar do seu potencial, a taxa de reutilização ainda é reduzida: segundo a Comissão Europeia, em 2020 apenas 2,4% da água residual era reutilizada na União Europeia. A nova Regulamentação Europeia (EU, 2020) estabelece critérios mínimos para a reutilização da água regenerada para fins agrícolas, promovendo a segurança e a confiança pública.

A economia circular no setor da água inclui igualmente a recuperação de nutrientes (como o fósforo e o azoto) e o aproveitamento da matéria orgânica para a produção de biogás ou de compostos com valor industrial, promovendo a melhoria da eficiência energética dos processos nas estações de tratamento de águas residuais (ETAR). Estas práticas contribuem para tornar os serviços de água mais sustentáveis, resilientes e integrados nas cadeias de valor.

A inovação tecnológica, articulada com a gestão do conhecimento e o desenvolvimento de capacidades, continuará a gerar novas ferramentas e abordagens, ao mesmo tempo que acelera a adoção e disseminação de soluções já existentes. Este impulso é essencial para enfrentar os desafios atuais e futuros no domínio da água, assegurando um futuro mais seguro, equitativo e sustentável para todas as regiões do planeta (UNESCO/UN-Water, 2020).

6.6. Desafios da gestão da água em Portugal

A gestão da água em Portugal enfrenta hoje um conjunto complexo de desafios que resultam da conjugação entre vulnerabilidades estruturais históricas e os impactos crescentes das alterações climáticas. Trata-se de um domínio estratégico para o desenvolvimento sustentável, cuja complexidade exige abordagens integradas, adaptativas e fundamentadas em conhecimento científico, inovação tecnológica e participação social.

Historicamente, a política da água em Portugal evoluiu a partir de uma forte centralização estatal, enraizada numa tradição técnico-institucional que remonta ao século XIX. Ao longo do século XX, o Estado Novo assumiu um papel dominante na condução de grandes empreendimentos hidráulicos, com destaque para políticas públicas ambiciosas, através de planos como o *Plano de Estudos e Obras de Hidráulica Agrícola* (1938), a *Lei de Electrificação do País* (1944), e o *Plano de Valorização do Alentejo* (1957), que

culminaria, muito mais tarde, já no contexto democrático atual, na concretização do projeto de Alqueva. Estes planos tinham como objetivo modernizar a economia, assegurar a eletrificação, aumentar a produção agrícola e criar infraestruturas estruturantes para o território.

Com a integração de Portugal na União Europeia e, em particular, com a transposição da Diretiva Quadro da Água (2000/60/CE), em 2006, a política da água ganhou uma nova orientação, centrada na proteção dos ecossistemas aquáticos e na gestão baseada em unidades de bacia hidrográfica. Este novo enquadramento exigiu o fortalecimento das instituições públicas e a descentralização da gestão, nomeadamente através da criação das Administrações de Região Hidrográfica (ARH). Contudo, apesar das intenções descentralizadoras, a instabilidade legislativa e a persistência de uma cultura de governação centralizada têm limitado a consolidação de um modelo territorialmente adaptado e verdadeiramente participativo. Neste contexto, deve realçar-se o período de 2007 a 2011, que marcou um significativo impulso descentralizador com a criação de ARH dotadas de autonomia administrativa e financeira e de património próprio. Embora tenha sido de duração limitada, essa experiência revelou-se extremamente enriquecedora, evidenciando um notável sucesso na abordagem às especificidades territoriais do país.

No entanto, persistem desafios estruturais, entre os quais se destaca a fragmentação institucional, a dispersão de competências e a desarticulação entre diferentes níveis de governo (central, regional e local). A coexistência de múltiplos planos (regionais, municipais e setoriais) e entidades públicas e privadas dificulta a coerência na aplicação da política da água. A articulação entre os setores da água, território, energia e agricultura continua limitada, comprometendo a eficácia das medidas de gestão integrada (OECD, 2020).

Portugal é particularmente vulnerável à escassez hídrica e à desertificação, situando-se entre as regiões europeias mais expostas aos riscos associados às alterações climáticas. A orientação noroeste-sudeste dos sistemas montanhosos e a variabilidade pluviométrica geram uma distribuição desigual da precipitação, com maior abundância no Norte e escassez crónica no Sul. Essa disparidade, agravada por secas prolongadas, coloca pressão sobre os sistemas de abastecimento e sobre os ecossistemas aquáticos. A crescente frequência de fenómenos extremos, como secas severas e chuvas torrenciais, compromete os sistemas de armazenamento e distribuição, exigindo estratégias de gestão mais flexíveis e resilientes.

A situação é ainda mais delicada tendo em conta a forte dependência de recursos hídricos transfronteiriços. Cerca de 64% do território nacional está inserido em bacias hidrográficas partilhadas com Espanha, o que representa 67% das disponibilidades hídricas superficiais do país. A Convenção de Albufeira (1998) estabelece um quadro legal para a cooperação entre os dois países, definindo caudais mínimos e princípios de colaboração. No entanto, em contextos de escassez hídrica, têm-se verificado dificuldades no cumprimento dos compromissos acordados, levantando preocupações quanto à segurança hídrica e à proteção dos ecossistemas. A observância do espírito e da letra deste acordo, garantindo maior transparência, mecanismos eficazes de monitorização e critérios mais rigorosos para a partilha justa e sustentável da água são, por isso, imperativos para a segurança hídrica nacional.

Além da escassez, a qualidade da água é igualmente um desafio. A poluição das águas resulta de múltiplas fontes: esgotos domésticos não tratados, resíduos industriais e escoamento agrícola contaminado com pesticidas, fertilizantes e metais pesados. Esta contaminação afeta tanto a saúde pública como a biodiversidade, sendo particularmente preocupante em regiões com elevada intensidade agrícola e industrial. O reforço dos sistemas de tratamento de águas residuais, o controlo das descargas poluentes e a promoção de práticas agrícolas sustentáveis são medidas urgentes.

A ineficiência das infraestruturas é outro problema recorrente. As perdas nas redes de abastecimento urbano, sobretudo devido à sua obsolescência, ultrapassam os 30% em muitas zonas do país, comprometendo a eficiência do sistema e desperdiçando recursos valiosos. No setor agrícola, que representa cerca de 75% do consumo de água, persiste uma forte dependência de sistemas de rega ineficientes, pouco adaptados à escassez hídrica e às necessidades reais das culturas (INAG, 2021). A melhoria da eficiência hídrica, tanto no meio urbano como no rural, constitui uma prioridade estratégica.

Face a este panorama, a introdução de tecnologias emergentes representa uma oportunidade decisiva. A inteligência artificial (IA) permite desenvolver sistemas de previsão de secas e inundações com base em dados meteorológicos, hidrológicos e climáticos, possibilitando uma resposta mais célere e eficaz. A digitalização dos serviços, a gestão inteligente das redes de distribuição, a deteção de fugas, a otimização dos sistemas de rega e o uso de sensores remotos estão a transformar a forma como se gere a água, contribuindo para reduzir perdas, melhorar a eficiência e aumentar a resiliência.

Portugal possui igualmente potencial para se afirmar como líder em soluções inovadoras. Iniciativas de reutilização de águas residuais tratadas, projetos-piloto de dessalinização em zonas costeiras e investimentos em infraestrutura verde, como zonas húmidas restauradas, bacias de retenção e soluções baseadas na natureza, são exemplos de caminhos promissores.

A escassez de água resulta, muitas vezes, de uma combinação de fatores: sobre-exploração de aquíferos, degradação da qualidade, crescimento populacional, urbanização descontrolada e aumento da procura para fins agrícolas, industriais e energéticos. A resposta a estes desafios exige uma gestão integrada, baseada na conservação e no uso responsável dos recursos, com equilíbrio entre as necessidades humanas, a proteção ambiental e a sustentabilidade económica.

Por fim, é essencial rever a estrutura organizativa da gestão da água em Portugal, dotando-a dos meios humanos, financeiros e tecnológicos necessários para garantir a previsão, monitorização, fiscalização e planeamento a médio e longo prazos. A descentralização inteligente, a coordenação entre escalas e setores e a participação ativa da sociedade são condições fundamentais para assegurar uma gestão da água eficaz, justa e sustentável.

A segurança hídrica, a qualidade da água e a adaptação às alterações climáticas são objetivos interdependentes, que requerem uma visão estratégica nacional assente na inovação, na governança colaborativa e na responsabilização de todos os agentes. Só assim será possível garantir o acesso equitativo à água e preservar este bem essencial para as gerações presentes e futuras.

6.7. Conclusões e recomendações estratégicas

A sustentabilidade da água em tempos de mudanças climáticas impõe uma transformação profunda na forma como concebemos, planeamos e gerimos este recurso essencial. A crise hídrica contemporânea transcende a escassez física; trata-se, sobretudo, de uma crise de governança, equidade e capacidade de adaptação a cenários em rápida mutação. Nesse contexto, torna-se imperativo adotar uma abordagem sistémica e integrada que considere simultaneamente as dimensões ecológica, social, económica e tecnológica da gestão da água.

Os desafios globais interligados, como a intensificação dos eventos extremos, o aumento da poluição hídrica, a desigualdade no acesso e a pressão

sobre os ecossistemas, exigem soluções transdisciplinares, que aliem inovação, inclusão e visão de longo-prazo. As respostas devem ancorar-se numa base científica sólida, articulada com políticas públicas eficazes e com uma cidadania ativa e informada.

Desta análise emergem recomendações estratégicas prioritárias para orientar a ação política, institucional e social no domínio da água:

- Reforçar a governança multiescalar, promovendo a articulação entre os diferentes níveis de decisão (local, regional, nacional e internacional) e entre setores (água, agricultura, energia, saúde, ambiente). A gestão integrada dos recursos hídricos deve ser o alicerce desta articulação, permitindo sinergias, redução de conflitos e maior eficácia das intervenções públicas.
- Investir em inovação, ciência aplicada e digitalização, explorando plenamente o potencial de tecnologias emergentes como a monitorização inteligente, a modelação hidroambiental, os sistemas de apoio à decisão, a nanotecnologia, a biotecnologia e a inteligência artificial. Estas soluções tecnológicas podem tornar os sistemas hídricos mais resilientes, eficientes e adaptáveis, sobretudo em contextos urbanos e agrícolas pressionados pelas alterações climáticas.
- Promover uma economia circular da água, incentivando a reutilização segura das águas residuais, a recuperação de nutrientes e energia nas ETAR, e o redesenho dos sistemas hídricos para minimizar perdas e maximizar o valor dos recursos ao longo do seu ciclo de vida. Esta abordagem deve ser apoiada por quadros regulatórios adequados e por mecanismos de financiamento inovadores.
- Assegurar a justiça hídrica, reconhecendo o acesso à água potável e ao saneamento como um direito humano fundamental. É crucial garantir a equidade no acesso através de tarifas sociais, subsídios direcionados e estratégias específicas para comunidades vulneráveis, especialmente em zonas rurais, periurbanas e regiões com escassez crónica.
- Descarbonizar e adaptar as infraestruturas hídricas, alinhando os investimentos com os compromissos de neutralidade climática. A modernização das redes de abastecimento e saneamento deve incorporar critérios de eficiência energética, uso de fontes renováveis e resiliência face a choques climáticos.

- Fortalecer a cooperação internacional, sobretudo em bacias hidrográficas partilhadas, promovendo a diplomacia da água, a partilha de dados e boas práticas, e o acesso equitativo a mecanismos de financiamento climático. A água, enquanto bem comum global, exige soluções cooperativas, solidárias e sustentáveis.
- A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, com a sua natureza holística e interligada, exige uma abordagem integrada à água, que contribua para a concretização dos 17 ODS de forma coerente e eficaz. A complexidade dos desafios atuais exige análise interdisciplinar, capacitação técnica multisetorial e cooperação global efetiva. A concretização do ODS 6 exige medidas urgentes por parte dos governos, com investimentos orientados para erradicar a inacessibilidade à água segura, a qual perpetua ciclos de pobreza, insegurança alimentar, desigualdade e migração forçada, particularmente em países menos desenvolvidos.
- Promover a literacia hídrica e a participação cidadã, fomentando culturas de corresponsabilidade, transparência e valorização da água como bem comum. A educação formal e informal, os processos participativos e o uso de tecnologias digitais devem ser mobilizados para aumentar a consciência pública e o envolvimento ativo das comunidades na gestão da água.
- No caso particular de Portugal, é urgente romper com a lógica de resposta reativa à escassez, adotando uma visão estratégica e de longo-prazo, ancorada na prevenção, na adaptação e na solidariedade intergeracional.

Mais amplamente, a água deve ser reconhecida como elemento central das políticas públicas de desenvolvimento sustentável, não apenas como um recurso natural, mas como elemento estruturante do território, da coesão social e da competitividade económica. Tal transformação requer liderança política esclarecida, ciência aplicada e ação comunitária mobilizadora.

Referências

- Chadwick, E. (1842). *Report on the Sanitary Condition of the Labouring Population of Great Britain*. (Ed. with introduction by M.W. Flinn). Edinburgh University Press.
- ERSAR (2023). *Relatório anual dos serviços de águas e resíduos em Portugal – RASARP 2022*. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. <https://www.ersar.pt>
- EU (2020). *Water reuse – European Union Regulation 2020/741 on minimum requirements for water reuse*. European Commission.
- FAO (2017). *The future of food and agriculture – Trends and challenges*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- INAG (2021). *Relatório do Estado do Ambiente e da Água em Portugal*. Instituto da Água.
- IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report*. Cambridge University Press.
- OECD (2015). *Water governance in OECD countries: A multi-level approach*. Organisation for Economic Co-operation and Development Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264231122-en>
- OECD (2016). *Water governance in cities*. Organisation for Economic Co-operation and Development Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264251090-en>
- OECD (2020). *Water Governance in Portugal: Fit for the Future?*. Organisation for Economic Co-operation and Development Publishing.
- Rose, J. B., & Masago, Y. (2007). A toast to our health: Our journey toward safe water. *Water Science and Technology: Water Supply*, 7 (1), 41-48.
- Sadoff, C., & Grey, D. (2002). Beyond the river: The benefits of cooperation on international rivers. *Water Policy*, 4(5), 389–403. <https://doi.org/10.2166/wp.2002.0027>
- UN-Water (2023). *Progress on integrated water resources management: Global status and acceleration needs for SDG 6.5.1*. United Nations.
- UNDESA (2022). *World Population Prospects 2022*. United Nations Department of Economic and Social Affairs, New York.
- UNDESA (2023). *The Sustainable Development Goals Report 2023: Special Edition*. United Nations Department of Economic and Social Affairs, New York.
- UNECE (1992). *Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes*. United Nations Economic Commission for Europe.
- UNESCO (2020). *United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

UNESCO (2021). *The United Nations world water development report 2021: Valuing water*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

UNESCO/UN-Water (2020). *United Nations world water development report 2020: water and climate change*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization and United Nations-Water.

UNFCCC (2023). *Water and climate change: Integrating water into national climate planning and implementation*. United Nations Framework Convention on Climate Change.

UNICEF/WHO (2023). *Global Progress Report on Water, Sanitation and Hygiene in Health Care Facilities*. United Nations Children's Fund; World Health Organization.

Vieira, J. M. P. (2018). *Água e saúde pública*. Edições Sílabo.

WHO (2021). *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2020: Five years into the SDGs*. World Health Organization and UNICEF.

WHO (2019). *Water, sanitation, hygiene and health: a primer for health professionals*. World Health Organization.

WHO (2022). *Global analysis and assessment of sanitation and drinking-water (GLAAS) 2022 report*. World Health Organization.

WEF (2021). *Water: The invisible crisis– A call for digital water infrastructure*. World Economic Forum.

World Bank (2022). *Water security for all: The next wave of investments in water*. <https://www.worldbank.org>