cgee

Resumo executivo

OICS observatório de inovação para cidades sustentáveis

Políticas e soluções para cidades sustentáveis: saneamento/água

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) edita publicações sobre diversas temáticas que impactam a agenda do Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (SNCTI).

As edições são alinhadas à missão institucional do Centro de subsidiar os processos de tomada de decisão em temas relacionados à ciência, tecnologia e inovação, por meio de estudos em prospecção e avaliação estratégica baseados em ampla articulação com especialistas e instituições do SNCTI.

As publicações trazem resultados de alguns dos principais trabalhos desenvolvidos pelo Centro, dentro de abordagens como produção de alimentos, formação de recursos humanos, sustentabilidade e energia. Todas estão disponíveis gratuitamente para *download*.

A instituição também produz, semestralmente, a revista **Parcerias Estratégicas**, que apresenta contribuições de atores do SNCTI para o fortalecimento da área no País.

Você está recebendo uma dessas publicações, mas pode ter acesso a todo o acervo do Centro pelo nosso site: *http://www.cgee.org.br.*

Boa leitura!

Políticas e soluções para cidades sustentáveis: saneamento/água

Resumo executivo

cgee

Brasília – DF
2022

© Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)

Organização social supervisionada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI)

Diretor-presidente
Marcio de Miranda Santos (até 28/02/2022)
Fernando Cosme Rizzo Assunção (a partir de 01/03/2022)

Diretores
Ary Mergulhão Filho
Luiz Arnaldo Pereira da Cunha Junior
Regina Maria Silverio

Edição: *Jéssica Sousa / Contexto Gráfico*
Diagramação: *Contexto Gráfico*
Capa e Infográficos: *Contexto Gráfico*
Projeto Gráfico: *Núcleo de design gráfico do CGEE*

Catalogação na fonte

C389p
Políticas e soluções para cidades sustentáveis: saneamento/água. Resumo Executivo. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2022.

46 p.

ISBN 978-65-5775-046-9

1. Água. 2. Saneamento. 3. Sustentabilidade. 4. Política. I. CGEE. II. UFPR. III. Título.
CDU 628

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, SCS Qd 9, Bl. C, 4º andar, Ed. Parque Cidade Corporate, 70308-200, Brasília, DF ,Telefone: (61) 3424.9600
@CGEE_oficial | *http://www.cgee.org.br* | *@CGEE*
@CGEE_oficial | *@Centro de Gestão e Estudos Estratégicos*

Todos os direitos reservados pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Os textos contidos nesta publicação poderão ser reproduzidos, armazenados ou transmitidos, desde que seja citada a fonte.

Referência bibliográfica:
CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. **Políticas e soluções para cidades sustentáveis:** saneamento/água. Resumo Executivo. Brasília, DF: CGEE, 2022. 46 p.

Esta publicação é parte integrante das atividades desenvolvidas pelo Observatório de Inovação para Cidades Sustentáveis no âmbito do Projeto CITinova – Promovendo Cidades Sustentáveis no Brasil através de Planejamento Urbano Integrado e de Investimentos em Tecnologias Inovadoras — Centro de Custo: 800160 – CGEE GEF/PNUMA (8.12.53.01.03.01).

Políticas e soluções para cidades sustentáveis: saneamento/água

Resumo executivo

Supervisão

Regina Maria Silverio

Coordenação no CGEE

Marco Aurélio Lobo Júnior (até 28 de fevereiro de 2022)
Patrícia Miranda Menezes (a partir de 01 de março de 2022)

Equipe técnica do CGEE

Raiza Gomes Fraga
Monique Pinheiro Santos
Patrícia Reis Ferreira de Andrade

Equipe técnica do MCTI - Projeto CITINOVA Planejamento Integrado e Tecnologias para Cidades Sustentáveis

Luíz Henrique Mourão (Diretor Nacional)
Ana Lucia Stival (Coordenadora Nacional)
Angélica Griesinger (Coordenadora Técnica)
Régis Rathmann (Coordenador de Plataforma)
Isabela Melo (Assistente de projeto)
Camile Vieira Martins (Consultora)

PNUMA

Denise Hamú (Representante Brasil)
Regina Cavini (Oficial de Programas)
Asher Lessels (Gestor de Portfólio)

CONSULTORES

Aguinaldo dos Santos
Marcella Lomba Nicastro
Alessandra Petrecca

Os textos apresentados nesta publicação são de responsabilidade dos autores.

Sumário

Apresentação 7

Introdução 9

1. Motivações para a maior sustentabilidade na gestão da água nas cidades 11

2. Método de pesquisa 15

3. Taxonomia de políticas para a gestão sustentável da água 17

3.1. Política de universalização do saneamento 17

3.2. Políticas voltadas à ecoeficiência do sistema de saneamento 18

3.3. Política de implementação de sistemas mais descentralizados ou distribuídos 21

3.4. Política de promoção do comportamento sustentável 22

3.5. Política de incentivos econômicos para investimento em saneamento 24

3.6. Política para inteligência e servitização do saneamento 25

3.7. Política de planejamento do saneamento 25

3.8. Política de mitigação do impacto das mudanças climáticas 27

3.9. Política de proteção do meio ambiente associado aos recursos hídricos 29

4. Fitorremediação 31

4.1. Definição 31

4.2. Caracterização do processo 32

4.3. Vantagens da fitorremediação 33

4.4. Limitações da fitorremediação 33

4.5. Fitorremediação via *wetlands* construídas 33

5. Considerações finais 35

Referências 36

Siglas e abreviaturas encontradas nesta publicação 46

Apresentação

O Observatório de Inovações para Cidades Sustentáveis (OICS) é uma iniciativa desenvolvida pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) como parte do projeto CITInova, do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), para a promoção de sustentabilidade nas cidades brasileiras por meio de tecnologias inovadoras e planejamento urbano integrado.

O OICS atua para acelerar a inovação nas cidades brasileiras e apoiar a tomada de decisão com base em evidências, oferecendo aos gestores públicos brasileiros um banco de soluções para a sustentabilidade urbana e um sistema de informações geográficas (*sigweb*) que caracteriza o território nacional, por meio de indicadores e tipologias para as cidades brasileiras.

O mapeamento de soluções contempla iniciativas em temas como água, energia, mobilidade, ambiente construído, resíduos sólidos e soluções baseadas na natureza. Na plataforma é possível conhecer características centrais de sua implementação e exemplos práticos de sua aplicação. O banco possui informações diretas e resumidas para auxiliar o tomador de decisão, que apoiado pelo sistema de informações geográficas pode levantar dados sobre sua região, comparando indicadores para cada um dos temas mapeados.

Sabemos, no entanto, que o banco de soluções e o mapa *sigweb* são apenas parte de um percurso para a transição de nossas cidades para ambientes mais sustentáveis. Por isso, apresentamos essa série de resumos executivos que relacionam **políticas** e o **banco de soluções do OICS**, oferecendo aos tomadores de decisão informação atualizada a partir de uma revisão bibliográfica sistemática sobre cada um dos temas mapeados (água, energia, mobilidade, ambiente construído, resíduos sólidos e soluções baseadas na natureza). Estes resumos sinalizam aos gestores públicos as políticas que podem ser endereçadas por meio da implementação de diferentes soluções urbanas. Trata-se de um material vivo, que oferece referências para a atualização de estratégias municipais no âmbito da sustentabilidade.

Os resumos executivos foram elaborados em uma parceria com o Núcleo de Design & Sustentabilidade da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e têm como principal objetivo oferecer aos gestores um material atualizado, com a publicação científica na área da sustentabilidade, atentando-se às possibilidades de aplicação em escala local. O material traz extensa referência bibliográfica, que poderá servir como insumo para a elaboração de projetos locais e também associa as políticas mapeadas com as soluções disponíveis no banco do OICS.

Para aproveitar da melhor forma o conteúdo elaborado, aproveite para navegar nas soluções indicadas, clicando nos hiperlinks e conhecendo a aplicação prática de iniciativas urbanas em consonância com políticas e estratégias que dialogam com as principais e atuais agendas para a sustentabilidade.

Boa leitura!

Políticas e soluções para cidades sustentáveis: saneamento/água

Introdução

Este documento foi desenvolvido na parceria entre o Observatório para Inovação das Cidades Sustentáveis (OICS) e o Núcleo de Design & Sustentabilidade da Universidade Federal do Paraná (UFPR), com o intuito de subsidiar os tomadores de decisão no âmbito das prefeituras municipais quanto ao elenco de políticas e soluções pertinentes ao tema "Saneamento/Água". O arcabouço apresentado aqui, juntamente com a base de soluções e casos constantes no portal do OICS, constitui em ferramenta valiosa no processo de customização de políticas e soluções mais sustentáveis adequadas às especificidades locais. Mesmo em municípios onde a concessão dos serviços de saneamento ocorre em instâncias estaduais ou empresas privadas, este documento mostra que há amplo espaço para contribuição das prefeituras para que a cidade alcance patamares mais sustentáveis na gestão da água.

O marco legal para o saneamento, estabelecido na Lei nº 14.026/2020 (BRASIL, 2020), define saneamento básico como o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais voltadas ao: a) abastecimento de água potável; b) esgotamento sanitário; c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos[1]; e d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.

O tema é central na busca por cidades mais sustentáveis, posto que água e saneamento são condições básicas para o bem-estar nas cidades e sua disponibilidade por si só é reconhecida pelas Nações Unidas como um direito humano (OHCHR, 2002; UNGA, 2010). Nesta perspectiva, entende-se que a água não pode ser considerada apenas como um recurso natural a ser administrado, disponibilizado e utilizado. O direito à água e ao saneamento significa a disponibilização de serviços de água e saneamento

1 O tema da limpeza e dos resíduos urbanos é tratado em outro resumo executivo.

suficientes, seguros, inclusivos, culturalmente aceitáveis, economicamente acessíveis, entregues de forma participativa, responsável e não discriminatória (OHCHR, 2002).

O fenômeno do crescimento da população associado à rápida urbanização e ao elevado grau de informalidade, aliado aos impactos das mudanças climáticas e às repercussões na insegurança hídrica, têm oferecido um grande desafio para o planejamento, implementação e operação de um saneamento seguro nas cidades (UN-HABITAT, 2012; SPUHLER *et al.*, 2020). Observa-se uma redução nas fontes de abastecimento de água concomitante à ampliação na intensidade do consumo. Há, neste contexto, um desafio permanente de garantir o suprimento de água **suficiente** (paras todas as necessidades humanas básicas, como beber, higiene pessoal, lavagem de roupas, preparação de alimentos e higiene doméstica), **segura** (livre de micro-organismos, substâncias químicas e riscos radiológicos), **apropriada** (cor, odor e sabor devem ser culturalmente e socialmente apropriados), de **fácil acesso e economicamente viável** (UN-WATER, 2015; KHAN *et al.*, 2020; ALEMU; DIOHA, 2020).

Alcançar essa qualidade da oferta demanda uma cadeia de serviços de saneamento, que inclui atividades como contenção, extração, transporte, tratamento, reutilização e descarte. Assim, contempla não somente uma dimensão tecnológica, mas também uma dimensão que envolve a definição da jornada de experiências desses usuários e de novos modelos de negócios (SPUHLER *et al.*, 2020). Brown *et al.* (2009) propõem uma escala de evolução que vai do mero provimento de água potável, seguida do provimento de esgoto, drenagem, difusão da poluição, proteção dos mananciais e, no limite, um desenho urbano multifuncional e adaptativo que reforça comportamentos sensíveis à questão da água.

A evolução da maturidade dos sistemas de saneamento nas cidades tem em seu patamar inicial as cidades sem serviços básicos de água, com insuficiência deles, ou as cidades com sistemas implantados, mas com grande ineficiência, apresentando elevado nível de vazamento. Neste patamar inicial, a governança é reativa e o envolvimento da comunidade é baixo. Em um patamar mais acima, há as cidades que alcançam nível elevado de eficiência hídrica e de controle da poluição, embora ainda vulneráveis a mudanças climáticas, como o aquecimento urbano e as enchentes. A seguir, há as cidades adaptáveis e eficientes, em termos da utilização de recursos, recuperando energia e nutrientes do sistema de saneamento, além de aplicar conceitos de planejamento urbano voltados à adaptação ao clima, como a incorporação de infraestruturas verdes e separação de águas pluviais. Há, aqui, maior envolvimento da comunidade no processo de decisão com vistas a horizontes de longo prazo. No patamar mais elevado, temos as cidades sensíveis (ou sábias), em se tratando da gestão da água; apresentando uma integração plena do planejamento hídrico com o planejamento urbano. Nesse patamar, a cidade alcança equilíbrio entre os ambientes construídos e naturais, resultando na gestão integrada e sustentável das águas pluviais, subterrâneas, superficiais, residuais e potáveis. Governo e sociedade agem de forma articulada para alcançar sustentabilidade na gestão hídrica (DOLMAN, 2011; GWP, 2000; WONG; BROWN, 2009; WONG *et al.*, 2020). A seguir são apresentados alguns dos principais argumentos para a implantação de políticas voltadas ao saneamento sustentável.

1. Motivações para a maior sustentabilidade na gestão da água nas cidades

Água, saneamento e higiene estão interligados, sendo essenciais nos esforços de erradicação da pobreza, redução das desigualdades, de desenvolvimento econômico e de busca da sustentabilidade ambiental. O acesso à água e ao saneamento importa para todos os aspectos da dignidade humana: da segurança alimentar e energética, à saúde e bem-estar (UNSDG, 2021; SWA, 2021). Apesar dessa relevância, a escassez de água afeta mais de 40% da população mundial, número que deverá subir ainda mais como resultado das mudanças climáticas e da gestão inadequada dos recursos naturais (UNSDG, 2021). Globalmente, cerca de 3,6 bilhões de pessoas, ou seja, quase a metade da população mundial, vive em áreas onde a escassez de água ocorre pelo menos uma vez ao ano. A previsão é que esse número aumente para 4,8 a 5,7 bilhões de pessoas até 2050. Enquanto isso, a demanda por água tem aumentado cerca de 1% ao ano (UN-WATER, 2018). Nesse contexto, o Fórum Econômico Mundial aponta repetidamente as crises de água como um dos cinco principais riscos globais (WEF, 2019). Regiões com estresse hídrico têm agravado a carência no suprimento de água, e regiões onde anteriormente havia água em abundância devem apresentar períodos de estresse hídrico (UNESCO, 2020). A Agência Nacional de Águas estima que em 2019, 60,9 milhões de brasileiros estiveram sob risco hídrico (MÁRQUEZ, 2019). Note-se que, embora o Brasil tenha grande disponibilidade de recursos hídricos, estes não são distribuídos de modo equilibrado entre as macrorregiões (BERNARDO, 2003). Estima-se que em 2035 cerca de 73,7 milhões viverão sob insegurança hídrica. O risco de desabastecimento afetará principalmente as regiões periféricas dos grandes centros, onde se encontram as Habitações de Interesse Social, bem como regiões em que historicamente ocorrem secas (MÁRQUEZ, 2019).

Investir em água, higiene e saneamento produz benefícios nas três dimensões da sustentabilidade:

- Social: redução da mortalidade infantil, incluindo a redução de doenças relacionadas à desnutrição e doenças evitáveis transmitidas pela água, como diarreia; melhoria da frequência e conclusão escolar; menos dias perdidos por doenças evitáveis; maior conforto, privacidade e segurança, especialmente para mulheres, crianças, idosos e pessoas que vivem com deficiências; um maior senso de dignidade e bem-estar para todos (GLASS, 2014; MARA *et al.*, 2010);
- Econômico: ganho geral estimado de 1,5% do PIB global e estimam-se US$ 4,3 dólares de retorno para cada dólar investido em serviços de água e saneamento devido aos custos reduzidos de cuidados de saúde para indivíduos e sociedade; maior produtividade e envolvimento no local de trabalho por acesso a melhores instalações, especialmente para mulheres na força de trabalho; oportunidade para crescimento de novas indústrias, como infraestrutura, descarte e uso de dejetos humanos e abastecimento de materiais (GLASS, 2014);
- Ambientais: redução da poluição dos recursos hídricos e da terra; impacto positivo no interior e na pesca costeira, ecossistemas aquáticos e valores de terra; potencial para reutilização de nutrientes, por exemplo, lodo fecal para fertilizante ou geração de biogás; oportunidades para expandir o turismo devido a um produto mais limpo, melhor ambiente e menores riscos para a saúde (GLASS, 2014).

A falta de infraestrutura de saneamento e higiene é uma das causas de doenças associadas à água, como leptospirose, disenteria bacteriana, esquistossomose, febre tifoide, cólera, parasitoides, além do agravamento das epidemias, como a da Dengue. Note-se que a incidência dessas doenças é mais alta entre as pessoas mais pobres, particularmente entre crianças (UN-WATER, 2015). Das excreções humanas, fezes são as mais perigosas para a saúde. Uma grama, oriunda de uma pessoa infectada, pode conter em torno de 106 patógenos virais, entre 106 e 108 bactérias patógenas, 104 cistos ou oocistos protozoários e entre 10 e 104 ovos helmintos (FEACHEN *et al.*, 1983 *apud* MARA *et al.*, 2010). Globalmente, argumenta-se que o saneamento pode reduzir as taxas de doenças diarreicas entre 32% e 37% (ESREY *et al.*, 1998; FEWTRELL *et al.*, 2005). Estudo realizado na cidade de Salvador, por Barreto *et al.* (2007), demonstrou que a ampliação de cobertura de sistema de esgoto, de 26% para 80%, reduziu em 22% a incidência de diarreia em crianças abaixo de 3 anos de idade (BARRETO *et al.*, 2007). Doenças tropicais negligenciadas, que muitas vezes resultam em substanciais deficiências, são impactadas pela abrangência e eficiência dos sistemas de saneamento. Tracoma, por exemplo, é uma doença inflamatória ocular causada pela bactéria Chlamydia trachomatis, que pode levar à cegueira, ocorrendo justamente em áreas com deficiência no saneamento básico e acesso à água (MARA *et al.*, 2010).

Qadir *et al.* (2020) estimam que a produção municipal de esgoto, no âmbito global, deve aumentar cerca de 24% até 2030 e 51% em 2050. Esse quadro impõe a necessidade de ampliação dos padrões de eficiência no uso dos recursos hídricos, bem como a revisão de hábitos e comportamentos na busca pela redução da demanda (UN-HABITAT; WHO, 2021). Além disso, os efluentes que circulam no sistema de saneamento necessitam ser compreendidos como uma fonte renovável que pode ser utilizada na agricultura, na indústria e na geração de energia (UN-HABITAT; WHO, 2021).

A rápida urbanização tem resultado na ampliação correspondente do volume de águas residuais, entendidas como a mistura do esgoto doméstico com água pluvial. O volume excessivo de nutrientes no esgoto doméstico (nitrogênio, fósforo) amplia o risco de eutrofização de corpos d'água naturais, degradando os sistemas aquáticos (SCHWANTES *et al.*, 2019; QIN *et al.*, 2020). O aquecimento global tem contribuído para exacerbar o fenômeno da eutrofização, com o aumento na intensidade da precipitação das chuvas, associado ao aumento na temperatura. Portanto, reduzir a densidade de nutrientes nas águas residuais passou a ser uma ação indispensável (QIN *et al.*, 2020)

Observa-se, no meio urbano, a ocorrência de metais pesados (por exemplo: arsênico, mercúrio, cádmio, cromo, tório, cobre, chumbo etc.) devido, principalmente, ao trânsito e emissões industriais, todos com severas implicações para a saúde humana e para a natureza de maneira geral (MUTHUSARAVANAN *et al.*, 2018; SAIER; TREVORS, 2010). A presença de metais pesados amplia o risco de doenças carcinogênicas e outras, como problemas respiratórios, dermatológicos, endócrinos e as patologias de natureza comportamental (DELGADO-GONZÁLEZ *et al.*, 2021). Além disso, tem-se expandido a utilização de substâncias xenobióticas (pesticidas), antibióticas e agentes antivirais (SAIER; TREVORS, 2010). Esses materiais têm a capacidade de se acumular no organismo ao longo do tempo, provocando problemas como alterações renais e lesões cerebrais, com suspeita de contribuir no aumento do risco de câncer.

É necessário ampliar a atenção para os impactos antropocêntricos no ambiente aquático, incluindo a poluição por fármacos (remédios anti-inflamatórios, antibióticos, hormônios) e microplásticos (DAMANIA *et al.*, 2019). A gestão segura do esgoto pode contribuir para mitigar impactos climáticos, posto que o sistema de saneamento contribui de forma direta na emissão de gases de efeito estufa, tanto ao serem lançados no meio ambiente ou durante processos de tratamento, como através da energia consumida para os processos de tratamento. Conforme a CETESB (2016), o tratamento industrial dos resíduos emite metano (CH4) e gás carbônico (CO_2). O tratamento de esgoto doméstico emite os mesmos gases, sendo agravado quando não é tratado, pois nos rios e lagos ocorre a fermentação aeróbica com taxa maior de emissão de gás carbônico. Nesse contexto, a meta do Brasil para o ODS 6.3 estabelece que até 2030 o país deve "melhorar a qualidade da água nos corpos hídricos, reduzindo a poluição, eliminando despejos e minimizando o lançamento de materiais e substâncias perigosas, reduzindo pela metade a proporção do lançamento de efluentes não tratados e aumentando substancialmente o reciclo e o aproveitamento seguro localmente".

2. Método de pesquisa

Este documento é resultado da aplicação integrada dos métodos Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) e o Método Heurístico. A RBS buscou estabelecer o estado da arte sobre o tema, a partir da consulta em artigos revisados por pares e publicados em periódicos internacionais entre 2016 e 2021. A abordagem para realização desta revisão adotou a proposição de 3 filtros de leitura propostos por Carlos e Capaldo (2009): a) filtro 1: leitura do título, palavras-chave e resumo; b) filtro 2: leitura da introdução e conclusão do artigo, novamente lê-se o título, palavra-chave e resumo; c) filtro 3: leitura completa do texto. A busca foi centrada nos periódicos disponíveis na plataforma www.periodicos.capes.gov.br, foi utilizada a busca de 10 *strings*, com duas ou três palavras-chave. A aplicação dos filtros ocorreu nos 40 artigos mais relevantes obtidos a partir de cada *string*. Nos artigos que passaram pelo filtro 3, buscou-se a revisão de conceitos e princípios e o contexto global das iniciativas no tema, bem como dados e informações de natureza quantitativa que possibilitassem subsidiar os argumentos de tomadores de decisão.

Os exemplos de soluções realizadas no âmbito das cidades, eventualmente encontrados nos artigos, foram catalogados a partir de informações como o título genérico e descrição da solução, localização geográfica e os dados da fonte bibliográfica. A análise dessas soluções seguiu o Método Heurístico, o qual trata da explicitação de conhecimento tácito associado a soluções de problemas realizadas no mundo real (MOUSTAKAS, 1990). A lógica de análise utilizada é predominantemente indutiva, buscando generalizar soluções e respectivas políticas em ciclos continuados de abstração do significado destas evidências através de codificação, conceituação e categorização. Essas codificações foram agrupadas e cada um desses grupos resultou na proposição de temáticas para políticas públicas que estruturam o documento. Esse processo segue a lógica da identificação de saturações teóricas, onde há maior densidade de códigos e categorias. O resultado, ao final de vários ciclos, segundo Holton (2008), é uma teoria densa, alicerçada integralmente nos dados coletados em campo. Portanto, o método alinha-se à lógica da *grounded theory* proposta por Glaser (1965) e Glaser e Strauss (1967), posto que as políticas identificadas derivam do agrupamento de soluções efetivamente presentes em cidades ao redor do mundo, o que implica que sua formulação já tem intrinsecamente a validação externa. As categorias de políticas identificadas foram comparadas com as políticas oficiais, no intuito de identificar eventuais lacunas no contexto nacional.

Com o propósito de buscar a validação externa do conteúdo, incluindo a identificação de eventuais inconsistências técnicas e aperfeiçoamentos epistemológicos, uma versão 1.0 do relatório da pesquisa foi submetida a um painel de especialistas através de um workshop. Os especialistas (mínimo 6 / máximo 8) foram selecionados a partir da base Lattes, tendo como critério a seleção: a) doutores atuando na área; b) líderes de grupos de pesquisa; c) bolsistas produtividade. Os workshops foram organizados em uma etapa assíncrona e uma etapa síncrona. Na etapa assíncrona, os participantes realizaram a avaliação do documento, por meio de comentários realizados diretamente no relatório e por meio de um formulário encaminhado juntamente ao mesmo. Todos os participantes assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. O resultado da etapa assíncrona foi utilizado para

estabelecer o foco da discussão na etapa síncrona, onde debateu-se com os(as) mesmos(as) especialistas a completude do documento, eventuais inconsistências terminológicas, bem como a validade dos postulados para o contexto brasileiro.

A versão 2.0 do relatório, integrando os resultados do *workshop* com os especialistas, foi então submetida à avaliação da equipe do OICS. A versão 3.0 integra o *feedback* obtido da equipe do OICS. Note-se que o aperfeiçoamento continuado do documento inclui, também, aspectos como estrutura, harmonização da linguagem e padrões visuais para infográficos, buscando reduzir eventuais redundâncias ou salientando onde for pertinente, as conexões com os outros resumos executivos.

3. Taxonomia de políticas para a gestão sustentável da água

Figura 1 – Visão geral das políticas voltadas ao saneamento em água mais sustentável nas cidades

Fonte: Elaboração própria.

3.1. Política de universalização do saneamento

Esta política trata da concepção e implementação de programas, projetos e ações que buscam a **oferta equitativa das soluções de abastecimento de água e esgotamento sanitário**. Em última instância, esta política trata da garantia da segurança hídrica, incluindo variáveis como qualidade, regularidade e continuidade (Lei nº 14.026/2020) (BRASIL, 2020). O abastecimento de água potável integra o elenco de atividades voltadas à **disponibilização e manutenção de infraestruturas necessárias ao abastecimento público de água potável**, desde a captação até as ligações prediais e seus instrumentos de medição. O esgotamento sanitário trata das atividades e da **disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias à coleta, ao transporte, ao tratamento e à disposição final adequada dos esgotos sanitários** *Banheiro Seco* (base OICS, 2021). Portanto, inclui desde as ligações prediais até sua destinação final para o aproveitamento da água ou, alternativamente, seu lançamento de forma adequada no meio ambiente.

O ODS 6, "Água Potável e Saneamento", estabelece o objetivo de garantir disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos. A meta para esse objetivo é até 2030 alcançar o acesso universal e equitativo à água potável e segura para todos (UN-WATER, 2016). Apesar disso, de acordo

com dados do Sistema Nacional de Informações de Saneamento, em 2021 apenas 49,1% do esgoto gerado no Brasil é tratado. O índice de atendimento total de água no país é de 83,7% da população brasileira, em contraste com o índice de 54,1% no atendimento total de esgoto no país. Apenas 54,3% dos municípios possuem sistema exclusivo para drenagem das águas pluviais urbanas, sendo que 22,5% possuem sistema unitário (misto com esgotamento sanitário (SNIS, 2021)).

Conforme a Lei nº 14.026/2020 (BRASIL, 2020), que estabelece o marco legal do saneamento básico, há que se buscar a integralidade da oferta dos serviços de saneamento em acordo com as necessidades de cada população. GLAAS (2014) argumenta que populações de baixa renda, grupos populacionais desfavorecidos e comunidades rurais geralmente não têm os meios financeiros para obter ou conectar-se aos serviços de água e saneamento existentes. **Disponibilizar tanques de água gratuitos para idosos e deficientes** *Aplicativo de recarga gratuita de água potável nas cidades* (base OICS, 2021) (GLAAS, 2014) é um exemplo de estratégia frequentemente observada para atender a demandas dessa população em ocasiões de estiagem prolongada. Essa carência não se restringe aos espaços familiares e é também observada em espaços coletivos. De fato, de acordo com o Unicef (2015), cerca de metade das escolas em países de baixa renda carecem de água potável adequada, saneamento e higiene essenciais para meninas e professoras controlarem seu período. Instalações inadequadas podem afetar a experiência das meninas na escola, fazendo com que elas faltem às aulas durante o período. Todas as **escolas devem fornecer água corrente, banheiros seguros e limpos para meninas adolescentes**.

As Nações Unidas chamam a atenção para a importância da **busca pela equidade para com as mulheres no acesso ao saneamento**, incluindo **equidade no próprio processo de decisão e em atividades de treinamento, acesso à informação e estímulo ao empreendedorismo** (UN-WATER, 2015). O acesso à água, saneamento e higiene assume particular importância para mulheres e meninas devido ao seu papel tradicional como administradoras de água para uso doméstico e gestoras de saneamento doméstico, suas necessidades de saúde reprodutiva e menstrual, seu papel no cuidado da casa, crianças e idosos e/ou parentes doentes. Ademais, mulheres e meninas são as principais responsáveis pela coleta de água em domicílios com água fora das instalações. Apesar disso, as mulheres muitas vezes são deixadas de fora da discussão crítica e das decisões relacionadas à água, saneamento e higiene. Ressalta-se a importância de políticas, programas e iniciativas que promovam **oportunidades para que as mulheres assumam papéis de liderança e melhorem a tomada de decisões** sobre os serviços de água e saneamento (SWA, 2021).

3.2. Políticas voltadas à ecoeficiência do sistema de saneamento

Esta política trata da concepção e implementação de programas, projetos e ações voltadas à ampliação da ecoeficiência do sistema de saneamento e abastecimento de água. Sistemas de saneamento envolvem a implantação de um conjunto de tecnologias de saneamento compatíveis que, em combinação, gerenciam todos os produtos de saneamento desde o ponto de geração até o ponto final de reutilização ou descarte (SPUHLER *et al.*, 2020).

De acordo com dados do Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS, 2021), o índice de água potável não contabilizada ou perdida na distribuição é da ordem de 39,2%. As ações para

alcançar maior eficiência do sistema podem incluir desde a **remodelação da infraestrutura por meio do conserto de dutos de água quebrados e detecção rápida de vazamentos até a adoção de auditorias sistemáticas do sistema de distribuição e manutenção geral das máquinas de abastecimento** *Detecção de vazamentos em redes de distribuição de água* (base OICS, 2021) de água. No âmbito das residências, as ações podem ser direcionadas para a **implementação de economizadores e sensores que permitam a detecção de vazamentos** (ALEMU; DIOHA, 2020).

Outro campo de atuação é **ampliação da disponibilidade hídrica através do tratamento dos esgotos**, o que é particularmente relevante em cidades com elevada insegurança hídrica. Além de poder reduzir a pressão sobre os recursos hídricos, por meio da oferta de água para usos não potáveis, constitui uma prática de reciclagem de nutrientes, proporcionando economia significativa de insumos (por exemplo, fertilizantes); contribui para o aumento da produção de alimentos por meio da recuperação de áreas improdutivas e a ampliação de áreas irrigadas; contribui para a preservação e a proteção do meio ambiente, minimizando o lançamento do esgoto em cursos de água e favorecendo a conservação do solo e a recuperação de áreas degradadas; contribui para a amenização do clima, melhoria do paisagismo, ampliação das áreas de lazer via irrigação de "zonas verdes" (jardins e parques públicos, por exemplo) (XAVIER, 2003).

Entre as opções para destino do lodo de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) está a **recuperação de biocombustíveis e biofertilizantes presentes em águas residuais** (WONG *et al.*, 2020; DELANKA-PEDIGE *et al.*, 2021). O calor residual da produção de energia local pode **fornecer serviços de água quente reticulada para residências** e **ajudar a desinfetar a água da chuva coletada para uso doméstico e industrial** (WONG *et al.*, 2020). A utilização dos resíduos processados como insumo agrícola apresenta-se como uma alternativa ambiental e economicamente promissora. Seus teores de macronutrientes, particularmente de nitrogênio e fósforo, permitem redução significativa da necessidade de fertilizantes nitrogenados e fosfatados, enquanto a matéria orgânica aumenta a resistência do solo à erosão (GONÇALVES, 2000). Sua aplicação necessita ser acompanhada por rígido controle, pois nutrientes em excesso, especialmente o nitrogênio, podem comprometer a produtividade e a qualidade das culturas, resultando em problemas ambientais, principalmente a lixiviação de nitratos e a contaminação do lençol freático (XAVIER, 2003).

Sob essa política, uma tecnologia eficiente de saneamento é aquela que fornece um nível de serviço social e ambientalmente aceitável por um custo acessível. Isso pode ser traduzido em critérios técnicos, físicos e demográficos, socioculturais, de capacidade, gerenciais, jurídicos e financeiros (SPUHLER *et al.*, 2020). Há diversas configurações tecnológicas disponíveis para o **tratamento de águas para abastecimento** *Remoção de Lixo em Sistemas de Drenagem | Controle de odor de efluentes de esgoto tratados* (base OICS, 2021), sendo estas classificadas como **convencionais** (*coagulação, floculação, decantação e filtração*) e **não convencionais** *Sistemas de tratamento de água por filtração direta | Filtração lenta em múltiplas etapas | Osmose Reversa para Aproveitamento de Água Salobra | Utilização de Zeolite para tratamento de água | Piscina com sistema de filtragem de água para rios urbanos | Microfiltros de membrana semipermeável de fibra oca | Aplicação de membranas de ultrafiltração para reúso de água*, *Reúso de água e dessalinização* (base OICS, 2021) (*filtração direta ascendente e descendente, a dupla filtração e a filtração lenta*). A filtração lenta simula mecanismos naturais de depuração das águas, em sua percolação pelo subsolo, quando são removidos micro-organismos,

partículas, substâncias químicas e componentes biológicos. Está presente na Filtragem de Múltiplas Etapas, onde há a combinação de soluções como o pré-filtro dinâmico (PFD), pré-filtro de pedregulho com escoamento descendente (PFPED), pré-filtro de pedregulho com escoamento ascendente em câmaras em série (PFPAS), pré-filtro de pedregulho com escoamento ascendente em uma unidade (PFPAC) e o pré-filtro de pedregulho com escoamento horizontal (PFPH) (BERNARDO *et al.*, 1999).

A simples desinfecção não é considerada tecnologia de tratamento para águas superficiais, sendo aplicada apenas em águas brutas subterrâneas, que apresentam condições naturais organolépticamente agradáveis e sanitariamente seguras (BERNARDO, 2003). Os **processos de desinfecção podem envolver a utilização de agentes químicos** *Remoção fósforo em esgoto* (base OICS, 2021) (cloro e derivados, ozônio e peróxido de hidrogênio, ferratos, ácido peracético, permanganato de potássio) ou **agentes físicos** *Desinfecção solar de água | Conversão da umidade do ar em água potável com tecnologia solar | Produtos secundários da desinfecção | Gerador de hipoclorito de sódio para desinfecção de água* (base OICS, 2021) (radiação ultravioleta, processos oxidativos avançados, fotocatálise heterogênea, radiação solar) (DANIEL, 2001).

Para o **tratamento das águas residuárias**, alguns dos tipos de reatores ou sistemas usados no tratamento incluem **soluções aeróbias** *Tratamento de esgoto por processo biológico aeróbio eletroquimicamente assistido | Remoção de nitrogênio em efluentes por processos biológicos* (base OICS, 2021) (*lodos ativados convencionais, lodos ativados com aeração prolongada, valas de oxidação, lodos ativados em reator tipo batelada, poço profundo aerado, filtro biológico aeróbio, reator aeróbio de leito fluidificado, filtro anaeróbio*), **soluções anaeróbias** (*reator anaeróbio por batelada, decanto-digestor, decanto-digestor + filtro anaeróbio, reator anaeróbio de manta de lodo, reator anaeróbio de manta de lodo, reator anaeróbio compartimentado com chicanas*), **soluções mistas aeróbia + anaeróbia** (*disposição ao solo, lagoas facultativas, sistemas de lagoas tipo australiano, lagoa aerada + lagoa de sedimentação*) e, finalmente, **soluções que combinam o processo anaeróbio/aeróbio com processos biológico-físico-químicos** (CAMPOS, 1999).

Via de regra, opta-se pelas soluções aeróbias quando necessita-se de maior taxa de remoção de matéria orgânica, menor risco de emissão de odor e tem-se disponibilidade de área extensa para implantação. A opção por soluções anaeróbias leva em conta a mecanização reduzida, baixo consumo energético, geração de menor taxa de lodo residual, menor área de instalação, sendo adequado em contextos em que há altas concentrações de substâncias orgânicas, o efluente opera em temperatura relativamente alta (entre 30º e 35º C) e a lenta taxa de crescimento das bactérias produtoras de metano é característica aceitável. No Brasil, as lagoas de estabilização constituem o tratamento biológico de esgoto sanitário mais utilizado no Brasil, em face de seu baixo custo de implementação e simplicidade operacional. O clima e a disponibilidade de área no país favorecem essa abordagem em cidades brasileiras de pequeno e médio porte (GONÇALVES, 2000). Contudo, tecnologias emergentes têm apresentado características relevantes sob a perspectiva da sustentabilidade. O estudo de Garrido-Baserba *et al.* (2015), por exemplo, mostrou que a oxidação supercrítica do esgoto apresentou o menor potencial de contribuição ao aquecimento global, no tratamento de esgoto, quando comparado com incineração e gaseificação. Métodos anaeróbios compactos para uso residencial estão sendo desenvolvidos, embora ainda apresentando pouca eficiência na eliminação de organismos patogênicos, requerendo estágio pós-tratamento para remoção de patogênicos (CHERNICHARO, 2015).

3.3. Política de implementação de sistemas mais descentralizados ou distribuídos

Esta política trata da concepção e implementação de programas, projetos e ações que resultem em **concepções mais descentralizadas ou distribuídas do sistema de saneamento e abastecimento de água nas cidades** *Sistema de Tratamento de Esgoto em Unidades Residenciais Unifamiliares | Sistemas descentralizados de abastecimento, tratamento e reúso de água* (base OICS, 2021). Os serviços centralizados de água e saneamento, caracterizados por soluções padronizadas, voltadas a grandes volumes, reduzem o grau de interação entre o consumidor e as várias etapas do ciclo da água. Dentre as limitações dos sistemas centralizados está o alto investimento requerido; baixa flexibilidade a alterações na demanda; menor resiliência a crises e catástrofes; saídas centralizadas do sistema que resultam em elevada carga de poluição nos cursos de água; quando operados por gravidade, requerem níveis mínimos de fluxo de água para operação, nem sempre disponíveis; redes extensas geograficamente muitas vezes apresentam capacidade hidráulica limitada que resulta em transbordamento do esgoto; redes extensivas são mais vulneráveis a rupturas e fissuras, o que pode resultar na poluição de reservatórios e aquíferos. Sistemas centralizados também implicam em menor senso de propriedade por parte da população, em face da miopia cognitiva que o distanciamento físico produz, o que afeta a adesão a comportamentos mais racionais no uso da água e no descarte de resíduos (CHERNICHARO *et al.*, 2015).

A **introdução de soluções de pequena escala (dispositivos/tecnologias), alternativas ou complementares à infraestrutura de grande escala** *Tecnologia de extração de água da atmosfera | Estruturas em bambu para coleta da água atmosférica* (base OICS, 2021) (MORETTO *et al.*, 2018) oferece uma oportunidade promissora para alcançar maior sustentabilidade no sistema de saneamento. Conforme preconiza Vezzoli *et al.* (2021), um sistema de gestão distribuído da água é caracterizado por unidades de pequeno porte, localizadas próxima ao usuário (indivíduos ou organizações), conectadas em rede com outras unidades. De acordo com dados do Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS, 2021), os sistemas de abastecimento de água já apresentam forte presença de prestadores de serviço de base local (1.603) e, em menor quantidade, os prestadores regionais (28) e microrregionais (8). Nos sistemas de esgoto, a base local é ainda maior quantitativamente (2.828), com (26) prestadores de serviço regionais e (8) microrregionais. Nos sistemas de tratamento de esgotos, as alternativas descentralizadas ou distribuídas oferecem melhores oportunidades para a utilização dos resíduos na agricultura, aproveitamento da água e da energia. A menor distância de transporte e os menores volumes possibilitam a maior concentração do esgoto e, dessa forma, facilitam a recuperação de nutrientes (nitrogênio, fósforo) e energia (CHERNICHARO *et al.*, 2015).

Modelos de sistemas mais descentralizados e/ou distribuídos contemplam a **possibilidade da coprodução de serviços, com o envolvimento direto do consumidor final em uma ou mais etapas do ciclo da água** *Sistema condominial de esgoto* (base OICS, 2021) (MORETTO *et al.*, 2018). Tal participação apresenta relevância estratégica, tendo em vista os potenciais de ampliação da eficiência no âmbito das habitações. De fato, os resultados do estudo de Ghisi *et al.* (2015) apontam que 51% do consumo total de água nas habitações investigadas era destinado a fins não potáveis. As águas cinzas provenientes do chuveiro, lavatórios e lava-roupas poderiam ser utilizadas para fornecer de 23% a 32% da quantidade de

água total necessária para abastecer uma habitação (GHISI *et al.*, 2015). **Encorajar as pessoas (principalmente individualmente) a instalarem dispositivos de processamento de água** (MORETTO *et al.*, 2018), estimulando a coprodução de serviços de água e saneamento, implica em aumentar o protagonismo dos consumidores na gestão dos recursos hídricos. Na condição de *prosumers* (produtores + consumidores) altera-se o envolvimento dos consumidores com os recursos naturais e com o processo de entrega desses recursos. Ao poder público, integram-se outras funções para apoiar essas iniciativas, como **disponibilizar os dados e as informações necessárias para gerenciar infraestruturas distribuídas**, possibilitando a eventual integração com sistemas descentralizados ou centralizados (WONG *et al.*, 2020). Esse novo paradigma implica em uma visão renovada de cidadania, com maior participação e controle dos cidadãos no processo de tomada de decisão. A mudança do status de "destinatário de serviço" para "produtor de serviço" significa que os cidadãos usam o recurso e participam diretamente de seu processamento (MORETTO *et al.*, 2018).

3.4. Política de promoção do comportamento sustentável

Esta política trata da concepção e implementação de programas, projetos e ações voltadas à promoção do comportamento sustentável associada ao consumo da água. O escopo dessa política é contemplado na Lei nº 14.026/2020 (BRASIL, 2020), que trata do estímulo à racionalização do consumo da água pela população, fomento à eficiência energética, uso de efluentes sanitários e aproveitamento da água da chuva.

O comportamento da população é chave para se alcançar a sustentabilidade de sistemas de saneamento. A comparação de padrões de consumo no âmbito global reforça essa importância. No Brasil, o consumo médio é de 162 L/hab./dia, chegando a 250,8 L/hab./dia no estado do Rio de Janeiro (maior consumidor) (SNIS, 2014), enquanto a Organização Mundial da Saúde (HOWARD; BARTRAM, 2003) estabelece de 50 a 100 L/hab./dia como o indicador de referência para o consumo por pessoa. Swartz e Offringa (2006) destacam que na África do Sul, as concessionárias consideram que 25 L/hab./dia seria o suficiente para o atendimento das necessidades básicas de uma pessoa. Note-se que um banho de 15 minutos, por exemplo, com vazão de 9 litros por segundo, consome cerca de 135 litros (GONÇALVES *et al.*, 2009).

As soluções voltadas à promoção do comportamento sustentável podem ser estruturadas em três grupos, conforme propõe Bhamra *et al.* (2011):

- Informar: neste grupo estão as soluções que possibilitam a maior visibilidade sobre o estado do consumo, subsidiando com dados e informações a reflexão a respeito. Shove (2003) destaca que o consumo ambiental, em especial de energia e água, é invisível para os usuários. Diferente de outros artefatos, a água e a energia estão disponíveis em torneiras e tomadas das residências, disponibilidade esta que dificulta a percepção de consumo e finitude dos recursos (SHOVE, 2003). Dessa forma, as soluções neste grupo podem ir da mera apresentação de informações e dicas genéricas ao longo da jornada do consumidor até a coleta e disposição de dados e informações em tempo real junto aos produtos do sistema (*ecofeedback* digital). Incluem-se aqui estratégias

como a **capacitação das comunidades para adotar e apoiar práticas sensíveis à água por meio de plataformas baseadas em tecnologias digitais**, enriquecidas para participação e colaboração (WONG *et al.*, 2020); **incentivo a práticas de conservação de água em nível doméstico, como coleta de água da chuva e aproveitamento de água cinza** *Reúso da água pluvial | Inovação de sistemas de reúso de água (base OICS, 2021)* (ALEMU; DIOHA, 2020; KOOKANA *et al.*, 2020); outra estratégia relevante neste grupo são os **programas de conscientização e campanhas para melhorar a segurança da água** (ALEMU; DIOHA, 2020), assim como ações que promovam a educação ambiental via soluções para coleta da água da chuva. Tais ações necessitam contemplar as repercussões da coleta da água da chuva na mitigação de inundações à jusante nos cursos de água urbanos;

- Guiar: neste grupo estão as soluções voltadas a estimular de forma mais ativa a reformulação de comportamentos de hábitos, fazendo **uso de alertas** (alerta de vazamento), **premiações/punições** (tarifas com base nos níveis de uso de água (GLAAS, 2014)), **gamificação** (competições intrafamiliares baseadas em IoT e aplicativos) e de **direcionamentos ao usuário sobre cursos de ação possíveis** *Sistema Reflux - Reuti | Chuveiro de água recirculante* (base OICS, 2021).

- Garantir: neste grupo estão as soluções mais coercitivas que impõem comportamentos ao usuário, não dependendo necessariamente de adesão voluntária ao padrão pretendido. Aqui inclui-se desde soluções que restringem determinado consumo **(torneira que desliga automaticamente)** *Uso racional de água doméstica em chuveiros | Sistema de uso racional da água no vaso sanitário | Sistema de sanitário a vácuo* (base OICS, 2021) até soluções que automatizam integralmente o consumo (**IA definindo os tempos máximos de banho em função da disponibilidade hídrica**). Legislações e regulamentos municipais podem impor a coleta da água da chuva no ambiente construído, assim como em serviços pautados pelo uso intenso de água.

Ressalta-se aqui a relevância de se **ampliar o aporte de informações para o morador acerca de seu próprio consumo**. Sem essas informações há maior dificuldade por parte dos usuários no reconhecimento de problemas, bem como dificuldade na compreensão da efetividade de mudanças de comportamento. No estudo de Queiroz *et al.* (2012), por exemplo, moradores de Habitação de Interesse Social entendiam que as atividades que mais consumiam água eram lavar roupas (53,8%), dar descarga no vaso sanitário (44,5%) e tomar banho (26,6%). Os hábitos identificados como mais frequentes para economizar a água eram fechar a torneira enquanto lava a louça (91,4%), fechar a torneira enquanto escova os dentes (83,1%), usar a lavadora de roupas somente quando está cheia (72,1%) e fechar o chuveiro enquanto se ensaboa (69,4%), além da utilização de um balde para lavar a calçada (78,1%) e o reaproveitamento da água resultante da lavagem das roupas (87,7%) (QUEIROZ *et al.*, 2012).

As mudanças comportamentais incluem o **desenvolvimento de atitudes adequadas no descarte de produtos químicos e resíduos** *Remoção de lixo dos rios* (base OICS, 2021), bem como a **melhoria na compreensão da comunidade acerca dos riscos à saúde e as abordagens de gerenciamento de riscos associados à reutilização de águas residuais** (KOOKANA *et al.*, 2020), incluindo a **conscientização do consumidor acerca da importância de proteger os mananciais** (SABBAG, 2006).

3.5. Política de incentivos econômicos para investimento em saneamento

Esta política trata do desenvolvimento e instituição de programas, projetos e ações que resultem em incentivos para indivíduos e organizações na ampliação, cobertura e eficiência do saneamento nas cidades. Frequentemente, particularmente nas soluções centralizadas, o saneamento demanda grande capital para operação e manutenção do sistema. Sendo assim, demanda **planejamento financeiro que viabilize a longo prazo as metas de saneamento**, sendo necessária a previsão de recursos, não apenas para a construção de infraestrutura de água, saneamento e gestão de resíduos, mas também para a implantação e expansão dos serviços (GLAAS, 2014). A Lei nº 14.026/2020 (BRASIL, 2020) aponta para a necessidade de considerar a capacidade de pagamento, contemplando a possibilidade da adoção de soluções graduais e progressivas que possam resultar em ganhos de eficiência e redução dos custos para a população.

As abordagens mais ortodoxas para financiamento do sistema têm como fontes principais: a) tarifas: contribuições dos usuários, incluindo investimentos materiais realizados pelos próprios usuários; b) impostos: recursos oriundos dos impostos municipais, estaduais e nacionais; c) transferências: fundos de doadores internacionais, fundações de caridade e empréstimos concessionais, que incluem elementos de subvenção na forma de uma taxa de juros subsidiada ou um período de carência (SWA, 2021). **Parcerias público-privadas têm oferecido novas possibilidades para a viabilização econômica dos sistemas de saneamento nos municípios**, com benefícios como a captação de recursos financeiros privados, incluindo doações, além do desenvolvimento de estudos e modelagens para os projetos, sem custos diretos para os municípios. De acordo com Pories *et al.* (2019), a mobilização de financiamento para o tema demanda contemplar questões fundamentais. No âmbito do governo: a) estabelecer estratégias de planejamento e financiamento para maximizar fundos públicos comerciais para alcançar objetivos sociais; b) adotar práticas eficazes de configuração de tarifas e regulação econômica; c) regular o desempenho e transparência dos mecanismos de prestação de contas; d) clareza sobre o mandato e as obrigações de desempenho de serviços provedores. No âmbito dos agentes financeiros: a) retificar a incompatibilidade entre perfil de risco do banco comercial e realidades do setor; b) evitar mecanismos que criam distorções de mercado; e c) direcionar financiamento de desenvolvimento para impacto máximo.

A Organização das Nações Unidas recomenda a mobilização de recursos financeiros para apoiar iniciativas de saneamento lideradas por mulheres, grupos marginalizados, comunidades, organizações da sociedade e provedores de serviço de pequeno porte. Esse apoio pode incluir a **instrumentalização do acesso a microcrédito e outras alternativas de financiamento mais inclusivas** (GLAAS, 2014). Também pode envolver a **aplicação de tarifas sociais a grupos vulneráveis** (KOOKANA *et al.*, 2020), **incluindo taxas de conexão de água reduzidas ou subsidiadas** (GLAAS, 2014) e **subsídios para acessórios inteligentes para consumo de água** (ALEMU; DIOHA, 2020). Para que tais iniciativas prosperem é necessário o desenvolvimento a longo prazo de competências na sociedade, o que inclui o desenvolvimento de pessoas com habilidades e conhecimento para atuação na temática. Essas competências precisam estar presentes o máximo possível das comunidades com deficiência no acesso ao saneamento (UN-WATER, 2015). A participação ativa na gestão da água é mais provável quando os cidadãos estão engajados diretamente ou indiretamente com o tema "água", além de terem suficiente conhecimento sobre a questão (KOOKANA *et al.*, 2020).

3.6. Política para inteligência e servitização do saneamento

Esta política trata de programas, projetos e ações que promovam o desenvolvimento e disseminação de soluções de inteligência e servitização voltadas ao saneamento. Tecnologias digitais emergentes como IoT (Internet das Coisas), IA (Inteligência Artificial) e *Big Data* têm ampliado as possibilidades de geração de dados, informação e conhecimento a usuários e prestadores de serviços do sistema de saneamento, possibilitando o provimento de inteligência ao processo de decisão. Em decorrência, têm permitido a oferta de produtos e serviços para **monitoramento** *da qualidade da água | Sistema remoto de monitoramento da água para abastecimento* (base OICS, 2021) (*condição do sistema, indicadores ambientais, performance de uso*), **controle** (*realizar operações presenciais ou a distância no sistema*), **otimização** (*ampliar/customizar o desempenho, permitir diagnósticos, serviços de manutenção*) e **automação** *Aplicada à Sistemas de Abastecimento de Água* (base OICS, 2021) (*operação autônoma, sincronização com outros sistemas, autodiagnóstico*).

Dentre os serviços potencializados por essas tecnologias, destaca-se o **monitoramento remoto e redução das perdas de água**, item contemplado na Lei nº 14.026/2020 (BRASIL, 2020). A mesma lei aponta para a necessidade de "integração das infraestruturas e dos serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos" e a "prestação regionalizada dos serviços, com vistas à geração de ganhos de escala e à garantia da universalização e da viabilidade técnica e econômico-financeira dos serviços".

Hidrômetros com IoT permitem medições em tempo real, disponibilizando os dados em tempo real para os usuários, por meio de aplicativo e/ou site, podendo diagnosticar vazamentos. Além disso, essas soluções têm permitido a oferta de **serviço de monitoramento remoto em tempo real do consumo da água, análise e geração de relatórios, alertas de uso exagerado e controle da pressão da rede**. Soluções desta natureza podem **indicar ao usuário o volume de água no momento de uso, bem como a quantidade acumulada, temperatura da água e sua potabilidade, nível da caixa d'água**, **falta de água na rede etc., provendo ao usuário informações sobre seu consumo, bem como dicas e informações úteis para torná-lo mais eficiente**. Alertas de consumo elevado ou fora do padrão próprio de cada usuário ou família podem ser emitidos (KHAN *et al.*, 2020; RODRIGUES, 2021).

3.7. Política de planejamento do saneamento

Esta política trata da concepção e implementação de programas, projetos e ações voltadas ao planejamento sistêmico e integrado do saneamento. Conforme estabelece a Lei nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007), todas as prefeituras têm obrigação de elaborar seu Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), sem o qual não pode receber recursos federais para projetos na temática. Este plano deve ser compatível com os planos das bacias hidrográficas e com planos diretores do Município ou com os planos de desenvolvimento urbano integrado no seu entorno. A Lei nº 14.026/2020 (BRASIL, 2020) preconiza que as políticas de saneamento precisam estar articuladas com outras políticas, destacando-se aquelas voltadas ao desenvolvimento urbano e regional, à habitação, ao combate e erradicação da pobreza, à proteção ambiental, à promoção da saúde e, centralmente, à política de recursos hídricos.

O planejamento do saneamento necessita considerar as repercussões nas bacias hidrográficas, implicando numa perspectiva intermunicipal (ALEMU; DIOHA, 2020). A Gestão Integrada de Recursos Hídricos (*Integrated Water Resource Management* - IWRM) pode ser definida como um processo que promove o **desenvolvimento coordenado para gestão da água** (incluindo a proteção de nascentes, rios e bacias), do solo e recursos relacionados, a fim de maximizar o bem-estar econômico e social de maneira equitativa, sem comprometer a sustentabilidade de ecossistemas vitais e do meio ambiente (GWP, 2000). **Integração do planejamento do uso do solo urbano com o planejamento do sistema de água na criação de oportunidades para soluções sensíveis à água por meio de processos de desenvolvimento urbano** (WONG; ROGERS; BROWN, 2020). Essa integração de esforços requer a **facilitação das interfaces entre o setor de água e outros setores urbanos importantes, como energia, resíduos, alimentos, transporte e ambiente construído** (WONG *et al.*, 2020), **introduzindo sistemas integrados de governança na bacia hidrográfica** *Metodologia de Governança da água* (base OICS, 2021) (OECD, 2018). Uma boa prática tem sido a **implementação ou fortalecimento de agências de água urbana e parcerias com instituições de pesquisa e inovação na busca por soluções customizadas às necessidades locais** *Sistema integrado de proteção de mananciais* (base OICS, 2021) (JOHANNESSEN; WAMSLER, 2017). Estratégias voltadas ao estabelecimento de parcerias institucionais também podem apoiar municípios menores que não dispõem de uma equipe local de especialistas em saneamento ou mesmo para desenvolver iniciativas de capacitação da equipe de gestão pública.

A maior **governança e participação das comunidades locais em projetos de proteção do meio ambiente** amplia as chances de efetividade de tais iniciativas. Inclusão é um princípio chave, devendo-se antecipar soluções que viabilizem a participação de públicos marginalizados e fragilizados. Isso pode implicar, inclusive, envolvimento de crianças no planejamento das soluções orientadas à sustentabilidade (UNSW, 2011).

O resultado desse planejamento deve ser um sistema de saneamento mais sustentável, possibilitando tanto a proteção à saúde humana como a proteção ambiental, sendo economicamente viáveis, socialmente aceitáveis e alicerçados institucionalmente (SUSANA, 2008). De fato, as abordagens de planejamento de saneamento mais contemporâneas consideram o conceito de projeto urbano sensível à água (*Water Sensitive Urban Design*), **integrando de forma interdisciplinar conhecimentos de hidrologia, a arquitetura paisagística e sociologia** (DOLMAN, 2011). Portanto, o planejamento de sistemas de saneamento requer necessariamente uma abordagem multicritério (SPUHLER *et al.*, 2020), demandando a preparação de inteligência de suporte ao processo de decisão, como o levantamento, mapeamento, cadastramento e descrição das áreas não ocupadas, avaliando os níveis de risco de ocupação irregular em zonas de mananciais. No caso de mananciais, por exemplo, o planejamento deve contemplar o estabelecimento de sistema de controle, prevendo ações para se evitar a ocupação ilegal. Esse planejamento pode resultar no estabelecimento de critérios específicos para licenciamento nessas áreas, estabelecendo definições de uso e ocupação legal por parte do poder público (áreas de lazer na faixa não edificável), que desestimulem invasões ou a depredação do meio ambiente (SABBAG, 2006). A contribuição dos atores locais pode ter ampliado por meio da **promoção do compartilhamento de dados abertos acerca da água** (OECD, 2018), incluindo **o desenvolvimento de indicadores de qualidade da água para apoiar a gestão de riscos** *Índice de qualidade para água* (base OICS, 2021) (KOOKANA *et al.*, 2020).

3.8. Política de mitigação do impacto das mudanças climáticas

Esta política trata do desenvolvimento e estabelecimento de programas, projetos e ações associados aos recursos hídricos, que permitam a preparação e a adaptação das cidades para eventos extremos, associados às mudanças climáticas. Destacam-se, aqui, os eventos climáticos associados tanto ao excesso de água como à falta de água.

No caso de eventos climáticos que resultam em enchentes, tem proeminência as medidas de precaução voltadas à drenagem das águas pluviais. Conforme estabelece a Lei nº 14.026/2020 (BRASIL, 2020), é necessário o **provimento de serviços de drenagem e manejo das águas pluviais nas áreas urbanas** *Parque linear como medida de manejo de águas pluviais | Técnicas Compensatórias de Drenagem Urbana - Low Impact Development (LID) | Captação e filtragem de água pluvial | Medida Estruturante de Manejo de Águas Pluviais - Cobrança pelos sistemas de Drenagem* (base OICS, 2021). Isso inclui o transporte, a detenção ou a retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, além da limpeza e a fiscalização preventiva das redes. Apesar da relevância do tema, de acordo com dados do Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS) (SNIS, 2021), cerca de 66,1% dos municípios não possuem mapeamento de áreas de risco de inundação; e apenas 19,6% dos municípios têm um Plano de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas. A mesma base mostra que 15,1% dos municípios no país apresentam infraestrutura para a Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas e, de maneira similar, apenas 15,5% dos municípios possuem soluções de drenagem natural (faixas e valas de infiltração em vias públicas).

As ações voltadas à drenagem urbana repercutem na efetivação de soluções, como tanques de retenção da água da chuva, bacias, valas, trincheiras e poços de infiltração, pavimentos drenantes, jardim de chuva (jardim de arbustos nativos, perenes e flores plantadas em uma pequena depressão do terreno, que geralmente são instalados em uma encosta natural). Essas soluções possibilitam a retenção temporária e a redução da velocidade do escoamento da água da chuva que flui de telhados, pátios, gramados, calçadas e ruas. No tratamento das águas residuárias, destacam-se as lagoas de sedimentos (retêm a matéria orgânica e através de processos químicos e biológicos e devolvem água com melhor qualidade ao meio ambiente) e *wetlands* construídas (sistemas projetados, constituídos por lagoas ou canais artificiais rasos, que abrigam plantas aquáticas, simulando ecossistemas naturais) (BEUX; OTTONI, 2015).

Dadas as consequências econômicas, potencialmente perturbadoras das mudanças climáticas, há diversos esforços no âmbito global para contribuir com a preparação das cidades, como o Marco de Sendai, para a Redução de Riscos de Desastres 2015-2030, estabelecendo metas e prioridades de ação, e o Marco de Resiliência das Cidades (*Cities Resilience Framework – CRF*) (TYLER; MOENCH, 2012; ROCKEFELLER FOUNDATION, 2021). Alguns dos temas pertinentes a essa política são: a) perigos naturais devido a chuvas torrenciais e enchentes; b) pressão em recursos hídricos; c) problemas de saúde devido ao aumento da temperatura; d) redução da biodiversidade. As ações de mitigação inicialmente tratam do **estudo de potenciais efeitos das mudanças climáticas**, o que pode envolver simulações térmicas, hídricas, eólicas, entre outras. Dessa forma, o uso de sensoriamento remoto no meio urbano contribui para ampliar a compreensão da efetividade das ações presentes e identificar tendências futuras (MABON *et al.*, 2019).

Conforme argumenta Birkeland (2018), a **proteção e/ou criação de habitats e serviços ecossistêmicos aumentam a resiliência da cidade**. A transpiração de plantas contribui de forma significativa e com menor custo financeiro para a regulação dos fluxos de água para a atmosfera, além de contribuir para a difusão da poluição através da retenção de sedimentos (cidades "esponja"). Jardins podem ser integrados no projeto de ambiente construído como parte dos sistemas de drenagem de água pluvial ou do tratamento de água cinza (*wetlands*). Telhados verdes podem atuar na redução da velocidade do fluxo da água durante tempestades, contribuindo na redução de alagamentos no meio urbano (XING *et al*., 2017; OPOKU, 2019). A implementação de ambos é mais efetiva se apoiada no **mapeamento de risco da biodiversidade local e na consideração de seu conteúdo quando do desenvolvimento de soluções de mitigação do impacto das mudanças climáticas**.

Note-se que, além das ações pertinentes a áreas verdes, há um amplo espectro de soluções para **mitigação dos problemas devido a volumes excessivos de chuva,** que vão da utilização de superfícies permeáveis para redução da carga nos sistemas pluviais (BRE, 2006) e implantação de lagos de represamento de chuvas torrenciais (MABON *et al*., 2019) até encorajar o desenvolvimento de empreendimentos em regiões com menor risco de alagamentos (BRE, 2006).

As **medidas de prevenção de riscos relacionados às mudanças climáticas**, de maneira similar a desastres de outra natureza, necessitam ser amplamente divulgadas para alcançar efetivo engajamento da população (página da prefeitura, eventos, treinamentos de funcionários) (MABON *et al*., 2019). Assim, integram-se nesta política as estratégias como o **aconselhamento sobre medidas de conservação da água/energia, assim como a divulgação de mapas de risco** (deslizamentos, alagamentos) (MABON *et al*., 2019).

Integrar água e vegetação são opções para ajudar a reduzir o efeito de ilha de calor urbana (*Urban Heat Island* – UHI), fenômeno em que a temperatura em ambientes urbanos é mais alta em média do que no campo circundante. A principal causa é a absorção da luz solar pelos materiais escuros presentes nas cidades, redução da perda de calor devido a velocidades do vento relativamente baixas, calor liberado por atividades humanas e evaporação reduzida. O efeito agrava os problemas durante as ondas de calor, como o estresse por calor. Devido às altas temperaturas durante uma onda de calor, a produtividade do trabalho diminui, enquanto a agressão aumenta. O estresse por calor resulta em um aumento na morbidade e mortalidade e também reduz a longevidade do asfalto (DOLMAN, 2011).

Aplicar segurança multicamadas como conceito central para maior resiliência, o fato de que o clima está mudando é evidente pelo aumento do nível do mar. Os rios terão que drenar mais água em determinados períodos. Como resultado, existe um risco acrescido de inundações. Além disso, chuvas fortes, que são difíceis de absorver localmente, ocorrerão com mais frequência e podem levar a inundações e danos. Sendo assim, o conceito central para a política de segurança da água revisada é formado por "segurança multicamadas". Nesse conceito, a segurança é garantida por meio de várias camadas:

1) A primeira camada é a **prevenção de cheias** por meio de fortes diques, dunas e defesas contra tempestades e cheias (mais robustas e focadas no futuro). A prevenção continua sendo o pilar principal da política.
2) A segunda camada é **conseguir um planejamento urbano e rural sustentável**.

O planejamento urbano cuidadoso (escolha do local e questões de uso do solo) pode limitar os números afetados e a quantidade de danos se ocorrerem inundações. Como resultado, o risco de inundação terá um papel maior nas considerações e decisões relacionadas ao planejamento urbano e rural.

3) A terceira camada é a **gestão de desastres caso ocorra uma enchente**. Uma boa preparação é essencial para responder com eficácia a um desastre de inundação. A preparação também ajudará a limitar a quantidade de danos e os números afetados. Os exemplos incluem: a) infiltração na água subterrânea via armazenamento verde ou caixas de infiltração; b) proteção em telhados (verdes ou *sedum*), no nível do solo (rebaixado), quadrados de água ou em porões de armazenamento de água; c) drenagem retardada (acima do solo) (DOLMAN, 2011).

3.9. Política de proteção do meio ambiente associado aos recursos hídricos

Esta política trata da concepção e implementação de programas, projetos e ações voltadas à proteção do meio ambiente ao longo das várias etapas do ciclo da água no meio urbano. Seu escopo está em consonância com o que estabelece a Lei nº 14.026/2020 (BRASIL, 2020), na qual o saneamento deve buscar a eficácia e a eficiência na melhoria da saúde pública, ao mesmo tempo que promove a conservação e proteção do meio ambiente e seus recursos naturais. Os esforços nessa política devem alcançar a **redução das emissões (diretas e indiretas) no tratamento de efluentes** (DELANKA-PEDIGE *et al.*, 2021).

Atenção especial deve ser direcionada às áreas de mananciais. Sabbag (2006) argumenta que se deve **proteger rigorosamente essas** áreas, particularmente com respeito a ocupação ilegal por moradias**, bem como outras formas de explorações ilegais**. Uma forma de proteção dessas áreas é a aquisição pelo poder público e por meio da definição de critérios de aprovação e licenciamento de novos loteamentos no entorno, que possibilitem a proteção ambiental (SABBAG, 2006).

4. Fitorremediação

Esta seção descreve em maior profundidade a fitorremediação, sendo esta uma das soluções que têm demonstrado efetividade, particularmente na política voltada à "ampliação da ecoeficiência do sistema de saneamento e abastecimento de água".

4.1. Definição

As tecnologias de remediação físico-química de solos incluem a extração de vapor, incineração, solidificação, dessorção térmica, lixiviação no solo, degradação enzimática, adsorção e troca de íons. Normalmente essas tecnologias resultam na poluição do ar e dos reservatórios aquíferos subterrâneos, além de apresentar elevados custos. Neste sentido, a biorremediação da poluição tem recebido atenção crescente nas últimas décadas devido a sua característica mais amigável ao meio ambiente, empregando as habilidades naturais de organismos vivos para retificar a poluição de solos e água. Biorremediação inclui tecnologias como a fitorremediação, a biodegradação, bioventilação, biolixiviação, bioaumentação, biofiltração e bioestimulação (MUTHUSARAVANAN *et al.*, 2018).

A fitorremediação, foco desta seção, é uma tecnologia baseada em plantas (elodea, junco, aguapé), com ou sem modificação genética, em associação com os micro-organismos da rizosfera que estimulam o crescimento da planta para capturar/sequestrar, degradar, extrair, detoxificar, conter, acumular, imobilizar/estabilizar e/ou volatizar contaminantes do solo e da água. É baseada em processos naturais que podem ser efetivos em uma variedade de contextos e para uma ampla variedade de contaminantes (THIJS *et al.*, 2017; UGGETTI, 2021). Extraem-se metais pesados, compostos aromáticos e hidrocarbonetos, além de pesticidas, herbicidas, fungicidas e antibióticos. Tem se mostrado uma solução sustentável para tratamento de contaminação por benzeno, tolueno, etileno, xileno (BTEX) e tricloroetileno (TCE) (THIJS *et al.*, 2017).

É importante notar que as plantas são colonizadas por micro-organismos com uma densidade celular que é muito maior do que o número de células das plantas. Esse genoma secundário ou microbioma é relevante para uma grande variedade de funções fisiológicas, processamento de nutrientes, mineralização de matéria orgânica, promoção do crescimento da planta (solubilização de nutrientes, quelação de nutrientes, fixação de nitrogênio, produção de hormônios de crescimento) e indução na resistência a doenças e resposta a processos abióticos e invasões de patógenos. Os micro-organismos residentes no tecido da planta (endófitos) atuam na estabilização, degradação, destoxificação, redução e volatilização de componentes xenobióticos e outros contaminantes do meio ambiente (THIJS *et al.*, 2017).

4.2. Caracterização do processo

A adequada seleção das espécies de plantas é fator crítico para se alcançar a efetividade da fitorremediação. As características de preferência incluem adaptação ao clima local, a profundidade das raízes, a habilidade das plantas de crescer a partir do solo existente, a habilidade de degradar os contaminantes para formas menos tóxicas, o ritmo de crescimento, a facilidade de plantio e manutenção e capacidade de captar grandes volumes de água via evapotranspiração. Um cuidado especial deve ser tomado para prevenir a introdução de espécies exóticas. Note-se que a biomassa produzida pode requerer adequada gestão de sua destinação, de forma a evitar a contaminação da cadeia de alimentação (MUTHUSARAVANAN *et al.*, 2018).

A fitorremediação envolve um ou mais dos seguintes processos:

- Fitoestabilização: é o processo no qual contaminantes são imobilizados nas raízes através de adsorção na superfície da raiz ou precipitação dentro da rizosfera (região do solo influenciada pelas raízes, com máxima atividade microbiana) (GREIPSSON, 2011; MUTHUSARAVANAN *et al.*, 2018; DELGADO-GONZÁLEZ *et al.*, 2021);
- Fitodegradação (ou fitotransformação): é o processo em que as plantas absorvem e quebram os contaminantes em formas tóxicas mais simples, seja via processos metabólicos ou via enzimas produzidas pelas plantas (MUTHUSARAVANAN *et al.*, 2018). Os poluentes podem ser integralmente mineralizados em compostos inorgânicos ou degradados para estados mais estáveis e menos tóxicos, atraídos à parede das células ou vacúolos. As enzimas atuam como catalisadores biológicos no tecido da planta e, no âmbito da rizosfera, a degradação ocorre através da atividade metabólica microbiana (GREIPSSON, 2011; DELGADO-GONZÁLEZ *et al.*, 2021);
- Fitovolatização: processo onde há a absorção dos contaminantes pelas plantas, que após processos metabólicos, dispersam os mesmos em formas menos tóxicas na atmosfera através do processo de respiração (MUTHUSARAVANAN *et al.*, 2018). A planta capta os poluentes por meio de suas raízes, removendo, fracionando e convertendo os mesmos em estado gasoso, realizando sua difusão no ar através do vapor de água volatilizado durante a evapotranspiração (GREIPSSON, 2011; DELGADO-GONZÁLEZ *et al.*, 2021). A volatilização pode também ocorrer pela biodegradação na rizosfera (LAMBERT, 2012);
- Fitoextração (ou fitoacumulação): processo no qual poluentes são sequestrados e acumulados pela planta, juntamente com nutrientes e água, por meio de fluxos das raízes para os brotos. Ocorre a rizofiltração quando a acumulação é restrita à raiz da planta, em geral, em situações hidropônicas. A fitoextração demanda a utilização de plantas superacumuladoras, ou seja, plantas que permitem a concentração em níveis 10 a 100 vezes maiores do que outras plantas para o mesmo substrato (BERNARDINO *et al.*, 2016; DELGADO-GONZÁLEZ *et al.*, 2021).

Fatores como temperatura, disponibilidade de bionutrientes, salinidade e pH podem afetar a velocidade do processo (DELGADO-GONZÁLEZ *et al.*, 2021). Por outro lado, o desempenho da fitorremediação pode ser ampliado, por exemplo, por meio da utilização de plantas geneticamente modificadas, fertilizantes, aeração, inoculação microbiana na rizosfera do solo (MUTHUSARAVANAN *et al.*, 2008).

O decrescimento dos custos de sequenciamento genético tem permitido novas oportunidades de otimização da fitorremediação, através de tecnologias como a metagenômica (THIJS *et al.*, 2017).

4.3. Vantagens da fitorremediação

O Brasil apresenta grande potencial de aplicação da fitorremediação devido ao seu clima e sua vasta biodiversidade (BERNARDINO *et al.*, 2016). Ademais, entre as principais vantagens da fitorremediação estão os custos baixos quando comparados a outras soluções, particularmente quando se faz uso de espécies de plantas apropriadas ao local, demandando dispêndios menores com manutenção (SAIER; TREVORS, 2010; GREIPSSON, 2011; BERNARDINO *et al.*, 2016; THIJS *et al.*, 2017).

Outras vantagens incluem ecoeficiência (SAIER; TREVORS, 2010; BERNARDINO *et al.*, 2016), requerendo apenas a energia solar para sua operação; boa aceitação da população (BERNARDINO *et al.*, 2016); resulta em contribuição na redução da erosão pelo vento e água (BERNARDINO *et al.*, 2016); permite a recuperação estética de áreas contaminadas (BERNARDINO *et al.*, 2016); contribui na fixação do CO_2 da atmosfera; contribui na ampliação da biodiversidade local. Além disso, resulta em resíduos orgânicos recicláveis e com altas taxas de metais, com possibilidade de utilização na produção de bioenergia (biogás, biocombustíveis, combustão) pela biomassa gerada (THIJS *et al.*, 2017).

4.4. Limitações da fitorremediação

Dentre as principais limitações da fitorremediação estão sua baixa velocidade de descontaminação (SAIER; TREVORS, 2010; MUTHUSARAVANAN *et al.*, 2018), o tempo requerido para o crescimento das plantas, além de sua operação estar submetida ao risco de incêndio, congelamento e outros desastres naturais. Além disso, a volatização das compostagens pode converter a poluição da água em poluição atmosférica, uma vez que componentes químicos voláteis e seus metabólitos podem ser disseminados na atmosfera via evaporação nas folhas (THIJS *et al.*, 2017).

Outras limitações incluem: a) capacidade restrita à superfície da água em função do tamanho das raízes das plantas; b) as plantas que absorvem os materiais tóxicos podem contaminar a cadeia produtiva de alimentos por meio da ingestão das plantas por outros seres vivos; c) requer amplo espaço e manutenção adequada; d) pode ocorrer remoção incompleta dos contaminantes atmosféricos; e e) resulta em produtos orgânicos não comestíveis (MUTHUSARAVANAN *et al.*, 2018). Andrade *et al.* (2007) chamam a atenção para o fato de que a fitorremediação requer que a concentração do contaminante esteja em intervalos de toxicidade que não ultrapassem os limites de tolerância da planta em uso.

4.5. Fitorremediação via *wetlands* construídas

Entre os processos de fitorremediação se destaca as *wetlands* construídas devido a capacidade de viabilizar sistemas de tratamento descentralizado, junto a pequenas comunidades (UGGETTI, 2021).

Wetlands são sistemas que apresentam baixo custo de manutenção e operação, tendo provado sua eficiência na remoção de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, sulfato e micro-organismos patogênicos do esgoto (UGGETTI, 2021). São capazes de transformar poluentes complexos em componentes menos tóxicos ou inofensivos, passíveis de utilização como nutrientes em processos metabólicos (SCHWANTES *et al.*, 2019).

Nas *wetlands* construídas há uma redução da velocidade da água e a contenção dos contaminantes, utilizando conjuntamente processos físicos (sedimentação), químicos e biológicos na descontaminação (MUTHUSARAVANAN *et al.*, 2018). A eficiência na remoção do nitrogênio depende de vários parâmetros projetuais (tipos de plantas); ambientais (temperatura, pH, oxigênio dissolvido) e operacionais (carga hidráulica, tempo de retenção) (MUTHUSARAVANAN *et al.*, 2018).

Podem ser classificadas como fluxo de superfície livre, fluxo subsuperficial (vertical ou horizontal) ou formas híbridas, envolvendo essas duas modalidades de fluxo (MUTHUSARAVANAN *et al.*, 2018; UGGETTI, 2021). A modalidade de *wetland* construído mais recorrente, conforme Sezerino *et al.* (2021) é aquela com escoamento subsuperficial horizontal ou vertical, combinada com reatores tipo decanto-digestores (tanques sépticos, reatores anaeróbicos) implantados a montante. Com a retenção de sólidos em suspensão e da matéria orgânica particulada, o *wetland* processa efluente líquido com menores concentrações desses compostos. Os macrófitos presentes em *wetlands* provêm uma ampla área para o crescimento microbial, o que contribui para estabilizar matéria orgânica (UGGETTI, 2021).

Conforme Sezerino *et al.* (2021), a maior aplicação dos *wetlands* construídos no Brasil está relacionado ao **tratamento secundário de esgoto doméstico ou esgoto sanitário, desde a escala unifamiliar no lote até pequenos grupamentos de edificações** *Fitorremediação aplicada ao tratamento de águas cinzas e negras* (base OICS, 2021) tipo hoteleira ou multifamiliar. Observa-se sua utilização **por empresas** *Fitorremediação para remoção de metais pesados em efluentes* (base OICS, 2021) como tratamento secundário de efluentes com características domésticas, oriundas de refeitórios e vestiários com banheiros; no tratamento por empresas "limpa-fossa" do lodo de unidades decanto-digestoras tipo tanque séptico; tratamento do lodo secundário oriundo de reatores biológicos de tratamento de esgoto sanitário, sob a responsabilidade de operadoras de saneamento; tratamento de esgoto sanitário de bacias de escoamento das regiões centrais de municípios de pequeno porte (SEZERINO *et al.*, 2021).

5. Considerações finais

As políticas constantes neste documento, embora apresentadas de forma individual, constituem um todo coeso. Dessa forma, seu maior impacto ocorre quando da aplicação integrada e sistêmica, tendo em vista suas intrínsecas interdependências. A aplicação isolada de uma determinada política pode resultar em baixa eficácia quando não são implementadas ações requeridas de outras políticas complementares. Ações voltadas ao planejamento do saneamento, por exemplo, podem ser ineficazes se houver ausência de ações correspondentes voltadas à promoção de comportamentos mais sustentáveis para conscientização da população e ausência de capacitação da gestão pública sobre o tema.

Ressalta-se a necessidade de customização da política para a realidade e necessidades presentes, assim como para as perspectivas de longo prazo de cada município. O presente documento deixa claro que esta customização demanda considerar tanto os aspectos técnicos envolvendo o sistema de saneamento, como aspectos voltados ao papel da população. Ressalta-se que não há um delineamento único e universal de como essas políticas devem ser configuradas e implementadas na busca por um saneamento em água mais sustentável. Questões como a cultura local, a zona bioclimática, os recursos disponíveis, o histórico de iniciativas anteriores e o nível de educação da população são exemplos de variáveis que afetam essa customização.

Finalmente, ressalta-se que as políticas apresentadas neste documento demandam uma compreensão holística do tomador de decisão sobre as implicações ambientais, sociais e econômicas, tanto na esfera local como global, de realização de esforços na busca por um saneamento em água mais sustentável. Conclui-se, dessa forma, como absolutamente estratégico o desenvolvimento de competências no tema entre os tomadores de decisão no âmbito dos municípios brasileiros.

Referências

ALEMU, Z. A.; DIOHA, M. O. Modelling scenarios for sustainable water supply and demand in Addis Ababa city, Ethiopia. **Environ Syst Res**, v.9, n.7, 2020. Disponível em: *https://environmentalsystemsresearch.springeropen.com/articles/10.1186/s40068-020-00168-3*

ANDRADE, J. C. M.; TAVARES, S. R.; MAHLER, C. F. **Fitorremediação:** O uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. *https://www.ofitexto.com.br/livro/fitorremediacao/*

BARRETO, M. L.; GENSER, B.; STRINA, A.; TEIXERA, M. G.; ASSIS, A.M.; REGO, R. F.; TELES, C. A.; PRADO, M. S.; MATOS, S. M. A.; SANTOS, D. N.; DOS SANTOS, L. A.; CAIRNCROSS, S.; TEIXEIRA; M.G. Effect of city-wide sanitation programme on reduction in rate of childhood diarrhoea in northeast Brazil: assessment by two cohort studies. The **Lancet,** v. 370, n. 9599, p. 1622-1628, 2007. Disponível em: *https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/1784/1/artigo%20internac.7.livre%202007.pdf*

BERNARDINO, C. A. R.; MAHLER, C. F.; PREUSSLER, K. H.; NOVO, L. A. B. State of the art of phytoremediation in Brazil – review and perspectives. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 227, n. 8, 2016. Disponível em: *https://doi.org/10.1007/s11270-016-2971-3*

BERNARDO, L.D. Tratamento de água para abastecimento por filtração direta. **PROSAB 3 – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico**, FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos do Ministério da Ciência e Tecnologia, 2003. Disponível em: *http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/aguas_de_abastecimento.pdf*

BERNARDO, L. D.; BRANDÃO, C. C. S.; HELLER, L. Tratamento de Águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas. **PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico**, FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos do Ministério da Ciência e Tecnologia, 1999. Disponível em: *http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/ prosab/aguas_de_abastecimento.pdf.* Acesso em: set. 2021.

BEUX, F.C.; OTTONI, A.B. Métodos alternativos de drenagem a partir da retenção e infiltração das águas de chuva no solo, visando a redução das enchentes urbanas. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 03, n. 17, p. 01-13, 2015. Disponível em: *https://pdfs.semanticscholar.org/ee2e/a8216bfcf738e82d4dacb941700a5f4e14f2.pdf*

BHAMRA, T.; LILLEY, D.; TANG, T. Design for sustainable behaviour: using products to change consumer behaviour. **Design Journal**, v. 14, n. 4, p. 427-445, 2011. Disponível em: *https://www.researchgate.net/profile/Debra-Lilley/publication/233620661_Design_for_Sustainable_Behaviour_Using_Products_to_Change_Consumer_Behaviour/links/5adf0d420f7e9b285943ae55/Design-for-Sustainable-Behaviour-Using-Products-to-Change-Consumer-Behaviour.pdf*

BIRKELAND, J. Challenging policy barriers in sustainable urban design. **Bulletin of Geography**, v.40, n.40, p.41–56, 2018. Disponível em: *https://www.researchgate.net/publication/326014414_Challenging_policy_barriers_in_sustainable_urban_design/fulltext/5b338b4d4585150d23d68f02/Challenging-policy-barriers-in-sustainable-urban-design.pdf*

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Disponível em: *http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm*

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Disponível em: *https://www.in.gov.br/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-267035421*

BRE - BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT LTD. **Ecohomes 2006** – The environmental rating for homes. Garston: 2006. Disponível em: *https://tools.breeam.com/filelibrary/Technical%20Manuals/EcoHomes_2006_ Guidance_v1.2_-_April_2006.pdf.* Acesso em: set. 2021.

BROWN, R.R.; KEATH, N.; WONG, T. **Transitioning to water sensitive cities:** historical current and future transition states, 2008. Disponível em: *https://www.melbournewater.com.au/building-and-works/stormwater-management/introduction-wsud.* Acesso em: set. 2021.

CAMPOS, J.R. Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. **PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico**, FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos do Ministério da Ciência e Tecnologia, 1999. Disponível em: *http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosabcamposfinal.pdf.* Acesso em: set. 2021

CHERNICHARO, C.A.L.; VAN LIER, J.B.; NOYOLA, A.; RIBEIRO, T.B. Anaerobic sewage treatment: state of the art, constraints and challenges. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**, Springer Netherlands, v. 14, n. 4, p. 649–679, 2015. *https://doi.org/10.1007/s11157-015-9377-3*

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Estações de tratamento industriais já emitem mais do que as domésticas**. 2016. Disponível em: *https://cetesb.sp.gov.br/biogas /2016/10/10/estacoes-de-tratamento-industriais-ja-emitem-mais-do-que-domesticas/.* Acesso em: set. 2021.

CONFORTO, E.C.; AMARAL, D.C. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO - CBGDP, 8., Porto Alegre, 2011. **Trabalho apresentado...** Porto Alegre, 2011. Disponível em: *https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2205710/mod_resource/content/1/Roteiro%20para%20revis%C3%A3o%20bibliogr%C3%A1fica%20sistem%C3%A1tica.pdf*

DAMANIA, R.; DESBUREAUX, S.; RODELLA, A.; RUSS, J.; ZAVERI, E. **Quality unknown:** the invisible water crisis. Washington, DC: World Bank, 2019. Disponível em: *https://openknowledge. worldbank. org/ handle/10986/32245.* Acesso em: set. 2021.

DANIEL, A.L. Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável, **PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico**, FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos do Ministério da Ciência e Tecnologia, 2001. Disponível em: *http://www. finep.gov.br/ images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/LuizDaniel.pdf.* Acesso em: set. 2021.

DELANKA-PEDIGE, H. M. K.; MUNASINGHE-ARACHCHIGE, S. P.; ABEYSIRIWARDANA-ARACHCHIGE, I. S. A.; NIRMALAKHANDAN, N. Wastewater infrastructure for sustainable cities: assessment based on UN sustainable development goals (SDGs). **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v. 28, n. 3, p. 203-209, 2021. Disponível em: *https://doi. org/10.1080/13504509.2020.1795006*

DELGADO-GONZÁLEZ, C.R. *et al.* Advances and applications of water phytoremediation: A potential biotechnological approach for the treatment of heavy metals from contaminated water. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 10, 2021. Disponível em: *https://www.researchgate.net/profile/Ashutosh-Sharma-29/publication/351579632_Advances_and_Applications_of_Water_Phytoremediation_A_Potential_Biotechnological_Approach_for_the_Treatment_of_Heavy_Metals_from_Contaminated_Water/links/609e7440299bf1476998370c/Advances-and-Applications-of-Water-Phytoremediation-A-Potential-Biotechnological-Approach-for-the-Treatment-of-Heavy-Metals-from-Contaminated-Water.pdf*

DOLMAN, N. **Building the water sensitive city:** water in the city of the future. Royal Haskoning, VHP, 2011. Disponível em: *https://www.researchgate.net/profile/Nanco-Dolman/publication/303894311_Building_the_Water_Sensitive_City_-_Water_in_the_City_of_the_Future/links/575ae41f08aec91374a61d69/Building-the-Water-Sensitive-City-Water-in-the-City-of-the-Future.pdf*

ESREY, S.A.; GOUGH, J.; RAPAPORT, D.; SAWYER, R.; SIMPSON-HÉBERT, M.; VARGAS, J. **Ecological sanitation.** Stockholm: SIDA - Swedish International Development Cooperation Agency, 1998. Disponível em: *http://www.ecosanres.org/pdf_files/Ecological_Sanitation.pdf*

FEACHEM, R.G.; BRADLEY, D.J.; GARELICK, H.; MARA. D.D. **Sanitation and disease:** Health aspects of wastewater and excreta management. Chichester: World Bank Studies in Water Supply and Sanitation 3, John Wiley & Sons, 1983. Disponível em: *https://documents1.worldbank.org/curated/en/704041468740420118/pdf/multiopage.pdf*

FEWTRELL, L.; KAUFMANN, R.B.; KAY, D.; ENANORIA, W.; HALLER, L.; JR COLFORD, J.M. Water, sanitation, and hygiene interventions to reduce diarrhoea in less developed countries: a systematic review and meta-analysis. **Infectious Diseases**, **The Lancet,** v.5, n. 1, p. 42-52, 2005. Disponível em: *https://doi.org/10.1016/S1473-3099(04)01253-8*

GARRIDO-BASERBA, M.; MOLINOS-SENANTE, M.; ABELLEIRA-PEREIRA, J.M.; FDEZ-GÜELFO, L.A.; POSH, M.; HERNÁNDEZ-SANCHO, F. Selecting sewage sludge treatment alternatives in modern wastewater treatment plants using environmental decision support systems. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier, v. 107, p. 410-419, 2015. **DOI:** 10.1016/j.jclepro.2014.11.021

GHISI, E.; VIEIRA, A. S.; DA ROSA, A. S.; MARINOSKI, A. K.; SILVA, A. S.; BALVEDI, B. F.; ALMEIDA, L. S. S. **Uso racional de água e eficiência energética em habitações de interesse social**: v. 3 – Eficiência Energética. Florianópolis: UFSC, Departamento de Engenharia Civil, LABEEE-Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 2015. Disponível em: *https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/Relat%C3%83%C2%B3rio%20FINEP%20-%20VOL%2003.pdf*

GLAAS – Global Analysis and Assessment of Sanitation and Drinking-Water. **Investing in water and sanitation:** increasing access, reducing inequalities. WHO - World Health Organization, 2014. Disponível em: *https://www.sanitationandwaterforall.org/sites/default/files/2020- 02/9789241508087_eng.pdf.* Acesso em: set. 2021.

GLASER, B. The constant comparative method of qualitative analysis. **Society for the Study of Social Problems,** Oxford University Press, v. 12, n.4, p.436-445, 1965. Disponível em: *https://www.researchgate.net/profile/David_Morgan19/post/Has_anyone_used_the_constant_comparative_method_Any_tips/attachment/59d6259779197b8077983e71/AS:318237135310850@1452885054267/download/Glaser+65+Constant+Comparative+Analysis.pdf*

GLASER, B.; STRAUSS, A.L. **Discovery of grounded theory:** Strategies for qualitative research. Routledge, 1967. Disponível em: *http://www.sxf.uevora.pt/wp-content/uploads/2013/03/Glaser_1967.pdf*

GONÇALVES, R.F. Gerenciamento do Lodo de Lagoas de Estabilização não Mecanizadas, Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. **PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico**, FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos do Ministério da Ciência e Tecnologia, 2000. Disponível em: *http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de- programas/prosab/gerenciamento_lodo_de_lagoas.pdf.* Acesso em: set. 2021.

GONÇALVES, R. F.; KIPERSTOK, A.; DA SILVA, B. C.; GOMES, H. P.; PHILLIPPI, L. S.; CHEUNG, P. B.; ALVES, W.C. **Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água.** Vitoria: Editora ABES, PROSAB, 2009. Disponível em: *http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/ historico-de-programas/prosab/prosab5_tema_5.pdf.* Acesso em: set. 2021.

GREIPSSON, S. **Phytoremediation.** Nature Education. 2011. Disponível em: *https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/phytoremediation-17359669/.* Acesso em: set. 2021.

GWP - Global Water Partnership. **Integrated water resources management**. TAC Background papers nº 4. Stockholm: 2000. Disponível em: *https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/background-papers/04-integrated-water-resources-management-2000-english.pdf.* Acesso em: set. 2021.

HOLTON, J.A. Grounded theory as a general research methodology. **Grounded Theory Review: An International Journal**. v.7, n. 2, June 2008. Disponível em: *http://groundedtheoryreview.com/2008/06/30/grounded-theory-as-a-general-research-methodology/*

OBSERVATÓRIO DE INOVAÇÃO PARA CIDADES SUSTENTÁVEIS - OICS. **Soluções e casos.** 2021. Disponível em: *https://oics.cgee.org.br/solucoes-e-casos/soluções.*

HOWARD, G.; BARTRAM, J. **Domestic water quantity, service, level and health**. WHO - World Health Organization, 2003. Disponível em: *https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/WSH03.02.pdf*

JOHANNESSEN, Å.; WAMSLER, C. What does resilience mean for urban water services? **Ecology and Society**, v.22, n.1, 2017. Disponível em: *https://www.researchgate.net/profile/Ase-Johannessen/publication/312363347_What_does_resilience_mean_for_urban_water_services/links/58a2e01f45851598babfc523/What-does-resilience-mean-for-urban-water-services.pdf*

KHAN, S.; GUAN, Y.; KHAN, F.; KHAN, Z. A Comprehensive index for measuring water security in an urbanizing world: the case of Pakistan's Capital. **Water**, v. 12, n. 1, p. 166, 2020. Disponível em: *https://www.mdpi.com/2073-4441/12/1/166/pdf*

KOOKANA, R.; DRECHSEL, P.; JAMWAL, P.; VANDERZALM, J. Urbanisation and emerging economies: Issues and potential solutions for water and food security. **Science of The Total Environment**, v. 732, n.139057, 2020. Disponível em: *https://www.researchgate.net/profile/Priyanka-Jamwal/publication/341212084_Urbanisation_and_emerging_economies_Issues_and_potential_solutions_for_water_and_food_security/links/5f117c0d92851c1eff18451a/Urbanisation-and-emerging-economies-Issues-and-potential-solutions-for-water-and-food-security.pdf*

LAMBERT, L.D.M. O uso da fitorremediação para recuperação de solos contaminados por petróleo. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 3., Goiânia: IBEAS - Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais e de Saneamento, 2012. **Anais...** 2012. Disponível em: *http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/XI-065.pdf* Acesso em: set. 2021.

MABON, L.; KONDO, K.; KANEKIYO, H.; HAYABUCHI, Y.; YAMAGUCHI, A. Fukuoka: Adapting to climate change through urban green space and the built environment? **Cities**, v. 93, p. 273-285, mar. 2019. Disponível em: *https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6876680/pdf/main.pdf*

MARA, D.; LANE, J.; SCOTT, B.; TROUBA, D. Sanitation and health. **PLoS Medicine**, v. 7, n. 11, 2010. Disponível em: *https://www.researchgate.net/profile/Beth-Scott-5/publication/49652081_Sanitation_and_Health/links/0c96051c02ade6ff4b000000/Sanitation-and-Health.pdf*

MÁRQUEZ, A.J.C.; CASSETTARI FILHO, P.C.; RUTKOWSKI, E. W.; SAAC, R.D.L. Landfill mining as a strategic tool towards global sustainable development. **Journal of Cleaner Production**, v.226, p.1102–1115, 2019. Disponível em: *https://archive.org/details/mccl_10.1016_j.jclepro.2019.04.057*

MORETTO, L.; FALDI, G.; RANZATO, M.; ROSATI, F.N.; BOOZI, J.P.I.; TELLER, J. Challenges of water and sanitation service co-production in the global South. **Environment & Urbanization**, v.30, n.2, p. 425-443, 2018. Disponível em: *https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0956247818790652*

MOUSTAKAS, C. E. **Heuristic research**: *Design*, methodology, and applications. Newbury Park: Sage Publications, 1990.

MUTHUSARAVANAN, S.; SIVARAJASEKAR, N.; VIVEK, J.S.; NAUSHAD, M.; PRAKASHMARAN, J.; GAYATHRI, V.; AL-DUAIJ, O. K. Phytoremediation of heavy metals: mechanisms, methods and enhancements. **Environmental Chemistry Letters**, Springer International Publishing, v.16, n.4, p.1339–1359, 2018. *https://doi.org/10.1007/s10311-018-0762-3*

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT - OECD. **Water governance indicator framework**. 2018. Disponível em: *https://www.oecd.org/regional/OECD-Water-Governance-Indicator-Framework.pdf.* Acesso em: set. 2021.

OHCHR - United Nations Human Rights Council. **Human rights, poverty reduction and sustainable development**: health, food and water. Johannesburg: World Summit on Sustainable Development, 2002. Disponível em: *https://digitallibrary.un.org/record/577995/files/HRPovertyReductionen.pdf*

OPOKU, A. Biodiversity and the built environment: Implications for the Sustainable Development Goals (SDGs). **Resources, Conservation and Recycling**, v.141, p.1–7, 2019. Disponível em: *https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10059329/1/00.%20Manuscript_Accepted%20version_ao.pdf*

PORIES, L.; FONSECA, C.; DELMON, V. Mobilising finance for WASH: getting the foundation right. Netherlands: **RC, Water.org, World Bank: The Hague**, 2019. Disponível em: *https://water.org/documents/134/Getting_the_Foundation_Right_FINAL_March_2019.pdf*

QADIR, M.; DRECHSEL, P.; CISNEROS, B.J.; KIM, Y.; PRAMANIK, A.; MEHTA, P.; OLANIYAN, O. Global and regional potential of wastewater as a water, nutrient and energy source. **Natural Resources Forum**, v. 44, n. 1, p. 40– 51, 2020. Disponível em: *https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1477-8947.12187*

QIN, H.; DIAO, M.; ZHANG, Z.; VISSER, P.M.; ZHANG, Y.; WANG, Y.; YAN, S. Responses of phytoremediation in urban wastewater with water hyacinths to extreme precipitation. **Journal of Environmental Management**, Elsevier, v. 271, n.110948, 2020. Disponível em: *https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110948*

QUEIROZ, A.A.F.S.L.; PAULO, M.L.; YASUNAKA, L.Y.; PAULO, P.L. Os hábitos de consumo de água e energia sob a perspectiva de moradores de HIS. *In:* WORKSHOP DA REDE DE PESQUISA: uso racional de água e eficiência energética em habitações de interesse social, 4., Aracaju: 2012. **Anais...** 2012.

ROCKFELLER FOUNDATION. **R100**. Disponível em: *https://www.100resilientcities.org.* Acesso em: 18 ago. 2021.

RODRIGUES, J.M. **Comportamento sustentável através de estratégias associadas à utilização de internet das coisas.** Dissertação (Mestrado em Design) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2021.

SABBAG, O. **Diretrizes para recuperação e conservação ambiental de mananciais de abastecimento de água comprometidos por ocupações irregulares**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006. Disponível em: *https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/8158/Dissertacao.pdf?sequence=1*

SAIER, M.H.; TREVORS, J.T. Phytoremediation. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 205, n. SUPPL.1, 2010. Disponível em: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11270-008-9673-4.pdf

SCHWANTES, D.; GONÇALVES, A.C.; SCHILLER, A. DA P.; MANFRIN, J.; CAMPAGNOLO, M.A.; SOMAVILLA, E. Pistia stratiotes in the phytoremediation and post-treatment of domestic sewage. **International Journal of Phytoremediation**, v. 21, n.7, p.714–723, 2019. *https://doi.org/10.1080/15226514.2018.1556591*

SEZERINO, P.H.; PELISSARI, C. **Wetlands construídos como ecotecnologia para o tratamento de águas residuárias:** Experiências brasileiras. Brazil Publishing, 2021. Disponível em: *https://gesad.ufsc.br/files/2021/02/E-book-WETLANDS-BRASIL-Experi%C3%AAncias-Brasileiras-1.pdf*

SHOVE, E. Converging Conventions of Comfort, Cleanliness and Convenience. **Journal of Consumer Policy**, v.26, p.395–418, 2003. *https://doi.org/10.1023/A:1026362829781*

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES DE SANEAMENTO - SNIS. **Portal.** Disponível em: *http://www.snis.gov.br/* Acesso em: 28 ago. 2021.

SPUHLER, D.; GERMANN, V.; KASSA, K.; KETEMA, A.A.; SHERPA, A.M.; SHERPA, M.G.; MAURER, M.; LÜTHI, C.; LANGERGRABER, G. Developing sanitation planning options: A tool for systematic consideration of novel technologies and systems. **Journal of Environmental Management,** v.271, n.111004, 2020. *https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111004*

SUSANA - Sustainable Sanitation Alliance. **Towards more sustainable sanitation solutions** - SuSanA Vision document. 2008. Disponível em: *https://www.susana.org/en/knowledge-hub/resources- and-publications/library/details/267* Acesso em: set. 2021.

SWA – Sanitation and Water for All. 2021. **Site.** Disponível em: *https://www.sanitationandwaterforall.org/* Acesso em: set. 2021.

SWARTZ, C. D.; OFFRINGA, G. **Techneau** - Report on trends in South Africa /Sub-Sahara Africa. Techneau, D 1.1.1., 2006.

THIJS, S.; SILLEN, W.; WEYENS, N.; VANGRONSVELD, J. Phytoremediation: State-of-the-art and a key role for the plant microbiome in future trends and research prospects. **International Journal of Phytoremediation**, v. 19, n. 1, p. 23-38, 2017. Disponível em: *https://www.researchgate.net/profile/Sofie-Thijs-2/publication/305794944_Phytoremediation_State-of-the-art_and_a_key_role_for_the_plant_microbiome_in_future_trends_and_research_prospects/links/5a1025ab458515cc5aa6b186/Phytoremediation-State-of-the-art-and-a-key-role-for-the-plant-microbiome-in-future-trends-and-research-prospects.pdf*

THORNTON, J. Briefing: Moving towards sustainability in the sewage treatment industry. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers** - Engineering Sustainability, v. 156, n. 2, p. 79-80, 2003. Disponível em: *https://www.icevirtuallibrary.com/doi/pdf/10.1680/ensu.2003.156.2.79*

TYLER, S.; MOENCH, M. A framework for urban climate resilience. **Climate and Development**, v.4, n.4, p.311-326, 2012. Disponível em: *https://www.researchgate.net/profile/Stephen-Tyler-2/publication/263728583_A_framework_for_urban_climate_resilience/links/5690aa7708aed0aed811013d/A-framework-for-urban-climate-resilience.pdf*

UGGETTI, E. General aspects of phytoremediation. **Revista Latinoamericana de Biotecnologia Ambiental y Algal**, [S.l.], v. 12, n. 2, p. 45-49, jul. 2021. ISSN 2007-2570. Disponível em: *http://www.solabiaa.org/ojs3/index.php/RELBAA/article/view/115.* Acesso em: 31 ago. 2021.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION - UNESCO. **The United Nations world water development report 2020**: Water and climate change. New York: 2020. Disponível em: *https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372985.locale=en*

UNITED NATIONS GENERAL ASSEMBLY - UNGA. **Human rights and access to safe drinking water and sanitation**. New York: 2010. Disponível em: *https://digitallibrary.un.org/record/691661/files/A_HRC_RES_15_9-EN.pdf*

UN-HABITAT - United Nations Human Settlements Programme; WHO - World Health Organization. **Progress on wastewater treatment** – Global status and acceleration needs for SDG indicator 6.3.1. Genova: 2021. Disponível em: *https://unhabitat.org/sites/default/files/2021/08/sdg6_indicator_report_631_progress_on_wastewater_treatment_2021_english_pages.pdf*

UN-HABITAT - United Nations Human Settlements Programme. **State of the World's Cities 2012/2013**: Prosperity of Cities. Routledge, Nairobi, 2012. Disponível em: *https://sustainabledevelopment.un.org/index.php?page=view&type=400&nr=745&menu=1515* Acesso em: 31 ago. 2021.

UNITED NATIONS SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS – UNSDG. **Goal 6:** Ensure access to water and sanitation for all, 2021. Disponível em: *https://www.un.org/sustainabledevelopment/water-and-sanitation/*. Acesso em: 31 Ago. 2021.

UN-WATER - United Nations Water. **The United nations world water development report 2018**: Nature-Based Solutions for Water. Paris: WWAP – United Nations World Water Assessment Program, 2018. Disponível em: *https://www.unwater.org/world-water-development-report-2018-nature-based-solutions-for-water/*

UNIVERSITY OF NEW SOUTH WALES – UNSW. **Healthy built environments**: a review of literature. The Healthy Built Environments Program (HBEP), City Futures Research Centre, 2011. Disponível em: *https://cityfutures.be.unsw.edu.au/documents/162/HBEPFactSheetKit.pdf*

UN-WATER - United Nations Water. **Water and sanitation interlinkages across the 2030 Agenda for Sustainable Development.** p. 48, 2016. Disponível em: *http://www.unwater.org/publications/water-sanitation-interlinkages-across-2030-agenda-sustainable-development/* Acesso em: 31 ago. 2021.

UN-WATER - United Nations Water. **Gender, water and sanitation**: a policy brief. Policy and Analytical Briefs, 2015. Disponível em: *https://www.unwater.org/publications/gender-water-sanitation-policy-brief/* Acesso em: 31 ago. 2021.

USAID – World Health Organization; UNICEF – United Nations Children's Fund. **Improving nutrition outcomes with better water, sanitation and hygiene**: practical solutions for policies and programmes. World Health Organization.2015. Disponível em: *https://apps.who.int/iris/handle/10665/193991*

VEZZOLI, C.; BRENDA, G.; KOHTALA, C. **Designing sustainability for all.** The Design of Sustainable Product-Service Systems Applied to Distributed Economies. Springer, 2021. Disponível em: *https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-030-66300-1.pdf*

WORLD ECONOMIC FORUM - WEF. **The Global risks report 2019.** Genova: Insight Report, Ed.14, ISBN: 978-1- 944835-15-6, 2019. Disponível em: *https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2019.pdf* Acesso em: 31 Ago. 2021.

WONG, T.; BROWN, R. The water sensitive city: principles for practice. **Water Sci. Technol.,** v. 60, p. 673-682, 2009. Disponível em: *https://doi.org/10.2166/wst.2009.436*

WONG, T.; ROGERS, B.; BROWN, R. Transforming cities through water-sensitive principles and practices. **One Earth**, v. 3, n. 4, p. 436-447, 2020. Disponível em: *https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590332220304814/pdfft?md5=9bd99dbc5a2e3717b964bbebf6a2813a&pid=1-s2.0-S2590332220304814-main.pdf*

XAVIER, R. K. Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura. **PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico,** FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos do Ministério da Ciência e Tecnologia, 2003. Disponível em: *http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico- de-programas/prosab/ProsabRafaelInternet.pdf.* Acesso em: 31 ago. 2021.

XING, Y.; JONES, P.; DONNISON, I. Characterisation of nature-based solutions for the built environment. **Sustainability** , v. 9, n. 1, p. 1-20, 2017. Disponível em: *https://www.mdpi.com/2071-1050/9/1/149/pdf*

Siglas e abreviaturas encontradas nesta publicação

BTEX | tolueno, etileno, xileno
CGEE | Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CH4 | metano
CO2| gás carbônico
CRF | *Cities Resilience Framework*
ETE | Estações de Tratamento de Esgoto
IA | Inteligência Artificial
IoT | Internet das Coisas
IWRM | *Integrated Water Resource Management*
MCTI | Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação
ODS | Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OICS | Observatório de Inovações para Cidades Sustentáveis
PFD | pré-filtro dinâmico
PFPAC | pré-filtro de pedregulho com escoamento ascendente em uma unidade
PFPAS | pré-filtro de pedregulho com escoamento ascendente em câmaras em série
PFPED | pré-filtro de pedregulho com escoamento descendente
PFPH | pré-filtro de pedregulho com escoamento horizontal
PMSB | Plano Municipal de Saneamento Básico
RBS | Revisão Bibliográfica Sistemática
SNCTI | Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação
SNIS | Sistema Nacional de Informações de Saneamento
TCE | tricloroetileno
UFPR | Universidade Federal do Paraná
UHI | *Urban Heat Island*