

CAPÍTULO 11

EFICIÊNCIA HÍDRICA EM SETORES ESTRATÉGICOS NO BRASIL

Vinicius F. Boico

Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura



RESUMO

Em 2022, a captação total de água no Brasil para diversos usos foi estimada em 2035,2 m³/s, o equivalente a 64 trilhões de litros. O uso ineficiente da água na irrigação, abastecimento urbano e na indústria representa perdas significativas, uma vez que esses setores foram responsáveis pela maior parte do consumo de água do país. Portanto, práticas e tecnologias de eficiência hídrica na agricultura, nas cidades e nas indústrias são essenciais para reduzir o consumo de água e aumentar a disponibilidade de água para múltiplos usos. Este capítulo apresenta a gestão da demanda e da oferta hídrica, incluindo aspectos econômicos do uso da água. Além disso, aborda duas práticas de eficiência hídrica em setores estratégicos: os sistemas agroflorestais, como prática agrícola pouco dependente de irrigação e o reúso de efluentes tratados na indústria. Este estudo foi baseado em levantamentos bibliográficos. Verificou-se que a gestão da demanda e da oferta de água envolve técnicas para otimizar o consumo e expandir a disponibilidade de recursos hídricos. A demanda é reduzida por meio do monitoramento de consumo e controle de perdas, enquanto a oferta é aumentada com práticas como armazenamento de água, integração de bacias e uso de fontes alternativas. No setor agrícola, Sistemas Agroflorestais (SAFs) melhoram a retenção e infiltração de água, contribuindo para a recarga de aquíferos e reduzindo a erosão. Em contextos industriais, o uso de efluentes tratados para fins de resfriamento e outros usos menos restritivos proporciona uma alternativa econômica e sustentável, embora exija diretrizes técnicas e investimento em tratamento avançado. Estas práticas e tecnologias de eficiência hídrica são cruciais em regiões brasileiras com escassez hídrica e pressões crescentes decorrentes da expansão econômica.

Palavras-chave: recursos hídricos; eficiência hídrica; segurança hídrica; consumo de água; desperdício de água.

ABSTRACT

In 2022, the total water withdrawal for various uses in Brazil was estimated at 2,035.2 m³/s, equivalent to 64 trillion liters. Inefficient water use in irrigation, urban supply, and industry accounts for significant losses, as these sectors represent the largest portions of national water consumption. Therefore, water efficiency practices and technologies in agriculture, cities, and industries are essential to reduce water consumption and enhance availability for multiple uses. This chapter presents both demand and supply management strategies, including economic aspects of water use. Additionally, it discusses two key water efficiency practices in strategic sectors: agroforestry systems as a low-irrigation agricultural method and the reuse of treated effluents in industry. This study is based on a comprehensive literature review. Water demand and supply management includes techniques to optimize consumption and expand resource availability. Demand is reduced through consumption monitoring and loss control, while supply is increased via methods such as water storage, basin integration, and alternative sources. In agriculture, Agroforestry Systems (AFS) improve water retention and infiltration, contributing to aquifer recharge and reducing erosion. In industrial contexts, using treated effluents for cooling and other less restrictive purposes offers a sustainable and economical alternative, though it requires technical guidelines and investment in advanced treatment. These water efficiency practices and technologies are critical in Brazilian regions facing water scarcity and increased pressures from economic growth.

Keywords: water resources; water efficiency; water security; water consumption; water waste.

INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Recursos Hídricos (Brasil, 1997) integra princípios, diretrizes e instrumentos com o objetivo de assegurar a disponibilidade de água para a população, em padrões de qualidade adequados, e a utilização racional e integrada dos recursos hídricos. De acordo com os fundamentos da PNRH, a água é um bem de domínio público e um recurso natural limitado. Assim sendo, é nosso dever zelar pelo uso eficiente da água, reduzindo perdas e desperdícios.

Neste contexto, a eficiência hídrica pode ser definida como a realização de uma atividade usando a quantidade mínima de água, reduzindo perdas e desperdícios ou empregando processos, tecnologias ou práticas que consumam menos água. A eficiência hídrica envolve otimização do uso da água, o uso racional e a conservação dos recursos hídricos. No contexto da segurança hídrica, as medidas de eficiência hídrica devem ser planejadas para aumentar a disponibilidade hídrica e avaliadas em função de um nível aceitável de risco relacionado a secas e cheias.

O uso eficiente da água é uma das ferramentas para se atingir os objetivos da PNRH de *“assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”* e quanto à *“utilização racional e integrada dos recursos hídricos [...] com vistas ao desenvolvimento sustentável”*. Observa-se que o estabelecimento de *“metas de racionalização de uso, aumento da quantidade e melhoria da qualidade dos recursos hídricos disponíveis”* integra o conteúdo mínimo dos planos de recursos hídricos, de acordo com a PNRH.

Este capítulo aborda a gestão da demanda e da oferta hídrica, incluindo aspectos econômicos do uso da água. Além disso, apresenta duas práticas de eficiência hídrica em setores estratégicos: os sistemas agroflorestais, como prática agrícola pouco dependente de irrigação e o reúso de efluentes tratados na indústria. Este trabalho foi desenvolvido como parte de uma con-

sultoria pessoa-física, com o objetivo de subsidiar o Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional na elaboração de um Programa Nacional de Eficiência Hídrica, que promova o uso eficiente da água no Brasil.

MATERIAIS, MÉTODOS E ÁREA DE ESTUDO

Este capítulo foi desenvolvido por pesquisa exploratória de caráter técnico, por meio de levantamento bibliográfico. Foram consultados artigos científicos, livros, documentos oficiais da Confederação Nacional da Indústria, sites das companhias de saneamento e artigos disponíveis online. Ressalta-se que não faz parte da metodologia a análise exaustiva das práticas e tecnologias nos diversos setores da economia. O conteúdo apresentado neste capítulo apresenta uma pesquisa exploratória para subsidiar o estabelecimento de diretrizes de medidas de eficiência hídrica.

USOS CONSUNTIVOS DA ÁGUA NO BRASIL

O uso consuntivo é caracterizado pelo consumo de água que não retorna diretamente ao corpo hídrico após o uso. Os principais usos consuntivos de água no Brasil são para irrigação, abastecimento humano (urbano e rural), abastecimento animal, indústria, geração termelétrica e mineração (ANA, 2024). A Figura 1 apresenta os usos consuntivos por setor econômico em 2022, de acordo com o relatório da Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2024).

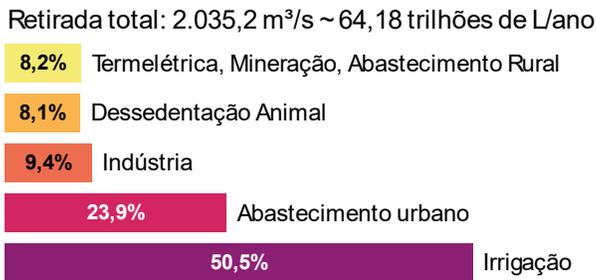


Figura 1 Usos consuntivos por setor econômico em 2022. Adaptado de ANA (2024)

Existem diversas práticas e tecnologias para o uso eficiente da água em diferentes setores e para diferentes tipos de usuários. Algumas das opções adequadas para o uso eficiente da água são:

- ◆ O cultivo de sistemas agroflorestais, como alternativa para produção de alimentos aliada a proteção dos recursos hídricos;
- ◆ Irrigação programada, com destaque para a irrigação baseada em medições do estado da água no solo;
- ◆ Irrigação por gotejamento como o tipo de irrigação mais eficiente;
- ◆ Estimativa e redução da pegada hídrica;
- ◆ Controle ativo das perdas em sistemas de distribuição de água;
- ◆ Capacitação e treinamento de funcionários nos diversos setores da economia;
- ◆ Uso de cisternas na área rural;
- ◆ Recirculação e reúso de água;
- ◆ Monitoramento dos recursos hídricos (precipitação, nível do lençol freático etc.), volumes bombeados e do consumo de água; e
- ◆ A gestão da demanda e da oferta hídrica.

A seguir, são apresentados aspectos relacionados à gestão da demanda e da oferta de água, que abrange todos os setores

da economia, aos sistemas agroflorestais, como prática agrícola pouco dependente de irrigação e o reúso de efluente tratada na indústria.

GESTÃO DA DEMANDA E OFERTA HÍDRICA

A gestão eficiente dos recursos hídricos é fundamental para garantir o uso sustentável da água, especialmente diante dos desafios crescentes de escassez e aumento da demanda. A eficiência hídrica envolve tanto a redução do consumo de água, por meio da gestão da demanda, quanto o aumento da sua disponibilidade, através da gestão da oferta. Estratégias como o monitoramento de consumo, o uso de tecnologias para detecção de perdas e o aproveitamento de fontes alternativas de água são essenciais para enfrentar os impactos das mudanças climáticas e do crescimento populacional. Este capítulo vai abordar os temas relacionados à gestão da demanda e oferta hídrica, às tecnologias aplicadas para promover a eficiência no uso da água e alguns aspectos econômicos do uso da água.

GESTÃO DA DEMANDA HÍDRICA

Em muitas regiões, a mudança gradativa do cenário hídrico de aparente abundância para cenários frequentes de indisponibilidade hídrica e de riscos de escassez, exigiu da sociedade em suas atividades domésticas, urbanas e econômicas novas práticas de consumo e de gestão. Regiões historicamente com escassos recursos hídricos já adotavam, por exemplo, uma atenção maior na medição e controle do uso da água, sendo este o primeiro passo para a gestão da demanda hídrica (Lima, 2018).

A gestão da demanda hídrica na indústria tem início com a medição e o monitoramento setorizado das entradas e saídas de água. Isso permite conhecer o balanço hídrico do processo industrial e a construção de indicadores de consumo e geração

de efluentes além de atuar para reduzir perdas físicas visíveis de água. O aprimoramento da identificação das perdas ocorrerá gradativamente com o monitoramento contínuo do balanço hídrico e dos indicadores e, em alguns casos, com o uso de técnicas e/ou equipamentos de detecção (Lima, 2018).

As perdas, geralmente, estão associadas com a fuga de água em tubulações, conexões, reservatórios e equipamentos ou com as perdas decorrentes do mal desempenho de processos específicos, tais como: lavagens mal controladas, equipamentos com baixo desempenho, tecnologias obsoletas e não adequadas, atividades operacionais mal planejadas ou perdas por negligências operacionais.

Uma ação efetiva que promova a redução no consumo de água, em alguns casos, é decorrente de uma melhor manutenção preditiva e preventiva de equipamentos específicos. Em outros casos mais dispendiosos, a melhor solução consiste na atualização tecnológica do processo, ou do equipamento, para uma alternativa que demande um consumo menor de água.

GESTÃO DA OFERTA HÍDRICA

Neste contexto, há três caminhos apontados por Lima (2018): armazenamento de água, ações de larga escala (como infraestrutura para transferência de água entre bacias, redução de perdas na distribuição, recarga de aquíferos), e as ações locais de substituição de fontes hídricas convencionais. Lima (2018) cita como opções de fontes hídricas alternativas:

- ◆ Efluentes industriais próprios;
- ◆ Efluentes industriais de terceiros;
- ◆ Esgoto sanitário tratado;
- ◆ Águas pluviais coletadas dos telhados ou, eventualmente, de áreas pavimentadas;
- ◆ Águas subterrâneas, complementadas com recarga gerenciada de aquíferos subjacentes, eventualmente existentes no terreno do empreendimento, utilizando os efluentes adequadamente tratados.

De acordo com Conselho Nacional de Pesquisa Americano (NRC, 2012), no ano de 2008, cerca de 580 m³/s de esgoto sanitário foram reutilizados mundialmente como fonte hídrica alternativa. Desse total, 42% contemplavam processos de tratamento dos esgotos sanitários para usos diversos (industrial, recarga de aquífero, potável etc.), enquanto os 48% restantes representavam a parcela destinada para irrigação (sem processo de tratamento).

Algumas indústrias utilizam exclusivamente água fornecida pelas concessionárias de saneamento e consideram a qualidade da água satisfatória para a totalidade de suas demandas. No entanto, em alguns casos, os processos industriais não exigem água com alta qualidade. Nesses casos, o aproveitamento dos efluentes da própria empresa (tratado ou não) pode ser uma alternativa de substituição da água fornecida pelas concessionárias.

TECNOLOGIAS APLICADAS À GESTÃO DA DEMANDA E DA OFERTA HÍDRICA

Algumas tecnologias aplicadas à gestão da demanda ou da oferta hídrica são apresentadas a seguir, tanto no âmbito macro de infraestrutura, como em atividades agrícolas e industriais, de acordo com o livro “Água e Indústria: experiências e desafios”, de Lima (2018). Quanto à gestão de demanda, ou seja, ações que visam reduzir o consumo de água, tem-se:

- ◆ Instalação de hidrômetros para medição setorizada e gestão do consumo;
- ◆ Irrigação por gotejamento;
- ◆ Tecnologias de detecção e softwares de gerenciamento de perdas de água;
- ◆ Aumento dos ciclos da água em torres de resfriamento (ex. reúso);
- ◆ Mapeamento de rotas tecnológicas ou equipamentos menos demandantes de água;
- ◆ Tecnologias de otimização de processos industriais de lavagem e sanitização.

Quanto à gestão de oferta, ou seja, ações que visam aumentar a disponibilidade de água, tem-se:

- ◆ Fertirrigação e aquicultura com esgoto tratado;
- ◆ Zonas hídricas e úmidas artificiais (barragens subterrâneas, reservatórios, represamentos etc.);
- ◆ Interligação de bacias e microbacias;
- ◆ Infraestrutura eficiente de captação, adução, armazenamento, tratamento e distribuição de água potável;
- ◆ Tecnologias para reflorestamento;
- ◆ Proteção de matas ciliares;
- ◆ Concentração da vinhaça e reúso da água no processo industrial;
- ◆ Aproveitamento de água pluvial com captação projetada ou oriunda de sistemas de drenagens existentes;
- ◆ Dessalinização de fontes naturais salinas – mar ou subterrâneas;
- ◆ Recarga de aquífero com efluentes tratados – reúso indireto.

ASPECTOS ECONÔMICOS DO USO DA ÁGUA

Embora o Brasil tenha grandes reservas de água continental, abriga em seu território regiões hidrográficas com baixa disponibilidade hídrica e bacias que, mesmo contempladas por considerável disponibilidade de água, concentram demandas elevadas ou comprometimento qualitativo dos recursos hídricos, caracterizando graves quadros de escassez (IPEA, 2010). Em diversas localidades, o consumo humano de água já enseja o colapso dos sistemas de abastecimento, o que leva a sociedade a aplicar esforços dobrados na correta gestão dos recursos hídricos. Parte desse cenário negativo é efeito imediato das baixas disponibilidades hídricas locais, como regiões áridas e semiáridas, ou de áreas densamente povoadas situadas em trechos de rios a montante, nos quais as vazões retiradas não respondem aos patamares das demandas (IPEA, 2010).

Em particular no semiárido brasileiro, a disponibilidade hídrica já se configura no principal fator limitante do desenvolvimento socioeconômico, o que leva o poder público a sempre buscar novas alternativas de produção de água e conservação da disponibilidade hídrica (IPEA, 2010).

O crescimento econômico, com expansão do mercado interno e investimentos externos, aumenta a demanda pelos recursos hídricos. A disponibilidade hídrica no Brasil, embora seja aparentemente elevada, está limitada pela distribuição espacial, sazonalidade, usos múltiplos e, em grandes proporções, às variações climáticas.

Um relatório desenvolvido por especialistas às vésperas da Cúpula da Água da ONU, em 22 de março de 2023, afirmou que há expectativa de que a demanda supere o abastecimento de água doce em 40% até o final desta década. De acordo com os e as especialistas, os governos devem parar urgentemente de subsidiar a extração e o uso excessivo de água por meio de subsídios agrícolas mal direcionados, e as indústrias, da mineração à manufatura, devem revisar suas práticas de desperdício (Portal do Tratamento de Água, 2023). O relatório apresenta sete recomendações principais, incluindo reformular a governança global dos recursos hídricos, aumentar o investimento na gestão da água por meio de parcerias público-privadas, precificar a água adequadamente e estabelecer “parcerias justas para a água” para arrecadar fundos para projetos hídricos em países em desenvolvimento (Portal do Tratamento de Água, 2023). As sete recomendações são:

1. Gerenciar o ciclo global da água como um bem comum global, a ser protegido coletivamente respeitando os interesses compartilhados;
2. Garantir água segura e adequada para todos os grupos vulneráveis e trabalhar com a indústria para aumentar o investimento em água;
3. Propor preços adequados e apoio direcionado aos pobres para que a água seja usada de maneira mais eficiente, equitativa e sustentável;

4. Reduzir os mais de US\$ 700 bilhões em subsídios agrícolas e hídricos a cada ano, que muitas vezes incentivam o consumo excessivo de água, e reduzir o vazamento nos sistemas de água;
5. Estabelecer “parcerias de água justa” que possam mobilizar financiamento para países de baixa e média renda;
6. Tomar medidas urgentes, nesta década, em questões como a restauração de zonas úmidas e recursos hídricos subterrâneos esgotados, reciclagem da água usada na indústria, mudar para uma agricultura de precisão que usa a água de forma mais eficiente e exigir que as empresas relatem sua pegada hídrica;
7. Reformar a governança da água em nível internacional e incluir a água nos acordos comerciais. A governança também deve levar em consideração mulheres, agricultores, indígenas e outros na linha de frente da conservação da água.

SISTEMAS AGROFLORESTAIS E O CICLO HIDROLÓGICO

A redução dos volumes e da qualidade dos mananciais superficiais e subterrâneos, devido à captação para irrigação e a contaminação por agrotóxicos e fertilizantes, limita a disponibilidade hídrica para os múltiplos usos da água. Sistemas de cultivo agroflorestais reduzem a pressão sobre os recursos hídricos pois necessitam de pouca ou nenhuma irrigação e não dependem da aplicação de agroquímicos. O Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal (ICRAF) define Sistemas Agroflorestais (SAFs) como *“sistemas baseados na dinâmica, na ecologia e na gestão dos recursos naturais que, por meio da integração de árvores na propriedade e na paisagem agrícola, diversificam e sustentam a produção com maiores benefícios sociais, econômicos e ambientais para todos aqueles quem usam o solo em diversas escalas”* (Lasco et al., 2014).

O balanço hídrico de uma região de cultivo agroflorestal é influenciado pelas características estruturais e funcionais das árvores (Macedo *et al.*, 2013). A interceptação de água pelas copas e troncos das árvores e a redução do escoamento superficial devido à camada de folhas depositadas no solo aumentam a infiltração de água no solo. Além disso, a evaporação diminui e o solo se mantém mais úmido, reduzindo ou eliminando a necessidade de irrigação. Dessa forma, a água é usada com mais eficiência. A Figura 2 apresenta dois sistemas agroflorestais em estágios iniciais localizados na Chapada Diamantina, na Bahia.

Em Sistemas Agroflorestais, a água da chuva é utilizada com mais eficiência do que em sistemas de monocultura ou sem cobertura do solo. A utilização de SAFs melhora as propriedades hídricas do solo (retenção de água, infiltração etc.) e influencia diretamente na recarga de águas subterrâneas (Miccolis *et al.*, 2016).

Logo, a proteção de recursos hídricos e o potencial de regulação da disponibilidade hídrica são resultados positivos observados nas agroflorestas, que utilizam grande cobertura de espécies arbóreas, favorecendo a taxa de infiltração de água no solo e sua qualidade (Barguées *et al.*, 2014; Noordwijk *et al.*, 2006). Agroflorestas com 100% de cobertura vegetal interceptam até 70% da precipitação pluviométrica e contribuem na redução do escoamento superficial, evitando a erosão do solo e as enxurradas (Florentino *et al.*, 2006). Além disso, agroflorestas implantadas em regiões desmatadas próximas aos rios e córregos podem reduzir significativamente sedimentos e poluentes carregados para os corpos de água (Schoeneberger, 1993; Udawatta e Garret, 2011).

Uma série de princípios e critérios com o intuito de convergir as demandas sociais com as ambientais foram elaborados para orientar intervenções e práticas agroflorestais nos mais variados contextos (Miccolis *et al.*, 2016). Os princípios gerais para conciliar objetivos sociais e ambientais nos SAFs incluem (Miccolis *et al.*, 2016) a conservação dos recursos hídricos, do solo e da biodiversidade e a manutenção dos modos de vida dos agricultores.



Figura 2 Sistemas agroflorestais (SAF) em estágios iniciais. a) SAF do espaço permacultural Filhos da Floresta com irrigação e b) SAF no Vale do Capão/BA sem irrigação. Fotos: Vinicius Boico (04/2023).

Mais especificamente com relação às **funções ecológicas**, a implementação de SAFs deve seguir os seguintes princípios (Miccolis *et al.*, 2016):

- i. Considerar a propriedade integralmente e sua função na paisagem;
- ii. Não utilizar adubos sintéticos e agrotóxicos, priorizando-se o uso de insumos locais e produtos naturais aceitos pelas normas de agricultura orgânica;
- iii. Realizar a recomposição e a manutenção da fisionomia da vegetação original;
- iv. Otimizar o uso da luz solar por meio da estratificação;
- v. Garantir que o preparo do solo não cause impactos negativos como compactação e susceptibilidade à erosão;
- vi. Utilizar métodos de controle da erosão quando necessário;
- vii. Manter permanentemente a cobertura do solo com matéria orgânica;
- viii. Controlar os fatores de degradação;
- ix. Realizar manejo de espécies visando o sucesso do estabelecimento do sistema ao longo do tempo.

Quanto às **funções sociais**, a implementação de SAFs deve seguir os seguintes princípios (Miccolis *et al.*, 2016):

- i. Prover os modos de vida dos agricultores familiares;
- ii. Promover a autonomia dos agricultores;
- iii. Promover o envolvimento dos agricultores na concepção do sistema;
- iv. Contemplar os interesses de toda a família;
- v. Considerar a cultura, a visão de mundo e a espiritualidade no desenvolvimento das agroflorestas;
- vi. Escolher espécies e desenho em função dos recursos disponíveis e da capacidade de manejo da família;
- vii. Escolher espécies observando sua multifuncionalidade socioambiental;
- viii. Promover a agrobiodiversidade, priorizando o uso de sementes crioulas.

REÚSO DE EFLUENTE TRATADO NA INDÚSTRIA

A indústria está submetida a dois grandes instrumentos de pressão (PIO, 2005):

- ♦ As imposições globais, tanto ambientais quanto de saúde pública, resultantes das relações do comércio interno e internacional; e
- ♦ As condicionantes legais de gestão de recursos hídricos, particularmente as associadas à cobrança pelo uso da água.

Para se adaptar a esse novo cenário, a indústria vem aprimorando os processos industriais e desenvolvendo sistemas de gestão ambiental para atender às especificações do mercado interno e externo e implementando sistemas e procedimentos direcionados à gestão da demanda de água e a minimização da geração de efluentes (Mierzwa; Hespanhol, 2005).

Esses fatores, associados aos custos elevados da água mais os custos associadas às outorgas de captação e de lançamento de efluentes, têm levado as indústrias a avaliarem as possibilidades internas de reúso e a considerar as ofertas das companhias de saneamento para a compra de efluentes tratados, a preços inferiores aos da água potável, disponível em sistemas públicos de abastecimento (CNI, 2017). A “água de utilidade” produzida através de tratamento de efluentes secundários e distribuída por adutoras, que servem um agrupamento significativo de indústrias, vem se constituindo, embora ainda em pequena escala, em um grande atrativo para abastecimento industrial a custos inferiores aos da água potável. Os custos variam de acordo com condições locais, tanto em termo dos níveis de tratamento adicionais necessários, quanto aqueles relativos aos sistemas de distribuição. A existência de estações de tratamento de esgotos nas proximidades de zonas industriais contribui para implantação de programas de reúso, uma vez que aumenta o potencial de viabi-

lizar sistemas de distribuição de águas de reúso compatíveis com a demanda industrial (CNI, 2017).

Dentro do critério de estabelecer prioridades para usos que demandam vazões elevadas e que necessitam níveis de tratamento relativamente menores, em relação aos necessários para processos industriais, é recomendável concentrar a fase inicial do programa de reúso industrial, em torres de resfriamento (CNI, 2017).

O uso de efluentes secundários tratados em sistemas de resfriamento, cuja demanda é bastante significativa, tem a vantagem de requerer um padrão de qualidade independentemente do tipo de indústria, e a de atender a outros usos menos restritivos, tais como lavagem de pisos e equipamentos e uso como água de processo em indústrias mecânicas e metalúrgicas. Além disso, a qualidade de água adequada ao resfriamento de sistemas semiabertos é compatível com outros usos urbanos, não potáveis, tais como irrigação de parques e jardins, lavagem de vias públicas, construção civil, formação de lagos para algumas modalidades de recreação e para efeitos paisagísticos (CNI, 2017).

Outros usos, que podem ser considerados nas fases posteriores na implementação de um programa industrial de reúso, incluem água para produção de vapor, para lavagem de gases de chaminés e para processos industriais específicos, tais como metalúrgicos, produção primária de metal, curtumes, têxteis, químicas, petroquímicas, papel e celulose, material plástico e construção civil (Santos; Hespanhol, 2007). Essas modalidades de reúso envolvem sistemas de tratamento avançados e demandam, conseqüentemente, níveis de investimento elevados (CNI, 2017).

A conservação de água também deve ser estimulada nas indústrias, através de utilização de processos industriais modernos e de sistemas de lavagem com baixo consumo de água, assim como em estações de tratamento de água para abastecimento público, através da recuperação adequada e do reúso das águas de lavagem de filtros e de decantadores.

A água para uso industrial requer características de qualidade em função do tipo de uso considerado. Ressalta-se a necessidade do estabelecimento de normas e diretrizes para evitar os riscos à saúde pública e ao meio ambiente associados à presença de microrganismos patogênicos nos efluentes tratados, os riscos socioeconômicos, entre outros.

Finalmente, o estabelecimento de diretrizes e normas técnicas é crucial para a implementação do reúso de efluentes tratados no Brasil em nível federal, estadual e municipal. Para tanto, critérios mínimos de qualidade da água devem ser observados, como o tipo de tratamento necessário, os indicadores de patógenos, os parâmetros físico-químicos e a frequência de monitoramento destes parâmetros e indicadores.

CONCLUSÕES

A gestão da demanda e oferta hídrica envolve estratégias para reduzir o consumo de água e aumentar sua disponibilidade. A gestão da demanda é realizada através de monitoramento e controle do uso, bem como da redução de perdas em processos industriais. Já a gestão da oferta envolve alternativas como armazenamento de água, transferência de água entre bacias, e uso de fontes alternativas, como águas pluviais e efluentes tratados.

No setor agrícola, os Sistemas Agroflorestais (SAFs) reduzem a dependência da irrigação ao utilizar recursos hídricos de forma eficiente, sem necessidade de agroquímicos. Os SAFs aumentam a infiltração e retenção de água no solo, favorecendo a recarga de águas subterrâneas e reduzindo a erosão e o escoamento superficial. A implementação dos SAFs deve seguir princípios ecológicos e sociais, promovendo a conservação dos recursos naturais, o sustento dos agricultores familiares, e a autonomia local.

As indústrias têm otimizado processos e reduzido a geração de efluentes para se adequar às exigências ambientais e econômicas globais. O uso de efluentes secundários tratados em sistemas de resfriamento e outros usos menos restritivos é uma alterna-

tiva econômica e sustentável, que reduz a demanda por água potável. Contudo, o reúso em larga escala exige investimentos em tratamento avançado e a proximidade de estações de esgoto. Além disso, é necessário o estabelecimento de diretrizes e normas técnicas para a implementação do reúso de efluentes tratados no Brasil em nível federal, estadual e municipal.

Apesar das grandes reservas de água do Brasil, algumas regiões enfrentam baixa disponibilidade hídrica e escassez de recursos, especialmente em áreas áridas, semiáridas e em trechos de rios com alta demanda. O crescimento econômico e a expansão do mercado aumentam a pressão sobre os recursos hídricos, cuja disponibilidade está limitada por fatores como distribuição espacial, sazonalidade e variações climáticas. Neste contexto, práticas e tecnologias de eficiência hídrica são estratégicas para aumentar a segurança hídrica nos diversos setores da economia.

Agradecimentos – Agradeço ao Instituto Interamericano de Cooperação para Agricultura pelo financiamento e ao Departamento de Revitalização de Bacias Hidrográficas e Planejamento em Segurança Hídrica pela oportunidade de trabalhar neste projeto.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (BRASIL). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2023: informe anual / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico**. Brasília: ANA, 2024.

BARGUÉS TOBELLA, A.; REESE, H.; ALMAW, A.; BAYALA, J.; MALMER, A.; LAUDON, H.; ILSTEDT, U. The effect of trees on preferential flow and soil infiltrability in an agroforestry parkland in semiarid Burkina Faso. *Water Resources Research*, v. 50, p. 2108–2123, 2014.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **O uso racional da água no setor industrial**. / Confederação Nacional da Indústria, Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. 2. ed. Brasília: CNI, 2017.

FLORENTINO, A. T. N.; ARAÚJO, E. D. L.; ALBUQUERQUE, U. P. Contribuição de quintais agroflorestais na conservação de plantas da Caatinga, Município de Caruaru, PE, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, v. 21, n. 1, p. 37–47, 2006.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2010. Seminário aborda relação da água com o desenvolvimento econômico. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/mudancaclimatica/> Acesso em: 30/11/2023.

LASCO, R. D.; DELFINO, R. J. P.; ESPALDON, M. L. O. Agroforestry systems: helping smallholders adapt to climate risks while mitigating climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, v. 5, p. 825–833, 2014.

LIMA, E. P. C. **Água e Indústria: experiências e desafios**. Local: Infinita Imagem, 2018.

MACEDO, J. L. V., 2013. **Sistemas agroflorestais: princípios básicos**. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/87232/1/Carilha-SAFs.pdf> Acesso em 15/11/2023.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na Indústria: uso racional e reuso**. São Paulo: [s.n.], 2005.

MICCOLIS, A.; PENEIREIRO, F. M.; MARQUES, H. R.; VIEIRA, D. L. M.; ARCO-VERDE, M. F.; HOFFMANN, M. R.; REHDER, T.; PEREIRA, A. V. B.. **Restauração Ecológica com Sistemas Agroflorestais: como conciliar conservação com produção. Opções para Cerrado e Caatinga**. Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza – ISPN/Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal – ICRAF, 2016.

NOORDWIJK, M., CHANDLER, F., TOMICH, T. P. Agroforestry: The future of global land use. In: AUCLAIR, D.; DUPRAZ, C. (Orgs.). **Agroforestry for Sustainable Land-Use: Fundamental Research and Modelling with Emphasis on Temperate and Mediterranean Applications**. (pp. 441-466). Local: CAB International, 2006.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). **Water Reuse: Potential for Expanding the Nation's WaterSupply Through Reuse of Municipal Wastewater, 2012**. Washington D.C., USA: National Academy Press, 2012.

PIO, A. A. B. **Reflexos da gestão de recursos hídricos para o setor industrial paulista**. Dissertação de Mestrado. (Programa de Pós-Graduação...). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

PORTAL DO TRATAMENTO DE ÁGUA. Demanda global de água doce superará a oferta em 40% até 2030, dizem especialistas. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/demanda-global-de-agua-doce-superara-oferta-ate-2030/> Acesso em 30/11/2023.

SANTOS, F. N.; HESPANHOL, I. O reúso como ferramenta para o desenvolvimento de recursos hídricos em ambientes industriais. Boletim Técnico da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo: USP, 2007.

SCHOENEBERGER, M. M. Woody Plant Selection for Riparian Agroforestry. Northeastern and Intermountain Forest and Conservation Nursery Association Meeting. *Anais...* St. Louis, Missouri, USA: 1993.

UDAWATT A, R. P.; GARRETT, H. E. Agroforestry buffers for non-point source pollution reductions from agricultural watersheds. *Journal of Environmental Quality*, v. 40, n. 3, p. 800 – 806, 2011.