



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Potencial de Utilização de Água de Reúso em Polo Nacional de Agricultura Irrigada

Jessika Silva Santos¹, Alex Garcez Utsumi², Carla Eloísa Diniz dos Santos³

¹ Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Triângulo Mineiro – UFTM, Av. Randolfo Borges Júnior, 1400, Univerdecidade, CEP 38064-200, Uberaba, Minas Gerais. jessika_silva_10@live.com. ² Professor Dr. Adjunto, Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Triângulo Mineiro – UFTM, Av. Randolfo Borges Júnior, 1400, Univerdecidade, CEP 38064-200, Uberaba, Minas Gerais. alex.utsumi@uftm.edu.br. ³ Professora Dra. Adjunta, Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Triângulo Mineiro – UFTM, Av. Randolfo Borges Júnior, 1400, Univerdecidade, CEP 38064-200, Uberaba, Minas Gerais. carla.santos@uftm.edu.br (autor correspondente).

Artigo recebido em 22/12/2022 e aceito em 09/04/2023

RESUMO

O reúso de água consiste no aproveitamento dos efluentes finais de Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) em atividades de uso não-potável, reduzindo a carga poluidora que chega aos corpos hídricos e permitindo que água de melhor qualidade fique disponível para fins mais nobres. O objetivo do presente trabalho foi analisar o potencial do reúso de água oriunda de ETEs na irrigação do Polo Nacional de Agricultura Irrigada do Rio das Almas (PNAIRA) – Goiás. Para isso, foram criados cinco cenários distintos, visando analisar a viabilidade do reúso da água das ETEs: I) situadas no PNAIRA; II) localizadas em Goiás, até 100 km do PNAIRA; III) localizadas em Goiás e no Distrito Federal, até 100 km do PNAIRA; IV) existentes em Goiás (potencial atual); e V) considerando que 100% do esgoto sanitário produzido em Goiás fosse coletado e tratado com qualidade adequada para o reúso (potencial total). A metodologia de delineamento do trabalho consistiu na delimitação da área de estudo, levantamento de demandas e ofertas em cada cenário, e análise espacial para visualização em mapas informativos. O Cenário III apresentou melhor potencial de oferta de água de reúso, pois contempla 90,3% da demanda hídrica para irrigação, principalmente devido à inclusão das ETEs do DF. Se o saneamento fosse universalizado Goiás possuiria oferta de água de reúso duas vezes superior à demanda do PNAIRA, entretanto o atual baixo índice de atendimento aos serviços de coleta e tratamento de esgoto sanitário faz com que o potencial de produção de água de reúso seja de 41,9% da demanda hídrica do polo.

Palavras-chave: gestão de recursos hídricos, demanda hídrica; cenários de potencial, estação de tratamento de esgoto (ETE).

Potential Use of Reuse Water in a National Pole of Irrigated Agriculture

ABSTRACT

Water reuse consists of the use of final effluents from Wastewater Treatment Plants (WWTPs) in non-drinking use activities; reducing the polluting load that reaches water bodies and allowing better quality water to be available for nobler purposes. This study analyzed the potential of water reuse from WWTPs in the irrigation of the Rio das Almas Irrigated Agriculture National Pole (PNAIRA), Goiás, Brazil. For this, five distinct scenarios that examined the viability of recycling water from WWTPs were proposed: I) WWTPs located within the PNAIRA; II) WWTPs located up to 100 km from the PNAIRA, restricted to Goiás; III) WWTPs located up to 100 km from the PNAIRA, including those located in the Federal District (DF); IV) all existing WWTPs in Goiás (real potential); and V) considering that 100% of the effluent produced in Goiás is collected and treated with adequate quality for reuse (total potential). The work design methodology consisted of delimiting the study area, surveying demands and offers, and spatial analysis for visualization on informative maps. Due in large part to the inclusion of WWTPs from DF, Scenario III has the most potential for reusing water supply as it meets 90.3% of the water requirement for agriculture. Goiás has a high total potential, with a supply of reused water twice as large as the demand for irrigation, in the PNAIRA, but the low rate of attendance to services of collection and treatment of domestic sewage makes the real potential of supply of reused water is 41.9% of the water demand.

Keywords: water resources management; water demand, feasibility scenarios, wastewater treatment plant (WWTP).

Introdução

A demanda por água doce está cada vez maior no mundo, visto a importância deste recurso para o abastecimento público e crescimento econômico. O risco de escassez hídrica é eminente em países em desenvolvimento, tanto pela quantidade quanto pela qualidade da água, visto a relevância econômica da agricultura irrigada (Santos et al., 2021; van Vliet et al., 2021). Esta situação requer uma revisão complexa no manejo sustentável da água vislumbrando cumprir com o sexto Objetivo do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU) para 2030: “água limpa e acessível a todos” (van Vliet et al., 2021).

Segundo a Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA), a maior parte das bacias hidrográficas comprometidas de maneira quantitativa tem como uso consuntivo mais expressivo a agricultura irrigada, podendo ocorrer conflitos de forma intrasetorial ou entre setores diferentes (ANA, 2021). Geralmente, a criticidade ocorre em função das elevadas demandas da irrigação. Em 2019, a agricultura foi responsável por 49,8% da captação de água bruta em mananciais brasileiros, sejam superficiais ou subterrâneos (ANA, 2021). Visando garantir a prioridade do uso da água ao abastecimento humano e dessedentação animal em casos de escassez, a Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela lei nº 9.433/97, estabelece instrumentos para a gestão dos recursos hídricos de domínio federal, sendo considerada uma lei que identifica os conflitos pelo uso das águas (BRASIL, 1997).

Diante dos cenários atuais de escassez hídrica e contaminação crescente dos corpos d'água, em busca de se diversificar as fontes de suprimento de água e estimular uma economia circular, a prática de reúso de água vem se tornando cada vez mais relevante em diversas regiões do globo (Angelakis et al., 2018; Santos et al. 2020; Mainardis et al., 2022). Neste contexto, a água potável fica destinada para usos nobres, e a água de reúso, para agricultura irrigada, irrigação paisagística e limpeza urbana (Moura et al., 2020; Partyka e Bond, 2022). O reúso dos efluentes finais de estações de tratamento de esgotos (ETEs) na irrigação agrícola vem sendo cada vez mais empregado, visto que fornece água confiável, representa uma fonte barata de nutrientes, reduzindo os custos com fertilizantes industrializados (Mainardis et al., 2022).

Devido a elevada demanda hídrica para irrigação em Goiás, principalmente na parcela da Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia abrangida pelo estado, onde existem dois Polos Nacionais de Agricultura Irrigada (Rio das Almas e Alto Araguaia), há preocupação acerca da disponibilidade futura de água em quantidade e qualidade adequadas. Sendo assim, a prática de reúso se apresenta como uma alternativa para a gestão integrada dos recursos hídricos no estado. No entanto, atualmente, é desconhecida a existência de trabalhos retratando o panorama do reúso de efluentes tratados em ETEs na irrigação agrícola de Goiás, exceto pela prática de fertirrigação. Cabe destacar que as águas residuárias industriais comumente usadas na fertirrigação podem apresentar potencial poluidor, podendo causar impactos adversos sobre a qualidade da água e solo (Fuess e Garcia, 2014; Chauhan e Kumar, 2020; Silva et al. 2020; Lyu et al., 2022; Shtull-Trauring et al., 2022). Tal fato reforça a necessidade da busca por uma fonte alternativa para uma fertilização menos agressiva (Chauhan, Kumar, 2020; Carvalho et al., 2021; Oliveira et al., 2021) e igualmente viável economicamente em Goiás, uma vez que, de acordo com a ANA, em 2019, 7,7% da área agricultável do estado era fertirrigada (ANA, 2021).

Apesar da carência de regulamentação legal do reúso em esfera federal, o novo Marco do Saneamento, regulamentado pela Lei Federal nº 14.026/2020, coloca a ANA como responsável por trazer sinergias, principalmente no que tange o reúso de efluente sanitário tratado na agricultura (BRASIL, 2020a). Tal atualização pode sinalizar uma mudança na postura de gestão hídrica. Neste contexto, o presente trabalho investigou o potencial do reúso de água oriunda de ETEs na irrigação da área do Polo Nacional de Agricultura Irrigada do Rio das Almas (PNAIRA), em Goiás. Para tanto, cinco diferentes cenários baseados na distância entre o PNAIRA e as ETEs foram propostos, uma vez que a oferta de água para reúso afeta diretamente a viabilidade do processo.

Material e métodos

Localização e Caracterização da Área de Estudo

Para uma melhor gestão dos recursos hídricos, foram identificados pela ANA, na edição de 2021 do Atlas Irrigação, 28 Polos Nacionais de

Agricultura Irrigada (ANA, 2021). Os polos concentram 50% da área irrigada do país e 60% da demanda hídrica atual, se tratando assim de áreas que necessitam de atenção especial em sua gestão de oferta e demanda hídrica, de maneira a auxiliar nas tomadas de decisão sem que a segurança hídrica para o desenvolvimento das diversas atividades seja comprometida. O Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), estabeleceu uma iniciativa de criação de Polos de Agricultura Irrigada, através da Portaria MDR nº 2.154/2020, como uma das ações integrantes da Política Nacional de Irrigação (Lei nº 12.787/2013), com o intuito de facilitar a implementação de ações da política de irrigação (BRASIL 2020b; ANA, 2021).

O estado de Goiás abrange quatro dos 28 Polos de Irrigação, a saber: Alto Araguaia, Alto Preto, Rio das Almas e São Marcos (ANA, 2021). Dentre os quatro polos, para o presente trabalho, destaca-se o Polo do Rio das Almas, principalmente por possuir uma localização

centralizada no estado (Figura 1B). O PNAIRA está localizado na Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia, mais especificamente na Unidade de Planejamento Hídrico do Alto Tocantins (Figura 1). Possui uma área irrigada de 54 mil ha e um potencial físico-hídrico total de 205 mil ha. Os principais municípios irrigantes são: Goianésia, São Luiz do Norte, Itaberaí, Santa Isabel, Nova Glória, Santa Rita do Novo Destino e Itapaci (ANA, 2021).

O PNAIRA é composto majoritariamente por irrigação por pivôs centrais, cujas culturas predominantes são os grãos (soja, milho, feijão, algodão etc.). Nos últimos anos, os polos de pivôs têm sido os principais motores de expansão da agricultura irrigada no país. Por se tratar de polos emergentes, possuem alta perspectiva de expansão caso não sofram com esgotamento de potencial hídrico e físico ou sejam afetados pela disputa entre os usos consuntivos da água (ANA, 2021).

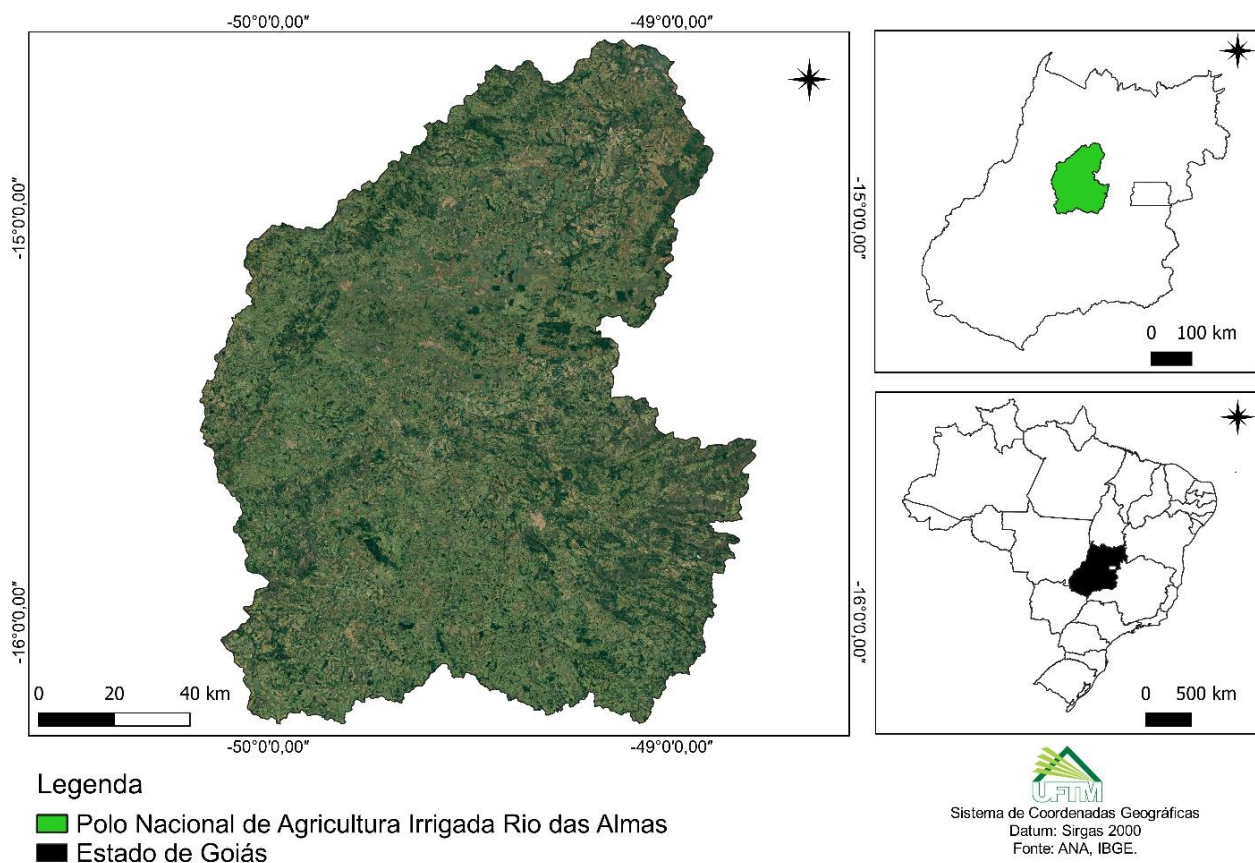


Figura 1. Localização geográfica da área de estudo. (A) Localização do Polo de Irrigação do Rio das Almas na Unidade de Planejamento Hídrico (UPH) do Alto Tocantins. (B) Localização do Polo de Irrigação do Rio das Almas no estado de Goiás. (C) Regiões Hidrográficas Brasileiras.

Protocolo Experimental

O delineamento experimental deste trabalho se baseou na metodologia de potencialidades regionais de reúso de água proposta por Silva Júnior et al. (2021), a qual prevê: a delimitação a área de estudo, o levantamento de dados (demandas e ofertas), e a análise espacial para visualização em mapas informativos.

Na etapa de delimitação da área considerou-se a escala micro, referente às bacias hidrográficas, como recomendado pela Política Nacional de Recursos Hídricos. O Atlas Irrigação: Uso da água na agricultura irrigada (ANA, 2021) foi utilizado para obter a demanda hídrica para irrigação do Polo Nacional de Irrigação do Rio das Almas.

Para o levantamento dos dados de oferta de água de reúso consultou-se os Relatórios de Esgotamento Sanitário Municipais, constituintes do Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas (ANA, 2020). Os relatórios são disponibilizados no Portal do Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e fornecem um panorama da situação dos sistemas de esgotamento sanitário referentes ao ano de 2013 e uma estimativa para o ano de 2035 (BRASIL, 2020c). Os principais dados referentes às ETES de interesse foram: parcela dos esgotos, índice de atendimento, vazão, tecnologia de tratamento e eficiência do tratamento. A localização georreferenciada das ETES para produção dos mapas foi obtida através do Catálogo de Metadados da ANA, também do Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas da ANA. Utilizou-se a última versão disponível do arquivo em formato *shapefile*, datado de 2019.

Para que a água de reúso seja empregada na agricultura, o tratamento deverá ser, no mínimo, secundário, com remoção da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) igual ou superior a 80%, bastando acrescentar uma etapa de desinfecção ao final do tratamento (Santos et al., 2021). Dessa forma, após o levantamento dos dados das ETES, estas foram divididas em três classes:

- Classe 1: ETES com remoção de DBO inferior à 80% e que possuem apenas tratamento primário. Essas estações ainda necessitam de elevados investimentos para adequação do efluente;
- Classe 2: ETES com remoção de DBO igual ou acima de 80% e que realizam tratamento à nível secundário. Possuem necessidade de acrescentar apenas uma

etapa de desinfecção aos seus fluxogramas para adequação do efluente;

- Classe 3: ETES com remoção de DBO acima de 80% e já adotam alguma tecnologia de desinfecção, podendo oferecer a água de reúso diretamente.

Os dados levantados foram então confrontados sob a perspectiva de cinco cenários de reúso, com vista a comparar o potencial do reúso frente, principalmente, ao volume de efluente tratado pelas ETES. Em todos os cenários, a demanda hídrica para irrigação foi a mesma, variando-se apenas o potencial de oferta de água de reúso.

No Cenário I, foram consideradas as vazões de efluentes tratados pelas ETES localizadas dentro do PNAIRA. No Cenário II, considerou-se a oferta de efluente tratado pelas ETES localizadas somente em Goiás e à distância máxima de 100 km do PNAIRA. Araújo, Santos e Souza (2017) estimaram o custo do reúso de efluentes de ETES a partir do transporte entre o consumidor e o gerador em estados do sudeste brasileiro, e encontraram que a distância máxima que o reúso é viável é de 100 km. Na ausência de um dado similar e específico para Goiás, adotou-se a distância de 100 km neste trabalho. No Cenário III, foram consideradas as ETES localizadas à uma distância máxima de 100 km, englobando as ETES de Goiás e do Distrito Federal (DF). No Cenário IV, foi realizada uma análise do potencial real de produção de água de reúso no estado de Goiás.

No Cenário V foi vislumbrado uma situação hipotética de universalização do esgotamento sanitário em Goiás. A oferta total de água de reúso considerou que 100% do esgoto gerado pelos municípios do estado de Goiás seria coletado e encaminhado ao tratamento secundário e seguido por desinfecção. Assim, determinou-se a capacidade total de geração de água para reúso em Goiás, desconsiderando a função que os efluentes de ETES possuem para a manutenção dos escoamentos na bacia e garantia de água para usuários a jusante.

Por fim, para melhor análise dos cenários elencados anteriormente e posterior análise espacial, produziram-se mapas ilustrativos a partir de ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), mais especificamente os softwares QGIS e ArcGIS.

Resultados e discussão

De acordo com o Atlas Irrigação: Uso da Água na Agricultura Irrigada (ANA, 2021), a demanda hídrica no Polo Nacional de Agricultura Irrigada do Rio das Almas é de 143.000.000 m³/ano ou, aproximadamente, 4,535 L/s. A Figura 2 apresenta as distribuições geográficas de todas as ETEs existentes nos Cenários I, II, III e IV.

A partir do cenário I foi possível constatar a existência de apenas 7 ETEs dentro do PNAIRA (Figura 2). Ao analisar as estações do estado de Goiás distantes até 100 km do PNAIRA, houve um total de 46 ETEs (Cenário II). No Cenário III, o número de ETEs aumentou para 56, ao incluir as estações do DF nas restrições do Cenário II. Por fim, o Cenário IV apresentou o maior número de ETEs, totalizando 84, uma vez que considerou todas as ETEs existentes em Goiás (Figura 2).

Após a delimitação das ETEs de cada cenário, obteve-se as vazões de efluente tratado de acordo com as classes previamente determinadas, apresentadas na Tabela 1. Essa separação é importante pois apenas as estações da Classe 2, com remoção igual ou superior a 80% de DBO, estariam aptas para o reúso da água na agricultura. Observa-se a inexistência de ETEs com etapa de desinfecção em todos os cenários testados. Apesar disso, as estações não foram desconsideradas pois o presente estudo avaliou o potencial do reúso da água em função da classe de tratamento da ETE, vazão e distância relativa ao PNAIRA. Dessa forma, não foi realizada a análise da viabilidade econômica do reúso da água, uma vez que o objetivo do estudo foi a realização de um diagnóstico inicial para a compreensão do panorama atual existente.

Para o Cenário V, a Tabela 2 apresenta as vazões de acordo com as parcelas de esgoto, sendo estas: solução individual; efluentes não coletados e não tratados; efluentes coletados e não tratados; e efluentes coletados e tratados. Considerou-se que a vazão de efluente total produzida no estado de Goiás, ou seja, a soma de todas as parcelas de esgoto, seja tratada no mínimo à nível secundário e com eficiência de remoção de DBO igual ou superior a 80%.

Considerando apenas os efluentes cujo tratamento tenha eficiência de remoção de DBO igual ou superior à 80% (Classe 2), admitindo-se que bastaria apenas o incremento da desinfecção para que este efluente esteja adequado para o reúso, em relação à demanda hídrica no Polo de Irrigação, obteve-se o potencial de oferta de água de reúso em

cada um dos cenários, como mostra a Tabela 3. No Cenário I, existem apenas sete ETEs, totalizando uma vazão de efluente tratado de 145,80 L/s. Destas, três possuem eficiência de remoção de DBO inferior à 80% (38,10 L/s) e quatro possuem eficiência superior (107,70 L/s). A partir da análise do Cenário I, nota-se que o número de ETEs é pequeno e, por consequência, a capacidade de produção de água para reúso dentro do Polo é insignificante frente a demanda hídrica para sua total irrigação, uma vez que a vazão de efluente com eficiência de remoção de DBO superior à 80% correspondem à apenas 2,4% da demanda hídrica para irrigação (Tabela 3).

No Cenário II, a vazão potencial para reúso foi de 962,50 L/s, equivalente a 21,2% da demanda hídrica no Polo de Irrigação (Tabela 3). Ainda é possível observar que apenas 33,7% do efluente tratado neste cenário apresenta remoção de DBO superior à 80%, enquanto, no Cenário I, esse valor foi de 73,9%. Portanto, mesmo com o incremento significativo no número de ETEs e, consequentemente, vazão de efluente tratado disponível, a qualidade do tratamento aplicado nas ETEs compromete a disponibilidade da água para reúso. Em um estudo realizado por von Sperling (2016), identificou-se que as configurações mais utilizadas nas ETEs do Brasil são: lagoa anaeróbia seguida por lagoa facultativa; reator UASB; lodo ativado; lagoas seguidas por lagoa de maturação; tanque séptico seguido por filtro anaeróbio. Por outro lado, Silva et al. (2020) demonstraram a viabilidade de um tratamento simplificado de águas residuárias domésticas por biofiltração em leito biológico filtrante seguida por desinfecção a partir da radiação solar para reúso em hortaliças. A partir da Figura 3, é possível observar que a maior parte das ETEs possuem em seus fluxogramas Sistemas de Lagoas e Reator UASB, ou seja, a maior parte do efluente é tratada à nível secundário.

No Cenário III, a vazão disponível para reúso é de 4.094,80 L/s, correspondente à 90,3% da demanda hídrica para irrigação (Tabela 3). Neste cenário, 68,4% do total de efluente tratado apresenta remoção de DBO igual ou superior a 80%. Considerando que, em relação ao Cenário II, houve apenas a adição das ETEs localizadas no DF, pode-se atribuir o incremento na vazão aproveitável para reúso à qualidade dos sistemas de coleta e tratamento de efluentes implantados nas ETEs do DF (BRASIL, 2020c). Das 56 ETEs do Cenário III, 40 possuem eficiência de remoção de DBO igual ou superior a 80%, totalizando uma vazão de 4.094,80 L/s. Destas, 10 estão localizadas no Distrito Federal e são responsáveis pelo

tratamento de 3.132,3 L/s de efluente, vazão que corresponde a 76,5% do efluente total considerado apto para reúso neste cenário. Apesar da pequena quantidade de ETEs no DF (Figura 3), estas

possuem elevada eficiência de remoção de DBO e tratam elevadas vazões, uma vez que 83% do efluente produzido no Distrito Federal é coletado e 100% do efluente coletado é tratado (ANA, 2017).

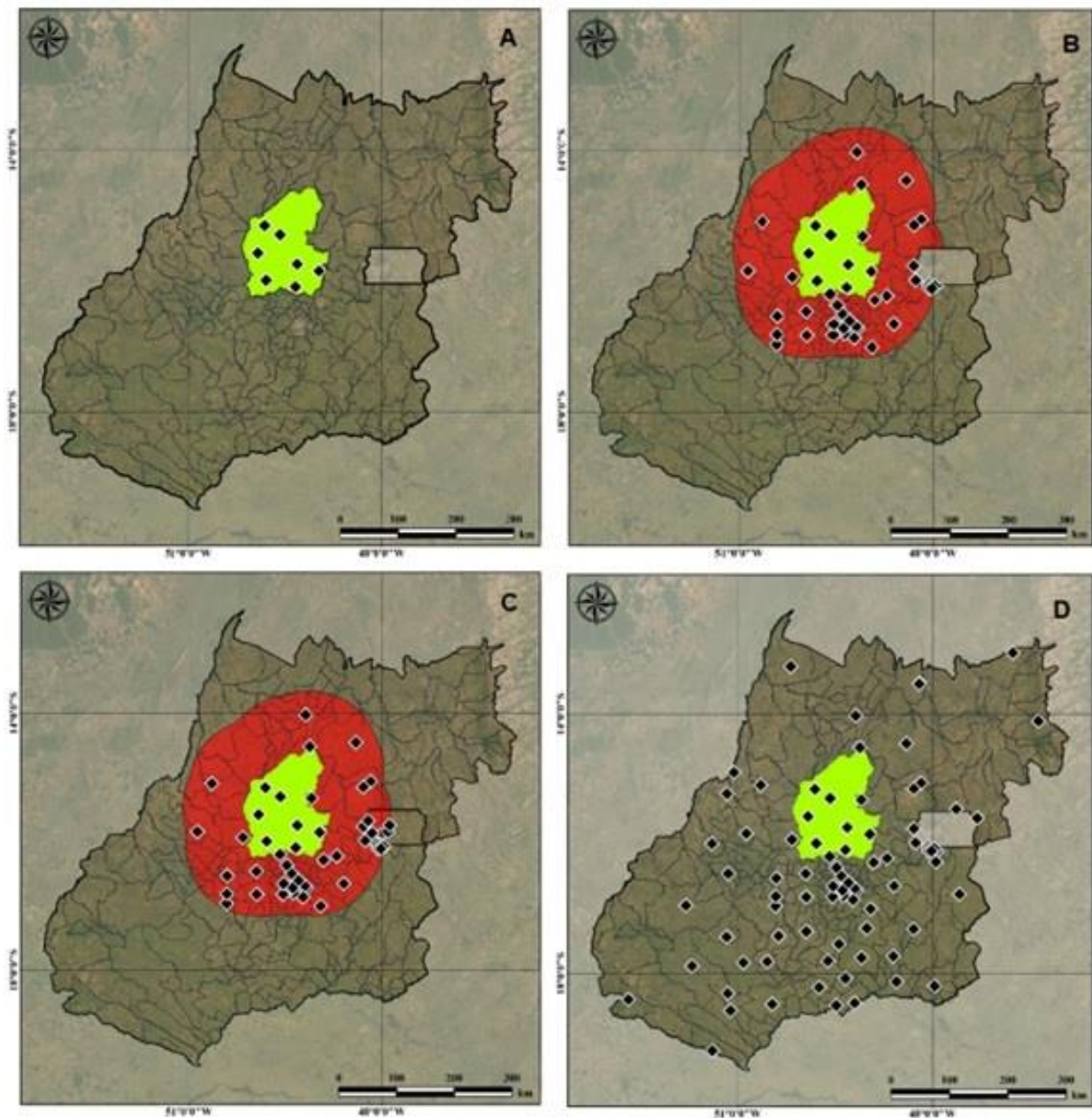


Figura 2. Localização das ETEs segundo os critérios de distâncias em relação ao Polo Nacional de Agricultura Irrigada Rio das Almas. (A) Cenário I, ETEs localizadas dentro do polo. (B) Cenário II, ETEs de Goiás até 100 km do polo. (C) Cenário III, ETEs de Goiás e DF até 100 km do polo. (D) Cenário IV, todas as ETEs de Goiás.

Tabela 1. Classificação das ETEs em função da eficiência de remoção de DBO para os Cenários de I a IV.

Características	Cenário	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Total
Número de ETEs	I	3	4	0	7
	II	16	30	0	46
	III	16	40	0	56
	IV	26	58	0	84
Vazão de Efluente Tratado (L/s)	I	38,10	107,70	0	145,80
	II	1.892,20	962,50	0	2.854,70
	III	1.892,20	4.094,80	0	5.987,00
	IV	2.395,90	1.901,50	0	4.297,40

Tabela 2. Vazões de acordo com a parcela de esgoto para o Cenário V.

	Parcela de Esgoto				Total
	Solução individual	Sem coleta e sem tratamento	Com coleta e sem tratamento	Com coleta e com tratamento	
Vazão (L/s)	1.196,97	3.332,10	256,08	4.297,40	9.082,55

Tabela 3. Relação entre a oferta de água de reúso e a demanda hídrica para irrigação.

Cenário	Vazão com eficiência de remoção de DBO $\geq 80\%$ (L/s)	Porcentagem em relação à demanda hídrica
I	107,70	2,4%
II	962,50	21,2%
III	4.094,80	90,3%
IV	1.901,50	41,9%
V	9.082,55	200,3%

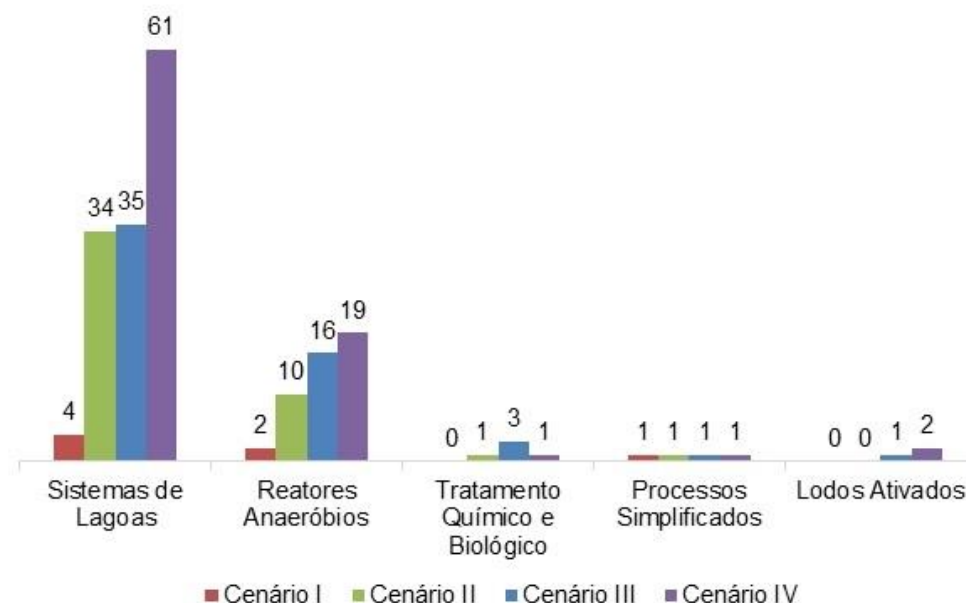


Figura 3. Classificação das ETEs de acordo com a tipologia de tratamento empregada.

Oliveira et al. (2021) verificaram a viabilidade econômica em reutilizar esgoto sanitário tratado para irrigação por pivô central em cultivos de algodão e soja em Correntina, Bahia. Tal avaliação econômica levou em consideração os investimentos com equipamentos hidráulicos dos tratamentos de esgoto e pivô, infraestrutura, energia, depreciação e manutenção (Oliveira et al., 2021). Os autores enfatizaram que, mesmo sendo necessária a implantação de estrutura de tubulação e recalque interligando as ETEs às áreas de cultivo, as taxas de retorno ao produtor foram significativas para ambas as culturas, culminando em redução do consumo de água do manancial do município e abatimento de custos com a compra de fertilizantes. Apesar do estudo de Oliveira et al. (2021) não ter sido realizado na área objeto do presente estudo pontua-se sua relevância por exemplificar a viabilidade do reúso de esgoto sanitário tratado em áreas de cultivo que aplicam a irrigação por pivô, assim como acontece no PNAIRA.

Torres et al. (2019) constataram que a cultura do milho irrigado com efluente de ETE tratado apresentou crescimento superior a 36% e ganho de 153% de biomassa seca em relação à cultura irrigada com água potável. Barros et al. (2020), ao analisar o reúso para o cultivo de lima ácida "Tahiti", também observaram que os frutos apresentaram características dentro dos padrões

exigidos para o mercado de consumo *in natura*, comprovando a eficácia do reúso para diferentes tipos de cultivos.

No Cenário IV, constatou-se que Goiás, que possui 246 municípios, conta com apenas 84 ETEs, totalizando uma vazão de 4.297,40 L/s, da qual 1.901,50 L/s é de efluente com tratamento cuja remoção de DBO é igual ou superior à 80% e 2.395,90 L/s inferior à 80% (Tabela 1). Este resultado deixa ainda mais evidente a baixa qualidade do tratamento de efluentes no estado, uma vez que apenas 44,2% do efluente produzido em todo o estado estaria apto para ser utilizado na prática de reúso. Em relação à demanda hídrica para irrigação no Polo de Irrigação, a vazão deste cenário corresponde a 41,9% (Tabela 3).

Um estudo realizado por Lima et al. (2020) para avaliar o potencial de produção de água de reúso para irrigação nas 12 Regiões Hidrográficas Brasileiras, demonstrou que, considerando apenas ETEs localizadas na Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia, com eficiência de tratamento, no mínimo secundário, há uma oferta de 1.040 L/s, o que corresponde a aproximadamente 1,7% da demanda hídrica na Região Hidrográfica. Considerando a vazão de efluente que não atinge a qualidade mínima para o reúso, a oferta seria de 2,5% da demanda para irrigação. Os autores enfatizam a fragilidade do Brasil no que diz

respeito ao tratamento de efluentes e, conseqüentemente, na geração de água de reúso, uma vez que a demanda na região hidrográfica não é tão elevada, mas sim o índice de atendimento dos serviços de tratamento de efluentes que é baixo e, assim, a capacidade de produção de água de reúso é comprometida. Além disso, Silva et al. (2020) apontam algumas dificuldades para implementação da prática do reúso, tais como o baixo conhecimento técnico e a falta de uma cultura de reúso no país; as longas distâncias entre as áreas de cultivo e as ETEs; e o baixo custo da água a partir de fontes convencionais.

No Cenário V, foi possível obter um resultado hipotético, caso houvesse a universalização do atendimento de coleta e tratamento de efluente doméstico no estado. Considerando que 100% do efluente produzido seja coletado e tratado com a eficiência necessária para aplicação ao reúso, haveria uma vazão de 9.091,94 L/s disponível para reúso (Tabela 2), que corresponde a 200,5% da demanda hídrica do polo (Tabela 3). É importante ressaltar que o cenário é hipotético pois em nenhuma ETE o efluente tratado deve ser destinado totalmente para o reúso, uma vez que uma parcela da vazão pode ser utilizada para o próprio funcionamento das ETEs e, mais importante, é necessária a manutenção da vazão dos corpos hídricos receptores, principalmente nos que possuem pontos de captação de água à jusante.

O Cenário IV representa o potencial atual de produção de água de reúso em Goiás, contabilizando todas as ETEs ativas no estado, com capacidade real de oferta de água de reúso de 1.901,50 L/s. Já o Cenário V apresenta um potencial ideal, caso houvesse a universalização do atendimento dos serviços de coleta e tratamento dos efluentes produzidos, cuja oferta de água de reúso pode ser, aproximadamente, 4,7 vezes maior do que o potencial real. Este resultado também se mostra relevante no que diz respeito à qualidade dos corpos hídricos que recebem esgoto sanitário sem qualquer tratamento prévio, podendo haver grande impacto nas características físico-químicas e microbiológicas e comprometendo as atividades usuárias do recurso, principalmente a captação de água para abastecimento público nos municípios localizados a jusante dos pontos de lançamento. Por fim, outro fator importante relacionado aos Cenários IV e V é a exportação de água entre diferentes bacias hidrográficas, dada a ampla distância considerada no levantamento de ETEs em cada cenário. O custo de deslocamento e os impactos da exportação de água entre bacias hidrográficas distintas não foram considerados

neste trabalho e representam pontos de fragilidade que devem ser mais bem explorados em trabalhos futuros, visando aplicar o reúso de água no PNAIRA.

Conclusões

Após o levantamento dos dados, criação dos cenários e análise dos resultados, pôde-se perceber que apenas no Cenário I a disponibilidade de água de reúso é irrelevante quando comparada à demanda hídrica para irrigação (2,38%), devido ao pequeno número de ETEs existentes dentro do Polo de Irrigação do Rio das Almas. Ao analisar os Cenários II e III, foi possível observar o impacto do incremento das ETEs localizadas no DF na disponibilidade de água de reúso, sendo a produção da água de reúso correspondente a 21,2% e 90,3% da demanda hídrica do PNAIRA, respectivamente. Nos Cenários IV e V obteve-se os potenciais atual e total de produção de água de reúso no estado de Goiás, sendo as vazões de oferta de água de reúso em relação à demanda hídrica para irrigação de 41,9% e 200,3%, respectivamente.

Por fim ressalta-se que Goiás possui um elevado potencial de reúso, com oferta de água de reúso duas vezes superior à demanda para irrigação do PNAIRA. Contudo, o baixo índice de atendimento aos serviços de coleta e tratamento de esgoto sanitário no estado faz com que o potencial atual seja de 41,9% da demanda hídrica. O investimento em saneamento básico, além de viabilizar o reúso de água para irrigação agrícola e outros usos não-nobres, proporciona diversas vantagens aos corpos hídricos do local: (i) em quantidade, uma vez que poderão ser reduzidas situações de escassez e conflitos hídricos e direcionamento de água de melhor qualidade para usos mais nobres; e (ii) em qualidade, por reduzir o descarte de esgoto sanitário *in natura* no meio ambiente. Tais premissas são fundamentais na tomada de decisão e estabelecimento de políticas públicas que visam o manejo sustentável da água vislumbrando cumprir as metas estabelecidas pelos ODS propostos pela ONU.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro (bolsa de iniciação científica processo 129555/2021-5) e à Universidade Federal do Triângulo Mineiro - UFTM.

Referências

- ANA, 2017. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Atlas Esgotos: Atualização da base de dados de estações de tratamento de esgotos no Brasil, Brasília/DF. Disponível: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>. Acesso: 21 ago. 2021.
- ANA, 2020. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020: informe anual. Brasília, DF. Disponível: <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura-2020>. Acesso: 21 ago. 2021.
- ANA, 2021. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Atlas Irrigação: Uso da água na agricultura irrigada. 2ª edição, Brasília/DF. Disponível: <https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/storymaps/stories/a874e62f27544c6a986da1702a911c6b>. Acesso: 15 nov. 2021
- Angelakis, A., Asano, T., Bahri, A., Jimenez, B., Tchobanoglous, G., 2018. Water reuse: from ancient to modern times and the future. *Frontiers in Environmental Science* 6:26.
- Araújo, B. M., Santos, A. S. P., Souza, F. P., 2017 Comparativo econômico entre o custo estimado do reuso do efluente de ETE para fins industriais não-potáveis e o valor da água potável para a região sudeste do Brasil. *Perspectivas Online: Ciências Exatas & Engenharia* 17 (7), 51-61.
- Barros, J. C. S. M., de Moraes Rêgo Filho, L., Celestino, R. C. A., Prohmann, L. L., 2020. Águas de reúso para irrigação de pomar de lima ácida 'Tahiti' (citrus latifolia Tanaka). *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research* 3 (3), 1224-1239.
- BRASIL, 1997. Lei nº 9433/1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. *Diário Oficial da União*, Brasília, 08 de janeiro de 1997. Disponível: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso: 17 set. 2021.
- BRASIL, 2020a. Lei nº 14.026, 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera as Leis nº 9.984/2020, nº 10.768/2003, nº 11.107/2005, nº 11.445/2007, nº 12.305/2010, nº 13.089/2015, nº 13.5029/2017. *Diário Oficial da União*, Brasília, 15 de julho de 2020. Disponível: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm. Acesso: 17 set. 2021.
- BRASIL, 2020b. Portaria nº 2154/2020. Estabelece a iniciativa Polos de Agricultura Irrigada como parte integrante das ações de implementação da Política Nacional de Irrigação e de incentivo ao desenvolvimento regional no âmbito do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), e revogar a Portaria MDR n. 1082, de 25 de abril de 2019. *Diário Oficial da União*, Brasília, 12 de agosto de 2020. Disponível: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-2.154-de-11-de-agosto-de-2020-271712506>. Acesso: 17 set. 2021.
- BRASIL, 2020c. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2019. Brasília: SNS/MDR, 183 p. Disponível: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/diagnosticos-anteriores-do-snis/agua-e-esgotos-1/2019>. Acesso em: 20 jun. 2021.
- Carvalho, R. F., Jesus, F. L. F., Pacheco, A. B., Oliveira, J. C., Sanches, A. C., Lisboa, C. F., 2022. Produção e uso da água no caládio fertirrigado com água residuária do processamento do açaí na Região Amazônica. *Irriga* 27 (1), 47-63.
- Chauhan, J. S., Kumar, S., 2020. Wastewater ferti-irrigation: an eco-technology for sustainable agriculture. *Sustainable Water Resources Management* 6 (31).
- Fuess, L.T., Garcia, M.L., 2014. Implications of stillage land disposal: a critical review on the impacts of fertigation. *Journal of Environmental Management* 145, 210–229.
- Lima, M., Araújo, B. M., Soares, S. R. A., Santos, A. S. P., Vieira, J. M. P., 2020. Water reuse potential for irrigation in Brazilian hydrographic regions. *Water Supply* 21(6), 2799-2810.
- Lyu, S., Wu, L., Wen, X., Wang, J., Chen, W., 2022. Effects of reclaimed wastewater irrigation on soil-crop systems in China: a review. *Science of The Total Environment* 813, 152531.
- Mainardis, M.; Cecconet, D.; Moretti, A.; Callegari, A.; Goi, D.; Freguia, S.; Capodaglio, A. G., 2022. Wastewater fertigation in agriculture: Issues and opportunities for improved water management and circular economy. *Environmental Pollution* 296, 118755.

- Moura, P. G.; Aranha, F. N.; Handam, N. B.; Martin, L. E.; Salles, M. J.; Carvajal, E.; Jardim, R.; Sotero-Martins, A, 2020. Água de reúso: uma alternativa sustentável para o Brasil. *Engenharia Sanitária Ambiental* 25 (6), 791-808.
- Oliveira, J. T.; Maradini, P. S.; Borges, A. C.; Gava, R, 2021. Viabilidade da fertirrigação por pivô central com uso de efluentes tratados em diferentes níveis. *Nativa*, 9 (1), 23-29.
- Partyka, M. L., Bond, R. F, 2022. Wastewater reuse for irrigation of produce: A review of research, regulations, and risks. *Science of The Total Environment* 828, 154385.
- Santos, C. S., Mota, J. L. A., de Jesus, E. O., Barreto, L. M. G., Lemos, N. L. S., 2021. Reutilização da água residuária da ordenha na palma sob diferentes frequências de irrigação e adubação. *Revista Ciência Agrícola* 19 (2), p. 145-154.
- Santos, A. S. P., Gonçalves, R. F., Melo, M. C., Lima, M. A. M., Araújo, B. M, 2020. Uma análise crítica sobre os padrões de qualidade de água de uso e reúso no Brasil. *Revista Sustinere*, 8 (2), 437-462.
- Santos, A. S. P., Lima, M. A. M., Silva Junior, L. C. S., Avelar, P. S., Araújo, B. M., Gonçalves, R. F., Vieira, J. M. P, 2021. Proposição de uma metodologia estruturada de avaliação do potencial regional de reúso de água: 01 – Terminologia e conceitos de base. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, 9 (2), 1-17.
- Shtull-Trauring, E., Cohen, A., Ben-Hur, M., Israeli, M., Bernstein, N., 2022. NPK in treated wastewater irrigation: Regional scale indices to minimize environmental pollution and optimize crop nutritional supply, *Science of The Total Environment* 806, 150387.
- Silva, A. B. L. G, Handam, N. B., Sotero-Martins, A., 2020. Avaliação bacteriológica e físico-química de amostras de água de reúso para agricultura. *Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente* 1, 42.
- Silva Junior, L. C. S., Araújo, B. M., Avelar, P. S., Santos, A. S. P., Soares, S. R. A., Gonçalves, R. F., Vieira, J. M. P., 2021. Proposição de uma metodologia estruturada de avaliação do potencial regional de reúso de água: 03 – Metodologia de potencialidades (demandas e ofertas) e análise espacial. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais* 9 (2), 36-54.
- Silva, T. L., Sánchez-Román, R. M., Queluz, J. G. T., Pitoro, V. S. J., 2020. Sistema simplificado de tratamento de água residuária doméstica para irrigação de hortaliças. *Irriga* 25 (2), 315-335.
- Torres, D. M., Nascimento, S. S., Souza, J. F., Freire, J. O., 2019. Tratamento de efluentes e produção de água de reúso para fins agrícolas. *Holos* 8, 1-15.
- Van Vliet, M., Jones, E., Flörke, M., Franssen, W., Hanasaki, N., Wada, Y., Yearsley, J., 2021. Global water scarcity including surface water quality and expansions of clean water technologies. *Environmental Research Letters*, 16 (2), 24020.
- Von Sperling, M., 2016. Urban Wastewater Treatment in Brazil. *Inter-American Development Bank*.