

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

**ANA CAROLINA CORDEIRO RIBEIRO
PEDRO HENRIQUE GIULIANI**

**NEXO ÁGUA-ENERGIA NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE
CAMPO MOURÃO/PR**

CAMPO MOURÃO

2023

**ANA CAROLINA CORDEIRO RIBEIRO
PEDRO HENRIQUE GIULIANI**

**NEXO ÁGUA-ENERGIA NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE
CAMPO MOURÃO/PR**

Water-energy nexus in the Campo Mourão/PR water supply system

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharelem Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Cristiane Kreutz
Coorientador(a): Paula Cristina de Souza

**CAMPO MOURÃO
2023**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**ANA CAROLINA CORDEIRO RIBEIRO
PEDRO HENRIQUE GIULIANI**

**NEXO ÁGUA-ENERGIA NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE
CAMPO MOURÃO/PR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

19 de junho de 2023

Prof^a. Dr^a. Cristiane Kreutz
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof^a. Dr^a. Paula Cristina de Souza
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Helton Rogério Mazzer
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Evandro Luis Volpato
Especialização
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**CAMPO MOURÃO
2023**

AGRADECIMENTOS

No decorrer de nossa jornada de cinco anos e meio, repleta de desafios – dentre eles, um cenário pandêmico global que nos acrescentou esse meio ano, e de muito aprendizado, tivemos o privilégio de contar com pessoas que, com seu suporte, tornaram possível o cumprimento desta importante etapa e aliviaram um pouco o peso da responsabilidade.

Ao nosso Pai divino, que, com graça e poder infinitos, nos deu sabedoria e persistência para seguirmos em frente, toda honra e toda glória;

Aos nossos pais, que são nossa fonte de amor e esperança, nossa força e nossos alicerces, nossa profunda gratidão. Essa conquista é de vocês;

Aos nossos irmãos, demais familiares e amigos, que trouxeram leveza aos momentos de dificuldade e sorrisos e abraços aos momentos felizes, nossos sinceros agradecimentos. Vocês têm parte nesta conquista, também;

À nossa aclamada instituição de ensino, a UTFPR, nossa gratidão pelo acolhimento e por ser nossa segunda casa durante esse período, onde construímos laços e nos desenvolvemos enquanto seres humanos e profissionais.

A todo o corpo docente da universidade, que nos privilegiou com o compartilhamento de conhecimentos, e, em especial à nossa orientadora, Profa. Dra. Cristiane Kreutz, que esteve conosco na elaboração deste trabalho, nossos agradecimentos.

Agradecemos, ainda, à SANEPAR, que tornou possível a efetivação do nosso estudo através da disponibilização dos dados de que precisávamos.

Àqueles que não foram mencionados, mas que, direta ou indiretamente participaram do nosso processo de formação, deixamos, também, nossos agradecimentos.

Nosso muito obrigado a todos que acreditaram que seria possível e que não mediram esforços para, de fato, ajudar a tornar possível nossa chegada até aqui. Nós conseguimos!

RESUMO

A sustentabilidade no uso de recursos como água e energia é crucial para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental. Diante disso, este estudo aborda o nexo água-energia, que é uma relação de interdependência fundamental para a criação de políticas públicas sustentáveis, especialmente considerando os impactos causados pelas mudanças climáticas globais sobre esses recursos. O trabalho avalia o sistema de abastecimento de água (SAA) da cidade de Campo Mourão, Paraná, e evidencia a interdependência existente entre água e energia no funcionamento do setor, além de fazer um apanhado dos impactos ambientais por ele gerados. A análise do nexo no SAA do município revela um grau moderado de interdependência entre água e energia, o que confirma a interação entre ambos os recursos; como complemento, ressalta a importância da busca por soluções sustentáveis que promovam aumento da eficiência e redução de desperdícios no funcionamento do sistema, minimizando impactos ambientais. O estudo reforça, ainda, a responsabilidade do setor da construção civil, em particular do engenheiro civil, na propiciação do melhor cenário para a implantação e funcionamento do setor.

Palavras-chave: nexo água-energia; sistema de abastecimento; interdependência; impactos ambientais.

ABSTRACT

Sustainability in the use of resources such as water and energy is crucial for socio-economic and environmental development. Given this, this study addresses the water-energy relationship, which is a fundamental interdependence relationship for the creation of public policies, especially considering the impacts caused by global climate change on these resources. The work carried out here evaluates the water supply system in the city (WSS) of Campo Mourão, Paraná, and highlights the interdependence between water and energy in the functioning of the sector, in addition to making an overview of the environmental impacts generated by it. The nexus analysis in the municipality's WSS reveals a moderate degree of interdependence between water and energy, which confirms the interaction between both resources; as a complement, it underscores the importance of seeking intelligent solutions that promote increased efficiency and reduced waste in the system's operation, minimizing environmental impacts. The study also reinforces the responsibility of the civil construction sector, in particular the civil engineer, in providing the best scenario for the implementation and operation of the sector.

Palavras-chave: water energy nexus; supply system; interdependence; environmental impacts.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Estudos acerca da temática do nexo água-energia em sistemas de abastecimento de água.....	17
Quadro 2 – Principais atividades de implantação e operação de um SAA e seus respectivos impactos ambientais	20
Quadro 3 – Principais usos de água para a geração de energia e os potenciais impactos na qualidade da água.....	23
Quadro 4 – Modelo da matriz de ocorrência de impacto ambiental	30
Quadro 5 – Matriz de impacto ambiental	35
Quadro 6 – Dados de consumo de água e energia da ETA do rio do Campo	40
Quadro 7 – Valores de r para as correlações estabelecidas.....	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma das etapas do tratamento convencional de água	18
Figura 2 – Captação e consumo de água por fonte de energia primária.....	24
Figura 3 – Energia necessária para prover 1 m ³ de água potável, de acordo com a fonte de água.....	26
Figura 4 – Localização da Sub-bacia Hidrográfica do Rio do Campo	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
DRSAI	Doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado
ETA	Estação de tratamento de água
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	Agência Internacional de Energia
kWh	Kilowatt-hora
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	OBJETIVOS.....	12
2.1	Objetivo Geral.....	12
2.2	Objetivos Específicos	12
3	JUSTIFICATIVA	13
4	REVISÃO DE LITERATURA	15
4.1	Saneamento básico	15
4.1.1	Sistema de abastecimento de água	16
4.2	Impactos ambientais gerados pelo sistema de abastecimento de água	18
4.3	Nexo água-energia: Conceitos e definições	21
4.4	Água no setor energético	22
4.5	Energia no setor hídrico	25
5	MATERIAIS E MÉTODOS	27
5.1	Área de estudo	27
5.2	Matriz de impactos ambientais	29
5.3	Levantamento de demanda hídrica e elétrica	30
5.4	Análise estatística.....	31
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
6.1	Identificação de impactos ambientais	33
6.2	Nexo água-energia no sistema de abastecimento	39
7	CONCLUSÃO.....	43
	REFERÊNCIAS	45
	APÊNDICE A – SOLICITAÇÃO ENVIADA À SANEPAR.....	50

1 INTRODUÇÃO

A utilização sustentável de recursos como água, energia e alimentos tem implicações cruciais nos âmbitos social, econômico e ambiental. Esses recursos desempenham um papel direto na saúde humana, no progresso industrial e urbano, bem como na disponibilidade de alimentos e energia (SILVA; GHISI, 2016).

A interdependência entre água e energia, frequentemente referida como "nexo" na literatura, é essencial para a formulação de políticas públicas sustentáveis. Ambos os recursos desempenham um papel fundamental tanto na produção de energia quanto na extração de fontes energéticas. Além disso, a energia é indispensável para obtenção, purificação, tratamento, distribuição, armazenamento e coleta de água, bem como no tratamento e disposição de esgoto (GJORGIEV; SANSAVINI, 2017; LUBEGA; FARID, 2014).

De acordo com Lee *et al.* (2017), a água e a energia estão altamente suscetíveis às mudanças climáticas globais, um tema cada vez mais discutido na comunidade científica. Embora se reconheça a vulnerabilidade do ecossistema na ausência desses recursos, a ameaça de escassez é real, com previsões de aumento na demanda nas próximas décadas. Fatores como crescimento e migração populacional, desenvolvimento econômico, comércio internacional, urbanização, mudanças culturais e tecnológicas, bem como mudanças climáticas são atribuídos à escassez (HOFF, 2011; FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2014).

Existe um interesse crescente em compreender as inter-relações entre água e energia e suas implicações na gestão desses recursos. No entanto, a conexão entre o "nexo" e o risco hídrico muitas vezes não é amplamente discutida (HE *et al.*, 2018). A gestão sustentável dos sistemas de abastecimento de água requer esforços significativos para aumentar a eficiência no uso da água e da energia, o que pode resultar na redução dos impactos ambientais associados. Vale ressaltar que o setor de abastecimento de água representa 7% do consumo energético mundial para seu funcionamento completo (SOARES, 2017) e utiliza entre 1% e 5% do volume de água tratada para a lavagem dos filtros durante o processo, incluindo as perdas (TSUTIYA, 2006).

No município de Campo Mourão/PR, assim como em quase todo o estado do Paraná, a empresa encarregada de suprir as necessidades de abastecimento de água

e tratamento de esgoto é a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), que, por meio da captação da água do Rio do Campo e de fontes subterrâneas, fornece água tratada para toda a população da cidade. Os consumos hídrico e energético empreendidos na captação, tratamento e fornecimento de água relativos à Estação de Tratamento de Água (ETA) do município são alvos do estudo aqui realizado.

Sendo assim, esta pesquisa pretende contribuir com o entendimento do nexo água-energia através da demonstração da interdependência existente entre tais recursos, com base na análise de dados da demanda hídrica e elétrica necessária para a operação do sistema de abastecimento (SAA) da cidade de Campo Mourão, além de evidenciar a ocorrência dos impactos ambientais gerados pelo funcionamento do setor.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar o nexo água-energia no sistema de abastecimento de água da cidade de Campo Mourão – PR.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma análise de ocorrência de impactos ambientais provocados pelo funcionamento do sistema de abastecimento de água;
- Analisar a relação entre os recursos água e energia consumidos para captar e tratar água;
- Identificar o grau de dependência entre os recursos água e energia envolvidos na captação e tratamento de água, utilizando a correlação de Pearson.

3 JUSTIFICATIVA

A nível global, a utilização e disponibilidade de água e energia são influenciadas por desafios como as mudanças climáticas e o crescimento demográfico, os quais projetam um aumento de 50% no consumo de energia até 2030 em todo o mundo (ZHANG; VESSELINOV, 2016; UPSHAW; RHODES; WEBBER, 2017). Ao mesmo tempo, o consumo de água tem aumentado em média 1% ao ano, tendo se multiplicado por seis no último século (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2012). Estima-se que a população mundial atinja 9,8 bilhões de pessoas até 2050, com 70% delas vivendo em áreas urbanas (HAQUE; RAHMAN; SAMALI, 2016; UNITED NATIONS, 2017). Esse cenário resultará em uma demanda crescente por água e energia, tanto para consumo humano quanto para indústria e agricultura, o que pode agravar a crise hídrica e energética (VALEK; SUŠNIK; GRAFAKOS, 2017).

Apesar dos esforços passados e presentes para conservar e manter os suprimentos de água e energia, geralmente a análise da demanda e do consumo desses recursos é realizada de forma isolada (THIEDE *et al.*, 2016). Nesse contexto, a abordagem do "nexo" está ganhando relevância, pois considera a interligação entre esses recursos. Essa abordagem pode auxiliar no desenvolvimento mais sustentável dos recursos hídricos e energéticos, uma vez que a gestão separada pode não ser eficiente (ZHANG; VESSELINOV, 2016).

Diante desse cenário, as discussões sobre sustentabilidade se tornam cada vez mais relevantes, destacando a necessidade de repensar as interações fundamentais entre o ser humano e o meio ambiente. O desafio consiste em equilibrar o crescimento econômico, a preservação ambiental e a justiça social. A análise dessa relação tornou-se mais complexa à medida que as atividades humanas começaram a interferir nos ciclos naturais, acelerando os processos produtivos, o crescimento demográfico, a agricultura e a urbanização (GUIMARÃES, 2008).

Verifica-se, portanto, uma necessidade crescente de buscar soluções para suprir a demanda de água e energia em todos os níveis de uso, levando em consideração os impactos ambientais de forma coerente. As referências e pesquisas geralmente enfocam apenas a necessidade de aumento da produção e do consumo, sem explorar a inter-relação entre os recursos, o que poderia contribuir para a adoção de abordagens mais sustentáveis na busca por soluções.

Todas essas considerações motivaram o desenvolvimento deste estudo, que se propõe a investigar o nexo água-energia no sistema de abastecimento de água da cidade de Campo Mourão, com base em dados secundários de consumo e produção, e, como desfecho, elucidar a importância de que um SAA seja projetado e idealizado de forma a operar com a maior eficiência e o menor e risco ambiental possíveis, ação essa direcionada ao setor da construção civil, responsável pela implantação e logística de funcionamento do SAA.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Saneamento básico

A Organização Mundial de Saúde (OMS) define saneamento como a gestão de todos os elementos do ambiente físico que possam ter impactos negativos na saúde física, mental e social das pessoas (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2020). Portanto, envolve uma série de medidas adotadas pelas autoridades competentes para melhorar a qualidade de vida e a saúde da população, prevenindo possíveis efeitos adversos. Essas medidas devem ser implementadas pelos governos em níveis municipal, estadual e federal, garantindo o acesso à água potável, o tratamento adequado de esgoto, a limpeza urbana, a gestão de resíduos sólidos e o controle de águas pluviais (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO, 2013).

No Brasil, os serviços relacionados ao abastecimento de água, saneamento, drenagem urbana e manejo de resíduos sólidos são regulados pelo novo marco legal do saneamento, estabelecido pela Lei nº 14.026 de 2020. Essa legislação estabelece diretrizes nacionais para a operação dos sistemas de saneamento, com foco no bem-estar da população. Além disso, determina a obrigatoriedade de alocação de recursos financeiros, administrados pelo governo, para promover o avanço científico, a adoção de tecnologias apropriadas e a disseminação de conhecimentos relevantes para o saneamento básico. A lei também ressalta a importância de garantir condições adequadas de saúde ambiental para populações rurais e pequenas comunidades urbanas isoladas (BRASIL, 2020).

No entanto, a responsabilidade não recai apenas sobre o governo federal. A atuação dos municípios é fundamental, uma vez que o Conselho das Cidades aprovou a criação do Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab), por meio da Resolução Recomendada nº 62. O objetivo é incentivar as principais entidades a alcançarem níveis progressivos de eficiência, eficácia e sustentabilidade social, ambiental, econômica e financeira no campo do saneamento básico (BRASIL, 2020).

4.1.1 Sistema de abastecimento de água

O sistema de abastecimento de água, conforme definido por Barros (1995), engloba todas as infraestruturas, equipamentos e serviços que garantem a entrega de água potável para o consumo doméstico, serviços públicos, uso industrial e outros fins. A eficácia desse sistema tem um impacto direto na saúde pública e na qualidade de vida da população. Em países em desenvolvimento, ainda se observam altas taxas de mortalidade devido a doenças infecciosas transmitidas pela ingestão de água mal tratada. Isso ressalta a necessidade global de uma gestão mais eficiente do tratamento e abastecimento de água (DANIEL *et al.*, 2001).

De acordo com Caetano (2016), o Brasil possui cerca de 12% da água doce do mundo, embora essa abundância não esteja distribuída de forma uniforme em todo o território. Os maiores centros urbanos, que abrigam as maiores populações e, conseqüentemente, demandam mais recursos hídricos, muitas vezes são os mais afetados pela poluição da água e outras formas de degradação ambiental. Isso compromete a qualidade da água e apresenta desafios para o abastecimento.

Dados de 2021 do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) mostram que aproximadamente 84% da população brasileira tem acesso a algum tipo de sistema de abastecimento de água, representando um leve aumento em relação a 2019. Em termos mais específicos, o país possui 5.570 municípios com sistema público de abastecimento de água, dos quais 99,1% oferecem serviços apenas em áreas urbanas. As regiões Sul e Sudeste apresentam os melhores resultados, com o estado do Paraná alcançando 100% de cobertura. Por outro lado, o Amapá é a região com maior necessidade de melhorias, com menos de 40% da população sendo atendida pelo sistema de abastecimento de água (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO, 2023).

Os sistemas de abastecimento de água (SAA) são grandes consumidores de energia tanto em nível nacional quanto global, não apenas em termos de energia direta, como eletricidade, mas também em relação à energia indireta contida em produtos químicos e materiais associados (MO *et al.*, 2010). Na Austrália, há vários programas universitários dedicados à identificação das interconexões entre clima, água e energia. Esses estudos visam evitar impactos adversos e promover soluções eficientes para a gestão desses recursos (KENWAY, 2008; SIDDIQI; ANADON, 2011).

Além disso, alguns estudos relacionados à temática do nexo água-energia em sistemas de abastecimento de água estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Estudos acerca da temática do nexo água-energia em sistemas de abastecimento de água

AUTORES	TEMA PRINCIPAL	PAÍS DE ESTUDO
RODRÍGUEZ-MERCHAN <i>et al.</i> (2021)	Eficiência do nexo água-energia nas estações de tratamento de água potável do Chile.	Chile
BUKHARY; BATISTA; AHMAD (2020)	Estudo do nexo energia-água-carbono de uma estação de tratamento de água potável em larga escala que trata 1 Mm ³ /dia de água bruta do rio Colorado.	EUA

Fonte: Autoria própria (2023)

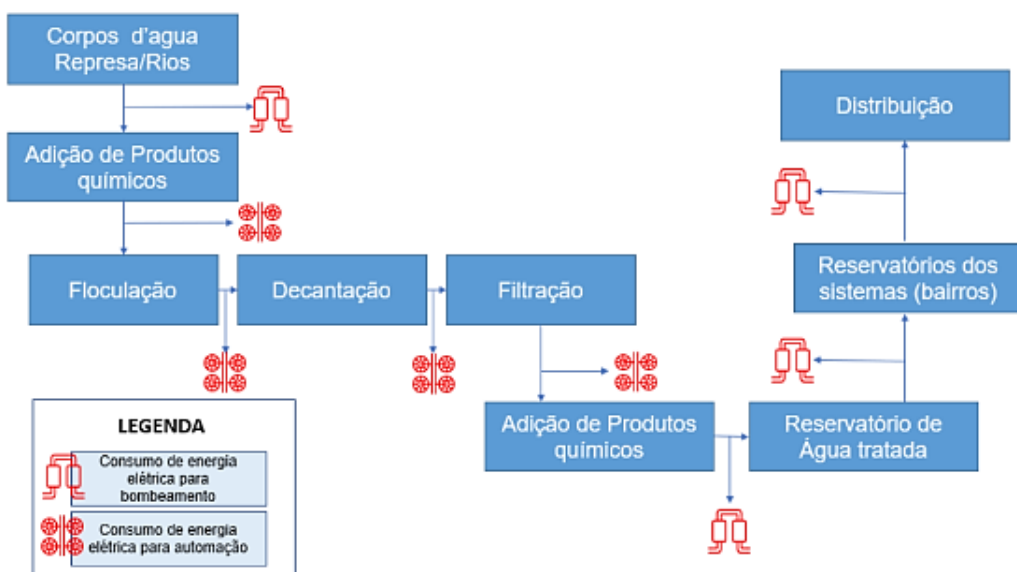
Se tratando da logística operacional de um sistema de abastecimento, as etapas envolvidas no tratamento convencional da água incluem, como descreve Vergínia (2017):

- Captação de água bruta e bombeamento: a água é captada por bombas e passa por tubulações de adução até chegar à estação de tratamento;
- Tratamento: a água passa por processos químicos para a remoção das impurezas; essa etapa é subdividida em:
 - Coagulação: envolve a aplicação de coagulantes para remover contaminantes orgânicos e inorgânicos da água;
 - Floculação: é a agitação relativamente lenta da água que objetiva a agregação de partículas menores a fim de formar flocos que são mais fáceis de serem removidos através de sedimentação, flotação ou filtração direta;
 - Decantação: é a remoção de partículas sólidas por ação da gravidade;
 - Filtração: é a separação entre as impurezas sólidas e a água através de sua passagem por um meio poroso, a exemplo do filtro de areia;
 - Desinfecção e fluoretação: nessa fase são aplicados cloro e flúor para garantir a remoção total dos microrganismos que resistiram à filtração.

- Reservação da água tratada: após o tratamento, a água é destinada aos reservatórios;
- Distribuição: do reservatório a água parte para a rede de distribuição até chegar às ligações.

O consumo de energia está presente em todas as etapas do processo de tratamento de água, desde a captação e do uso de equipamentos de bombeamento – sobretudo quando a fonte de captação está distante do local de consumo, passando pelo tratamento – cuja quantidade de energia consumida depende da qualidade da água bruta, até chegar à fase de distribuição, quando se tem o maior gasto energético em virtude da pressurização da rede e também das perdas físicas de água. As etapas do tratamento convencional de água estão apresentadas na A Figura 1 (BRANDÃO, 2014).

Figura 1 – Fluxograma das etapas do tratamento convencional de água



Fonte: Adaptado de Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2020).

4.2 Impactos ambientais gerados pelo sistema de abastecimento de água

O impacto ambiental é caracterizado como qualquer modificação nas propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, resultante das atividades humanas. Essas alterações podem ter efeitos sobre a saúde, segurança e bem-estar da população, na fauna e flora, nas atividades sociais e econômicas, na

qualidade dos recursos ambientais e nas condições estéticas e sanitárias do meio ambiente (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 1986).

A prestação precária de serviços de abastecimento de água representa um risco para a saúde das populações, devido à disseminação de doenças relacionadas à falta de saneamento adequado (DRSAI) (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2012). Isso ocorre porque a inadequação do sistema de saneamento em geral contribui para eventos como enchentes, contaminação do solo, corpos d'água e ar, além do assoreamento de fontes de água, tornando-as propícias à proliferação de agentes patogênicos (MUCELIN; BELLINI, 2008; FOLLADOR *et al.*, 2015).

Os sistemas de abastecimento de água, devido à sua complexidade, apresentam perdas de produção, já que nenhum sistema opera com perdas zero nesse setor. Com o surgimento e a disseminação do conceito de sustentabilidade, é responsabilidade dos gestores promover melhorias e reformas no modelo de negócios das empresas, para garantir um fornecimento de água de forma sustentável (LARSEN *et al.*, 2016).

O uso inadequado e a falta de processos de conservação e manutenção dos sistemas de produção de água comprometem sua regeneração natural, resultando em maior fragilidade desses sistemas e na ocorrência de crises hídricas, o que afeta a possibilidade de um desenvolvimento sustentável (SOARES, 2021). Além de serem um problema em si, as perdas também podem desencadear outros impactos ambientais, como inundações e contaminação do solo e dos recursos hídricos, contribuindo, conforme mencionado, para a proliferação de DRSAI (HELLER, 1997; SOUZA, 2016; TRATA BRASIL, 2020).

É importante ressaltar que as perdas de água na distribuição podem ser comerciais (aparentes) ou físicas (reais). As perdas físicas referem-se ao volume de água perdido em diferentes etapas de produção (captação, tratamento, armazenamento e distribuição) antes de chegar ao consumidor final. Essas perdas podem ser causadas por vazamentos, extravasamentos e descargas, sendo os vazamentos a causa mais comum (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2013).

De acordo com Tardelli Filho (2005), as perdas podem ser agravadas por diversos fatores, como falta de controle da pressão da água, baixa qualidade dos

materiais, componentes e mão de obra, além da deterioração da rede devido à sua idade.

Os impactos ambientais gerados pelos sistemas de abastecimento, no que diz respeito às etapas de implantação e operação, são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 – Principais atividades de implantação e operação de um SAA e seus respectivos impactos ambientais

ATIVIDADE	ASPECTO	IMPACTO
LIMPEZA DAS ÁREAS	<ul style="list-style-type: none"> Desmatamento ou supressão vegetal da área; Nivelamento do solo; Implantação do canteiro de obras; Delimitação de áreas; Abertura e/ou melhoramento de estradas; Implantação de tubulações; Geração de resíduos sólidos 	<ul style="list-style-type: none"> Alteração da paisagem local; Polição visual; Modificação da qualidade do solo; Interferências em áreas ambientalmente protegidas; Afugentamento da fauna; Perda ou alteração do habitat das espécies; Polição de corpos d'água; Degradação hídrica; Erosão do solo; Danos à saúde e bem-estar; Aumento dos níveis de ruídos, vibrações e fuligens; Incêndios; Incômodo a população local; Geração de entulhos; Polição atmosférica; Proliferação de pragas e vetores de doenças; Geração de emprego e renda.
PREPARAÇÃO DAS ÁREAS	<ul style="list-style-type: none"> Realização de cortes, aterros, escavações do solo; Abertura e/ou melhoramento de estradas de acesso; Implantação do canteiro de obras; Serviços de topografia; Alocação de material terroso. 	<ul style="list-style-type: none"> Alteração da paisagem; Polição visual; Interferências em áreas ambientalmente protegidas; Afugentamento da fauna; Movimentação de terra; Degradação do solo; Erosão do solo; Degradação e poluição hídrica; Danos à saúde e bem-estar; Compactação do solo; Instabilidade de terrenos e taludes; Geração de entulhos; Interferência no patrimônio histórico, arqueológico e cultural; Inundações (alagamentos); Danos patrimoniais; Geração de emprego e renda.
IMPLANTAÇÃO E ALTERAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> Obras de implantação, expansão e alteração de sistemas de abastecimento d'água; Obras para corrigir, ajustar ou otimizar o funcionamento desses sistemas; Implantação do canteiro de obras; Obras de instalação e manutenção (instalação e manutenção de SES e SAA); A disposição inadequada de resíduos e entulhos. 	<ul style="list-style-type: none"> Geração de efluentes sanitários; Interferências em equipamentos urbanos; Alteração do solo; Polição atmosférica; Estocagem de equipamentos e materiais; Geração de entulhos e resíduos sólidos; Danos à saúde e bem-estar; Aumento dos níveis de ruídos e vibrações; Polição e degradação hídrica; Danos patrimoniais (prejuízos a veículos, residências, etc.); Perturbação da população local; Proliferação de pragas e vetores; Geração de odores fétidos; Aumento do tráfego de veículos; Geração de emprego e renda; Incrementos nas finanças públicas; Desenvolvimento social e econômico.
OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE SISTEMAS DO SANEAMENTO	<ul style="list-style-type: none"> Lançamento inadequado de resíduos provenientes dos decantadores e da água de lavagem de filtros, em corpos d'água; Problemas na operação dos sistemas; Oferta de água para consumo direto e indireto; Operação e manutenção de sistemas de saneamento. 	<ul style="list-style-type: none"> Fornecer água potável; Geração de resíduos; Degradação e poluição hídrica; Vazamentos; Acidentes a empregados e terceiros; Controle e prevenção de doenças; Limpeza pública; Aumento da expectativa de vida e redução da mortalidade infantil.

Fonte: Adaptado de Costa Júnior *et al.* (2013)

4.3 Nexu água-energia: Conceitos e definições

A dependência da água é crucial para a produção de energia hidrelétrica e térmica, que correspondem a aproximadamente 90% da energia elétrica global. Essas fontes desempenham um papel fundamental na matriz energética de muitos países, pois proporcionam estabilidade e permitem o armazenamento de água ou combustível (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA, 2014). Embora as energias renováveis, como eólica e solar, representem cerca de 13% da matriz elétrica nacional (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2022), elas não são suficientes para suprir a demanda base do sistema elétrico, sendo menos dependentes de água.

O conceito de "nexo" refere-se à compreensão das interações, conflitos e sinergias que mantêm setores interligados de forma inseparável. Essa conexão é essencial para avançar em direção à sustentabilidade em sua amplitude total (MOHTAR; DAHER, 2012). A interdependência entre água e energia não está apenas relacionada à necessidade mútua desses recursos para sua existência, mas também ao impacto dessa inter-relação na produção e consumo de produtos. Água e energia são elementos essenciais para a produção de alimentos e outras atividades produtivas (CHEN; CHEN, 2016; FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2015).

O nexu água-energia tornou-se mais evidente com o crescimento populacional urbano, a busca por melhor qualidade de vida e o aumento do consumo per capita de água e energia, entre outros fatores. Há um número crescente de estudos que se concentram nessa inter-relação em várias escalas (DUAN & CHEN, 2017). Sob a perspectiva do nexu água-energia, as restrições de água se convertem em restrições de energia e vice-versa, de modo que o uso consciente da água impacta positivamente a disponibilidade de energia (LUBEGA; FARID, 2014; TAJCHMAN, 2017).

Segundo Metzger *et al.* (2016), as indústrias de petróleo, gás, carvão e energia são as maiores consumidoras de água no setor industrial global, ressaltando a dependência do setor energético dos recursos hídricos para sua sustentabilidade e crescimento.

A compreensão de que o setor de abastecimento de água consome energia elétrica intensivamente, enquanto as fontes geradoras de eletricidade dependem de recursos hídricos estáveis, tem despertado um interesse crescente em avaliar ambos os setores de forma integrada (HARDY; GARRIDO; JUANA, 2012). A construção e a manutenção dos sistemas de abastecimento de água também exigem grandes quantidades de energia, tanto diretamente por meio de combustíveis quanto por meio da energia incorporada nos materiais e produtos químicos utilizados nos processos de tratamento (CALIFORNIA ENERGY COMMISSION, 2005).

As interações entre água e energia são fundamentais para a eficiência no uso desses recursos (SCOTT *et al.*, 2011). O foco está na quantidade de água necessária para produzir energia e vice-versa. Em todas as etapas do ciclo de água em um sistema de abastecimento, ocorre o consumo de energia. Nos Estados Unidos, 4% da energia produzida é usada para abastecimento de água (UNITED STATE DEPARTMENT OF ENERGY, 2006), enquanto na Austrália, esse número é inferior a 1% (KENWAY *et al.*, 2008). Conforme relatado pela ONU (2014), cerca de 8% da energia global é utilizada para o gerenciamento da água destinada ao consumo humano.

4.4 Água no setor energético

De acordo com a Agência Internacional de Energia (2012), é importante considerar os diferentes usos da água na geração de energia e os possíveis impactos na qualidade da água, conforme apresentado no Quadro 3.

Ao analisar o uso de água na produção de energia, fica evidente a interação entre água e energia, especialmente no caso da energia hidrelétrica. A quantidade de água disponível tem uma influência direta na quantidade de energia elétrica gerada. No entanto, outras fontes de energia também requerem água. A Agência Internacional de Energia (2012) destaca que os biocombustíveis derivados de grãos são as fontes de energia que mais consomem água, incluindo o etanol de milho e cana-de-açúcar, além do biodiesel de soja.

Quadro 3 – Principais usos de água para a geração de energia e os potenciais impactos na qualidade da água

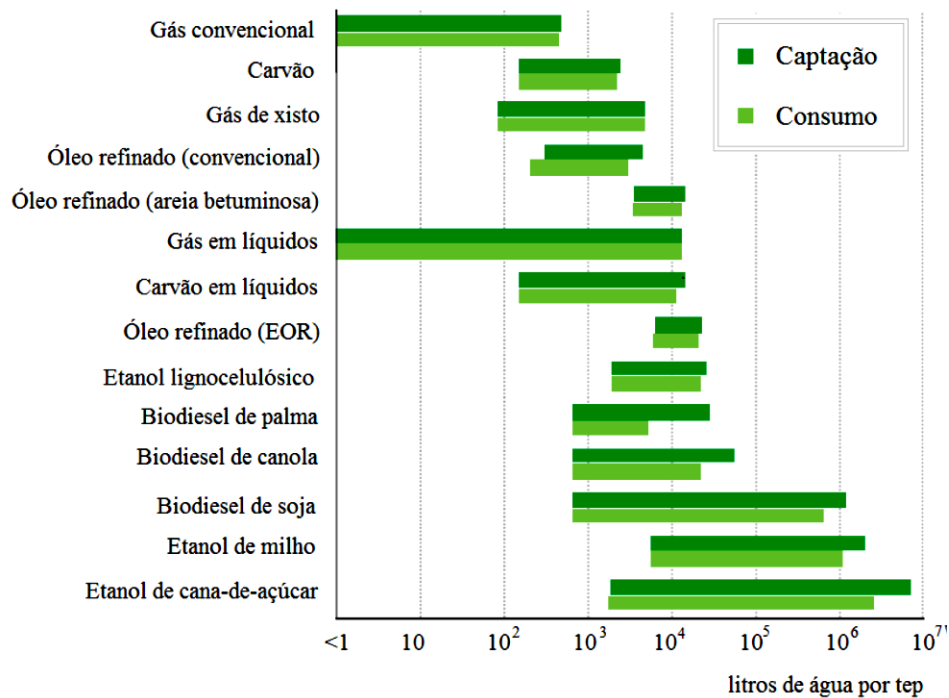
Usos	Potenciais impactos na qualidade da água	
PRODUÇÃO DE ENERGIA PRIMÁRIA		
Óleo e gás	<ul style="list-style-type: none"> • Perfuração, acabamento de poços e da fraturação hidráulica; • Injeção para o reservatório secundário e recuperação de óleo aprimorada. Mineração de areias petrolíferas e recuperação in situ; • Upgrading e refino para produtos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminação por rejeitos infiltrados, fluidos de fraturamento, fluxo de retorno ou água produzida (superficial e subterrânea).
Carvão	<ul style="list-style-type: none"> • Corte e supressão de poeira em mineração e transporte; • Lavagem para melhorar a qualidade do carvão; • Reflorestamento da superfície de áreas de mineração; • Transporte de longa distância via lama de carvão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminação por rejeitos infiltrados, drenagem da mina ou da água produzida (superficial e subterrânea).
Biocombustíveis	<ul style="list-style-type: none"> • Irrigação para o crescimento dos cultivos agrícolas; • Moagem úmida, lavagem e arrefecimento no processo de conversão de combustível. 	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminação por escoamento superficial contendo fertilizantes, pesticidas e sedimentos (superficiais e subterrâneos). Efluentes produzidos no refino.
GERAÇÃO DE ENERGIA		
Térmica (combustível fóssil, nuclear e bioenergia)	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentação de caldeiras, ou seja, a água utilizada para gerar vapor ou água quente. Arrefecimento por vapor condensado; • Purificação de poluentes utilizando equipamentos de controle de emissões. 	<ul style="list-style-type: none"> • Poluição térmica pela água de descarga do arrefecimento (água de superfície); • Impactos nos ecossistemas aquáticos; • Emissões atmosféricas que poluem a água na direção do vento (água de superfície); • Descarga de purga de caldeiras, ou seja, da alimentação da caldeira que contém sólidos em suspensão.
Concentração de energia solar e geotérmica	<ul style="list-style-type: none"> • Fluidos dos sistemas ou de alimentação da caldeira, ou seja, a água utilizada para gerar vapor ou água quente; • Arrefecimento por vapor condensado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Poluição térmica por descarga de água do arrefecimento (água de superfície); • Impacto nos ecossistemas aquáticos.
Energia hídrica	<ul style="list-style-type: none"> • Geração da eletricidade. • Armazenamento em um reservatório (para operar usinas hidrelétricas ou para armazenamento de energia). 	<ul style="list-style-type: none"> • Alteração de temperatura da água, fluxo de volume/tempo e dos ecossistemas aquáticos. • Perdas por evaporação do reservatório.

Fonte: Agência Internacional de Energia (2012).

A quantidade de água necessária varia de acordo com a região e o sistema de produção de grãos, sendo influenciada principalmente pelo uso da irrigação. No caso dos biocombustíveis, como o etanol de milho e cana-de-açúcar e o biodiesel de soja, quando a irrigação é utilizada, pode ser requerida uma captação de até 1.000 m³ de água por tonelada equivalente de petróleo (MARIANI *et al.*, 2016).

Além disso, é relevante destacar que os combustíveis fósseis, como o carvão, óleos refinados e gás de xisto, apresentam uma captação de água de até 1 m³ por tonelada equivalente de petróleo, conforme ilustrado na Figura 2. Embora tenham uma demanda menor por água, essas fontes de energia acarretam outros impactos ambientais durante o consumo, como o aumento das emissões de gases de efeito estufa e a poluição do ar urbano (MARIANI *et al.*, 2016).

Figura 2 – Captação e consumo de água por fonte de energia primária



Fonte: Agência Internacional de Energia (2012).

De acordo com a Agência Internacional de Energia (2012), a captação de água doce para produção de energia a nível global foi de 583 bilhões de metros cúbicos em 2010, o que representa 15% do volume total global de captação. Além disso, a quantidade de água efetivamente utilizada para produção de energia nesse ano foi de 66 bilhões de metros cúbicos, correspondendo a pelo menos 11% da captação total.

O estudo também previu a quantidade de água a ser captada até 2020 e 2035, considerando diferentes cenários de políticas públicas. No cenário que mantém as políticas atuais, estima-se que a captação de água pelo setor energético mundial aumentaria para quase 800 bilhões de metros cúbicos em 2035, um aumento de aproximadamente 37% em relação a 2010. Já em um cenário de novas políticas, esse aumento seria reduzido pela metade, ou seja, em torno de 20%. É importante ressaltar que o aumento na demanda de água ocorrerá mesmo com a implementação de mudanças nas políticas que visam incentivar a redução do consumo de água no setor energético. Essa pressão no uso desse recurso pode levar a conflitos entre países ou setores (AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA, 2012).

4.5 Energia no setor hídrico

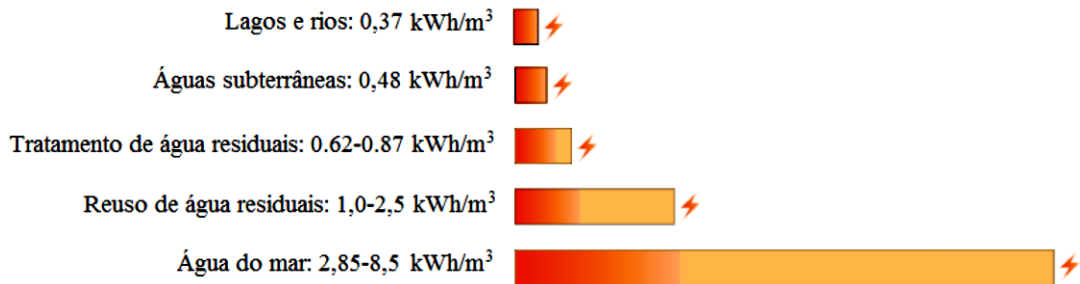
O consumo de energia também desempenha um papel fundamental no nexo água-energia. Especificamente, no setor de abastecimento e tratamento de água, o consumo de energia ocorre em diversos processos. São necessárias quantidades significativas de energia elétrica para bombear água de rios e poços, transportá-la até uma estação de tratamento, tratar e distribuí-la para a população (MARIANI *et al.*, 2016).

A demanda energética para captação de água varia de acordo com a distância e a profundidade das fontes hídricas utilizadas. Em grandes centros urbanos, por exemplo, é comum que a água precise ser transportada de longas distâncias para atender às necessidades da população, o que aumenta o consumo de energia para a captação (MARIANI *et al.*, 2016).

Os processos de tratamento de água, que visam transformar água fresca, salobra, salgada ou até mesmo esgoto em água potável para consumo, também demandam energia. São necessários recursos energéticos para agitar, misturar substâncias à água e, em alguns casos, até mesmo para fornecer calor. O processo de dessalinização, por exemplo, é apontado pela Agência Internacional de Energia (2012) como a opção de tratamento de água mais intensiva em termos de energia e custos, sendo empregado apenas quando alternativas são muito limitadas, como em regiões desérticas. Além disso, o bombeamento da água tratada para sistemas de armazenamento e distribuição à população também consome energia elétrica. Em geral, quanto mais próximas as fontes de água estiverem dos pontos de consumo,

menor será a energia necessária para sua distribuição. A menor intensidade energética é observada na captação de água de rios e lagos, conforme dados apresentados na Figura 3.

Figura 3 – Energia necessária para prover 1 m³ de água potável, de acordo com a fonte de água



Fonte: Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (2014).

No caso da captação de água subterrânea, o bombeamento da água para a superfície aumenta o consumo de energia. No entanto, a água do mar apresenta a maior demanda energética para o tratamento, devido à temperatura e salinidade. Após o consumo, os efluentes industriais e esgotos domésticos também requerem bombeamento para estações de tratamento, aumentando ainda mais o consumo de energia nesses processos (MARIANI *et al.*, 2016).

As projeções futuras indicam um aumento do consumo de energia no setor de abastecimento de água. De acordo com a Agência Internacional de Energia (2012), isso pode levar à escassez de fontes de água doce próximas aos centros populacionais. Como resultado, medidas serão necessárias, como o transporte de água por maiores distâncias, o bombeamento de grandes profundidades ou a implementação de tratamentos adicionais. Isso demandará a implementação de normas mais rigorosas para o tratamento de água e práticas de irrigação de superfície.

Uma perspectiva notável e interessante do nexo água-energia é o aproveitamento do esgoto e dos efluentes como fontes de energia, em vez de serem apenas considerados resíduos. Em muitos projetos em andamento ao redor do mundo, o biogás produzido no processo anaeróbico de tratamento de efluentes é aproveitado para a geração de energia elétrica ou para a secagem do lodo resultante (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA, 2014).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

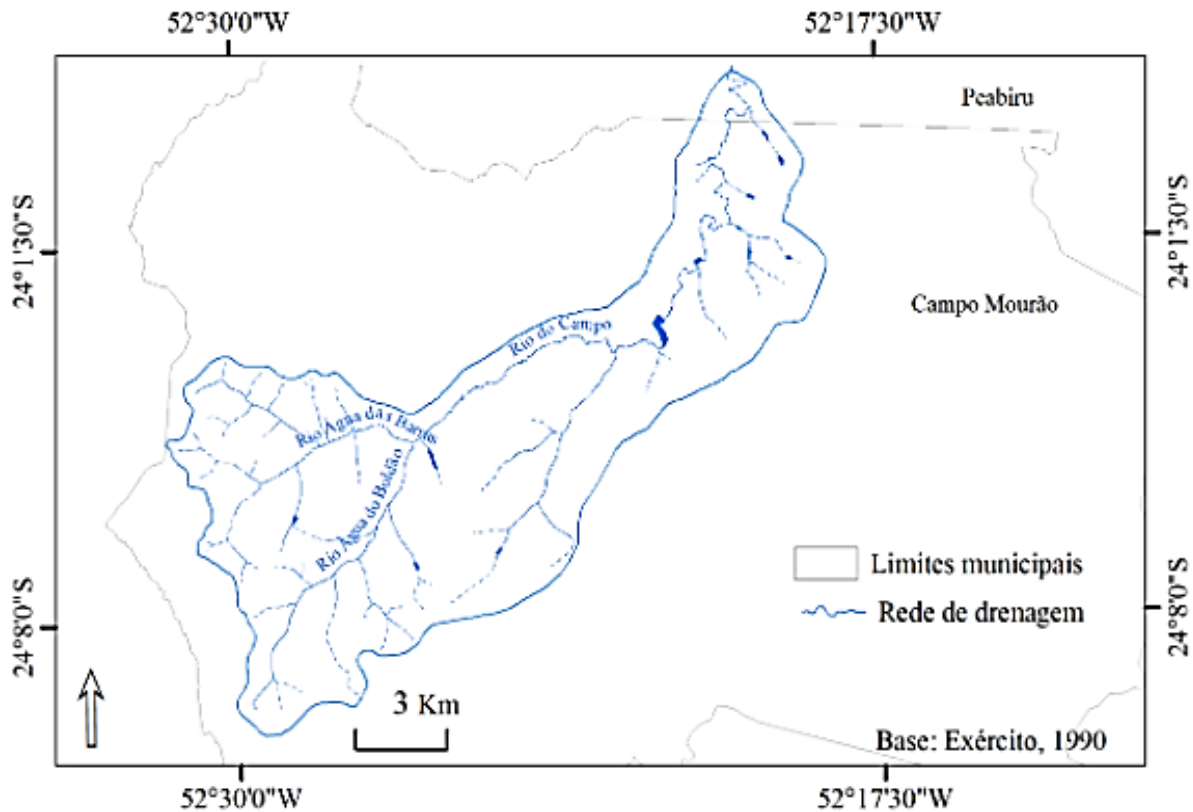
A pesquisa, de acordo com Gil (2008), é um processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico, com o objetivo principal de encontrar respostas para problemas por meio da aplicação de procedimentos científicos. A coleta de dados, conforme descrita por Medeiros (2019), consiste em reunir informações que serão posteriormente interpretadas, categorizadas e tabuladas. Neste estudo, foram utilizados dados provenientes de fontes primárias e secundárias.

5.1 Área de estudo

O município de Campo Mourão tem uma população aproximada de 96.102 habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2021) e é atendido pela SANEPAR, concessionária responsável pela captação, tratamento e distribuição de água potável. O sistema de abastecimento de água do município é composto por uma captação superficial, cinco subterrâneas, dez reservatórios e uma estação de tratamento convencional, sendo que a capacidade de tratamento de água suportada pela ETA é de até 755,37 m³/h (PLANO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO, 2018).

O manancial superficial utilizado para o abastecimento é o Rio do Campo, apresentado na Figura 4, que faz parte da Bacia Hidrográfica do Ivaí, e é responsável por suprir 67,7% da demanda de água da cidade, com uma vazão média explorada de 1.100 m³/h. A captação advinda dos cinco mananciais subterrâneos, por sua vez, corresponde a 345 m³/h, dos quais quatro complementam o SAA e um abastece o sistema independente do bairro Jardim Cidade Nova (PLANO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO, 2018).

Figura 4 – Localização da Sub-bacia Hidrográfica do Rio do Campo



Fonte: Revista Brasileira de Geografia Física (2016).

O tratamento da água advinda do Rio do Campo ocorre na Estação de Tratamento de Água (ETA) pelo processo de decantação acelerada; a água é captada com tomada de água direta com barragem de nível e é, então, bombeada através de uma estação elevatória de água bruta e conduzida por uma adutora com extensão de 3.613 metros até a ETA. A água proveniente dos mananciais subterrâneos, por sua vez, é tratada junto aos poços de captação com simples desinfecção e fluoretação, aplicadas por bomba dosadora. Após o tratamento, a água é levada até os reservatórios, que tem capacidade total útil de conservação de 8.542 m³, dos quais 462 m³ são disponibilizados pelos sistemas elevados (PLANO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO, 2018).

Já o sistema de distribuição possui cinco bombas elevatórias de água tratada e uma sexta que recalca água de três dos cinco mananciais subterrâneos, além de uma extensão de 595.468 metros de rede de água (dados de 2017), de acordo com o Plano Municipal de Água e Esgoto (2018).

Para controlar a operação do sistema, a SANEPAR implantou 899 registros de manobra, de forma que todas as elevatórias contêm macro medidores para totalizar

os volumes aduzidos e promover o controle de perdas nas linhas adutoras e nos anéis de recalque (PLANO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO, 2018).

De acordo com o Plano, em 2017, o SAA de Campo Mourão já possuía 35.537 ligações totais, com índice de atendimento da rede de distribuição de 100%. O consumo *per capita* começou a ser tabulado apenas a partir de 2012, e, no mesmo ano, o consumo médio anual registrado foi de 114,00 l/dia. (PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO, 2018). O último dado referente ao consumo *per capita* catalogado no município, extraído do Painel Saneamento Brasil, mostra que, em 2022, esse índice aumentou para 152,72 l/dia, levando em conta as perdas provocadas por vazamentos durante a distribuição (PAINEL SANEAMENTO BRASIL, 2023).

5.2 Matriz de impactos ambientais

Para a avaliação dos impactos ambientais provocados pelo funcionamento do sistema de abastecimento, foi construída uma matriz de impacto ambiental, baseada no modelo de Leopold (LEOPOLD *et al.*, 1971), a fim de evidenciar que cada atividade relacionada à operação e à manutenção do setor gera impactos sobre indicadores pré-definidos, como fauna, flora, solo, clima etc.

O modelo da matriz, indicado no Quadro 4, traz as etapas de operação e manutenção do setor (classificadas como captação, tratamento, distribuição e manutenção da infraestrutura), as atividades (ações) que acontecem em cada uma dessas etapas e os potenciais impactos que podem ser gerados; nas colunas, foram dispostos os parâmetros sobre os quais é analisado cada impacto, separados por categorias de fatores, sendo eles: físico-químicos, biológicos e sociais e antropológicos. O objetivo dessa matriz é apresentar, através da marcação com “x”, qual a quantidade de cruzamentos de impacto x parâmetro, e, ao final, fazer uma análise dessa quantidade, partindo de uma premissa que relaciona o número de cruzamentos marcados (quadrantes preenchidos) com o número total de potenciais cruzamentos (quadrantes existentes), demonstrando, assim, que, quanto mais quadrantes forem preenchidos (mais cruzamentos marcados), maior é a quantidade de parâmetros afetados por cada impacto, ou seja, maior é a ocorrência desse impacto.

Quadro 4 – Modelo da matriz de ocorrência de impacto ambiental

ETAPA	AÇÃO	IMPACTO	FATORES FÍSICO-QUÍMICOS				FATORES BIOLÓGICOS		FATORES SOCIAIS E ANTROPLÓGICOS				Σ CRUZAMENTOS
			SOLO	CLIMA	AR	ÁGUA	FAUNA	FLORA	SAÚDE	EDUCAÇÃO	ECONOMIA	CULTURA	
Captação de água													
Tratamento de água													
Distribuição de água													
Manutenção da infraestrutura													
TOTAL DE CRUZAMENTOS													

Fonte: Autoria própria (2023).

A premissa utilizada é baseada em intervalos percentuais relativos à quantidade de quadrantes da matriz:

- Para o intervalo de 80% - 100% dos quadrantes preenchidos: alto grau de ocorrência de impactos;
- Para o intervalo de 35% a 79,99% dos quadrantes preenchidos: médio grau de ocorrência de impactos;
- Para o intervalo de 0% a 34,99% dos quadrantes preenchidos: baixo grau de ocorrência de impactos.

Para fazer a marcação do cruzamento, ou seja, para indicar com “x” se determinado impacto ocorre sobre determinado parâmetro, foram realizadas consultas no Plano Municipal de Saneamento (2018) a fim de buscar explicações sobre o que pode causar cada impacto, e, conseqüentemente, levar ao entendimento de quais parâmetros podem ser por ele afetados.

5.3 Levantamento de demanda hídrica e elétrica

Para a análise do consumo hídrico e elétrico envolvidos no processo de funcionamento do SAA, bem como do volume de água captado e tratado, foi enviada uma solicitação à SANEPAR com pedido de acesso aos dados primários necessários. Tal solicitação, com as respectivas informações requeridas, é apresentada no Apêndice A.

A SANEPAR disponibilizou, então, os registros de produção e consumo da ETA referentes ao ano de 2022, categorizados por mês, e os elementos de interesse são os índices de consumo energético e hídrico mensais, necessários para o funcionamento do SAA, em kWh e em m³, respectivamente. Foram levantadas as quantidades de água e energia consumidas para coletar e tratar a água recebida pela ETA, de modo a evidenciar o nexo água-energia.

Para a composição da matriz de dados necessária ao desenvolvimento da pesquisa foram levados em consideração os principais índices de interesse:

- Volumes de água captada e tratada;
- Quantidades de energia gastas na captação e no tratamento.

5.4 Análise estatística

Na última análise, que avalia a extensão da relação entre a água e a energia no processo, foi aplicada a correlação de Pearson. Conforme explicado por Garson (2009), essa é uma medida de associação linear que quantifica o grau de relação entre duas variáveis. Essencialmente, é um coeficiente numérico derivado de um cálculo matemático, com uma gama de valores possíveis variando de -1 a 1 (GARSON, 2009). Para atender aos objetivos dessa pesquisa, a correlação de Pearson foi aplicada sobre 3 relações, que envolvem, ao todo, 3 variáveis de interesse: consumo de energia, consumo de água e quantidade de água captada/tratada. A expressão é dada pela Equação 1.

$$r = \frac{1}{n-1} \sum \left(\frac{x_i - \bar{X}}{s_x} \right) \left(\frac{y_i - \bar{Y}}{s_y} \right) \quad \text{Eq. 01}$$

Adaptando a equação para a aplicação na pesquisa, tem-se que a incógnita r é o valor da correlação, que pode variar de -1 a 1 e determina o grau de força da associação entre as variáveis analisadas, que são, por sua vez, representadas por x e y . \bar{X} e \bar{Y} são as médias obtidas dos valores coletados ao longo dos 12 meses; x_i e y_i são, respectivamente, os valores correspondentes a cada mês analisado; s_x e s_y são os desvios padrão calculados para os valores dos 12 meses em cada variável

analisada e n é o número de observações, que, nesse caso, corresponde ao número de meses tabulados.

Como explica Cohen (1988), valores de r entre 0,10 e 0,29 podem ser considerados pequenos, de 0,30 a 0,49 podem ser considerados como moderados e de 0,50 a 1,00 podem ser interpretados como altos; o fato é que, quanto mais perto de 1, maior é o grau de dependência estatística linear entre as variáveis, enquanto, no outro oposto, quanto mais próximo de zero, menor é a força dessa relação.

Foram calculados os valores de r com o auxílio da ferramenta Excel, que permite a automatização do cálculo através da fórmula *correl(matriz1;matriz2)*.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Identificação de impactos ambientais

Com base no conteúdo encontrado no Plano Municipal de Saneamento Básico de Campo Mourão (2018) foi possível listar os principais impactos envolvidos na operação e manutenção do SAA e suas potenciais causas, contextualizados a seguir.

Na primeira etapa do processo, a de captação, pode ser ocasionada a redução da disponibilidade hídrica devido à retirada de água; essa falta tende a causar diminuição dos níveis da água disponível para o ecossistema aquático e para outros usos. Além disso, é possível que a captação seja feita em áreas poluídas ou contaminadas, o que torna necessário um tratamento adicional e gera aumento de custos. Ainda nessa etapa ocorre de os processos de erosão e sedimentação no leito do rio devido às alterações nos cursos d'água.

No que diz respeito ao tratamento da água para consumo humano, seja na ETA ou em outros pontos, existe a geração de resíduos provenientes da purificação da água, podendo ser o lodo ou outros subprodutos, que, se não forem corretamente tratados e destinados, podem causar contaminação do solo, do ar e dos corpos hídricos. Esse processo envolve também o uso de produtos químicos, como coagulantes e desinfetantes, que acabam contaminando, se aplicados em excesso, a própria água e gerando subprodutos tóxicos. Um outro problema causado pela etapa de tratamento é o consumo de energia para operar os equipamentos, como bombas e sistemas de filtração, que se dá em larga escala e contribui para o aumento da emissão de gases poluentes e de efeito estufa.

A distribuição da água até as residências é o processo que gera um dos maiores problemas de um SAA, devido a quantidade de água que se perde em virtude de vazamentos e rupturas na rede, que ocorrem em função de desgastes nas tubulações. Segundo dados do SNIS (2015), o índice de perdas no processo de distribuição é em torno de 40%.

Neste contexto, a matriz de impacto ambiental elaborada trata-se de um indicador numérico que representa o grau de ocorrência de impactos gerados sobre o meio ambiente pela operação e manutenção do SAA do município de Campo Mourão

e é apresentada no Quadro 5. A matriz é composta por 190 quadrantes, ou seja, 190 possíveis cruzamentos entre impacto x parâmetro, dos quais 112 foram marcados.

Na análise da matriz, nota-se que o impacto com maior índice de ocorrência, ou seja, que mais afeta os parâmetros apontados, é a falha ou uso inadequado de produtos químicos na etapa de tratamento de água, na ETA, enquanto, por outro lado, os impactos que menos interferem sobre os parâmetros como um todo são o consumo de energia para a operação da ETA, o consumo de energia para operação das estações de bombeamento e a perturbação temporária da paisagem e do ambiente local durante as atividades de manutenção; é interessante salientar que dois dos três impactos com menor índice de ocorrência tem a ver com o consumo de energia envolvido no funcionamento do SAA, o que vem de encontro com as informações disponibilizadas pela SANEPAR (expostas adiante), que revelam os índices de consumo energético durante o processo de operação como baixos, sobretudo em comparação ao consumo de água e ao volume de água tratado.

Como resultado, o percentual de cruzamentos marcados na matriz foi de 58,95%, o que, dentro da premissa proposta, apresenta um grau de ocorrência de impactos médio, sugerindo que o SAA de Campo Mourão opera e é mantido impactando moderadamente o meio ambiente.

Quadro 5 – Matriz de impacto ambiental

continua...

ETAPA	AÇÃO	IMPACTO	FATORES FÍSICO-QUÍMICOS				FATORES BIOLÓGICOS		FATORES SOCIAIS E ANTROPLÓGICOS				Σ CRUZAMENTOS
			SOLO	CLIMA	AR	ÁGUA	FAUNA	FLORA	SAÚDE	EDUCAÇÃO	ECONOMIA	CULTURA	
Captação de água	Monitoramento da qualidade da água captada	Redução da disponibilidade hídrica (quantidade de água) no corpo hídrico de captação		X	X	X	X	X	X	X	X	X	9
		Alteração da qualidade da água devido à retirada	X			X	X	X	X	X	X	X	8
		Biodiversidade aquática devido à alteração do fluxo de água	X	X	X	X	X	X	X				7
		Erosão e sedimentação do leito do rio/corpo hídrico	X	X	X	X	X	X				X	7

Quadro 5 – Matriz de impacto ambiental

conclusão...

ETAPA	AÇÃO	IMPACTO	FATORES FÍSICO-QUÍMICOS				FATORES BIOLÓGICOS		FATORES SOCIAIS E ANTROPLÓGICOS				Σ CRUZAMENTOS
			SOLO	CLIMA	AR	ÁGUA	FAUNA	FLORA	SAÚDE	EDUCAÇÃO	ECONOMIA	CULTURA	
Manutenção da infraestrutura	Inspeção e manutenção de estações de captação e tratamento	Geração de resíduos sólidos e efluentes decorrentes da manutenção das instalações	X		X	X	X	X			X		6
	Reparo de vazamentos e rupturas na rede de distribuição	Emissão de poluentes gasosos devido à utilização de equipamentos e veículos para manutenção			X	X	X	X	X		X		6
	Atualização e modernização de equipamentos e instalações	Escavações e reparos na rede de distribuição	X			X					X		3
	Treinamento e capacitação de pessoal	Perturbação temporária da paisagem e do ambiente local durante as atividades de manutenção	X								X		2
		Possíveis interrupções no fornecimento de água durante as atividades de manutenção							X	X	X	X	4
TOTAL DE CRUZAMENTOS												112	

Fonte: Autoria própria (2023)

6.2 Nexo água-energia no sistema de abastecimento

A SANEPAR disponibilizou os dados de consumo e tratamento de água relativos à ETA no período de janeiro a dezembro de 2022. A análise se restringe aos valores de consumo hídrico e elétrico do processo de captação e tratamento das águas do manancial superficial Rio do Campo.

A concessionária não apresentou dados de consumo de água e energia pertinentes às etapas de manutenção da rede hídrica e de distribuição de água, no que diz respeito às ampliações, uso de equipamentos e perdas de água e energia. Além disso, os índices de consumo de energia foram apresentados sem que haja separação por etapa, ou seja, não é possível, da forma como a SANEPAR disponibilizou os dados, que o gasto de energia seja separado em captação, tratamento e distribuição, pelo motivo de todo o consumo de energia da ETA e da rede de água ser contabilizado em uma única conta.

As informações de consumo de água e energia referentes às etapas de captação e tratamento da água da ETA do rio do Campo estão apresentadas no Quadro 6.

Da análise dos dados fornecidos, existem pontos interessantes a serem aprofundados. O primeiro deles é que há uma grande discrepância entre as quantidades de energia consumidas, tanto nas etapas de captação e bombeamento quanto no tratamento, e a quantidade de água tratada. Da mesma forma, há muita diferença entre o volume de água gasto na ETA, nos processos de lavagem dos filtros e tratamento da água captada, e o volume de água tratada.

Tais diferenças sugerem que as quantidades de água e energia consumidas para tratar uma certa quantidade de água são bem menores do que essa quantidade de água, o que indica eficiência e redução de desperdícios no processo. Para verificar essa convergência, foi aplicado um cálculo matemático simples de proporção, e os resultados obtidos foram os seguintes:

Para tratar 1 m³ de água são consumidos:

- 0,011 m³ de água, daí a proporção de 0,011m³/m³;
- 0,221 kWh, daí a proporção de 0,221 kWh/m³.

Quadro 6 – Dados de consumo de água e energia da ETA do rio do Campo

Ano 2022	Volume de água captada (m³)	Consumo de energia da Captação + Bombeamento até ETA (kWh)	Volume de água tratada (m³)	Volume de água consumida no processo (m³)	Consumo de energia da ETA (kWh)
Janeiro	580.585	130.956	577.224	3.361	134.922
Fevereiro	552.979	122.221	549.562	3.417	127.097
Março	597.758	118.011	591.463	6.295	122.773
Abril	561.784	129.105	555.731	6.053	133.576
Mai	558.373	119.165	551.580	6.793	120.688
Junho	527.074	123.378	521.045	6.029	124.410
Julho	569.532	116.105	557.180	12.352	117.652
Agosto	551.449	124.315	546.643	4.806	122.916
Setembro	528.906	122.096	522.146	6.760	119.237
Outubro	562.347	117.709	557.051	5.296	114.513
Novembro	574.660	120.785	569.008	5.652	118.064
Dezembro	609.026	123.415	603.950	5.076	123.983
Média mensal	564.539	122.272	558.549	5.991	123.319

Fonte: Autoria própria (2023).

Para a primeira relação foram utilizados os valores de volume médio mensal de água tratada e volume médio mensal de água consumida no processo, e, para a segunda, os valores de volume médio mensal de água tratada e consumo médio mensal de energia da ETA. Nessas análises foi desconsiderada a energia gasta no bombeamento e na captação para que haja coerência nos resultados, visto que, do contrário, precisaria ser utilizado o volume de captação de água. Nesse ponto, surge um outro detalhe importante a ser observado: o volume de água tratado na ETA tem uma diferença média percentual de 1% a menos do que o volume de água captada, o que, possivelmente, representa as perdas de água durante o bombeamento até a estação, além do consumo durante o tratamento.

Uma outra análise de interesse é a verificação da disponibilidade hídrica do setor em comparação com a demanda da população. O índice mais recente de consumo *per capita* registrado (2022) é de 152,72 l/dia, que, quando aplicado para a população calculada em 2021 pelo IBGE, de 96.102 pessoas, que é o último número oficial de habitantes publicado, resulta em um consumo mensal de 440.300.923,20

litros de água, ou 440.300,92 m³. Confrontando essa quantidade com o volume médio mensal de água tratado pela ETA, de 558.549 m³ (Quadro 6), tem-se uma diferença percentual de 26,86% entre consumo e produção; tal diferença explica-se pelo fato de que a análise *per capita* se restringe ao consumo doméstico, não levando em conta os consumos industrial e público, ou seja, por essa estimativa, do volume total de água tratada na ETA, 78,83% é destinado ao consumo doméstico e, como fica subentendido, os outros 21,17% são destinados a esses outros fins.

Diante disso, pode-se avaliar que o SAA de Campo Mourão, com sua disponibilidade de água tratada, supre a demanda do município, mas é importante destacar que isso se refere à população total que é atendida pela ETA, que trata apenas a água do Rio do Campo, não refletindo na população que é abastecida pelos mananciais subterrâneos; também vale ressaltar que, tendo em vista que o cálculo foi feito para a população aferida em 2021, essa demanda poderia ser maior, se aplicada a mesma relação para a população de 2023.

Já para o estudo do grau de interdependência entre água e energia foi aplicada a equação de Pearson (Equação 1) em 3 correlações:

- 1) Volume de água consumida no processo de tratamento x volume de água tratada;
- 2) Volume de água consumida no processo de tratamento x consumo de energia da ETA;
- 3) Consumo de energia total x volume de água captada.

O critério de escolha dessas três correlações específicas foi o de comparar as quantidades de água e energia consumidas com a quantidade de água tratada, o que é, afinal, o principal propósito da aplicação de Pearson nesta pesquisa. Para a obtenção do consumo de energia total foram somados os consumos de energia da captação e bombeamento com o consumo da ETA. Outro detalhe importante a ser mencionado é que os volumes de água consumidos no processo foram apresentados em um único valor, ou seja, não há separação de consumo em captação, tratamento e distribuição, daí a importância de converter o consumo de energia em um valor que abranja, também, todas as etapas, para aplicar na equação. Os resultados encontrados para r estão dispostos no Quadro 7.

Quadro 7 – Valores de r para as correlações estabelecidas

CORRELAÇÃO	GRAU DE INTERDEPENDÊNCIA (r)
Volume de água consumida no processo de tratamento x volume de água tratada	-0,145
Volume de água consumida no processo de tratamento x consumo de energia da ETA	0,1581
Consumo de energia total x volume de água captada	0,051

Fonte: Autoria própria (2023)

Baseando-se na explicação de Cohen (1988), anteriormente citada, foram adotados os seguintes intervalos para interpretar a magnitude do coeficiente r :

- $0,10 \leq r \leq 0,29$: escore pequeno, indicando uma associação linear fraca;
- $0,30 \leq r \leq 0,49$: escore médio, indicando uma associação linear moderada;
- $0,50 \leq r \leq 1,00$: escore alto, indicando uma associação linear forte.

Como resultado, verificou-se que a relação de maior escore é a apresentada entre os consumos de água e de energia da ETA, embora classificada como uma associação linear fraca (0,1581), segundo Cohen (1988), mas que sugere que, quanto mais água se consome para tratar água, no que diz respeito à lavagem dos filtros e demais processos, mais energia se gasta, confirmando a associação entre essas variáveis; as outras correlações, por sua vez, também apresentaram escore baixo, provavelmente em função da diferença relevante que há entre as quantidades de energia e água consumidas e o volume de água tratada, mas, ainda assim, comprovam a existência da interação por apresentarem valores de r diferentes de 0.

7 CONCLUSÃO

O nexos água-energia tem se mostrado uma importante ferramenta para a análise de consumo e produção desses recursos, seja qual for o objeto de estudo. No caso do sistema de abastecimento de água, a relação de dependência entre água e energia se torna crítica, visto que a “produção” de água, que aqui entende-se como o processo de captação, tratamento e distribuição, requer energia, assim como a produção de energia requer o uso de água.

Os indicadores utilizados para a análise do nexos água-energia no SAA de Campo Mourão tiveram o intuito de evidenciar a força dessa relação. A matriz de impacto ambiental revela que os impactos provocados pelo funcionamento do SAA têm uma ocorrência moderada, visto que, dos 19 impactos analisados, 4 apresentam baixa ocorrência, 10 apresentam média ocorrência e 5 apresentam ocorrência alta, quando categorizados nas etapas envolvidas no processo, o que sugere que o setor ainda depende de melhorias nesse aspecto.

Quando levantados os dados referentes à captação e ao tratamento de água, foi constatado que a quantidade de água captada/tratada é significativamente maior que as quantidades de água e energia consumidas no processo, o que foi corroborado pelas proporções apresentadas para cada 1 m³ de água tratada, de 0,011 m³/m³ e 0,221 kWh/m³, respectivamente; tal fato sugere que o setor opera com eficiência nos processos e busca redução de desperdícios.

Além disso, pôde-se observar, por meio do coeficiente de Pearson, que existe uma interação entre as variáveis água e energia em diferentes análises do processo, de modo que a correlação mais significativa, de 0,1581, classificada como de escore baixo, se deu entre as quantidades de água e energia consumidas na ETA, demonstrando que, quanto mais água se gasta para tratar água, mais energia se gasta também, o que poderia aferir um grau baixo de interdependência entre a água e a energia envolvidas nos processos, a partir dos dados analisados, mas que, por si só, não leva a um resultado conclusivo em virtude da ausência de dados de perda e da análise das variáveis secundárias envolvidas (índices pluviométricos, temperatura, etc.).

Por fim, tendo em vista que o nexos água-energia pôde ser evidenciado na operação do SAA, é possível que sejam estudadas maneiras de aplicar o entendimento dessa relação na busca por soluções inovadoras e sustentáveis de

prover o funcionamento do sistema, através do aumento da eficiência e da diminuição de perdas e desperdícios, além da minimização dos impactos ambientais.

Algumas sugestões nesse aspecto, com base na análise de dois dos impactos com maior ocorrência apresentados na matriz de impacto ambiental (falha no tratamento ou uso inadequado de produtos químicos e alteração da qualidade da água devido à retirada), poderiam incluir melhorias no processo de aplicação de produtos químicos na água durante o tratamento, a fim de reduzir a quantidade de água desperdiçada devido a dosagens erradas, por exemplo; o que diminuiria, também, os impactos causados por essa ação e, conseqüentemente, influenciaria diretamente no nexo água-energia dessa correlação.

Uma outra aposta poderia ser a aplicação de métodos para o controle de erosão e sedimentação na fonte de captação, com o intuito de preservar a qualidade da água, por exemplo; o que, também, teria influência sobre o nexo água-energia, uma vez que a água bruta captada teria menos resíduos e impurezas e poderia ser tratada com menores consumos de água e energia.

Diante de tudo o que foi aqui exposto, fica, por fim, um adendo ao setor da construção civil e ao profissional que o representa, que é papel do engenheiro civil, enquanto aquele que projeta, planeja e coordena a logística de operação do SAA, ter conhecimento desses fatos para oferecer o cenário mais sustentável à implantação e ao funcionamento de um sistema de abastecimento de água.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Perdas de água em sistemas de abastecimento: índices e nova tecnologia**, 2020. Disponível em: <https://abes-es.org.br/perdas-de-agua-em-sistemas-de-abastecimento-indices-e-nova-tecnologia/>. Acesso em: 21 nov. 2022.
- BARROS, R. T. V. *et al.* Saneamento. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995. (**Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios – volume 2**).
- BRANDÃO, Alisson Meireles. Interação Água e Energia: **Energia para Água. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Departamento de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental**, Feira de Santana, BA, 2014.
- BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 jul. 2020.
- CAETANO, G. M. **Projeto de tratamento de água de abastecimento para uma cidade de 50000 mil habitantes**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal Fluminense, 2016.
- CALIFORNIA ENERGY COMMISSION. **California's Water – Energy Relationship: Final Staff Report**, November 2005, CEC-700-2005-011-SF.
- CHEN, S.; CHEN, B. Urban energy–water nexus: a network perspective. **Applied Energy**, London, v. 184, p. 905–914, 2016.
- COHEN, Jacob. (1988), **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. Hillsdale, NJ, Erlbaum.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 001/1986**.
- COSTA JÚNIOR, M. A. F. da. *et al.* **Manual de Impactos Ambientais do Saneamento**. 2013.
- DANIEL, L.A. *et al.* **Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável**. Rio de Janeiro: Ri Ma, ABES, 2001.
- DANTAS, Felipe von Atzingen. *et al.* **Uma análise da situação do saneamento no Brasil**. 2012.
- DUAN, C.; CHEN, B. Energy–water nexus of international energy trade of China. **Applied Energy**, London, v. 194, p. 725–734, 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2022**. 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>. Acesso em: 21 nov. 2022.

FOLLADOR, K.*et al.* Saneamento básico: meio ambiente e saúde. **Uningá Review** Vol. 23: 24-28, 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The Water-Energy-Food Nexus: A new approach in support of food security and sustainable agriculture**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Towards a water and food secure future: critical perspectives for policy-makers**. Roma: FAO & WWC, 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED. **Coping with water scarcity: an action framework for agriculture and food security**. Roma: FAO, 2012.

GARSON, G. D. **Stat notes: Topics in Multivariate Analysis, 2009**. Disponível em: <http://faculty.chass.ncsu.edu/garson/PA765/statnote.htm>.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GJORGIEV, B.; SANSVINI, G. Water-energy nexus: Impact on electrical energy conversion and mitigation by smart water resources management. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 148, p. 1114–1126, 2017.

GUIMARÃES, L. T. **Proposta de um Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável para Bacias Hidrográficas**. 2008. 253 f. Tese (Doutorado em Ciência em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

HAQUE, M. M.; RAHMAN, A.; SAMALI, B. Evaluation of climate change impacts on rainwater harvesting. **Journal of Cleaner Production**, v. 137, p. 60–69, 2016.

HE, G.*et al.* The water–energy nexus: energy use for water supply in China. **International Journal of Water Resources Development**, v. 35, n. 4, p. 587-604, 2019.

HELLER, L., 1997. **Saneamento e Saúde. Organização Pan-Americana da Saúde**, Brasília.

HOFF, H. **Understanding the Nexus. Background Paper for the Bonn 2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus**. Stockholm Environment Institute, Stockholm. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Indicadores de Desenvolvimento Sustentável – Brasil. **Estudos e Pesquisas. Informação Geográfica**, V. 9. 2012.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Water for Energy: Is energy becoming a thirstier resource?** Excerpt from the World Energy Outlook 2012. 2012. Disponível em: http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2012/WEO_2012_Water_Excerpt.pdf.

KENWAY, S. J. *et al.* **Water-energy futures for Melbourne: the effect of water strategies, water use and urban form.** CSIRO: Water for a Healthy Country National Research Flagship, 2008a.

KENWAY, S. J.; PRIESTLEY, A.; COOK, S.; INMAN, M.; GREGORY, A.; HALL, M. **Energy use in the provision and consumption of urban water in Australia and New Zealand.** CSIRO: Water for a Healthy Country National Research Flagship, 2008b.

LARSEN, T. A. *et al.* Emerging solutions to the water challenges of an urbanizing world. **Science**, v. 352, n. 6288, p. 928-933, 2016.

LEE, M.; *et al.* Water-energy nexus for urban water systems: A comparative review on energy intensity and environmental impacts in relation to global water risks. **Applied Energy**, v. 205, p. 589-601, 2017.

LEOPOLD, L. B. *et al.* A procedure for evaluating environmental impact. **U. S. Geological Survey**, Washington: Geological Survey 1971. 13p. Circular 645.

LIMA, V.R.S. **Eficiência energética em sistemas de saneamento básico sob a perspectiva do nexo água, energia e alimentos.** 2022. Dissertação (Mestrado em ciências) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

LUBEGA, W. N.; FARID, A. M. Quantitative engineering systems modeling and analysis of the energy–water nexus. **Applied Energy**, v. 135, p. 142–157, 2014.

MARIANI, Leidiane *et al.* Análise de oportunidades e desafios para o Nexo Água-Energia. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Vol. 37, maio 2016, Edição Especial Nexo Água e Energia. DOI: 10.5380/dma.v37i0.45046.

MEDEIROS, João Bosco. **Redação Científica: prática de fichamentos, resumos e resenhas.** 13. Ed. São Paulo: Atlas, 2019.

METZGER, E. *et al.* **Water-energy nexus: Business risks and rewards.** [s.l.] World Resources Institute, 2016.

MO, W.; NASIRI, F.; ECKELMAN, M. J.; ZHANG, Q.; ZIMMERMAN, J. B. Measuring the Embodied Energy in Drinking Water Supply Systems: A Case Study in The Great Lakes Region. **Environment Science Technology**, v. 44, p. 9516–9521, 2010.

MOHTAR, R. H.; DAHER, B. **Water, energy, and food: The ultimate nexus. Encyclopedia of agricultural, food, and biological engineering.** CRC Press, Taylor and Francis Group, 2012.

MUCELIN, C. A.; BELLINI, M. Lixo e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano. **Sociedade & Natureza**, v. 20, n. 1, p. 111–124, 1 jun. 2008.

PAINELSANEAMENTO BRASIL. Disponível em: [//www.painelsaneamento.org.br/localidade/index?id=410430](http://www.painelsaneamento.org.br/localidade/index?id=410430). Acesso em: 15 maio 2023.

SCOTT, C.; KURIAN, M.; WESCOAT, J. **The Water-Energy-Food Nexus: Enhancing Adaptive Capacity to Complex Global Challenges**. In: Kurian, M., Ardakanian, R. (Eds.), *Governing the Nexus: Water, Soil and Waste Resources Considering Global Change*. Springer, Dordrecht. 2015.

SIDDIQI, Afreen; ANADON, Laura Diaz. The water–energy nexus in Middle East and North Africa. **Energy Policy**, v. 39, p. 4529–4540, 2011.

SILVA, A. S.; GHISI, E. Uncertainty analysis of daily potable water demand on the performance evaluation of rainwater harvesting systems in residential buildings. **Journal of Environmental Management**, London, v. 180, p. 82–93, 2016.

SILVA, V. B. da; Gasparetto, N. V. L. (2016). Qualidade da água na sub-bacia do rio do Campo - Campo Mourão - PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 9(2), 585-600.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/>. Acesso em: 21 nov. 2022.

SOARES, S. C. *et al.* Resiliência climática e a questão hídrica como desafio contemporâneo /climate resilience and the water issues as a contemporary challenge. **International Journal of Environmental Resilience Research and Science**, v. 3, n. 1, 10 mar. 2021.

SOUZA, D. L. A. de., 2016. **Análise dos impactos ambientais relacionados às perdas de água em rede de distribuição**: estudo de caso em Olinda/PE. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco.

TAJCHMAN, K. A revised approach to the energy-water nexus using place-work-folk and energy balance theories of Patrick Geddes. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 166, n. June, p. 85–89, 2017.

TARDELLI FILHO, J. Controle e redução de perdas. In: TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água**. Ed.1. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004. 643 p.

THIEDE, S. *et al.* Multi-level simulation in manufacturing companies: The water-energy nexus case. **Journal of Cleaner Production**, v. 139, p. 1118–1127, dez. 2016.

TRATA BRASIL. **Perdas de Água 2020 (Ano Base 2018) – Desafios à Disponibilidade Hídrica e Necessidade de Avanço na Eficiência do Saneamento**. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/perdas-de-agua-2020-ano-base-2018-desafios-a-disponibilidade-hidrica-e-necessidade-de-avanco-na-eficiencia-do-saneamento/>. Acesso em: 21 nov. 2022.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Water, sanitation, hygiene, and waste management for the COVID-19 virus: interim guidance**. World Health Organization, 2020.
Disponível em: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331846/WHO-2019-nCoVIPC_WASH-2020.3-eng.pdf. Acesso em: 19 mar. 2023.

WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME (UNITED NATIONS; UN-WATER). **The United Nations world water development report 2014**. Paris: United Nations Educational, Scientific And Cultural Organization, 2014.

UNITED STATE DEPARTMENT OF ENERGY. **Energy demands on water resources: Report to Congress on the Interdependencies of Energy and Water**. DOE Report to Congress, Washington, 2006.

UPSHAW, C. R.; RHODES, J. D.; WEBBER, M. E. Modeling electric load and water consumption impacts from an integrated thermal energy and rainwater storage system for residential buildings in Texas. **Applied Energy**, v. 186, p. 492–508, jan. 2017.

VALEK, A. M.; SUŠNIK, J.; GRAFAKOS, S. Quantification of the urban water-energy nexus in México City, México, with an assessment of water-system related carbon emissions. **Science of The Total Environment**, v. 590-591, p. 258–268, jul. 2017.

VERGÍNIA, F. D. **Monitoramento da Estação de Tratamento de Água do Município de Imbituba-SC**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2017.

ZHANG, X.; VESSELINOV, V. V. Energy-water nexus: Balancing the tradeoffs between two-level decision makers. **Applied Energy**, v. 183, p. 77–87, dez. 2016.

SOARES, R. **Consumo de energia elétrica em Sistemas de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário no Brasil**. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2017.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de Água**. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

APÊNDICE A – SOLICITAÇÃO ENVIADA À SANEPAR

SOLICITAÇÃO DE ACESSO AOS DADOS DA ETA DE CAMPO MOURÃO

1. Captação

- 1.1. Qual é o volume mensal de água captada que é direcionado para a Estação de Tratamento de Água (ETA)?
- 1.2. Qual é a quantidade de energia mensal utilizada no processo de bombeamento da água até a ETA?

2. Tratamento

- 2.1. Qual é a quantidade de água tratada mensalmente na ETA?
- 2.2. Qual é a quantidade de água utilizada mensalmente para a lavagem de filtros e outros processos na ETA?
- 2.3. Qual é a quantidade de energia consumida mensalmente nos processos de tratamento na ETA?
- 2.4. Quais são os gastos adicionais de energia e água durante os processos de tratamento de água, como o uso de produtos químicos e processos de filtração?

3. Distribuição

- 3.1. Qual é a quantidade de água direcionada para a rede de distribuição mensal?
- 3.2. Qual é a quantidade de energia utilizada nesse processo, se houver (por exemplo, para bombeamento de água, embora seja esperado que não haja)?
- 3.3. Quais são os gastos adicionais de energia e água durante o processo de distribuição de água, como a manutenção da rede de distribuição e o uso de equipamentos para garantir a pressão adequada da água?
- 3.4. Qual é o número atual de ligações na rede da Sanepar na cidade? Esta informação pode variar constantemente e seria necessário verificar os dados mais atualizados da empresa para obter essa informação.