

Received:  
April 14, 2024

Accepted:  
April 28, 2025

Published:  
April 30, 2025

## Study of Electricity Generation in Basic Sanitation Systems in Teófilo Otoni/MG

Larissa Gonzaga de Carvalho Silva<sup>1</sup> , Tuane de Oliveira Dutra<sup>1</sup> , Luan Brioschi Giovanelli<sup>1</sup> , Francisco César Dalmo<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Teófilo Otoni, Brasil.

### Email address

larissa.gonzagacs812@gmail.com (Larissa G. C. Silva) – Corresponding author.

luan.giovanelli@ufvjm.edu.br (Luan B. Giovanelli)

tuane.dutra@ufvjm.edu.br (Tuane O. Dutra)

francisco.dalmo@ufvjm.edu.br (Francisco C. Dalmo)

### Abstract

The aim of this study was to evaluate the implementation of different sources of energy generation in the facilities of the basic sanitation service companies that serve the municipality of Teófilo Otoni, Minas Gerais. It is, therefore, the water supply collection system and the sanitary sewage treatment system. The systems are operated by Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA). The energy potential was calculated based on the power and energy equations and was taken into account the quantity of each resource. In the water collection system, the volume of water collected for supply was considered; in the sewage treatment plant, the volume of sewage treated was considered. For each energy potential, the total value was multiplied by the corresponding energy price in the last auctions in which each source participated. In view of the estimated revenue, a financial balance was made concerning energy costs in the water supply and sewage system. Finally, it was found that the financial savings would be positive in the short term if the generation projects were implemented, which could reduce the fees and tariffs applied to sanitation systems.

**Keywords:** Water collection, Sewage treatment, Renewable energy.

## 1. Introduction

A redução da emissão de carbono no setor energético tem pautado as reuniões em todo o mundo que buscam discutir os caminhos, as metodologias e as tecnologias que devem ser adotadas para viabilizar e concretizar essa redução na geração, no uso e no consumo de energia elétrica (Banco Mundial, 2010; Escada and Andrade, 2023).

O setor de saneamento, que inclui os sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, é um conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de serviços (Brasil, 2020), que necessitam de energia para o seu funcionamento (Governo do Paraná, 2021). Diante dos insumos e recursos que esses operam como a água e o esgoto, estes podem ser utilizados para a geração de energia elétrica (Parente Costa and Abreu, 2018).

Dessa forma, considerando a crescente demanda de energia do setor, o que reflete na ampliação dos custos de operação, torna-se necessária a busca e a implementação de ações constantes de alternativas de eficiência energética nesses sistemas (Nascimento et al, 2023). As despesas com energia elétrica representam em média 14,5% da despesa total corrente ou de custeio das companhias de saneamento no Brasil (MDR, 2019).

Nota-se, então, que as empresas e as prefeituras responsáveis pelos sistemas de água e esgoto despendem de grandes quantias financeiras para operação e manutenção (Brasil Energia, 2022), e nem sempre conseguem atingir uma eficiência energética para atender os requisitos normativos estabelecido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2022). Assim, a implementação de alternativas de geração de energia elétrica pode contribuir não só para

minimizar as despesas financeiras, bem como melhorar a operação dos sistemas e diminuir as tarifas repassadas aos consumidores.

Dentre as ações de eficiência energética está a geração de energia elétrica por meio de fontes de energias renováveis. No Brasil, a mini e micro geração hidrelétrica, o aproveitamento energético do biogás de aterro e de estações de tratamento de esgoto, e a energia solar (ANEEL, 2022), podem contribuir para tornar as companhias de saneamento e as prefeituras municipais em geradores de energia elétrica.

Essa possibilidade ocorre, sobretudo a partir do arcabouço legal vigente no país, perante a publicação da Resolução Normativa N° 1.059 (ANEEL, 2023), que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.

Neste contexto, o presente projeto tem como objetivo avaliar a implantação de diferentes fontes de geração de energia nas instalações das empresas prestadoras de serviço de saneamento básico que atendem o município Teófilo Otoni, situado no estado de Minas Gerais. Dentre os objetivos específicos, estão: calcular o potencial energético considerando as fontes de geração: central geradora hidrelétrica (CGH), e aproveitamento do biogás de estações de tratamento de esgoto; levantar o consumo de energia para o sistema de água e de esgoto; verificar o abatimento nas despesas atuais, com a implantação das fontes alternativas.

## 2. Referencial Teórico

Saneamento básico é o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de: Abastecimento de água, que está relacionado às atividades de captação, tratamento e distribuição de água até as instalações prediais; Esgotamento sanitário, o qual envolve a coleta, o transporte dos esgotos desde as instalações prediais até o seu destino final (tratamento, reuso ou lançamento no meio ambiente); Limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, engloba a coleta ao tratamento e a destinação final de resíduos domiciliares e de limpeza urbana; e Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, constituído pela drenagem de águas pluviais com intuito de amortecer vazões de cheias, além da destinação dessa água pluvial (ANA, 2022).

Em outras palavras, o saneamento básico foi criado para que a população tenha acesso à água em quantidade e qualidade adequada, cidade limpa e sem alagamentos e a destinação segura de seus resíduos sólidos. Ter saneamento básico é um indicador para um país poder ser classificado como desenvolvido. Os serviços de água tratada, coleta e tratamento dos esgotos levam à melhoria da qualidade de vida das pessoas e do meio ambiente (ANA, 2022).

### 2.1. Sistema de abastecimento de água

O abastecimento de água é importante para a sociedade, pois a água é um recurso imprescindível para as pessoas, tanto que é o objetivo número 6, dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas, que visa assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos (ONU, 2022). E para distribuição desse recurso de forma racional, as empresas especializadas são as responsáveis por cada etapa até que chegue às moradias.

Além da distribuição, essas empresas também atuam no tratamento da água em um local denominado como Estação de Tratamento de Água (ETA), e por essa água ser utilizada de diversas formas e ser destinada a várias estruturas das cidades, por exemplo, escolas e hospitais. Assim, é preciso manter um padrão de qualidade no tratamento para torná-la potável, conforme os padrões estabelecidos pela Portaria GM/MS n° 888/2021.

Para obter o padrão de potabilidade no tratamento da água, a Companhia de Abastecimento de Água do estado de Minas Gerais (COPASA) cumpre 8 etapas. Precedendo o tratamento ocorrem duas etapas: captação, onde a água do manancial é captada e direcionada através de adutoras de água bruta até a ETA, e esta é introduzida para o tratamento preliminar com grades, de forma que o acúmulo de grandes resíduos não passe adiante (COPASA, 2018).

No tratamento da água ocorrem as etapas de coagulação, quando é adicionado sulfato de alumínio à água, promovendo a união de componentes; na floculação a água passa por uma agitação mecânica, formando flocos de impurezas; já na decantação, os flocos de impureza são depositados no fundo dos decantadores e transformam em lodo; já na filtragem, a água passa por completa remoção de resíduos menores; e na

pós-alcalinização, ocorre a desinfecção e a fluoretação, eliminam vírus e bactérias e corrige-se o pH da água; pôr fim, ocorre a reservação e distribuição (COPASA, 2018).

## 2.2. Sistema de esgotamento sanitário

O sistema de esgotamento sanitário está relacionado desde o recolhimento residencial ao tratamento do esgoto. Isso envolve coletar, transportar, tratar e retornar o líquido de forma adequada o aos leitos dos rios ou mares. O tratamento do esgoto ocorre nas Estações do Tratamento de Esgoto (ETE), e passa por etapas até ser retornado ao ambiente (Abreu, 2020).

Ele pode ser advindo de residências, sendo aquele de hábitos higiênicos e fisiológicos, denominado esgoto doméstico. Já o esgoto não doméstico é aquele recolhido em comércios, indústrias entre outras atividades produtivas. (FUNASA, 2019).

Quando não recolhido de forma correta pode acarretar em mau cheiro onde ele estiver sendo despejado, a céu aberto e sem o devido tratamento, atrair animais a essa área e causar doenças a população que habita ao redor, além de ser prejudicial ao meio ambiente gerando problemas nos aquíferos, rios e lagos (Abreu, 2020).

A etapa inicial do tratamento é realizada por meio dos coletores secundários que escoam o fluido e os componentes sólidos por meio da gravidade até o coletor tronco, o qual conduz os efluentes para um interceptor ou emissário. O interceptor já não recebe ligações prediais diretas e o emissário é uma tubulação que transporta os esgotos a um destino, como a ETE. Nesta, ocorrerá a depuração dos esgotos para possibilitar o seu retorno aos corpos d'água (FUNASA, 2019).

Alguns fatores podem atrapalhar esse processo, como ligações clandestinas adentrando nas tubulações indevidamente, aumentando a vazão, resultando em um volume de esgoto não projetado para tratamento na ETE. O sistema utilizado na área de estudo é do tipo “separador absoluto”, que constitui a veiculação do esgoto sanitário em um sistema independente das águas pluviais (FUNASA, 2019).

## 2.3. Situação no Brasil e na cidade de Teófilo Otoni, MG

O saneamento básico é um direito de necessidade imediata, pois, sua ausência ou deficiência influencia negativamente na qualidade de vida e saúde da população. Independente da região em que habita, a população deve ter acessos básicos de saneamento que mantenham a salubridade ambiental, com intuito de prevenir o surgimento de doenças, como as de transmissão feco-oral (Santos et al, 2018).

Com base nos dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento 2021 (MDR, 2023), 177,0 milhões de brasileiros têm acesso à água tratada, enquanto outros 117,6 milhões têm acesso à coleta e tratamento de esgoto em suas residências.

Na Tabela (1) são apresentados os dados dos sistemas de saneamento básico que inclui o abastecimento de água e o esgotamento sanitário em relação ao atendimento da população do Brasil, da região sudeste, do estado de Minas Gerais e do município de Teófilo Otoni.

Tabela 1– População com saneamento, 2020 (Adaptada do MDR, 2023).

Local	Abastecimento de água (% populacional)	Esgotamento sanitário (% populacional)
Brasil	84,1%	55,0%
Sudeste	91,3%	80,5%
Minas Gerais	82,7%	77,4%
Teófilo Otoni	70,7%	61,4%

Na Tabela (1), observa-se que no Brasil apenas 84,1% da população possui abastecimento de água, essa porcentagem aparenta ser um valor alto, entretanto, mostra que cerca de 34 mil habitantes não possuem abastecimento de água. Isso prova que a garantia do acesso universal e de qualidade ao saneamento básico no Brasil ainda é um grande desafio e que estudos precisam ser realizados para uma maior eficiência.

Em relação ao esgotamento sanitário, pouco mais da metade da população possui acesso a esse tipo de serviço. Nota-se que a população de Teófilo Otoni é atendida por 70,7% do sistema de abastecimento de água e 61,4% do sistema de esgotamento sanitário. Além do desafio de atender a toda a população, a Prefeitura Municipal de

Teófilo Otoni (PMTO), ainda tem que se preocupar com os gastos em manter e em aprimorar sua infraestrutura, já que a tecnologia e a engenharia estão em constante avanço.

O novo marco regulatório do saneamento básico, Lei nº 14.026/2020, estabelece metas de universalização dos serviços de saneamento básico. A meta é que 99% da população brasileira tenha acesso à água potável e 90% tenha acesso à coleta e tratamento de esgotos até o ano de 2033 (Brasil, 2020).

### **2.3. Energias renováveis relacionadas ao consumo de energia elétrica**

A preocupação gerada devido aos gastos com a energia elétrica ocasiona uma crescente necessidade na utilização de outros recursos para diminuir esses gastos juntamente com a preocupação dos impactos ambientais produzidos pelas energias não renováveis como o petróleo, gás natural, carvão mineral e combustíveis nucleares. Devido a isso, as fontes de energias alternativas renováveis vêm numa crescente aceleração, como a eólica, hidráulica e solar. Algumas vantagens desse modelo de energia: aumento da diversidade de oferta de energia, maior geração de empregos no setor energético e novas oportunidades nas regiões rurais, além de ter a maior consistência dos serviços prestados, reduzindo as falhas do sistema, em relação a energia elétrica (Santana et al, 2020).

Para Borja (2014), os desafios ao saneamento básico no Brasil relacionam-se com a manutenção e ampliação dos atuais recursos de investimentos; com a melhoria da capacidade técnica e institucional dos prestadores de serviços; com a qualificação do gasto público; e a melhoria da capacidade financeira dos prestadores dos serviços.

Para essa melhoria nos gastos públicos é necessário observar a energia utilizada para o saneamento básico da cidade. Segundo a organização “Aliança para Economizar Energia” (ASE), o consumo de energia elétrica em sistemas de saneamento é em média 3% do que é gerado em todo o mundo e no Brasil, representa o terceiro maior custo das empresas prestadoras de serviços de saneamento (Lima, 2022).

No Brasil, a principal fonte de geração de energia elétrica é a hidrelétrica, considerada fonte renovável, no entanto ainda há uma grande quantidade de energia gerada por meio de fontes não sustentáveis, especialmente em períodos de

estiagem. Os próprios dejetos orgânicos podem se tornar energia, pois o biogás é produzido por meio do aproveitamento desses dejetos geram uma mistura de gases, em que sua maior parte é composta de metano. Portanto, o biogás torna-se uma fonte de energia alternativa, já que o metano tem grande potencial energético, o que também contribui significativamente na questão ambiental (Paixão et al., 2018; Lins et al, 2022).

Lima (2022, p.42) explica que: “Em sistemas de saneamento, o consumo de energia elétrica está relacionado principalmente ao consumo em unidades de bombeamento para abastecimento de água permitindo o alcance das pressões estabelecidas por norma, e a manutenção da potabilidade após tratamento”. Em sistemas de esgotamento sanitário a energia elétrica é utilizada na coleta e transporte do efluente gerado para tratamento.

Levando esse uso em consideração, para uma melhor eficiência no saneamento urbano o consumo de energia deve ser melhor avaliado (Moura, 2010).

Exemplificando, em 2009 os sistemas de abastecimento de água estaduais no Brasil apresentaram uma média de 17,4% de despesas com energia elétrica, que para muitas empresas representa o segundo maior gasto, em muitos casos, perdendo apenas para as despesas com pessoal próprio. Sendo o que ocorreu com a empresa de abastecimento de água em Minas Gerais, com 16,91% de gastos com despesas de energia elétrica (Moura, 2010).

## **3. Metodologia**

Inicialmente foi realizada uma apresentação do local de estudo, o município de Teófilo Otoni. Posteriormente, são apresentadas as informações dos eixos de abastecimento de água e esgotamento sanitário, utilizadas para o desenvolvimento do trabalho e as etapas de realização.

### **3.1. Localização da área de estudo**

Localizada no nordeste do estado de Minas Gerais, Teófilo Otoni é uma das 27 cidades que fazem parte da região do Vale do Mucuri, Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Teófilo Otoni possui 137.418 habitantes e 3.242 km<sup>2</sup> de área (IBGE, 2022).

A prestação de serviços de saneamento básico sempre foi de responsabilidade municipal. Em

Teófilo Otoni não é diferente, o abastecimento de água e o tratamento do esgoto fica a cargo da terceirizada COPASA. Os sistemas estão localizados na Figura (1).

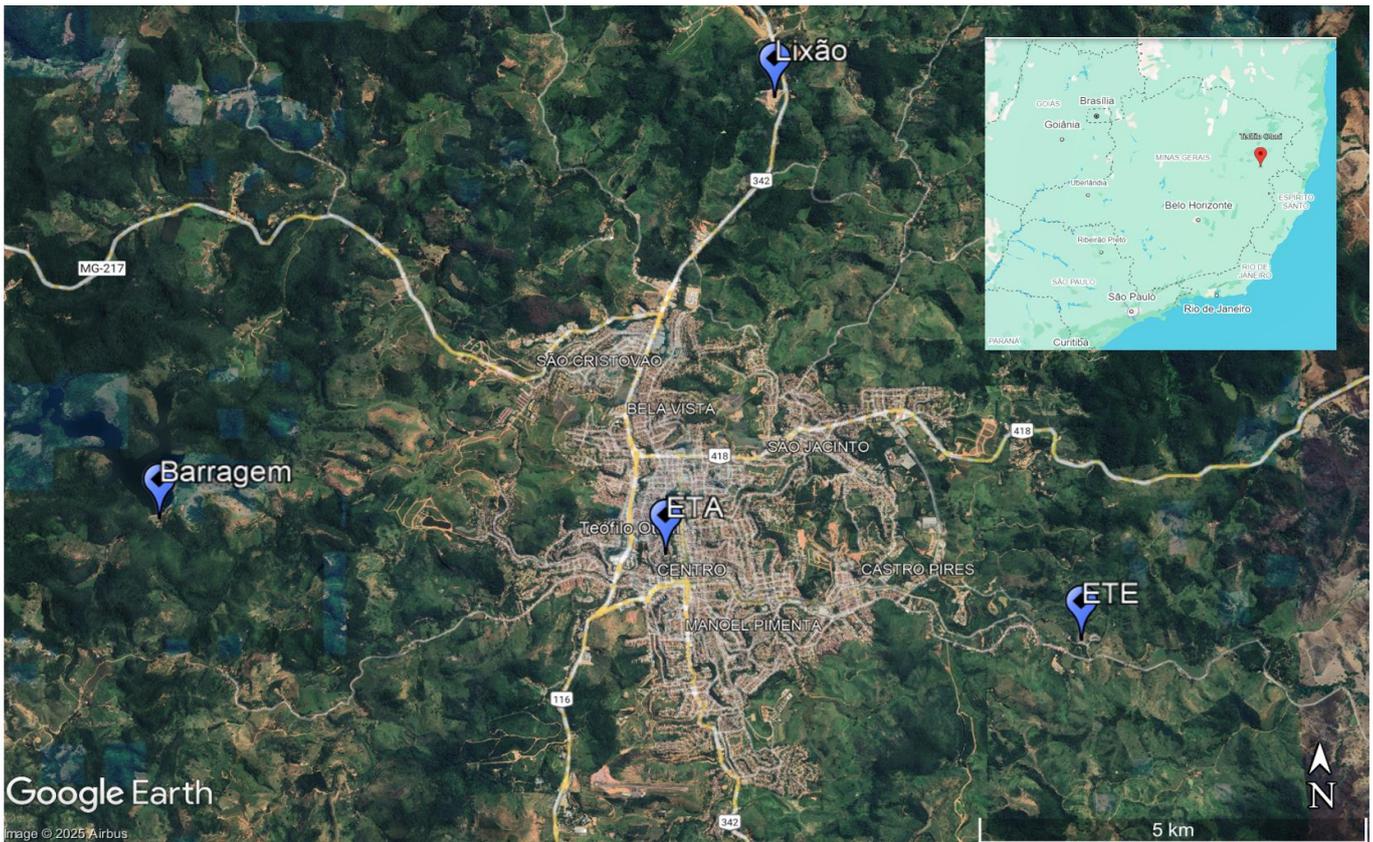


Figura 1 - Localização dos sistemas de saneamento básico. (adaptado de Google Earth, 2023).

O sistema de captação do abastecimento de água está localizado a oeste da cidade de Teófilo Otoni, no Rio Todos os Santos e conectado à Estação de Tratamento de Água (ETA), no centro da cidade, conforme Figura (2). O volume de água

tratada distribuída por dia é de aproximadamente 8.022 m<sup>3</sup>. No ano de 2021, 98.864 habitantes de Teófilo Otoni foram atendidos com abastecimento de água (MDR, 2023).

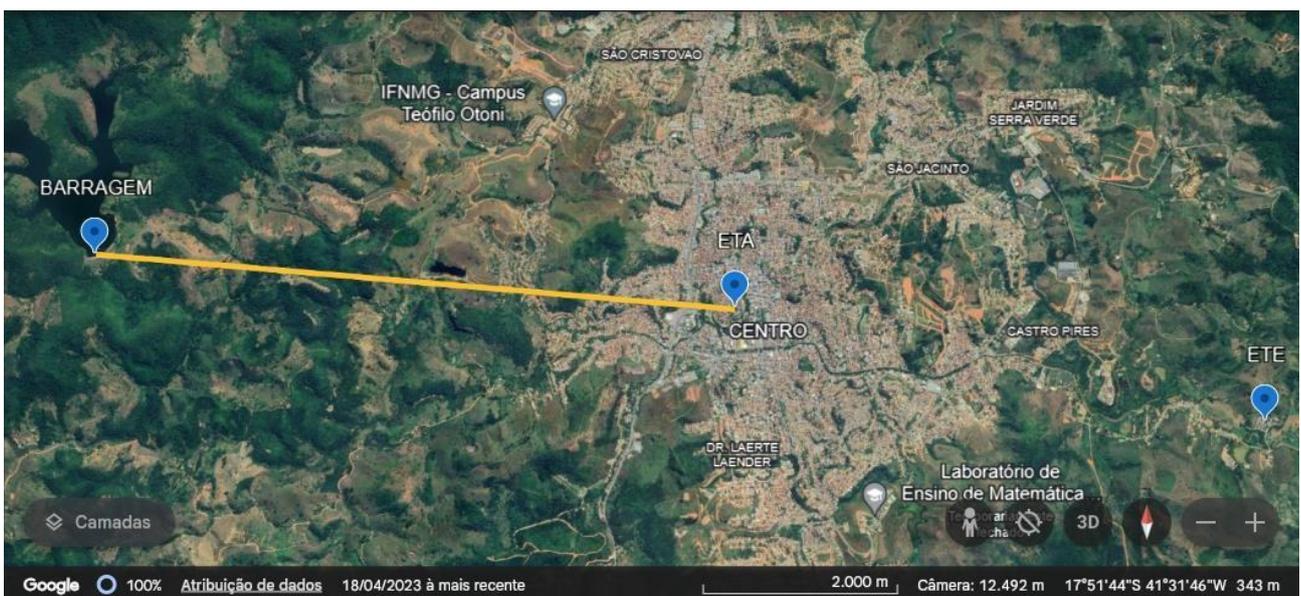


Figura 2 - Localização da barragem do Rio Todos os Santos e da ETA de Teófilo Otoni (adaptado de Google Earth, 2023)

O caminho entre a barragem e a ETA possui um trecho em declive onde a água é transportada por gravidade. Foi analisado o trecho até o final do declive, para averiguar a viabilidade de geração de energia elétrica, através do sistema de abastecimento de água em Teófilo Otoni,

incluindo a queda bruta da água nesse trecho. A Figura (3) (Xavier, 2019, p.36.) representa esse trecho total. Sendo a adução feita por gravidade, o ponto que será realizado o aproveitamento energético é o que precede a estação de elevação até a ETA.

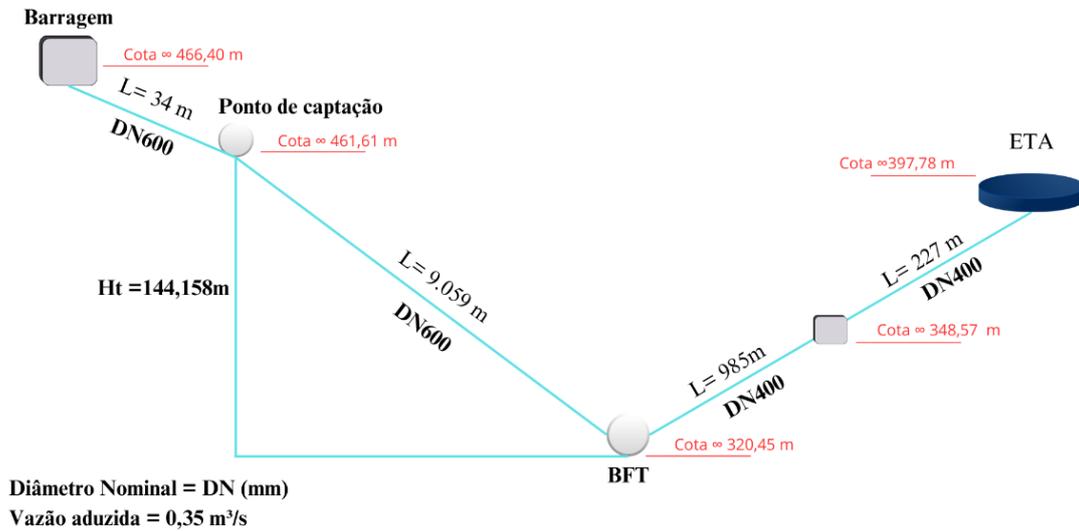


Figura 3 - Croqui do trecho da barragem do Rio Todos os Santos à ETA em Teófilo Otoni.

A Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) está localizada no Bairro Turma 37, região leste de Teófilo Otoni, conforme Figura (4). Sua inauguração ocorreu em 2012, ano em que as

operações começaram. Com 3.513 (1.000 m<sup>3</sup>/ano) de esgoto coletado, apenas 3.217 (1.000 m<sup>3</sup>/ano) é tratado (MDR1).



Figura 4 - Localização da ETE em Teófilo Otoni (adaptado de Google Earth, 2023).

A pesquisa utilizou-se de dados coletados no Sistema Nacional de Informações sobre

Saneamento (MDR, 2011-2021), e para o cálculo de energia elétrica potencial a ser gerada por meio dos

sistemas de saneamento básico na cidade de Teófilo Otoni. Serão adotados dados de leilões de energia elétrica anteriores para transformação do potencial elétrico em um valor financeiro.

Também com dados do MDR (2011-2021), sobre o custo de energia elétrica da Prefeitura Municipal de Teófilo Otoni, foi possível analisar o

impacto econômico provocado por essa energia gerada.

No sentido de melhor compreensão, o fluxograma apresentado na Figura (5), tem objetivo de organizar os dados necessários para o cálculo do potencial elétrico e da energia.

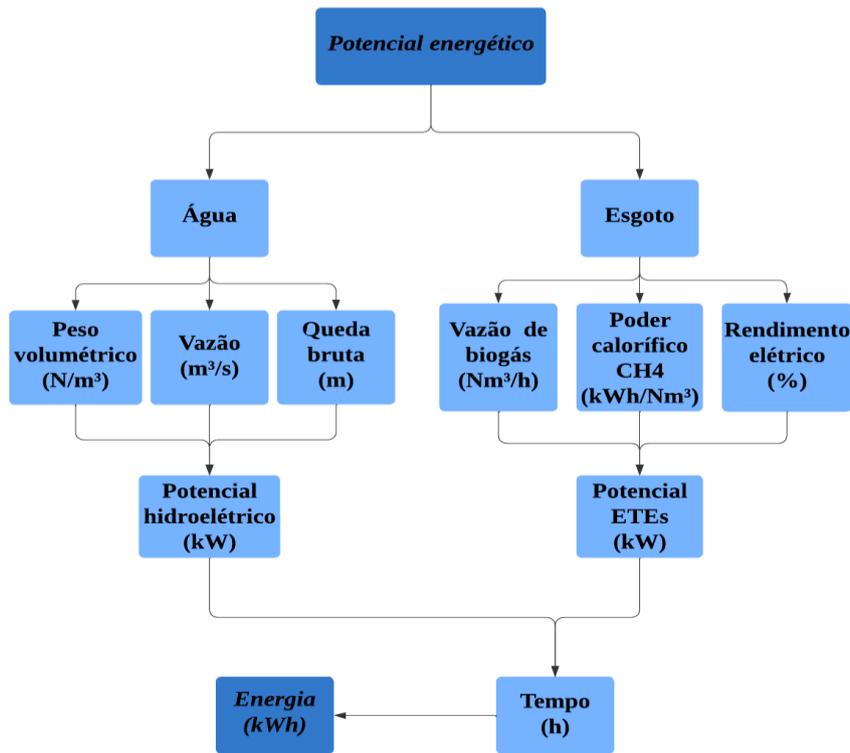


Figura 5 - Fluxograma do cálculo de Energia.

É muito difícil um sistema trabalhar sempre em capacidade máxima, e não é o ideal devido ao desgaste nos equipamentos. Assim, utilizou-se o fator capacidade que significa a porcentagem (%) do tempo de cada aproveitamento do sistema em relação ao tempo medido, ou seja, o tempo que o sistema esteve em funcionamento (EPE, 2019).

### 3.2. Potencial hidrelétrico

Levando em consideração que o cálculo por meio de uma função da vazão de água e da altura de desnível - queda bruta, utilizou-se uma vazão de 0,35 m³/s. Já a queda bruta, desnível entre o ponto mais alto ao mais baixo é de aproximadamente 114 m (Xavier, 2019). Sabendo que o peso volumétrico da água é uma constante de 9.810 N/m³, este pode ser obtido a partir da massa específica ( $\rho$ ) da água multiplicada pela gravidade ( $g$ ), conforme Equação (1):

$$\gamma = \rho \cdot g. \tag{1}$$

Onde:

- $\gamma$  = Peso volumétrico (N/m³);
- $\rho$  = Massa específica (1.000 kg/m³);
- $g$  = Gravidade (9,81 m/s²).

Então a potência hidrelétrica é calculada conforme consta na Equação (2).

$$PH2O = \gamma \cdot Hb \cdot Q \cdot FCH2O \tag{2}$$

Onde:

$PH2O$  = Potencial hidrelétrico (W);

$Q$  = Vazão (m³/s);

$Hb$  = Queda bruta (m);

$\gamma$  = Peso volumétrico (N/m³).

$FCH2O$  = Fator de capacidade da energia hidroelétrica (%);

### 3.2. Potencial energético do biogás advindo do esgoto

Apesar de se assemelhar visualmente com o cálculo da potência advinda da água, para o esgoto os parâmetros são outros, bem diferentes, pois não se utiliza da gravidade para a geração da energia. Em um sistema digestor anaeróbio o biogás aproveitado é o proveniente do digestor de lodo. Então por meio de um motor-gerador na ETE de consumo próprio que se aproveita a energia elétrica potencial gerada (Brasil, 2017).

O cálculo do potencial de energia a partir do biogás gerado nas ETEs se dá por uma função da vazão de biogás, do poder calorífico do metano e do rendimento elétrico do motor gerador. O biogás vindo do processo anaeróbio de digestores de lodo indica teores de metano de 60 a 70% e um poder calorífico entre 6,0 e 7,0 kWh/Nm<sup>3</sup> (Brasil, 2015a). Levou-se em consideração para os cálculos a existência de um gás com o poder calorífico de 6,5 kWh/Nm<sup>3</sup> e um motor-gerador com 38% de eficiência (Brasil, 2015b).

Já para estabelecer a vazão de biogás foi utilizado o software Probio 1.0, que é um programa de estimativa de produção de biogás em reatores Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), desenvolvido por meio de uma parceria técnica e científica entre a Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar) e a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) (Paulino et al, 2022).

Portanto o cálculo da energia potencial gerada a partir do biogás na ETE é feito com auxílio da Equação (3).

$$P_{ETE} = Q_{bio} \cdot PCI \cdot \eta \cdot FC_{bio} \quad (3)$$

Onde:

$P_{ETE}$  = Potencial do biogás na ETE (kW);

$Q_{bio}$  = Vazão de biogás (Nm<sup>3</sup>/h);

$PCI$  = Poder calorífico inferior (kWh/Nm<sup>3</sup>);

$\eta$  = Rendimento elétrico (%);

$FC_{bio}$  = Fator de capacidade da energia do biogás (%).

### 3.3. Cálculo energia elétrica

O cálculo do potencial elétrico é utilizado para posteriormente se encontrar a quantidade de energia elétrica que os sistemas podem gerar. Visto que a energia pode ser encontrada com uma função

do potencial elétrico com o tempo, conforme representado na Equação (4).

$$E = P \cdot \Delta t \quad (4)$$

Onde:

$E$  = Energia (kWh);

$P$  = Potencial Elétrico (kW);

$\Delta t$  = Variação do tempo (h).

A partir da energia de cada sistema, é calculado a energia total por meio de um somatório conforme, Equação (5):

$$EI = (PH2O + PETE) \cdot \Delta t \quad (5)$$

$EI$  = Energia (kWh);

$PH2O$  = Potencial hidrelétrico (kW);

$PETE$  = Potencial do biogás na ETE (kW);

$\Delta t$  = Variação do tempo (h).

### 3.2. Tarifa de energia elétrica

De acordo com a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE, 2023a), os leilões são mecanismos de mercado que visam aumentar a eficiência da contratação de energia, procurando garantir o abastecimento da população com o menor custo. Por meio da CCEE foram analisados leilões para cada sistema de saneamento e por qual meio se obtém a energia elétrica. Assim, foi obtido o produto da energia com o preço de venda, para cada sistema foi utilizada a Equação (6):

$$Receita = E \cdot PVA \quad (6)$$

Onde:

$Receita$  = Montante monetário (R\$);

$E$  = Energia (kWh);

$PVA$  = Preço de venda atualizado.

### 4. Resultados e discussão

Na possibilidade da geração de energia elétrica através do saneamento básico, a presente pesquisa identificou os prestadores de serviço na cidade, efetuou o cálculo do potencial energético de cada sistema e analisou o retorno financeiro dos sistemas.

Diante do funcionamento dos sistemas de saneamento básico de Teófilo Otoni, procedeu-se o cálculo do potencial elétrico para cada sistema

conforme procedimentos elencados por meio da equações descritas na metodologia. O 37º Leilão de Energia Nova, com edital número 004/2022 obtido a partir do Resultado Consolidado dos Leilões de Energia Elétrica por Negociação da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), foi utilizado como parâmetro para a energia hidroelétrica (CCEE, 2023a). Para a energia do biogás o leilão utilizado foi o 23º Leilão de Energia Nova, número do edital 001/2016 (CCEE, 2023b).

Assim, para o sistema de abastecimento de água, considerou-se também o fator de capacidade e a receita proveniente da venda de energia elétrica com base no preço negociado no leilão de energia elétrica. Os resultados estão sintetizados na Tabela (2).

Ainda na Tabela (2), é importante destacar que a vazão utilizada no cálculo da potência foi aduzida durante 24 horas ao longo de um ano, o que reflete o valor da energia durante o período.

Para o cálculo do potencial energético proveniente do sistema de esgotamento sanitário, especificamente na estação de tratamento de esgoto (ETE), considerou-se um intervalo de tempo entre os anos de 2011 e 2021, a população atendida em cada ano, a quantidade de biogás produzida, o fator de capacidade, a potência disponível em cada ano e energia gerada, conforme Tabela (3).

Tabela 2 - Resultados do Cálculo potencial e financeiro hidrelétrico.

Item	Valores	Unidade
Fator de capacidade	71	%
Potência	278	kW
Energia	2.435.280	kWh/ano
Preço de venda atualizado*	0,28964	R\$/kWh
Receita hidrelétrica	705.120	R\$/ano

\*O preço de venda está com data atualizada em 1 de junho de 2023, e considerou a média da venda de 10 usinas entre centrais geradoras hidrelétricas (CGHs) e pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) negociados no 37º Leilão de Energia Nova de 2022 (CCEE, 2023a).

Tabela 3 - Resultados do Cálculo potencial advindo do biogás na ETE.

Ano	Habitantes	Qbiogás (Nm³/h)	FC (%)	Potência (kW)	Energia (kWh/ano)
2011	105.539	59,79	66	97,47	853.858
2012	108.693	61,58	66	100,39	879.444
2013	112.613	63,83	66	104,06	911.575
2014	114.832	65,08	66	106,10	929.426
2015	85.623	48,42	66	78,93	691.417
2016	85.428	48,42	66	78,93	691.417
2017	85.283	48,33	66	78,79	690.227
2018	84.826	48,08	66	78,39	686.657
2019	85.983	48,71	66	79,40	695.582
2020	86.513	49,04	66	79,95	700.342
2021	88.616	50,21	66	81,85	717.003

No caso do potencial gerado na ETE, foram considerados os números de habitantes, fornecidos pelo MDR, que são atendidos com esgotamento sanitário, considerando que não é toda a população de Teófilo Otoni que é contemplada com esse recurso e que os dados podem conter inconsistências.

Para o cálculo da receita proveniente da energia gerada do biogás da ETE, adotou o valor de 0,362 (R\$/kWh) conforme dados do 23º Leilão de Energia Nova ocorrido em 2016 (CCEE, 2023b) e média da energia gerada entre os anos de 2011 e 2021.

Assim, os dados foram compilados na Tabela (4).

Tabela 4 - Resultados do cálculo financeiro para a ETE.

Item	Valor	Unidade
Média Energia	767.904	kWh/ano
Preço de venda atualizado	0,362	R\$/kWh
Receita ETE	277.981	R\$/ano

A energia gerada a partir do biogás é comercializada por um valor superior ao da energia hidrelétrica. No entanto, como a quantidade produzida na ETE é menor, esse sistema apresenta o menor retorno financeiro no intervalo de dez anos.

Entretanto, para saber de fato a economia é necessário considerar qual o consumo de energia elétrica nos sistemas de saneamento básico analisados. Assim, considerando a energia gerada como fonte de energia para o próprio sistema, a energia gerada seria uma alternativa de economia de energia para a PMTO. Foram analisados dados do SNIS quanto ao consumo total de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e tratamento de esgoto, conforme Tabela (5) (MDR, 2023).

Tabela 5 - Consumo total de energia da ETA e da ETE, 2011-2021.

Ano	Consumo de energia na ETA (kWh/ano)	Consumo de energia na ETE (kWh/ano)
2011	3.116.860	160
2012	3.148.740	226.170
2013	2.791.440	313.420
2014	2.808.240	473.570
2015	2.789.680	530.170
2016	2.914.530	492.700
2017	2.796.080	389.200
2018	3.209.240	722.380
2019	3.066.000	788.120
2020	2.947.030	831.740
2021	2.321.330	776.420
Média	2.900.834	504.005

Diante da média do consumo total de energia, é possível considerar os valores de geração de cada sistema e verificar a economia que poderia advir da instalação dessas usinas. Os dados de geração média de cada sistema estão elencados no Tabela (6).

Tabela 6 - Potencial médio de geração de energia.

Sistema	Valor	Unidade
Geração média do potencial hidrelétrico	2.434.470	kWh/ano
Geração média do potencial energético do biogás advindo do esgoto	767.904	kWh/ano

Diante dos dados da Tabela (5) e Tabela (6), é possível fazer a relação entre o consumo médio de

energia e a geração média de energia de cada sistema. Em termo percentuais, o potencial hidrelétrico seria capaz de atender cerca de 72% do consumo total e o potencial do biogás advindo do esgoto cerca de 23% do consumo total.

Em relação às despesas financeiras, considerando a média anual entre 2011 e 2021, o valor total médio anual despendido com energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e de tratamento de esgoto foi de R\$1.783.213,00. Assim, em termos percentuais, o potencial hidrelétrico seria capaz suprir cerca de 40% da despesa média, o potencial do biogás advindo do esgoto cerca de 16% da despesa. Por fim, cabe ressaltar que não houve uma avaliação do custo de implantação das usinas, o que poderia impactar diretamente na relação entre as receitas das usinas dos sistemas de saneamento e a despesa para o pagamento de energia dos sistemas de abastecimento de água e tratamento de esgoto.

## 5. Considerações finais

O trabalho em questão permitiu o conhecimento das diversas possibilidades de geração de energia elétrica por meio dos sistemas de saneamento básico: abastecimento de água e tratamento de esgoto de Teófilo Otoni.

A partir dos resultados obtidos, foi possível constatar que o município de Teófilo Otoni possui um potencial energético que poderia ser aproveitado em ambos os sistemas.

O consumo de energia para os sistemas de saneamento básico, representa um importante custo para o município. Desconsiderando os valores de implantação, conclui-se que o impacto econômico é positivo, consequentemente, caso os empreendimentos de geração fossem implantados, poderia implicar na redução das taxas e tarifas aplicadas nos sistemas de saneamento para os consumidores.

Essas ações poderiam contribuir para a redução do consumo de energia, a melhoria da eficiência energética e a redução dos custos operacionais dos sistemas de saneamento básico do município.

Em trabalhos futuros, sugere-se realizar a avaliação econômico-financeira da implantação das usinas de geração de energia, e os possíveis impactos socioambientais positivos e negativos provenientes de uma futura instalação desses projetos.

## 6. Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha do Mucuri pela bolsa de iniciação científica e incentivo.

## Referências

- Abreu, N., 2020. *Como o esgoto é tratado? Saiba como funciona uma ETE – Estação de Tratamento de Esgoto*. Autossustentável. Available at: <<https://autossustentavel.com/2020/08/como-o-esgoto-e-tratado-conheca-como-funciona-uma-ete.html>> [Accessed 22 March. 2020].
- ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2022. *Saneamento Básico*. Available at: <<https://www.ana.gov.br/saneamento/>> [Accessed 10 February 2023].
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, 2023. *Aprimora as regras para a conexão e o faturamento de centrais de microgeração e minigeração distribuída em sistemas de distribuição de energia elétrica*. Available at: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.pdf>> [Accessed 10 February 2023].
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, 2022. *Micro e Minigeração Distribuída*. Available at: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>> [Accessed 10 February 2023].
- Banco Mundial, 2010. *Estudo de Baixo Carbono para o Brasil*. Available at: <[https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2020/03/Energia\\_Final\\_Portugues.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2020/03/Energia_Final_Portugues.pdf)> [Accessed 10 February 2023].
- Borja, P.C., 2014. *Política pública de saneamento básico: uma análise da recente experiência brasileira*. Saúde e Sociedade, 23(2), pp.432–447. <https://doi.org/10.1590/S0104-12902014000200007>
- Brasil, 2020. *Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Dispõe sobre o Marco Legal do Saneamento Básico*. *Diário Oficial da União*, [online] 16 Jul. Seção 1, pp.1–8. Available at: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-268368328>> [Accessed 10 February 2023].
- Brasil. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2015a. *Probiogás. Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto*. Brasília: Ministério das Cidades.
- Brasil. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2015b. *Probiogás. Tecnologias de digestão anaeróbia com relevância para o Brasil*. Brasília: Ministério das Cidades.
- Brasil. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2017. *Probiogás. Viabilidade Técnico-Econômica de produção de energia elétrica em ETEs a partir do biogás*. Brasília: Ministério das Cidades.
- Brasil Energia, 2022. *Saneamento consome entre 2% e 3% da energia no Brasil*. [online] Available at: <<https://editorabrasilenergia.com.br/saneamento-consome-entre-2-e-3-da-energia-no-brasil/>> [Accessed 10 February 2023].
- CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, 2022a. *37º Leilão de Energia Nova 004/2022*. Available at: <<https://www.ccee.org.br/web/guest/mercado/leilao-mercado>> [Accessed 16 Mar. 2023].
- CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, 2016. *23º Leilão de Energia Nova 001/2016*. Available at: <<https://www.ccee.org.br/web/guest/mercado/leilao-mercado>> [Accessed 16 Mar. 2023].
- COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais, 2018. *O Sistema de Esgotos*. [online] Available at: <<https://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/esgotamento-sanitario/o-sistema-de-esgoto>> [Accessed 16 Mar. 2023].
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2019. *Repotenciação e Modernização de Usinas Hidrelétricas*. Available at: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-432/EPE-DEE-088\\_2019\\_Repotenciação%20e%20Usinas%20Hidrelétricas.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-432/EPE-DEE-088_2019_Repotenciação%20e%20Usinas%20Hidrelétricas.pdf)> [Accessed 16 Mar. 2023].

- Escada, A.B. and Andrade, D.C., 2023. (Des) *Caminhos do setor elétrico no Brasil e a mudança global do clima*. Revibec: Revista Iberoamericana de Economía Ecológica, 36(1), pp.43–61.
- FUNASA – Fundação Nacional de Saúde, 2019. *Manual de saneamento*. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – 5th ed. Brasília: Funasa.
- Google Earth, 2023. *Website*. [online] Available at: <<http://earth.google.com/>>. [Accessed 10 February 2023].
- Google Earth, 2025. *Website*. [online] Available at: <<http://earth.google.com/>> [Accessed 29 April 2025].
- Governo do Paraná, 2021. *Energia elétrica é essencial para a produção, tratamento e distribuição de água*. [online] Available at: <<https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Energia-eletrica-e-essencial-para-producao-tratamento-e-distribuicao-de-agua>> [Accessed 10 February 2023].
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022. *Cidades*. Available at: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/teofilo-otoni/panorama>> [Accessed 10 February 2023].
- Lima, V.R.S., 2022. *Eficiência energética em sistemas de saneamento básico sob a perspectiva do nexos água, energia e alimentos*. MSc. Universidade de São Paulo.
- Lins, L.P., Padilha, J.C., Furtado, A.C. and Mito, J.Y.L., 2022. *O aproveitamento energético do biogás como ferramenta para os objetivos do desenvolvimento sustentável*. *Interações*. Campo Grande, 23(4), pp.1275–1286. <https://doi.org/10.20435/inter.v23i4.3704>
- MDR – Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional, 2023. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento*. Available at: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis>> [Accessed 10 February 2023].
- Moura, G.N.P., 2010. *A relação entre água e energia: gestão energética nos sistemas de abastecimento de água das companhias de saneamento básico do Brasil*. MSc. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Nascimento, V., Freitas, S., Silva, J. and Senhorini, K.C.O., 2023. *Eficiência Eletroenergética no Sistema de Saneamento Brasileiro*. *Academic Journal on Computing, Engineering and Applied Mathematics*, 4(2), pp.9–12. <https://doi.org/10.20873/uft.2675-3588.2023.v4n2.p9-12>
- ONU – Organização das Nações Unidas, 2022. *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil*. Available at: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>> [Accessed 10 February 2023].
- Paixão, M.V.F., Amarante, M.S., Ohama, M.A., Oliveira, A.J. and Rodrigues, L.S., 2018. *Biogás como fonte energética*. *Revista Pesquisa e Ação*, 4(1), pp.129-145. Available at: <<https://revistas.brazcubas.br/index.php/pesquisa/article/view/390>> [Accessed 10 April 2025].
- Parente Costa, I.P. and Abreu, Y.V., n.d. *Estudo sobre a Possibilidade de Geração de Energia a partir de Resíduos de Saneamento (Lixo, Esgoto)*.
- Paulino, R.S., da Silva, J.C., dos Santos, J.C.P. and Brasil Filho, P.H., 2022. *Potencial energético do biogás gerado em estação de tratamento de esgoto*. *Conjecturas*, 22(2), pp.15–29. <https://doi.org/10.53660/CONJ-595-324>
- Santana, J.C.S., Ribeiro, M.E.O., Souza, P.R.A., Souza, J.P.S. and Peres, S.M., 2020. *O uso e produção da energia limpa como método de preservação ambiental sustentável*. *Revista Portos: Por Um Mundo Mais Sustentável*, 1(12), pp.99–111. <https://doi.org/10.47879/ed.ep.2020144p99>.
- Santos, F.F.S., Daltro Filho, J., Machado, C.T., Vasconcelos, J.F. and Feitosa, F.R.S., 2018. *O desenvolvimento do saneamento básico no Brasil e as consequências para a saúde pública*. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, 4(1), pp. 241-251.
- Xavier, L.E.F., 2019. *Bomba Funcionando como Turbina: uma alternativa de geração de energia para o sistema de abastecimento de água em Teófilo Otoni (MG)*. Graduação. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.