

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS**

**ROGÉRIO BENEDITO DE BRITO**

**MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR TURBINA “*MICHELL-BANKI*”:  
LEVANTAMENTO BIBLIOMÉTRICO, SUSTENTABILIDADE E AVALIAÇÕES.**

**ALFENAS/MG**

**2024**

**ROGÉRIO BENEDITO DE BRITO**

**MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR TURBINA “*MICHELL-BANKI*”:  
LEVANTAMENTO BIBLIOMÉTRICO, SUSTENTABILIDADE E AVALIAÇÕES.**

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Tecnologias Ambientais Aplicadas.

Orientador: Prof. Dr. Tales Alexandre Aversi-Ferreira

**ALFENAS/MG**

**2024**

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas  
Biblioteca Central

Brito, Rogério Benedito de.

Microgeração de Energia Elétrica por Turbina "Michell-Banki :  
Levantamento bibliométrico, sustentabilidade e avaliações. / Rogério  
Benedito de Brito. - Alfenas, MG, 2025.

119 f. : Il. -

Orientador(a): Tales Alexandre Aversi-Ferreira.

Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de  
Alfenas, Alfenas, MG, 2025.

Bibliografia.

1. Microgeração de energia elétrica. 2. Energia. 3. Sustentabilidade. 4.  
Energia elétrica residencial. 5. Energia elétrica renovável. I. Aversi-Ferreira,  
Tales Alexandre, orient. II. Título.

Ficha gerada automaticamente com dados fornecidos pelo autor.

**ROGÉRIO BENEDITO DE BRITO**

“ Uso da água pluvial e de abastecimento para produção de energia elétrica residencial. ”

A Banca examinadora abaixo-assinada aprova a Tese apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Ciências Ambientais.

Aprovada em: 12 de dezembro de 2024.

Prof. Dr. Tales Alexandre Aversi-Ferreira

Instituição: Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG)

Prof. Dr. Luís Manoel de Paiva Souza

Centro Universitário da Fundação Educacional de Guaxupé - UNIFEG

Profa. Dra. Eduarda Regina Carvalho

Instituição: Universidade Paulista - UNIP

Prof. Dr. Ihosvany Camps Rodriguez

Instituição: Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG)

Prof. Dr. Thiago Corrêa De Souza

Instituição: Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG)



Documento assinado eletronicamente por **Tales Alexandre Aversi Ferreira, Professor do Magistério Superior**, em 13/12/2024, às 12:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1411245** e o código CRC **C8F7C9C9**.

Dedico aos meus filhos Frederico e Alice e a  
minha esposa Micheli

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Ninguém caminha sem aprender a caminhar, sem aprender a fazer o caminho caminhando, refazendo e retocando o sonho pelo qual se pôs a caminhar.

(Freire, 1997, p. 79)

## RESUMO

A busca por soluções sustentáveis nas construções civis está associada à economia de energia elétrica via energia renovável através da microgeração hidrelétrica. O objetivo desse trabalho foi verificar a viabilidade, sustentabilidade e custo para implementar a microgeração de energia elétrica por meio da turbina *Michell-Banki*, utilizando água pluvial ou de abastecimento, suficiente para a iluminação via lâmpadas de Diodo Emissor de Luz (LED). Essa pesquisa é composta de três etapas: revisão sistemática de literatura utilizando o método PRISMA com uma análise bibliométrica; análise dos estudos de casos de microgeração encontrados na revisão sistemática e uma pesquisa quantitativa, descritiva, exploratória e comparativa de opinião com engenheiros civis brasileiros sobre a microgeração de energia elétrica por fonte hídrica. Os resultados da análise bibliométrica e da microgeração dos estudos de caso demonstram que há sustentabilidade e viabilidade econômica. O custo de implantação médio de R\$21,85 reais/mês, sendo na região Nordeste com a menor tarifa projetada e a Norte com a maior. As projeções para residências ou cidades brasileiras apontam a capacidade de acender 855 lâmpadas de 9W, para municípios e 50 lâmpadas para residências. Através da entrevista com os engenheiros civis observou-se que 16,4% possuem conhecimento intermediário ou avançado sobre microgeração, 18,6% desconhecem o processo por entrada de água, 66,1% relatam a viabilidade para aplicar a microgeração, 27,1% o custo sendo baixo, 78% apontam a microgeração como um processo sustentável e com baixa emissão de Gás Efeito Estufa (GEE) e 3,4% dos engenheiros já aplicaram a microgeração. Atribui-se a não utilização para 84,7% dos entrevistados como falta de conhecimento dos engenheiros sobre microgeração, para 27,1% ao custo do investimento e manutenção e para 30,5% a falta de incentivo governamental. Discute-se que o pouco conhecimento dos engenheiros sobre o custo, a aplicação, a baixa emissão de GEE e o processo da microgeração por entrada de água está relacionado à baixa adesão para aplicar em seus projetos. Conclui-se que há possibilidade, viabilidade e o processo apresenta sustentabilidade pela baixa emissão de GEE com microgeração hidrelétrica suficiente, utilizando rios, rede de abastecimento ou entrada, para a iluminação com lâmpadas de LED. Sugere-se um impacto positivo no Plano de Desenvolvimento Energético Brasileiro 2050, auxiliando na economia de energia elétrica em 0,03153% em 2030 a 0,01779% em 2050 via rede de abastecimento de água e em 27,13% em 2030 e 18,29% em 2050 via domicílios, contribuindo para a sustentabilidade e reduzindo a emissão de GEE, sendo viável em áreas remotas.

Palavras-chave: Microgeração de energia elétrica; Energia; Sustentabilidade; Energia elétrica residencial; Energia elétrica renovável.

## **ABSTRACT**

The search for sustainable solutions in civil construction is associated with saving electricity through renewable energy through hydroelectric microgeneration. The objective of this study was to verify the feasibility, sustainability and cost of implementing microgeneration of electricity through the Michell-Banki turbine, using rainwater or water from the supply, sufficient for lighting via Light Emitting Diode (LED) lamps. This research consists of three stages: Systematic literature review using the PRISMA method with a bibliometric analysis; Analysis of microgeneration case studies found in the systematic review and a quantitative, descriptive, exploratory and comparative opinion survey with Brazilian civil engineers on microgeneration of electricity through hydroelectric sources. The results of the bibliometric analysis and the microgeneration of the case studies demonstrate that there is sustainability and economic viability, with an average implementation cost of R\$21.85 reais/month, in the northeast region with the lowest tariff and in the north with the highest. Projections for Brazilian homes or cities indicate the capacity to light 855 9W lamps for municipalities and 50 lamps for homes. Through the interview with civil engineers, it was observed that 16.4% have intermediate or advanced knowledge about microgeneration, 18.6% are unaware of the water input process, 66.1% report the feasibility of applying microgeneration, 27.1% the cost being low, 78% point out microgeneration as a sustainable process with low greenhouse gas (GHG) emissions and 3.4% have already applied microgeneration. The non-use is attributed to the lack of knowledge of engineers about microgeneration for 84.7%, to the cost of investment and maintenance for 27.1% and to the lack of government incentive for 30.5%. It is discussed that the little knowledge of engineers about the cost, application, low GHG emissions and the process of microgeneration by water input is related to the low adherence to apply it in their projects. It is concluded that there is possibility, viability and the process presents sustainability due to low GHG with sufficient hydroelectric microgeneration, using rivers, supply network or input, for lighting with LED lamps. A positive impact on the Brazilian Energy Development Plan 2050 is suggested, helping to save electricity by 0.03153% in 2030 to 0.01779% in 2050 via the water supply network and by 27.13% in 2030 and 18.29% in 2050 via households, contributing to sustainability and reducing GHG emissions, being viable in remote areas.

**Keywords:** Microgeneration of electrical energy; Energy; Sustainability; Residential electrical energy; Renewable electrical energy.

## LISTA DE FIGURAS

|            |                                                                                                                                                                                               |    |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 01- | Curva de eficiência das turbinas <i>Michell-Bancki</i> ( <i>Cross-flow</i> ), <i>Francis</i> , <i>Kaplan</i> , <i>Pelton</i> e <i>Propeller</i> , segundo a porcentagem de fluxo nominal..... | 25 |
| Figura 02- | Componentes de uma turbina <i>Michell-Bancki</i> típica.....                                                                                                                                  | 26 |
| Figura 03- | Fluxo de identificação de estudos a partir de dados coletados nos Periódicos CAPES e no Ministério de Minas e Energia, segundo a metodologia PRISMA 2020.....                                 | 32 |
| Figura 04- | Diagrama de <i>Venn</i> do total de artigos encontrados nos Periódicos CAPES e no Ministério de Minas e Energia após a aplicação dos critérios de exclusão e inclusão.....                    | 41 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|             |                                                                                                                                                                                      |    |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 01- | Distribuição do consumo brasileiro de energia elétrica.....                                                                                                                          | 22 |
| Gráfico 02- | Número total de artigos selecionados segundo as palavras-chave para a revisão sistemática.....                                                                                       | 49 |
| Gráfico 03- | Número total de artigos selecionados para a revisão sistemática por ano. ....                                                                                                        | 50 |
| Gráfico 04- | Número total de artigos para a revisão sistemática por periódico x H-INDEX do periódico.....                                                                                         | 51 |
| Gráfico 05- | Número total de citações por artigos no PLUMX do periódico CAPES, segundo os autores artigos para a revisão sistemática.....                                                         | 52 |
| Gráfico 06- | Número de periódicos por país selecionados para a revisão sistemática.....                                                                                                           | 53 |
| Gráfico 07- | Número de autores com mais obras selecionadas para a revisão sistemática.....                                                                                                        | 53 |
| Gráfico 08- | Conversão das unidades do rendimento da micro geração de cada estudo de caso para Quilowatt-hora (kWh) em residências.....                                                           | 55 |
| Gráfico 09- | Capacidade de acender lâmpadas de 9W (ambientes residenciais) de potência do rendimento da microgeração de cada estudo de caso em rede de distribuição de água e em residências..... | 56 |
| Gráfico 10- | Viabilidade econômica de cada estudo de caso em residências e na rede de distribuição de água municipal.....                                                                         | 57 |
| Gráfico 11- | Custo de implantação de cada estudo de caso em residências e na rede de distribuição de água municipal .....                                                                         | 58 |
| Gráfico 12- | Custo de manutenção de cada estudo de caso em residências e na rede de distribuição de água municipal .....                                                                          | 58 |
| Gráfico 13- | Sustentabilidade de cada estudo de caso em residências e na rede de distribuição de água municipal .....                                                                             | 59 |

|             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |    |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 14- | Total de geração potencial de energia (MWh) obtida pela microgeração em rede de entrada de água, nos estudos de caso que consideram a aplicação em municípios brasileiros, por estudo.....                                                                                                                         | 60 |
| Gráfico 15- | Total de geração potencial de energia (MWh) obtida pela microgeração, nos estudos de caso que consideram a aplicação em residências por número de domicílio Brasileiro projetado para 2030-2050, por estudo.....                                                                                                   | 61 |
| Gráfico 16- | Total percentual de participação de microgeração, por estudo de caso no consumo total, nos estudos de caso projetado para 2030, 2040 e 2050 e por turbina <i>Michell Banki</i> que consideram a aplicação municípios brasileiro, por estudo.....                                                                   | 62 |
| Gráfico 17- | Matriz de correlação de Pearson para a geração de energia nos anos de 2030, 2040 e 2050, considerando os municípios brasileiro, utilizando o Software R.....                                                                                                                                                       | 63 |
| Gráfico 18- | Total percentual de participação de microgeração, por estudo de caso no consumo total, nos estudos de caso projetado para 2030, 2040 e 2050 e por turbina <i>Michell Banki</i> que consideram a aplicação em comunidade ou individual por número de domicílio Brasileiro projetado para 2030-2050, por estudo..... | 63 |
| Gráfico 19- | Matriz de correlação de Pearson para a geração de energia nos anos de 2030, 2040 e 2050, considerando os municípios Brasileiro, utilizando o Software R.....                                                                                                                                                       | 64 |
| Gráfico 20- | Média do Consumo da energia elétrica na classe residencial por região, segundo Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2022.....                                                                                                                                                                                   | 65 |
| Gráfico 21- | Percentual da participação da microgeração na classe residencial por região.....                                                                                                                                                                                                                                   | 66 |
| Gráfico 22- | Levantamento do custo do sistema considerando o preço e tempo de vida da turbina e bateria por ano.....                                                                                                                                                                                                            | 67 |
| Gráfico 23- | Percentual da participação da microgeração na classe residencial por região, pelo custo da conta por consumo em kWh por região...                                                                                                                                                                                  | 68 |
| Gráfico 24- | Viabilidade econômica da microgeração: total do saldo por residência nas regiões brasileiras.....                                                                                                                                                                                                                  | 69 |

|             |                                                                                                                                  |    |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 25- | Nível de conhecimento sobre microgeração de energia elétrica por entrada de água utilizando a turbina <i>Michell-Banki</i> ..... | 70 |
| Gráfico 26- | Opinião dos engenheiros civis sobre a aplicação da microgeração de energia elétrica por entrada de água.....                     | 71 |
| Gráfico 27- | Opinião dos engenheiros civis sobre a viabilidade econômica da microgeração por entrada de água.....                             | 71 |
| Gráfico 28- | Opinião dos engenheiros civis sobre o custo de implantação e manutenção a microgeração por entrada de água.....                  | 72 |
| Gráfico 29- | Opinião dos engenheiros civis sobre sua rentabilidade e redução da emissão GEE na microgeração por entrada de água.....          | 72 |
| Gráfico 30- | Utilização da microgeração elétrica por entrada de água pelos engenheiros nos projetos de construção civil.....                  | 73 |
| Gráfico 31- | Opinião dos engenheiros civis sobre os motivos de não utilizarem a microgeração por entrada de água.....                         | 74 |

## LISTA DE TABELAS

|            |                                                                                                                                                                                              |    |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 01- | Fases da identificação, triagem e elegibilidade dos artigos da Plataforma Capes para a revisão sistemática, segundo as palavras-chave utilizadas.....                                        | 33 |
| Tabela 02- | Estudos de caso selecionados para estudo comparativo de aplicação em residências e na rede de abastecimento de água municipal para a microgeração de energia elétrica por fonte hídrica..... | 35 |
| Tabela 03- | Relação dos artigos utilizados para a revisão sistemática, segundo as palavras-chave .....                                                                                                   | 35 |
| Tabela 04- | Fases da Identificação, triagem e elegibilidade dos documentos do site do Ministério de Minas e Energia brasileiro para a revisão sistemática, segundo as palavras-chave utilizadas.....     | 39 |
| Tabela 05- | Fases da identificação, triagem e elegibilidade das leis na Câmara dos Deputados, Casa Civil e ANELL para a revisão sistemática, segundo as palavras-chave utilizadas.....                   | 40 |
| Tabela 06- | Apresentação dos estudos de caso segundo o autor e ano; local de aplicação e tipo de experimento .....                                                                                       | 54 |
| Tabela 07- | Levantamento de preço para a implantação da microgeração de energia residencial no Brasil, aplicando a turbina <i>Michell Banck</i> ..                                                       | 66 |
| Tabela 08- | Custo da turbina, custo da bateria e custo total do sistema por mês.....                                                                                                                     | 67 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|       |                                                                    |
|-------|--------------------------------------------------------------------|
| ABNT  | Associação Brasileira de Normas Técnicas                           |
| A     | Ampère                                                             |
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica                               |
| CAPES | Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior        |
| CCA   | Cold Cranking Amps ou Corrente de Arranque a Frio                  |
| CENSO | Pesquisa que reúne dados estatísticos sobre a população de um país |
| CEP   | Conselho de Ensino e Pesquisa                                      |
| CONEP | Conselho Nacional de Ensino e Pesquisa                             |
| CPFL  | Companhia Paulista de Força e Luz                                  |
| DC    | Corrente contínua                                                  |
| dB    | Decibéis                                                           |
| EC    | Estudo de Caso                                                     |
| ER    | Energia Renovável                                                  |
| EUA   | Estados Unidos da América                                          |
| g     | Grama                                                              |
| GEE   | Gases do Efeito Estufa                                             |
| IBGE  | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística                    |
| Kg    | Quilograma                                                         |
| kWh   | Quilowatts hora                                                    |
| LED   | Lâmpadas de Light Emitting Diodes                                  |
| MME   | Ministério das Minas e Energia                                     |
| MMGT  | Micro e Minigeração Distribuída & Baterias atrás do Medidor        |
| Mpa   | Megapascal                                                         |
| mm    | Milímetros                                                         |
| ODS   | Objetivos de Desenvolvimento Sustentável                           |
| PAT   | Bombas usada como turbinas                                         |
| PIB   | Produto Interno Bruto                                              |
| PNE   | Plano Nacional de Energia                                          |
| PCH   | Pequenas Centrais Hidrelétricas                                    |
| PDEE  | Plano Decenal de Expansão Energética                               |
| PDE   | Plano de Desenvolvimento Energético Brasileiro                     |
| POTEE | Plano de Outorgas de Transmissão de Energia Elétrica               |

|        |                                                    |
|--------|----------------------------------------------------|
| PLUMX  | Métricas Produções científicas no ambiente virtual |
| RV     | Revisão                                            |
| R\$    | Real                                               |
| SAA    | Sistemas de Abastecimento de Água                  |
| SAAP   | Sistemas de Abastecimento de Água Pluvial          |
| SIN    | Sistema Interligado Nacional                       |
| TWh    | Terawatt-hora                                      |
| UNIFAL | Universidade Federal de Alfenas                    |
| V      | Volts                                              |
| Wh     | Watts por hora                                     |

## SUMÁRIO

|          |                                                                                                                                                                                       |           |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO.....</b>                                                                                                                                                                | <b>16</b> |
| 1.1      | OBJETIVOS.....                                                                                                                                                                        | 18        |
| 1.1.1    | <b>Objetivo Geral.....</b>                                                                                                                                                            | <b>18</b> |
| 1.1.2    | <b>Objetivos Específicos.....</b>                                                                                                                                                     | <b>18</b> |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>                                                                                                                                                     | <b>19</b> |
| 2.1      | ENERGIA ELÉTRICA E ENERGIA RENOVÁVEL.....                                                                                                                                             | 19        |
| 2.2      | A MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL.....                                                                                                                                   | 23        |
| 2.3      | APLICAÇÃO DA MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA<br>RESIDENCIAL.....                                                                                                                     | 27        |
| <b>3</b> | <b>METODOLOGIA.....</b>                                                                                                                                                               | <b>30</b> |
| 3.1      | MATERIAL E MÉTODOS.....                                                                                                                                                               | 30        |
| 3.1.1    | <b>Tipo de estudo.....</b>                                                                                                                                                            | <b>30</b> |
| 3.1.2    | <b>Aspectos éticos.....</b>                                                                                                                                                           | <b>30</b> |
| 3.1.3    | <b>Ferramentas utilizadas.....</b>                                                                                                                                                    | <b>31</b> |
| 3.2      | PROCEDIMENTOS DE PESQUISA.....                                                                                                                                                        | 32        |
| 3.2.1    | <b>Sistematização de literatura: 1ª. Etapa.....</b>                                                                                                                                   | <b>32</b> |
| 3.2.2    | <b>Análise dos estudos de casos de microgeração encontrados<br/>nos estudos de caso da revisão sistemática: 2ª. Etapa.....</b>                                                        | <b>39</b> |
| 3.2.2.1  | Avaliar os resultados obtidos nos estudos de caso com a turbina<br><i>Michell-Banki</i> , selecionados, analisando as variáveis.....                                                  | 39        |
| 3.2.2.2  | Aplicar os estudos de caso nas residências ou em cidades<br>brasileiras projetados para 2030, 2040 e 2050.....                                                                        | 40        |
| 3.2.2.3  | Total percentual de participação de microgeração, por estudo de<br>caso no consumo total, projetado para 2030, 2040 e 2050 e por<br>turbina <i>Michell Banki</i> .....                | 42        |
| 3.2.2.4  | Porcentagem de participação da microgeração por turbina <i>Michell<br/>Banki</i> , segundo o consumo de energia elétrica na classe residencial,<br>em 2021, por região no Brasil..... | 43        |
| 3.2.3    | <b>Pesquisa quantitativa, descritiva, exploratória e comparativa,<br/>com engenheiros: 3ª. Etapa.....</b>                                                                             | <b>48</b> |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS.....</b>                                                                                                                                                                | <b>49</b> |
| 4.1      | BIBLIOMETRIA: 1ª. ETAPA.....                                                                                                                                                          | 49        |

|       |                                                                                                                                                                                      |     |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2   | RESULTADOS DOS ESTUDOS DE CASO: 2ª. ETAPA.....                                                                                                                                       | 54  |
| 4.2.1 | Aplicar os estudos de caso nas residências ou cidades<br>brasileiras projetadas até 2050.....                                                                                        | 59  |
| 4.2.2 | Total percentual de participação de microgeração, por estudo<br>de caso no consumo total, projetado para 2030, 2040 e 2050 e<br>por turbina <i>michell banki</i> .....               | 61  |
| 4.2.3 | Porcentagem de participação da microgeração por turbina<br><i>Michell Banki</i> , segundo o Consumo de energia elétrica na<br>classe residencial, em 2021, por região no Brasil..... | 65  |
| 4.3   | PESQUISA COM OS ENGENHEIROS CIVIS: 3ª. ETAPA.....                                                                                                                                    | 70  |
| 4.4   | ARTIGO I: Use of rainwater and water supply to produce<br>electrical energy for homes.....                                                                                           | 75  |
| 5     | DISCUSSÃO.....                                                                                                                                                                       | 103 |
| 6     | CONCLUSÃO .....                                                                                                                                                                      | 111 |
|       | REFERÊNCIAS.....                                                                                                                                                                     | 113 |
|       | APÊNDICE A.....                                                                                                                                                                      | 119 |

## 1 INTRODUÇÃO

Uma das principais demandas associadas à engenharia civil na atualidade é a busca por soluções sustentáveis nas construções (GamalEldine; Corvacho, 2022), visando reduzir os impactos ambientais e sociais (Samora *et al.*, 2016).

Esses serão alcançados por meio de menores custos e do reaproveitamento de energia, frequentemente desperdiçado (Kan Kan *et al.*, 2022a; Mehra *et al.*, 2021), como a eletricidade, que representa um requisito essencial para o desenvolvimento populacional (Nasir *et al.*, 2023).

Uma das possibilidades de auxílio à construção sustentável está associada à economia de energia elétrica (GamalEldine; Corvacho, 2022; Arif; Amanullah, 2017).

Dentre as várias possibilidades de geração elétrica com economia, nessa tese destaca-se a advinda de fonte hídrica. Podendo usar fontes como águas da chuva, águas de entrada ou diminuir os gastos com água através do reaproveitamento.

Racionalizar o uso de energia e usar todos os meios para gerar mais conforto com menor custo e preservação dos recursos naturais é fundamental e para isso a inovação é imprescindível (Rao; Arun; Selvan, 2020; Kadier *et al.*, 2018; Sinagra *et al.*, 2015).

Devido ao aumento da população, ao número crescente de domicílios, a elevada industrialização, ao aumento da utilização de eletrodomésticos (Brasil, 2020; Sulis *et al.*, 2019) e, por consequência, à diminuição dos recursos naturais será necessária uma matriz energética mais eficiente para fornecer os recursos para a manutenção da população num futuro próximo (Kan Kan *et al.*, 2022a; Arif; Amanullah, 2017; Loots *et al.*, 2015).

A utilização de Energia Renovável (ER), especialmente em países em desenvolvimento, relaciona-se com as tendências de uma maior consciência ambiental, alterando a forma como os indivíduos decidem e se relacionam com o setor energético (Brasil, 2020; Verma; Gaba; Bhowmick, 2017).

Nos países em que a produção de energia elétrica é centralizada em usinas hidrelétricas, que dependem da chuva, uma variável não controlada pelo homem (Adefarati; Bansal, 2019; Gómez; Higueta; Benavides-Morán, 2018; Brasil, 2007c), uma das possíveis soluções é descentralizar a produção com a conversão elétrica em menor escala, como a microgeração, implantada em comunidades, em casas (Purwanto *et al.*, 2020; Rantererung *et al.*, 2020; Sulis *et al.*, 2019; Khomsah *et al.*,

2019; Purwanto, Budiyo, Hermawan, 2019) ou na rede de entrada de água (De Marchis *et al.*, 2016; Sammartano *et al.*, 2016; Samora *et al.*, 2016).

A produção de energia elétrica através da água de abastecimento de casas e prédios é pouco explorada mundialmente (Brasil, 2020; Brasil, 2018a).

No entanto, cada país ou região pode analisar suas características e implantar projetos de microgeração com o objetivo de corroborar com a produção de energia (Purwanto; Budiyo; Hermawan, 2019; Polagye *et al.*, 2019; Sulis *et al.*, 2019).

Assim, é razoável questionar se há possibilidade, viabilidade e se o processo para produzir microgeração de energia elétrica suficiente é sustentável, proveniente da água, para o uso de pelo menos alguns aparelhos em comunidades, prédios ou residências, como, por exemplo, na iluminação com lâmpadas de Diodo Emissor de Luz (LED), com projeções de algum impacto no Plano de Desenvolvimento Energético (PDE) brasileiro até 2050.

Além disso, saber se os engenheiros possuem conhecimento sobre a microgeração por entrada de água e/ou utilizam a microgeração para fornecimento de energia em seus projetos.

Essa pesquisa justifica-se na vertente que tecnologias alternativas para projetos de sustentabilidade são fundamentais para perspectivas futuras em termos de economia de energia elétrica (Sulis *et al.*, 2019).

O uso de estruturas e recursos diminui a necessidade de construção de novas obras que gastam espaço e tempo, como, por exemplo, as hidrelétricas. A partir do que já existe, introduzindo adaptações, é possível melhorar a obtenção de energia elétrica dentro do sistema hidráulico das habitações ou das comunidades (Mehra *et al.*, 2021; Brasil, 2018).

O fato de obter energia elétrica residencial é um ponto importante desse trabalho, mas para isso será necessário compreender a microgeração de energia elétrica por meio da turbina *Michell-Banki*, como também o conhecimento dos engenheiros civil sobre a temática para aplicá-la.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Esse trabalho visou verificar a possibilidade, viabilidade, sustentabilidade e custo para implementar a microgeração de energia elétrica por meio da turbina *Michell-Banki*, utilizando água pluvial ou de abastecimento, suficiente para a iluminação via lâmpada de LED.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- a) Analisar e quantificar sistematicamente a produção científica publicada no periódico CAPES, de 2015 a 2024, sobre a temática pesquisada, conforme as palavras-chave escolhidas;
- b) Analisar, por meio da literatura, se a microgeração de energia elétrica renovável proveniente da turbina hidráulica *Michell-Banki* pode auxiliar no Plano de Desenvolvimento Energético Brasileiro até 2050;
- c) Identificar se os engenheiros conhecem e/ou aplicam a microgeração de energia elétrica em construções na comunidade e/ou residências através das turbinas hidráulicas *Michell-Banki*.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A ENERGIA ELÉTRICA E ENERGIA RENOVÁVEL

A eletricidade é um dos requisitos indispensáveis para o progresso e o desenvolvimento socioeconômico dos países (Loots *et al.*, 2015; Marliansyah, Putri; Hermansyah, 2018; Nasira *et al.*, 2023; Sulis *et al.*, 2019).

Quanto mais avançado e desenvolvido for o país, maior será seu consumo elétrico (Dehghani *et al.*, 2020; Marliansyah, Putri; Hermansyah, 2018), sendo considerado necessário para aspectos, como saúde e educação (Sulis *et al.*, 2019), gerando conforto, e considerado pelas legislações vigentes como bem móvel e sustentável (Brasil, 2023; Brasil, 2020).

Com o rápido aumento da população mundial, o desenvolvimento da industrialização, economia e urbanização a partir da 2ª Guerra Mundial (Brasil, 2020; Brasil, 2007b; Brasil, 2007c; Sulis *et al.*, 2019), houve um aumento da demanda por fornecimento contínuo de eletricidade em todo o mundo (Arif; Amanullah, 2017; Kan Kan *et al.*, 2022a; Loots *et al.*, 2015).

Esse cenário levou os países à dependência de 75,5% de combustíveis fósseis, como carvão, gás natural e petróleo, para a produção elétrica (Adefarati; Bansal, 2019; Dehghani *et al.*, 2020;), gerando Gases de Efeito Estufa (GEE), o que contribui para o aquecimento global (Arif; Amanullah, 2017; Brasil, 2007c; Gómez; Higuita; Benavides-Morán, 2018; Malik *et al.*, 2023), consumindo assim os recursos não renováveis e, conseqüentemente, tornando o fornecimento futuro incerto (Malik *et al.*, 2023, Verma; Gaba; Bhowmick, 2017).

Em 2019 cerca de 17% da população global não possuíam fornecimento de energia, principalmente em comunidades rurais de países subdesenvolvidos, onde a conexão com as linhas de transmissão e a distribuição é problemática, devido a razões econômicas e técnicas, dependendo, na sua maioria, de geradores à diesel (Adefarati; Bansal, 2019) ou fontes de energia tradicionais a partir de queima, causando problemas ambientais com a geração de GEE (Nasira *et al.*, 2023).

No Brasil, segundo o Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), cerca de 990.103 brasileiros vivem sem acesso ao serviço público de energia elétrica. A taxa de acesso elétrico no Brasil é de cerca de 99,4%, enquanto na região Norte encontra-se em 96,7% (IBGE, 2023).

Cerca de 65% do potencial inventariado descrito sem acesso à energia elétrica está na Amazônia, região que tem aproximadamente metade de sua extensão coberta por áreas protegidas, sendo 22% unidades de conservação, 19% terras indígenas e 10% terras ocupadas por remanescentes das comunidades dos quilombos (Brasil, 2018a).

As projeções para 2030 indicam que o percentual da população mundial sem eletricidade permanecerá alto, em torno de 16% do total, segundo relatório da Agência Internacional de Energia (IEA) apud Kadier *et al.*, (2018).

Devido ao crescimento industrial e ao crescimento/envelhecimento da população mundial, estimam-se aumentos no consumo de energia entre 40-45% até 2050, destacando-se regiões como a Ásia, onde são esperados aumentos de até 60% no consumo de energia (Gómez; Higuaita; Benavides-Morán, 2018).

Esse cenário incentivou os países a expandir os investimentos em Energias Renováveis (ER), uma vez que há uma ampliação de ER, a intermitência do sistema de energia também aumenta (Arif; Amanullah, 2017; Golmohamadi, 2022).

Assim haverá a possibilidade de atingir as metas globais, dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), da Agenda 2030, elaborado pela Organização das Nações Unidas (ONU), propostas relacionadas à mitigação, limitando as emissões de GEE através das atividades humanas e de adaptação para reduzir as emissões frente à vulnerabilidade dos sistemas naturais e humanos (Brasil, 2020; Malik *et al.*, 2023).

A ODS-7 energia limpa e acessível para todos e ODS-13 ação contra a mudança global do clima, incentivam os países a desenvolver energia limpa (Brasil, 2020; Malik *et al.*, 2023; Sulis *et al.*, 2019; Verma; Gaba; Bhowmick, 2017), além de revisar as tecnologias disponíveis e implantadas (Loots *et al.*, 2015).

As ODS conduzem os países à análise da oferta e demanda de energia e a execução dos meios para garantir a cobertura das necessidades energéticas em um contexto nacional ou internacional, buscando encontrar a combinação de recursos de fornecimento e redução do consumo (Brasil, 2007b; Dehghani *et al.*, 2020; De Marchis *et al.*, 2016; Wouters; Fraga; James, 2017).

Projeta-se que cerca de 35% do fornecimento global de energia venha de ER até 2030 (Adefarati; Bansal, 2019).

As pequenas centrais hidrelétricas (PCH) contribuem com cerca de 7% das ER, sendo uma opção a ser explorada (Adefarati; Bansal, 2019; Gómez; Higuaita;

Benavides-Morán, 2018), especialmente no caso da microgeração (Loots *et al.*, 2015; Purwanto *et al.*, 2020).

O uso eficaz de ER depende das condições climáticas e da sincronização da demanda de carga elétrica, da quantidade consumida e da geração local (Arif; Amanullah, 2017; Brasil, 2020; Wouters; Fraga; James, 2017; Yahagi *et al.*, 2016), da precipitação e temperatura na área de captação, que pode levar a mudanças no volume de escoamento, variabilidade do fluxo e sazonalidade do fluxo de água (Kadier *et al.*, 2018; Sinagra *et al.*, 2015).

Mas, se gerido seriamente, pode apoiar o crescimento sustentável da economia e da população humana (Malik *et al.*, 2023; Sulis *et al.*, 2019).

Para gerir os tipos de ER que podem ser aplicadas no Brasil, relacionado à sua abundância por ter grande riqueza de fontes distintas de energia, foi elaborado o Plano Nacional de Energia (PNE-2050) e estabelecido o Plano Decenal de Expansão Energética (PDEE-2032) (Brasil, 2020; Brasil, 2015), no qual a microgeração distribuída hídrica possui 0,2% de capacidade instalada, com previsão para 0,3% em 2034 (Brasil, 2024).

Na perspectiva das ER, a comissão Européia elaborou o plano Vision 2020, comprometendo-se a emitir pelo menos 55% menos emissões de GEE até 2030 e a de ser neutra em carbono até 2050 (GamalEldine; Corvacho, 2022).

Através da implantação de energias renováveis em 27%, as políticas de construção europeias declararam a implementação de edifícios com consumo de energia quase zero a partir de 2018 (GamalEldine; Corvacho, 2022; Golmohamadi, 2022; Malik *et al.*, 2023).

O Programa *Grid-Wise*, *GRID 2030*, *NIST IOP Framework Roadmap 1.0* e Microsoft SERA estão entre as principais estruturas dos Estados Unidos da América (EUA), que ajudam a criar regras que consideram o uso de mais ER, protegendo o meio ambiente, reduzindo as emissões de GEE de 26% a 28% até 2030 e reduzindo o custo da eletricidade (Malik *et al.*, 2023).

A Austrália adotou meta de redução das emissões de GEE de 26% a 28% até 2030 (Arif; Amanullah, 2017).

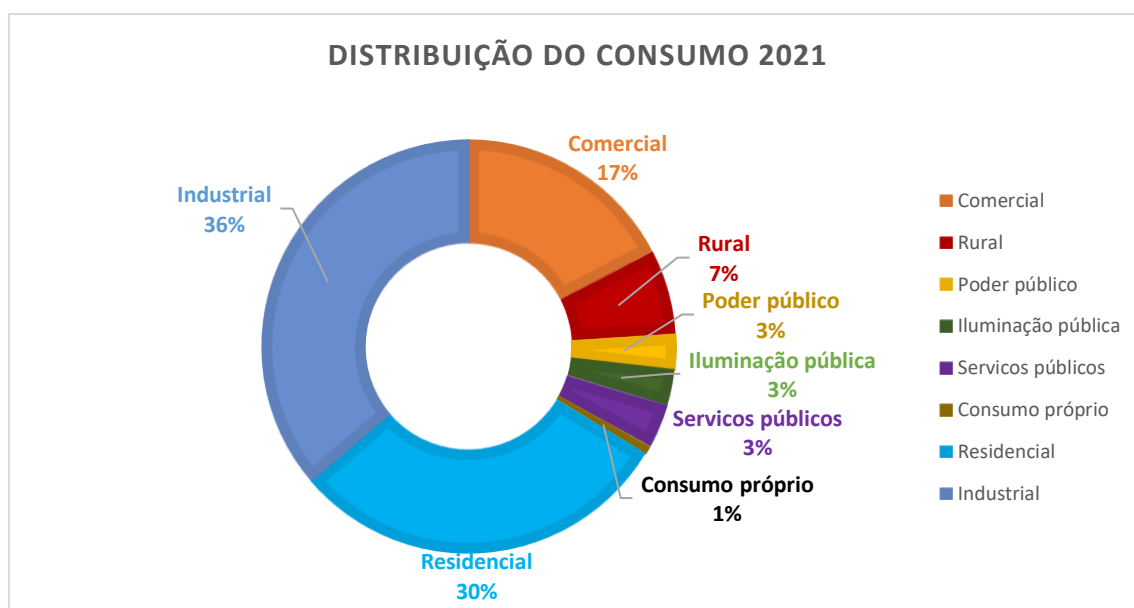
O Japão estabeleceu uma redução de 26% nos GEE até 2030 e planeja aumentar a utilização de ER em 70%. A Coreia do Sul propôs uma redução de 37% nos GEE e um aumento de 10% na integração de ER através dos *frameworks Vision 2012-2022* e do *Roadmap* de rede inteligente até 2030. A força-tarefa nacional de

tecnologia e padrões de rede inteligente do Canadá visa a redução de emissões de GEE, a integração de ER e a qualidade da energia da rede elétrica. Da mesma forma, a *Smart Grid Corporation* da China formulou metas para aumentar a proteção ambiental e 15% de integração de ER, melhoria da tecnologia/infraestrutura e da eficiência da rede elétrica (Malik *et al.*, 2023).

O Brasil espera reduzir até 2025 as emissões de GEE em 37%, considerando como estratégia de descarbonização as dimensões energéticas, ambientais, econômica e tecnológica (Brasil, 2020).

Visando a redução de consumo nos diferentes setores, cada país deve analisar formas sustentáveis para a redução da sua emissão de GEE. O setor residencial, à nível mundial, utiliza 40% de energia emitindo por volta de 24% dos GEE (Arif; Amanullah, 2017), no Brasil, conforme o gráfico 01 a seguir, o consumo de energia residencial em 2021 foi de 30,1%, abaixo da média mundial.

**Gráfico 01-** Distribuição do consumo brasileiro de energia elétrica.



Fonte: Brasil (2022).

O setor residencial é um desafio de para operação e planejamento energético para as concessionárias de energia (Rao; Arun; Selvan, 2020). Quando falham, produzem um impacto negativo no Produto Interno Bruto (PIB) (Adefarati; Bansal, 2019; Dehghani *et al.*, 2020).

No Brasil, a demanda crescente das próximas décadas por eletricidade residencial resultará em gradual perda de participação relativa das hidrelétricas, necessitando do planejamento energético de outras fontes de ER para suprir demanda de consumo de energia elétrica (Brasil, 2020).

A conservação de energia está despertando o interesse do público, dos engenheiros e gestores, devido ao aumento do consumo de energia no setor de construção, especificamente nos edifícios residenciais (GamalEldine; Corvacho, 2022).

A evolução do consumo residencial de energia resulta, basicamente, da combinação dos seguintes efeitos: o crescimento do número de domicílios, a evolução da posse e do uso dos equipamentos eletrodomésticos, a potência de consumo de cada equipamento e a evolução dos índices de eficiência energética dos mesmos (Brasil, 2015).

No geral, uma casa eficiente em termos de energia consome 20% menos energia do que uma casa típica (Arif; Amanullah, 2017). Uma alternativa viável é utilizar a energia renovável fornecida pela hidrelétrica através da microgeração hídrica residencial.

## 2.2 A MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL

A microgeração de energia elétrica residencial é considerada atraente pela sua forma de produção econômica e confiável, derivada de uma fonte renovável de pequeno porte para produzir energia com baixa emissão de GEE (Kan Kan *et al.*, 2022<sup>a</sup>; Kan Kan *et al.*, 2022b; Kirke, 2019; Rantererung *et al.*, 2020; Yahagi *et al.*, 2016).

O Brasil destaca-se no cenário internacional, onde a hidreletricidade tem sido a principal fonte de geração do sistema elétrico, seja de grande porte ou micro porte nas residências (Brasil, 2020a; Brasil, 2020b).

Desde o grande terremoto do leste do Japão em 2011, a importância derivada de fontes renováveis aumentou na região (Yahagi *et al.*, 2016).

Na Malásia, buscam-se fontes de ER e viáveis para a eletrificação rural através de grandes, médias e pequenas usinas hidrelétricas (Kadier *et al.*, 2018), assim como no Nepal (Baidar *et al.*, 2016). Já na Indonésia, ainda é raro encontrar tal aplicação (Sulis *et al.*, 2019).

Contudo, a construção de usina hidrelétrica está em declínio devido ao alto custo inicial de instalação e transmissão de energia e os desafios ambientais associados às barragens (Brasil, 2018; Mehra *et al.*, 2021), o impacto social e o desequilíbrio ecológico provocado, o que limita o número de locais disponíveis para novas construções (Sammartano *et al.*, 2015).

As barragens também têm impactos negativos na migração de peixes, habitats da vida selvagem, fluxo e qualidade naturais da água, como mudanças ou danos ecológicos (Mehra *et al.*, 2021), perda de energia elétrica e capital devido a longas linhas de transmissão, destruição de florestas e extração de alguns recursos minerais, além de conflitar com atividades de lazer baseadas na água (Kadier *et al.*, 2018).

Como vantagem, os reservatórios podem prover uma série de serviços não energéticos, como controle de cheias, irrigação, suprimento de água para consumo humano, recreação e serviços de navegação (Brasil, 2020a).

As microusinas hidrelétricas surgem como uma das soluções promissoras para atender às necessidades de eletricidade em áreas remotas, em desenvolvimento ou menos desenvolvidas, capazes de gerar energia de até 100 kW (Adefarati; Bansal, 2019; Baidar *et al.*, 2016; Kadier *et al.*, 2018; Marliansyah, Putri; Hermansyah, 2018; Sammartano *et al.*, 2015).

No Brasil, a Resolução Normativa nº 482/2012 regulamentou a microgeração de energia elétrica com potência gerada de até 75 kW utilizando fontes renováveis (Brasil, 2012).

A Resolução Normativa nº 1.031/2022, permitiu a cogeração qualificada conectar à rede de distribuição de energia elétrica por meio de unidade consumidora (Brasil, 2022).

A Resolução Normativa nº 1.059/2023 aprimora as regras para a conexão e o faturamento dessas centrais, além de regras do sistema de compensação e definiu o "autoconsumo remoto", onde a energia é cedida gratuitamente e, posteriormente, é compensada com o consumo de energia elétrica ativa ou contabilizada como crédito em unidades consumidoras participantes do sistema (Brasil, 2024).

Para aplicar a microgeração e viabilizar as Resoluções Normativas citadas existem diferentes tipos de turbinas de impulso (IT), como Turgo, Pelton e *Michell-Banki* (Kadier *et al.*, 2018).

De acordo com os dados obtidos na literatura, para a escolha da turbina de impulso, com a finalidade de viabilizar a instalação em residências ou em prédios, é

necessário que a tubulação das casas esteja conectando à uma turbina com potência máxima de 800 kW, que funciona com uma variação de vazão entre 0,025 a 0,7 m<sup>3</sup>/s (Sammartano *et al.*, 2015).

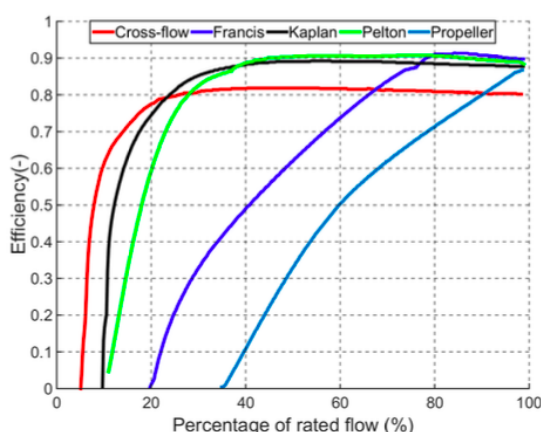
Esta deve ser utilizada em baixa altura de queda de água (Rantererung *et al.*, 2020) e trabalhar com pás, que para o caso de casas e edifícios devem ser de 26 a 30 com diâmetro entre 0,2 e 0,6 m, com construção multicelular e tendo funcionamento com a divisão do rotor em células (segmentos longitudinais do rotor) na proporção 1:2 (Sutikno *et al.*, 2019).

As turbinas de água tipo *Michell-Banki* atende as especificações e são utilizadas para aproveitar a energia potencial associada à gravidade e à água, que podem ser convertidas em energia mecânica e elétrica (Rantererung *et al.*, 2020).

Nessa tese para alcançar a microgeração dentre os parâmetros supracitados, a turbina de impulso eleita foi *Michell-Banki* (Jemal; Haile, 2019).

A escolha é justificada pela produção de energia, considerada relativamente simples de ajustar, mais confiável, barata e durável na sua implantação (Rantererung *et al.*, 2020), como pela curva de eficiência, comparado aos vários projetos de turbinas por porcentagem de vazão nominal, conforme descreve a figura 01:

**Figura 01-** Curva de eficiência das turbinas *Michell-Banki* (*Cross-flow*), *Francis*, *Kaplan*, *Pelton* e *Propeller*, segundo a porcentagem de fluxo nominal.

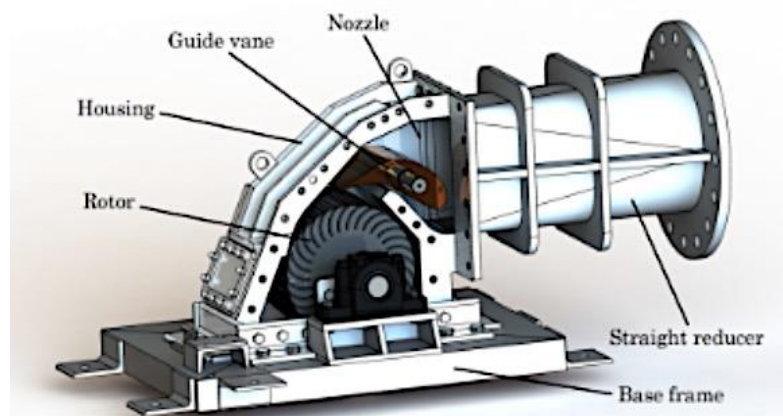


Fonte: Woldemariam *et al.*, (2018).

Descoberta em 1903 pelo engenheiro australiano *Anthony George Maldon Michell*, pelo inventor húngaro *Donat Banki* e pelo empresário alemão *Fritz Ossberger* (Mehra *et al.*, 2021; Obretenov; Tsalov, 2022; Purwanto *et al.*, 2019), uma série de turbinas hidráulicas desse tipo foram desenvolvidas e instaladas (Obretenov; Tsalov,

2022), promovendo a microgeração hidroelétrica, conforme a figura 02, que demonstra os componentes da turbina *Michell-Bancki* típica.

**Figura 02-** Componentes de uma turbina *Michell-Bancki* típica



Fonte: Mehr *et al.*, (2021).

A turbina *Michell-Bancki* tem um rotor em forma de tambor consistindo de dois discos paralelos conectados perto de suas bordas por uma série de lâminas curvas (Sammartano *et al.*, 2017).

Possuem características únicas, incluindo um preço acessível, fácil reparo, baixo custo de manutenção e eficiência. É simples de construir e fácil de fabricar. (Kirke, 2019; Mehra *et al.*, 2021; Rantererung *et al.*, 2020; Sinagra *et al.*, 2015).

Como desvantagem, aponta-se a variação da taxa de fluxo de água (Marliansyah, Putri; Hermansyah, 2018).

A turbina *Michell-Bancki* possui uma seção constante ao longo de qualquer plano normal ao eixo do impulsor. Composta por quatro partes principais: o tubo convergente, o bocal, o impulsor rotativo e o difusor. O fluxo de água atravessa duas vezes os canais das pás antes de deixar o impulsor para entrar no difusor, conectados entre si perto de suas bordas por uma série de pás curvas (Sammartano *et al.*, 2016).

A rotação do eixo da turbina é convertida, por um gerador, em energia elétrica (Galvis-Holguin; Del Rio; Hincapié, 2022; Mehra *et al.*, 2021; Polagye *et al.*, 2019; Purwanto *et al.*, 2020; Sammartano *et al.*, 2016; Sammartano *et al.*, 2016; Sammartano *et al.*, 2015; Sinagra *et al.*, 2017; Sutikno *et al.*, 2019; Woldemariam *et al.*, 2018; Verma; Gaba; Bhowmick, 2017; Yahagi *et al.*, 2016;).

O melhor desempenho da turbina *Michell-Bancki* é influenciado diretamente pela posição correta do ângulo da pá da turbina, que produz maior potência e maior eficiência da turbina (Rantererung *et al.*, 2020).

As bordas das lâminas das pás são afiadas para reduzir a resistência ao fluxo de água e as lâminas são soldadas aos discos. A eficiência ideal é obtida através da razão entre a velocidade da partícula de entrada e a velocidade de rotação da máquina (Sammartano *et al.*, 2015).

Outra utilização atribuída às bombas hidráulicas é que ainda podem ser operadas em modo reverso para gerar hidroeletricidade. O uso de turbinas em linha permitiria a seleção de locais onde uma redução de pressão não afetaria a regulação da descarga, mas, ao contrário, limitaria a pressão da turbina e reduziria as perdas de água (Jemal; Haile, 2019; Kan Kan *et al.*, 2022a; Kan Kan *et al.*, 2022b; Sammartano *et al.*, 2016; Samora *et al.*, 2016; Sinagra *et al.*, 2017; Sinagra *et al.*, 2015).

O número de lâminas no eixo da turbina de fluxo cruzado afeta o desempenho. A dinâmica do fluido de um jato de água de um bocal libera energia à medida que a água atravessa o rotor da turbina de fluxo cruzado (Jemal; Haile, 2019; Purwanto *et al.*, 2020; Rantererung *et al.*, 2020; Shahidul *et al.*, 2015; Sinagra *et al.*, 2017; Sutikno *et al.*, 2019; Yahagi *et al.*, 2016), podendo ser aplicada em residências.

## 2.3 APLICAÇÃO DA MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL

Para que a microgeração hídrica seja aplicada amplamente é necessário que os engenheiros invistam em aumentar as taxas de implantação da microgeração hídrica para a sustentabilidade de edifícios (GamalEldine; Corvacho, 2022).

No Brasil, há projeções para o crescimento médio de domicílios de 1,5% ao ano entre 2021 e 2030, alinhadas com as premissas de recuperação e crescimento da renda da população e de redução do déficit habitacional (Brasil, 2021), necessitando da implantação da sustentabilidade residencial.

No setor residencial, a demanda de carga elétrica varia conforme diferentes condições atribuídas aos tipos de fontes de energia utilizadas no edifício. Ao usar as fontes de ER, as emissões de GEE podem ser ainda mais reduzidas, auxiliando na demanda energética (Arif; Amanullah, 2017; Rao; Arun; Selvan, 2020).

Além disso, fatores como o número de pessoas, o número e/ou uso de eletrodomésticos e o comportamento individual dos moradores frente à necessidade energética influenciam o consumo elétrico (Arif; Amanullah, 2017), assim como a eficiência dos aparelhos (Golmohamadi, 2022).

As casas podem ter sua eficiência energética melhorada reduzindo o uso de energia, aperfeiçoando a classificação de energia elétrica da casa e/ou dos eletrodomésticos para eficiente (Arif; Amanullah, 2017).

A iluminação interfere na eficiência energética residencial. No campo da iluminação, o LED possui maior vida útil, em comparação com outros tipos de luz (Brasil, 2021; GamalEldine; Corvacho, 2022).

Outro aspecto a ser considerado na demanda energética é a flexibilidade, que se refere à capacidade do consumo elétrico de mudar, deslocar, ajustar ou reduzir em resposta a um pedido externo, como preço da eletricidade, incentivos financeiros e requisitos técnicos (Golmohamadi, 2022).

Espera-se que o consumo de eletricidade nas residências brasileiras cresça cerca de 3,4% ao ano entre 2019 e 2030 (Brasil, 2021), visto que o consumo de energia elétrica nas residências abrange 30,1% do total (Brasil, 2022), projetado o consumo de 6,56 kWh por dia de energia ao final de 2030 (Brasil, 2021).

Devido à média de consumo apresentada, a microgeração é uma alternativa para ser instalada nas entradas de residências, reservatórios de abastecimento, rios, fazendas, pequenas plantações ou sistemas de irrigação, pisciculturas e instalações de purificação de água (Brasil, 2009; Kadier *et al.*, 2018) ou em áreas remotas (Sangari; Rompas, 2017), considerando a legislação brasileira vigente.

A Lei nº 9.433/1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, que regulamenta os aproveitamentos hidrelétricos estão sujeitos à outorga de direito de uso, por ser considerada um bem de domínio público, dotado de valor econômico (Brasil, 2018a; Brasil, 2007a).

E compete ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos promover a articulação dos planejamentos nacional, estaduais e regionais através da Lei nº 9.984/2000 (Brasil, 2000).

A Lei nº10.881/2004 dispõe sobre os contratos de gestão entre a Agência Nacional de Águas e entidades delegatárias das funções de Agências de Águas relativas à gestão de recursos hídricos de domínio da União (BRASIL, 2004)

Tais leis podem ser aplicadas na microgeração em uma topografia montanhosa onde os rios oferecem várias oportunidades para a geração de energia hidrelétrica de baixo potencial (Baidar *et al.*, 2016; Kadier, *et al.*, 2018; Kan Kan *et al.*, 2022a; Kirke, 2019; Ratnata *et al.*, 2018; Sangari; Rompas, 2017; Sulis *et al.*, 2019).

Já nas áreas rurais, podem ser instaladas nos canais de irrigação e rios (Kadier *et al.*, 2018; Khomsah *et al.*, 2019; Loots *et al.*, 2015; Nasira *et al.*, 2023; Yahagi *et al.*, 2016;) ou em redes de água (Sammartano *et al.*, 2016; Samora *et al.*, 2016).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 MATERIAL E MÉTODOS

##### 3.1.1 Tipo de estudo

Esse estudo divide-se em três etapas:

1ª. Etapa: Revisão sistemática de literatura utilizando o método PRISMA (2020) com uma análise bibliométrica;

As revisões sistemáticas, segundo Page *et al.*, (2022), desempenham diversas funções críticas, entre as aplicáveis nesse estudo, fornecer sínteses do estado do conhecimento em um campo, a partir das quais futuras prioridades de pesquisa podem ser identificadas; podem abordar questões que, de outra forma, não seriam respondidas por estudos individuais.

O método PRISMA 2020 destina-se ao uso em revisões sistemáticas de estudos quantitativos e qualitativos, que se propõe a apresentar e resumir as características dos estudos que contribuem para uma síntese e permite que os pesquisadores avaliem a aplicabilidade dos resultados ao seu contexto (Page *et al.*, 2022).

2ª. Etapa: Análise dos estudos de casos de microgeração encontrados nos estudos de caso da revisão sistemática;

3ª. Etapa: Pesquisa quantitativa, descritiva, exploratória e comparativa de opinião com engenheiros civis brasileiros sobre a microgeração de energia elétrica por fonte hídrica.

##### 3.1.2 Aspectos Éticos

O levantamento de dados junto aos engenheiros ocorreu, portanto, através de entrevista indireta considerada como levantamento de opinião, sem a identificação dos participantes.

Dessa forma, a pesquisa se enquadra na Resolução nº 510 de 7 de abril de 2016, do Conselho Nacional de Saúde, que afirma que pesquisas com essas características, não devem ser registradas, nem avaliadas pelo sistema CEP/CONEP, onde foi mantido o anonimato.

### 3.1.3 Ferramentas utilizadas

#### 1ª. Etapa:

Diagrama de Venn, que segundo Stewart (2013), são ferramentas visuais que permitem a compreensão intuitiva de operações entre conjuntos. Além disso, conforme Lima (2020), eles são frequentemente utilizados no ensino para demonstrar conceitos de inclusão e exclusão lógica.

A metodologia PRISMA é uma abordagem baseada em evidências para estruturar, visando a revisão para melhorar a qualidade da apresentação sistemáticas (Moher *et al.*, 2009).

Análise Bibliométrica, com métodos estatísticos e matemáticos na crítica de desempenho das obras literárias através H-Index e PLUMX.

O *National H-index Ranking* é um ranking internacional independente que visa avaliar a produtividade científica de cientistas, grupos de pesquisa e organizações no país abordando informações de bases de dados cienciométricas e plataformas (h-index.com 2024).

Enquanto que as métricas PlumX fornecem dados sobre como as pessoas interagem com os resultados de pesquisa no ambiente online, divididas em cinco categorias. Nesse estudo foi utilizado a contagem de citações no PlumX, que são medidas de quantas vezes a pesquisa foi citada por outros pesquisadores.

#### 2ª. Etapa:

Equações matemáticas: porcentagem, média, custo.

Conversão de grandezas.

Correlação de Pearson.

#### 3ª. Etapa:

Formulário semiestruturado com perguntas fechadas on-line via Forms®.

Equações matemáticas: porcentagem, média, custo.

Método Person utilizando o software R® (livre e gratuito).

Microsoft Office Excel®.

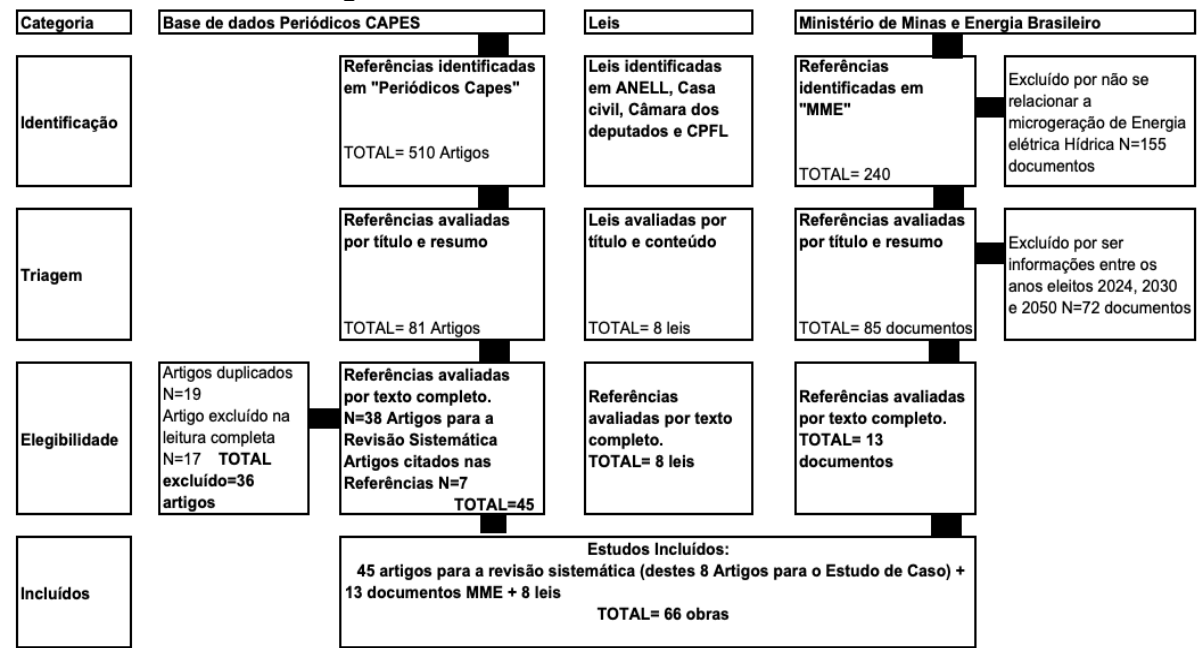
3.2 PROCEDIMENTOS DE PESQUISA

3.2.1 Sistematização de literatura: 1ª. Etapa:

A sistematização de literatura utiliza métodos que buscam identificar, selecionar, analisar e sintetizar uma amostra de estudos científicos produzidos num campo de conhecimento em um determinado período (Chueke; Amatucci, 2022).

Nesse estudo que versa sobre o uso alternativo de fontes para produção de energia elétrica, em especial o uso de água em residências e na rede de abastecimento de água, considerou a metodologia PRISMA (2020), conforme a figura 03 a seguir.

**Figura 03-** Fluxo de identificação de estudos a partir de dados coletados nos Periódicos CAPES e no Ministério de Minas e Energia, segundo a metodologia PRISMA 2020.



Fonte: Autor (2024).

Abaixo será apresentado detalhadamente o fluxo de identificação de estudos descrito.

### A) Periódico CAPES

Os estudos em periódicos foram coletados no acervo científico virtual do Periódico Capes, devido a maior possibilidade de ter produção nacional de alto nível sobre a temática, totalizando 45 artigos;

Os critérios de inclusão utilizado foram estabelecidos com o período de 2015 a 2024, em periódicos revisados por pares, de acesso público e livre, em inglês e se enquadrar nos critérios da microgeração de energia elétrica de fonte hídrica.

Os critérios de exclusão utilizado foram estabelecidos com artigos pagos e/ou com acesso restrito, anteriores a 2015 e em idiomas diferentes do inglês.

**Tabela 01-** Fases da identificação, triagem e elegibilidade dos artigos da plataforma Capes para a revisão sistemática, segundo as palavras-chave utilizadas.

| Fases da Identificação, triagem e Elegibilidade dos artigos                                        | Identificação        | Triagem – Critérios de Exclusão |           |                      | Elegibilidade           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------|-----------|----------------------|-------------------------|
|                                                                                                    |                      | Após leitura título e/ou resumo | Duplicado | Após a leitura total |                         |
| <b>Palavras-chave pesquisadas</b>                                                                  | Critério de inclusão |                                 |           |                      | Referencial Sistemático |
| Microgeneration of electrical energy AND Renewable electrical energy                               | 19                   | 4                               | 0         | 3                    | 1                       |
| Microgeneration of electrical energy AND Residential electrical energy                             | 6                    | 0                               | 0         | 0                    | 0                       |
| Microgeneration of electrical energy AND Sustainability                                            | 2                    | 1                               | 0         | 1                    | 0                       |
| Microgeneration of electrical energy AND Energy                                                    | 26                   | 4                               | 4         | 0                    | 0                       |
| Energy AND Cross-flow turbine OR Bánki-Michell turbine OR Ossberger turbine                        | 155                  | 45                              | 3         | 6                    | 36                      |
| Renewable electrical energy AND Cross-flow turbine OR Bánki-Michell turbine OR Ossberger turbine   | 7                    | 4                               | 4         | 0                    | 0                       |
| Sustainability AND cross-flow turbine OR Bánki-Michell turbine OR Ossberger turbine                | 7                    | 7                               | 4         | 3                    | 0                       |
| Residential electrical energy AND Cross-flow turbine OR Bánki-Michell turbine OR Ossberger turbine | 1                    | 1                               | 1         | 0                    | 0                       |
| Energy AND Renewable electrical energy and residential electrical energy and sustainability        | 71                   | 15                              | 3         | 4                    | 8                       |
| Microgeneration of electrical energy or energy microgeneration AND Renewable electrical energy     | 11                   | 0                               | 0         | 0                    | 0                       |
| Microgeneration of electrical energy or energy microgeneration AND Residential electrical energy   | 4                    | 0                               | 0         | 0                    | 0                       |
| Energy AND Sustainability AND Microgeneration of electrical energy                                 | 2                    | 0                               | 0         | 0                    | 0                       |
| <b>Total</b>                                                                                       | <b>311</b>           | <b>81</b>                       | <b>19</b> | <b>17</b>            | <b>45</b>               |

Fonte: Autor (2024).

Após a leitura dos títulos, foram excluídos 19 artigos repetidos nos buscadores, aqueles com menor fator de impacto e antigos, cujo potencial de energia gerado não era referente ao da microgeração.

Para a leitura dos resumos dos artigos, aqueles que tratavam de assuntos semelhantes, apenas os mais recentes foram selecionados, permanecendo 4 artigos *microgeneration of electrical energy AND energy*; 45 artigos *Energy AND cross-flow turbine OR Bánki-Michell turbine OR Ossberger turbine*; 4 artigos *renewable electrical energy AND cross-flow turbine OR Bánki-Michell turbine OR Ossberger turbine*; 7 artigos *sustainability AND cross-flow turbine OR Bánki-Michell turbine OR Ossberger turbine*; 1 artigos *residential electrical energy AND cross-flow turbine OR Bánki-Michell turbine OR Ossberger turbine* e 15 artigos *energy AND renewable electrical energy and residential electrical energy and sustainability*, totalizando 62 artigos.

Após a leitura completa, foram excluídos mais 17 artigos por se tratarem de microgeração fotovoltaica, eólica ou hídrica por marés.

Incluído 30 artigos *Energy AND cross-flow turbine OR Bánki-Michell turbine OR Ossberger turbine* e 8 artigos *energy AND renewable electrical energy and residential electrical energy and sustainability*.

Após a leitura do artigo de Sinagra *et al.*, (2017), intitulado "*A New Device for Pressure Control and Energy Recovery in Water Distribution Networks*", foi verificado o referencial utilizado e incluído neste estudo 7 artigos: De Marchis *et al.*, 2016; Sammartano *et al.*, 2016; Sammartano *et al.*, 2017a; Sammartano *et al.*, 2017b; Samora *et al.*, 2016a; Samora *et al.*, 2016b; Sinagra *et al.*, 2017, totalizando 45 artigos para compor esta tese.

Dentre os 45 artigos, houve um refinamento para identificar estudos de casos de microgeração de energia elétrica hídrica, totalizando 13 artigos.

Destes, 5 foram excluídos por geram quantidade superior a 75 kWh (Kadier *et al.*, 2018; Marliansyah; Putri; Hermansyah, 2018; Ratnata *et al.*, 2018; Sammartano *et al.*, 2015; Samora *et al.*, 2016; Sangari; Rompas, 2017).

Foram incluídos 8 artigos para compor o estudo de caso com microgeração de até 75 kWh (1-Khomsah *et al.*, 2019; 2-De Marchis *et al.*, 2016; 3-Purwanto; Budiyo; Hermawan, 2019; 4-Purwanto *et al.*, 2020; 5-Rantererung *et al.*, 2020; 6-Sammartano *et al.*, 2016; 7-Samora *et al.*, 2016b; 8-Sulis *et al.*, 2019), que serão avaliados, conforme a tabela 02 a seguir:

**Tabela 02-** Estudos de caso selecionados para estudo comparativo de aplicação em residências e na rede de abastecimento de água municipal para a microgeração de energia elétrica por fonte hídrica.

| <b>Residências</b>                  | <b>Rede abastecimento de água municipal</b> |
|-------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1-Khomsah <i>et al.</i> , 2019;     | 2-De Marchis <i>et al.</i> , 2016;          |
| 3-Purwanto; Budiyo; Hermawan, 2019; | 6-Sammartano <i>et al.</i> , 2016;          |
| 4-Purwanto <i>et al.</i> , 2020;    | 7-Samora <i>et al.</i> , 2016               |
| 5-Rantererung <i>et al.</i> , 2020; |                                             |
| 8-Sulis <i>et al.</i> , 2019        |                                             |

Fonte: Autor (2024).

No estudo elaborado por De Marchis *et al.*, 2016, houve a simulação de 6 turbinas que geraram (60kWh/dia; 40 kWh/dia; 95 kWh/dia; 40 kWh/dia; 25 kWh/dia; 58 kWh/dia), das quais, uma foi desconsiderada (95 kWh/dia) por gerar quantidade superior a 75 kWh, resultando em cinco dados a serem considerados como (a-60kWh/dia; b-40 kWh/dia; c-40 kWh/dia; d-25 kWh/dia; e-58 kWh/dia).

Para um maior detalhamento dos resultados encontrados nas tabelas 01 e 02 referente aos 45 artigos selecionados, estes serão apresentados na tabela 03 descrevendo o autor, ano, o título e o tipo de estudo (revisão de literatura ou estudo de caso).

**Tabela 03-** Relação dos artigos utilizados para a revisão sistemática, segundo as palavras-chave.

| <b>(Continua)</b> |                              |                                                                                                                                |             |
|-------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>AUTOR, ANO</b> |                              | <b>Palavras-chave: Renewable electrical energy AND microgeneration of electrical energy</b>                                    | <b>TIPO</b> |
| 01                | Arfeen et al., 2019          | <i>Control of distributed generation systems for microgrid applications: A technological review</i>                            | RV          |
| <b>AUTOR, ANO</b> |                              | <b>Palavras-chave: Energy AND cross-flow turbine OR Bánki-Michell turbine OR Ossberger turbine</b>                             | <b>TIPO</b> |
| 1                 | Kadier <i>et al.</i> , 2018  | <i>Pico hydropower (PHP) development in Malaysia: Potential, present status, barriers and future perspectives</i>              | RV          |
| 2                 | Khomsah <i>et al.</i> , 2019 | <i>Pico-hydro as a Renewable Energy: Local Natural Resources and Equipment Availability in Efforts to Generate Electricity</i> | RV          |
| 3                 | Baidar <i>et al.</i> , 2016  | <i>Strategic rehabilitation of the earthquake affected microhydropower plants in Nepal</i>                                     | RV          |

Tabela 03- **Relação dos artigos utilizados para a revisão sistemática, segundo as palavras-chave.**

(Continuação)

|    | <b>AUTOR, ANO</b>                      | <b>Palavras-chave: Energy AND cross-flow turbine OR Bánki-Michell turbine OR Ossberger turbine</b>                                      | <b>TIPO</b> |
|----|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 4  | De Marchis et al., 2016                | <i>Energy Saving in Water Distribution Network through Pump as Turbine Generators: Economic and Environmental Analysis</i>              | EC          |
| 5  | Galvis-Holguin; Rio; Hincapié, 2022    | <i>Enhancement efficiency of Michell-Banki turbine using NACA 6512 modified blade profile via CFD</i>                                   | RV          |
| 6  | Gómez, Higuaita, Benavides-Morán, 2018 | <i>Computational analysis of a cross flow turbine performance</i>                                                                       | RV          |
| 7  | Jemal; Haile, 2019                     | <i>Comprehensive Review of Pump as Turbine</i>                                                                                          | RV          |
| 8  | Kan Kan et al., 2022a                  | <i>Energy loss mechanism due to tip leakage flow of axial flow pump as turbine under various operating conditions</i>                   | RV          |
| 9  | Kan Kan et al., 2022b                  | <i>Pump as turbine cavitation performance for both conventional and reverse operating modes: A review</i>                               | RV          |
| 10 | Kirke, 2019                            | <i>Hydrokinetic and ultra-low head turbines in rivers: A reality check</i>                                                              | RV          |
| 11 | Loots et al., 2015                     | <i>A review of low head hydropower technologies and applications in a South African context</i>                                         | RV          |
| 12 | Marliansyah et al., 2018               | <i>Optimization potential analysis of micro-hydro power plant (MHPP) from river with low head</i>                                       | RV          |
| 13 | Mehr et al., 2021                      | <i>A novel design and performance optimization methodology for hydraulic Cross-Flow turbines using successive numerical simulations</i> | RV          |
| 14 | Nasir et al., 2023                     | <i>Technical and economic analysis of a pump as a turbine for rural electrification</i>                                                 | RV          |
| 15 | Obretenov; Tsalov, 2022                | <i>Research and Design of Cross Flow Water Turbines for Small HPP</i>                                                                   | RV          |
| 16 | Polagye et al., 2019                   | <i>Comparison of cross-flow turbine performance under torque-regulated and speed-regulated control</i>                                  | RV          |
| 17 | Purwanto; Budiyono; Hermawan, 2017     | <i>The modeling of 80 mm diameter cross flow turbine runner for mini/microhydro environmentally friendly power plant</i>                | EC          |
| 18 | Purwanto et al., 2020                  | <i>Microhydro with Tube: A Powerhouse Solution for Rural Electricity</i>                                                                | EC          |
| 19 | Rantererung et al., 2020               | <i>A Double Nozzle Cross Flow Turbine Fluid Flow Dynamics</i>                                                                           | EC          |
| 20 | Ratnata et al., 2018                   | <i>Preliminary Study of Micro-hydro Power Plant (MHPP) in The Rural Area</i>                                                            | RV          |
| 21 | Sammartano et al., 2015                | <i>Cross-Flow Turbine Design for Energy Production and Discharge Regulation</i>                                                         | RV          |

Tabela 03- **Relação dos artigos utilizados para a revisão sistemática, segundo as palavras-chave.**

(Continuação)

| <b>AUTOR, ANO</b> |                        |                       | <b>Palavras-chave: Energy AND cross-flow turbine OR Bánki-Michell turbine OR Ossberger turbine</b>                        | <b>TIPO</b> |
|-------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 22                | Sammartano             | <i>et al.</i> , 2016  | <i>Banki-Michell micro-turbines for energy production in water distribution networks</i>                                  | EC          |
| 23                | Sammartano             | <i>et al.</i> , 2017a | <i>Coupled Hydraulic and Electronic Regulation of Cross-Flow Turbines in Hydraulic Plants</i>                             | RV          |
| 24                | Sammartano             | <i>et al.</i> , 2017b | <i>A Banki-Michell turbine for in-line hydropower systems.</i>                                                            | RV          |
| 25                | Samora                 | <i>et al.</i> , 2016  | <i>Experimental characterization of a five blade tubular propeller turbine for pipe inline installation</i>               | RV          |
| 26                | Samora                 | <i>et al.</i> , 2016  | <i>Energy recovery using micro-hydropower technology in water supply systems: The case study of the city of Fribourg.</i> | EC          |
| 27                | Sangari; Rompas,       | 2017                  | <i>A Model of Small Capacity Power Plant in Tateli Village, North Sulawesi</i>                                            | RV          |
| 28                | Shahidul               | <i>et al.</i> , 2015  | <i>Modeling the Energy Extraction from In-stream Water by Multi Stage Blade System of Cross Flow Micro Hydro Turbine</i>  | RV          |
| 29                | Sinagra; Rompas        | 2017                  | <i>A New Device for Pressure Control and Energy Recovery in Water Distribution Networks</i>                               | RV          |
| 30                | Sinagra                | <i>et al.</i> , 2022  | <i>Low-Head Hydropower for Energy Recovery in Wastewater Systems</i>                                                      | RV          |
| 31                | Sinagra                | <i>et al.</i> , 2015, | <i>Experimental and Numerical Analysis of a Cross-Flow Turbine.</i>                                                       | EC          |
| 32                | Sulis                  | <i>et al.</i> , 2019  | <i>A cross-flow Type Design of 5 kW Micro Hydro Power Plant for Rural Area In West Java</i>                               | EC          |
| 33                | Sutikno                | <i>et al.</i> , 2019  | <i>Flow visualization of water jet passing through the empty space of crossflow turbine runner</i>                        | RV          |
| 34                | Verma; Gaba; Bhowmick, | 2017                  | <i>An Experimental Investigation of the Performance of Cross-flow Hydro Turbines</i>                                      | RV          |
| 35                | Woldemariam            | <i>et al.</i> , 2018  | <i>CFD-Driven Valve Shape Optimization for Performance Improvement of a Micro Cross-Flow Turbine</i>                      | RV          |
| 36                | Yahagi                 | <i>et al.</i> , 2016  | <i>Performance analysis of an undershot cross-flow water turbine based on the flow near the runner</i>                    | RV          |
| <b>AUTOR, ANO</b> |                        |                       | <b>Palavras-chave: Energy AND renewable electrical energy and residential electrical energy and sustainability</b>        | <b>TIPO</b> |
| 1                 | Adefarati; Bansal,     | 2019                  | <i>Application of renewable energy resources in a microgrid power system</i>                                              | RV          |
| 2                 | Arif; Amanullah,       | 2017                  | <i>Net-zero emission residential building in temperate weather condition</i>                                              | RV          |
| 3                 | Dehghani               | <i>et al.</i> , 2020  | <i>Genetic Algorithm for Energy Commitment in a Power System Supplied by Multiple Energy Carriers</i>                     | RV          |

Tabela 03- **Relação dos artigos utilizados para a revisão sistemática, segundo as palavras-chave.**

|                   |                                                                                                                    | (Conclusão)                                                                                                                                                   |    |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>AUTOR, ANO</b> | <b>Palavras-chave: Energy AND renewable electrical energy and residential electrical energy and sustainability</b> | <b>TIPO</b>                                                                                                                                                   |    |
| 4                 | Golmohamadi, 2022                                                                                                  | <i>Demand-Side Flexibility in Power Systems: A Survey of Residential, Industrial, Commercial, and Agricultural Sectors</i>                                    | RV |
| 5                 | Malik et al., 2023                                                                                                 | <i>Climate Change Impacts Quantification on the Domestic Side of Electrical Grid and Respective Mitigation Strategy across Medium Horizon 2030</i>            | R' |
| 6                 | GamalEldine; Corvacho, 2022                                                                                        | <i>Compliance with Building Energy Code for the Residential Sector in Egyptian Hot-Arid Climate: Potential Impact, Difficulties, and Further Improvements</i> | RV |
| 7                 | Rao; Arun; Selvan, 2020                                                                                            | <i>Framework of locality electricity trading system for profitable peer-to-peer power transaction in locality electricity market</i>                          | RV |
|                   | Wouters; Fraga; James, 2017                                                                                        | <i>A policy-based multi-objective optimisation framework for residential distributed energy system design</i>                                                 | RV |

Fonte: Autor (2024).

Legenda: Aplicação=Estudo de Caso (EC); Revisão de Literatura (RV)

Os 45 artigos selecionados e apresentados na tabela 03 foram submetidos à análise de bibliometria considerando:

- a) Número total de artigos selecionadas segundo as palavras-chave para a revisão sistemática;
- b) Número total de artigos selecionados para a revisão sistemática por ano;
- c) Número total de artigos para a revisão sistemática por periódico x H-INDEX do periódico;
- d) Número total de citações por artigos no PLUMX do periódico CAPES, segundo os autores artigos para a revisão sistemática;
- e) Número de periódicos por país selecionado para a revisão sistemática;
- f) Número de autores com mais obras selecionadas para a revisão sistemática.

B) No site do Ministério de Minas e Energia brasileiro, para compreender as tomadas de decisão estratégica governamental sobre a microgeração de energia, totalizando 13 documentos.

Os critérios de inclusão foram considerados elegíveis os documentos atuais e com projeções a longo prazo sobre microgeração de energia elétrica por fonte hídrica.

Como critérios de exclusão foram considerados aqueles fora dos objetivos deste trabalho, desatualizados ou com dados repetidos já mencionados em outro estudo mais recente.

As palavras-chave utilizadas para a pesquisa no site do Ministério de Minas e Energia brasileiro, estão descritas na tabela 04, assim como a sua elegibilidade.

**Tabela 04-** Fases da identificação, triagem e elegibilidade dos documentos do site do Ministério de Minas e Energia (MME) brasileiro para a revisão sistemática, segundo as palavras-chave utilizadas.

| Identificação   |    | Triagem-<br>Critérios de<br>Exclusão | Elegebilidade dos documentos do MME |                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------|----|--------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>PDE-2030</b> | 16 | 13                                   | 3                                   | -PDE-2030;<br>-Geração Hidrelétrica;<br>-Matriz Energética Nacional 2030.                                                                                                                                                        |
| <b>PDE-2034</b> | 3  | 1                                    | 2                                   | -PDE-2034;<br>-Caderno_MMGD_Baterias.                                                                                                                                                                                            |
| <b>PNE-2030</b> | 12 | 8                                    | 4                                   | -Relatório PNE-2030,<br>-1-Caderno de Demanda de Eletricidade;<br>-4-Caderno de Micro e Minigeração Distribuída & Baterias;<br>-13-Caderno de Análise Socioambiental.                                                            |
| <b>PNE-2050</b> | 25 | 21                                   | 4                                   | -PNE-2050 relatório final;<br>-Análise Comparativa de Planos de Energia de Longo Prazo de Países da América Latina;<br>-Potencial de Recursos Energéticos no Horizonte 2050.<br>-Consumo Mensal de Energia Elétrica por classe-3 |
| <b>Total</b>    | 56 | 43                                   | 13                                  |                                                                                                                                                                                                                                  |

Fonte: Autor (2024).

C) Leis regulamentadoras da microgeração de energia elétrica por fonte hídrica, totalizando 8 leis.

Os critérios de inclusão considerados foram as leis atuais que regulamentam a microgeração de energia elétrica brasileira ou a utilização hídrica para a geração de energia elétrica.

Os critérios de exclusão foram a exclusão de leis revogadas ou desatualizadas sobre a microgeração.

As leis encontradas na pesquisa estão publicadas para consulta pública nos sites oficiais do Ministério de Minas e Energia, Câmara dos Deputados, Casa Civil e ANELL, estão descritas na tabela 05.

**Tabela 05-** Fases da identificação, triagem e elegibilidade das leis na Câmara dos Deputados, Casa Civil e ANELL para a revisão sistemática, segundo as palavras-chave utilizadas.

|                             | <b>Identificação</b> | <b>Triagem-<br/>Critérios de<br/>Exclusão</b> | <b>Elegibilidade</b> |                                                                                                                                          |
|-----------------------------|----------------------|-----------------------------------------------|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ANELL</b>                | 04                   | 0                                             | 04                   | Resolução normativa nº. 482/12<br>Resolução normativa nº. 687/15<br>Resolução normativa nº. 1.031/22<br>Resolução normativa nº. 1.059/23 |
| <b>Câmara dos Deputados</b> | 01                   | 0                                             | 01                   | Lei nº. 9.984/2000                                                                                                                       |
| <b>Casa Civil</b>           | 02                   | 0                                             | 02                   | Lei nº. 10.881/2004<br>Lei nº. 10.438/2002                                                                                               |
| <b>CPFL</b>                 | 01                   | 0                                             | 01                   | Lei nº. 15.303/2000                                                                                                                      |
| <b>Total</b>                | 08                   | 0                                             | 08                   |                                                                                                                                          |

Fonte: Autor (2024).

Para representar a revisão sistemática da literatura foi elaborado um diagrama de Venn. Essa ferramenta possibilitou a visualização de propriedades e de relações entre um número finito de conjuntos, representados por linhas fechadas, desenhadas sobre um plano, de forma a trabalhar os conjuntos e as diferentes relações existentes entre conjuntos e elementos (Martins, 2014), conforme apresenta a figura 04.

**Figura 04-** Diagrama de Venn do total de artigos encontrados nos periódicos CAPES e no Ministério de Minas e Energia após a aplicação dos critérios de exclusão e inclusão.



Fonte: Autor (2024).

Finalizada a 1ª. etapa da revisão sistemática, por seguinte virá a 2ª. etapa de análise dos estudos de casos de microgeração de energia elétrica por fonte hídrica.

### 3.2.2 Análise dos estudos de casos de microgeração encontrados nos estudos de caso da revisão sistemática: 2ª. Etapa

3.2.2.1: Avaliar os resultados obtidos nos estudos de caso com a turbina *Michell-Banki*, selecionados, analisando as variáveis:

- Apresentação dos estudos de caso segundo o autor e ano; local de aplicação; tipo de experimento.
- Conversão das unidades do rendimento da microgeração de cada estudo de caso de watts (W) para quilowatt-hora (kWh) em residências.
- Capacidade de ascender lâmpadas de 9W (ambientes residenciais) de potência do rendimento da microgeração de cada estudo de caso em residências e na rede de distribuição de água municipal.

A equação a ser considerada:

$$N=Q/P \quad (01)$$

Legenda:

N: Número de lâmpadas por kWh

Q: Quantidade de energia gerada em kWh

P: Potência da lâmpada (9W ou 3W)

- d) Viabilidade econômica cada estudo de caso em residências e na rede de distribuição de água municipal.
- e) Custo de implantação cada estudo de caso em residências e na rede de distribuição de água municipal.
- f) Custo de manutenção cada estudo de caso em residências e na rede de distribuição de água municipal.
- g) Sustentabilidade cada estudo de caso em residências e na rede de distribuição de água Municipal.

3.2.2.2 Aplicar os estudos de caso nas residências ou em cidades brasileiras projetados para 2030, 2040 e 2050.

- a) Total de geração potencial de energia (MWh) obtida pela microgeração em rede de entrada de água, nos estudos de caso (2-De Marchis *et al.*, 2016; 6-Sammartano *et al.*, 2016; 7-Samora *et al.*, 2016) que consideram a aplicação em 5.570 municípios brasileiro (IBGE, 2023), por estudo.

$$GMW = GKWi / 1.000 \quad (02)$$

$$Gt = GkW \times 5.570 \quad (03)$$

Legenda:

GMW: Total de energia gerada pela microgeração (MWh) por ano

Gt: Total de geração potencial de energia (MWh) obtida pela microgeração em rede de entrada de água

GKWi: Geração total por estudo de caso: (2-De Marchis *et al.*, 2016; 6-Sammartano *et al.*, 2016; 7-Samora *et al.*, 2016) em kWh nos 5.570 municípios brasileiros.

- b) Total de geração potencial de energia (MWh) obtida pela microgeração, nos estudos de caso (1-Khomsah *et al.*, 2019; 3-Purwanto; Budiyo; Hermawan, 2019; 4-Purwanto *et al.*, 2020; 5-Rantererung *et al.*, 2020; 8-Sulis *et al.*, 2019) que consideram a aplicação residências por número de domicílio brasileiro projetado 2030 (82 milhões), 2040 (91 milhões) e 2050 (98 milhões), segundo (Brasil, 2020), por estudo.

$$GtiMW = GkW.1000 \quad (4)$$

Legenda:

GMw: Total de energia gerada pela microgeração (MW) por ano.

GKw: Geração total em Kw.

Gti: Total de geração potencial de energia (MWh) obtida pela microgeração nos estudos de caso (1-Khomsah *et al.*, 2019; 3-Purwanto; Budiyo; Hermawan, 2019; 4-Purwanto *et al.*, 2020; 5-Rantererung *et al.*, 2020; 8-Sulis *et al.*, 2019).

Onde i= 2030 (82.000.000), 2040 (91.000.000), 2050 (98.000.000).

### 3.2.2.3 Total percentual de participação de microgeração, por estudo de caso no consumo total, projetado para 2030, 2040 e 2050 e por turbina *Michell Banki*.

- a) Total percentual de participação de microgeração, por estudo de caso no consumo total, nos estudos de caso (2-De Marchis *et al.*, 2016; 6-Sammartano *et al.*, 2016; 7-Samora *et al.*, 2016) projetado para 2030, 2040 e 2050 e por turbina *Michell Banki* que consideram a aplicação em 5.570 municípios brasileiro (IBGE, 2023), por estudo.

$$PMi = Gt.1.000/Ti \quad (05)$$

Legenda

PMi = Percentual da participação por municípios da microgeração em 2030

Gt = Total por municípios em MWh

Ti = Total em MWh 2030 136 milhões; 2040 183 milhões; 2050 241 milhões

- b) Total percentual de participação de microgeração, por estudo de caso no consumo total, nos estudos de caso (1-Khomsah *et al.*, 2019; 3-Purwanto; Budiyo; Hermawan, 2019; 4-Purwanto *et al.*, 2020; 5-Rantererung *et al.*, 2020; 8-Sulis *et al.*, 2019) projetados para 2030, 2040 e 2050 e por turbina *Michell Banki* que consideram a aplicação em residências por número de domicílio brasileiro projetado 2030 (82 milhões), 2040 (91 milhões) e 2050 (98 milhões), segundo Brasil, 2020, por estudo.

$$PRi = Rt. 100/Ti \quad (06)$$

Legenda:

PRi = Percentual da participação por residências da microgeração em 2030

Rt = Total por residências em 2030 em MWh

Ti: Previsão de consumo de energia elétrica 2030 (136 mil MW médios); 2040 (183 mil MW médios); 2050 (241 mil MW médios).

3.2.2.4 Porcentagem de participação da microgeração por turbina *Michell Banki*, segundo o consumo de energia elétrica na classe residencial, em 2021, por região no Brasil.

- a) Conversão de Q de kWh para kWh por mês multiplicando Q por 360 (h/Mês).

$$\text{kWh por mês} = Q.360 \text{ (h/Mês)}. \quad (7)$$

Legenda:

Q1= 0,114 kWh; Q3= 0,45 kWh; Q4= 0,42 kWh; Q5= 0,00604 kWh; Q8= 0,004025 kWh

B) Percentual da participação da microgeração na classe residencial por região brasileira.

$$PB = Qi. 100/Ti \quad (8)$$

Legenda:

PB: Percentual da participação da microgeração na classe residencial por região brasileira

Qi: Quantidade de energia gerada em kWh/mês (Q1= 0,114 kWh; Q3= 0,45 kWh; Q4= 0,42 kWh; Q5= 0,00604 kWh; Q8= 0,004025 kWh)

Ti: 182,8 kWh/mês por residência na região norte; 130,6 kWh/mês por residência na região nordeste; 174,5 kWh/mês por residência na região sudeste; 185 kWh por mês por residência na região sul; 191,2 kWh/mês por residência na região centro-oeste

c) Levantamento de preço para a implantação da microgeração de energia residencial no Brasil, aplicando a turbina *Michell Banki* e da bateria (base de referência em setembro de 2024):

- Turbina Gerador Dc 12V Dc gerador de turbina de água micro-hidráulica, considerando as especificações (tensão de saída: 12V; entre a resistência do fio 10,5 mais ou menos 0,5 ômega; resistência de isolamento 10M ômega (DC100 megger); a pressão máxima de 0,6 MPa tomada fechada; abertura máxima da saída pressão 1,2 Mpa; pressão inicial 0,05 Mpa; folga axial 0,2-1,0 mm; ruído mecânico menor e igual a 55dB; a quantidade do gerador: 90 g ao redor; vida útil do gerador: maior ou igual a 3000h).
- Bateria BRAVUS 050D - BR50DLD (amperagem: 50Ah; CCA: 260; comprimento: 240mm; largura: 175mm; altura: 175mm; Peso: 12,3Kg; vida útil de 2 anos)

d) Levantamento do custo do sistema considerando o preço e tempo de vida útil da turbina e bateria por ano.

$$T=(V/U)/D \quad (9)$$

Legenda

T=Tempo de vida útil da turbina/mês

U=Funcionamento da turbina por 12hs/dia por ter funcionamento de água

V=Vida útil 3.000h

D= 30 dias

e) Custo da turbina *Michell Banki*.

$$CM = CU/T.30 \quad (10)$$

Legenda

CM= Custo da bomba mensal

T=Tempo de vida útil da turbina por mês

CU= Valor do custo da bomba por dia

f) Custo da bateria

$$CB = CU/TD \quad (11)$$

Legenda

CB= Custo da bateria mensal

T=Tempo de vida útil da baterai por mês = 24 meses

CU= Valor do custo da bateria total

G) Custo total do sistema por mês.

$$CT = CB + CM \quad (12)$$

Legenda

CT= Custo total da conta de energia elétrica por região por mês (sem taxa e/ou impostos)

CB= Total do consumo por região (norte, nordeste, sul, sudeste e centro-oeste)

CM= Custo kWh mensal por região (R\$)

h) Percentual da participação da microgeração na classe residencial por região na etapa 5, pelo consumo por região.

$$X = \text{Total da participação por região} \cdot Q(1,3,4,5,8) \text{ Kh/h} \quad (13)$$

### Legenda

X= Custo da conta de energia elétrica por região brasileira (sem taxa e/ou impostos)

P= Valor do kW/h em R\$ por região brasileira

Q: Quantidade de energia gerada em kWh por mês (Q1= 0,114 kWh; Q3= 0,45 kWh; Q4= 0,42 kWh; Q5= 0,00604 kWh; Q8= 0,004025 kWh)

i) Viabilidade econômica da microgeração: total do saldo por residência nas regiões brasileiras.

$$VR = CT - y \quad (14)$$

### Legenda

VR= Valor resultante da economia de energia elétrica a partir da turbina de entrada de água

CT= Custo total da conta de energia elétrica por região por mês (sem taxa e/ou impostos)

y= Custo da conta de energia elétrica por região brasileira (sem taxa e/ou impostos)

Após a apresentação de todos os cálculos para os estudos de caso, iniciou-se a terceira etapa, que contou com uma pesquisa quantitativa, descritiva, exploratória e comparativa, com engenheiros civis sobre a opinião referente à utilização e conhecimento sobre a microgeração de energia elétrica por fonte hídrica, através da aplicação de um questionário semiestruturado com perguntas fechadas.

### **3.2.3 Pesquisa quantitativa, descritiva, exploratória e comparativa, com engenheiros: 3ª. Etapa**

Consiste na aplicação de uma pesquisa com engenheiros civis sobre a utilização e o conhecimento da microgeração de energia elétrica por fonte hídrica, através da aplicação de um questionário semiestruturado com perguntas fechadas sobre a opinião da utilização da microgeração de energia, conforme o apêndice A, via on-line, para engenheiros civis, através do formulário forms: <https://docs.google.com/forms/d/1Nx4epxuL4G04FZ07I1ERkf9tjDufjlrX7P0peXRpXIA/edit>.

A seleção dos sujeitos se constituiu por engenheiros civis brasileiros, escolhidos de forma aleatória pelo LinkedIn® n=172 e Facebook® n=64, nos meses de agosto a outubro de 2024.

Os critério de inclusão foram os engenheiros civis que tiveram interesse espontâneo em participar da pesquisa, que responderem ao questionário via Google forms®, totalizando 59 engenheiros civil ou 25% dos questionários enviados.

Os critérios de exclusão foram os formulários recebidos em branco, engenheiros afastados do seu exercício profissional por motivos pessoais ou institucionais, aqueles que não tiveram interesse espontâneo em participar da pesquisa, cujas respostas sejam inconsistentes, que se negaram a assinar e reconhecer os termos de consentimento e esclarecimento, total 177.

Após a coleta dos dados, foram tabulados e categorizados no programa Microsoft Office Excel® e sequencialmente aplicado análise estatística de todas as variáveis para verificar a normalidade ou não dos dados, para determinar a elaboração da percentagem, média, desvio padrão e o método de Person.

O método de Person implica a distribuição normal das duas amostras e comportamento linear da relação entre as variáveis. Considerada a técnica mais difundida para a avaliação da correlação entre duas variáveis quantitativas (Norman; Streiner, 2024).

Seguiremos para a apresentação dos resultados das etapas da pesquisa.

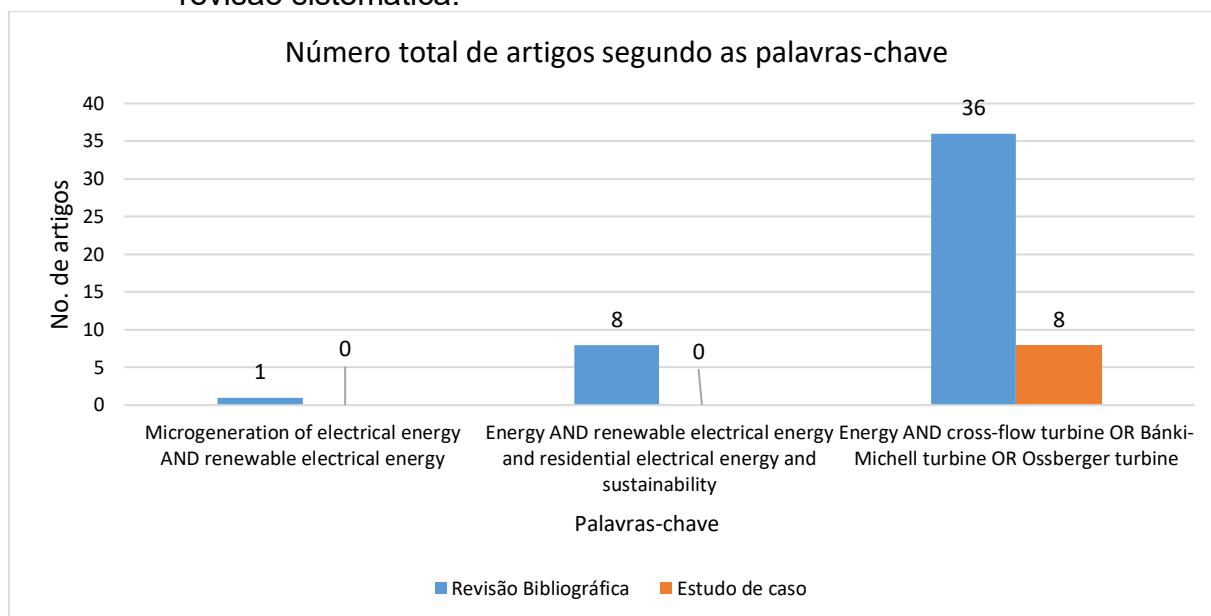
## 4 RESULTADOS

### 4.1 BIBLIOMETRIA: 1ª. ETAPA

Para a análise da plataforma Capes, adotou-se o critério dos últimos dez anos, devido à evolução tecnológica ocorrida ter propiciado avanços que impactaram nas turbinas utilizadas na atualidade, como a Resolução Normativa nº 687/2015, da ANEEL, que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica (Brasil, 2015).

O número total de artigos selecionados segundo as várias combinações de palavras-chave para a revisão sistemática na plataforma Periódicos Capes foram de 311 artigos para a leitura de título e objetivo, que sequencialmente, após a leitura completa e exclusão de 19 artigos duplicados, encontrou-se 36 artigos para compor a revisão sistemática, desses 8 eleitos para o estudo de caso advindo da palavra-chave *Energy AND cross-flow turbine OR Bánki-Michell turbine OR Ossberger turbine*, 8 estudos com as palavras-chave *Energy AND renewable electrical energy and residential electrical energy and sustainability* e 1 com *Microgeneration of electrical energy AND renewable electrical energy*, conforme gráfico 02.

**Gráfico 02-** Número total de artigos selecionadas segundo as palavras-chave para a revisão sistemática.



Fonte: Autor (2024).

Do total de 45 artigos selecionados, ao analisar o ano, 9 artigos (20%) publicado no ano de 2019; 7 artigos (15,5%) nos anos de 2016 e 2022, 6 artigos (13,3%) em 2017; 5 artigos (11,1%) em 2018; 4 artigos (8,8%) em 2020; 3 artigos (6,6%) em 2015; 2 artigos (4,4%) em 2023 e 1 (2,2%) artigo de 2021 e 2024, conforme apresentado no gráfico 03.

**Gráfico 03-** Número total de artigos selecionados para a revisão sistemática por ano.

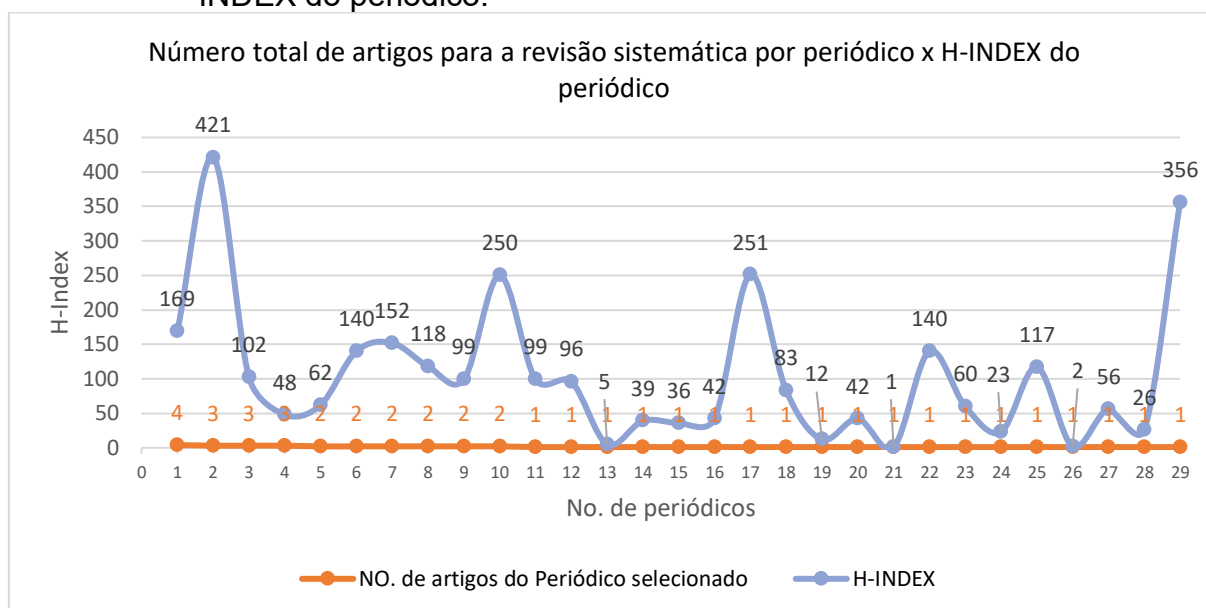


Fonte: Autor (2024).

A gráfico 04 mostra os dados do índice H ou H-index, que representa a quantificação da produtividade e do impacto de pesquisa baseada nos periódicos, além do número de artigos selecionados por periódico, sendo assim, a seleção ocorreu com com H-index de 421 para periódico *Renewable & Sustainable Energy Reviews* com 3 artigos, H-index de 356 para *Institute of Electrical and Electronics Engineers* com 1 artigo; H-index de 251 para *Energy* com 1 artigo; H-index de 250 para *Renewable Energy* com 2 artigos; H-index de 169 para *Sustainability* com 4 artigos.

No extremo da curva encontra-se Journal of engineering com H-index 1.

**Gráfico 04-** Número total de artigos para a revisão sistemática por periódico x H-INDEX do periódico.



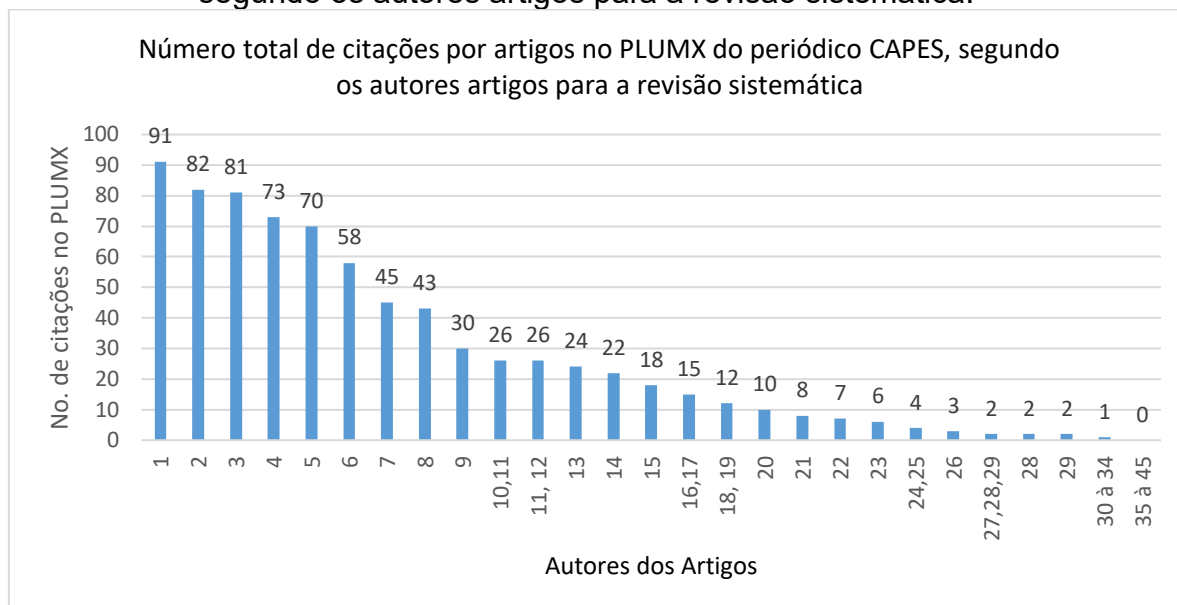
Fonte: Autor (2024).

Legenda: 1-Sustainability, 2-Renewable & sustainable energy reviews, 3-WATER Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 4-IOP conference series. Earth and environmental science, 5-IOP conference series. Materials science and engineering, 6-J. Hydraul. Eng., 7-Energies, 8-Energy procedia, 9-Journal of physics. Conference series, 10-Renewable energy, 11-IET smart grid, 12-J. Hydr. Res., 13-Proceedings of the 4th European IAHR Conference, 14-E3S web of conferences, 15-Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 16-MATEC Web Conf., 17-Energy, 18-Energy for sustainable development, 19-Eureka, Physics and Engineering, 20-International journal of sustainable energy, 21-Journal of engineering, 22-Journal of Hydraulic Engineering, 23-Journal of renewable and sustainable energy, 24-Nihon Kikai Gakkai ronbunshu, 25-Procedia engineering, 26-Renewable Energy and Sustainable Development, 27-International Transactions on Electrical Energy Systems, 28-Xi'nan Jiaotong Daxue xuebao, 29-Institute of Electrical and Electronics Engineers.

O gráfico 05 apresenta o número total de citações por artigos no PLUMX do periódico CAPES, segundo os autores artigos para a revisão sistemática.

Com 91 citações de Loots *et al.*, 2015; 82 citações de Zeeshan Ahmad Arfeen *et al.*, 2019; 81 citações de Samora *et al.*, 2016; 73 citações Kan Kan *et al.*, 2022a. Não apresentaram citações Gómez; Higuaita; Benavides-Morán, (2018), Jemal; Haile, (2019), Kan Kan *et al.*, (2022)b, Purwanto *et al.*, (2020), Rantererung *et al.*, (2020), Sammartano *et al.*, (2016), Sangari; Rompas, (2017), Sulis *et al.*, (2019), Yahagi *et al.*, (2016), Arif; Amanullah, (2017), Wouters; Fraga; James, (2017), porém foram mantidos pelo periódico que estão indexados possuírem H-index.

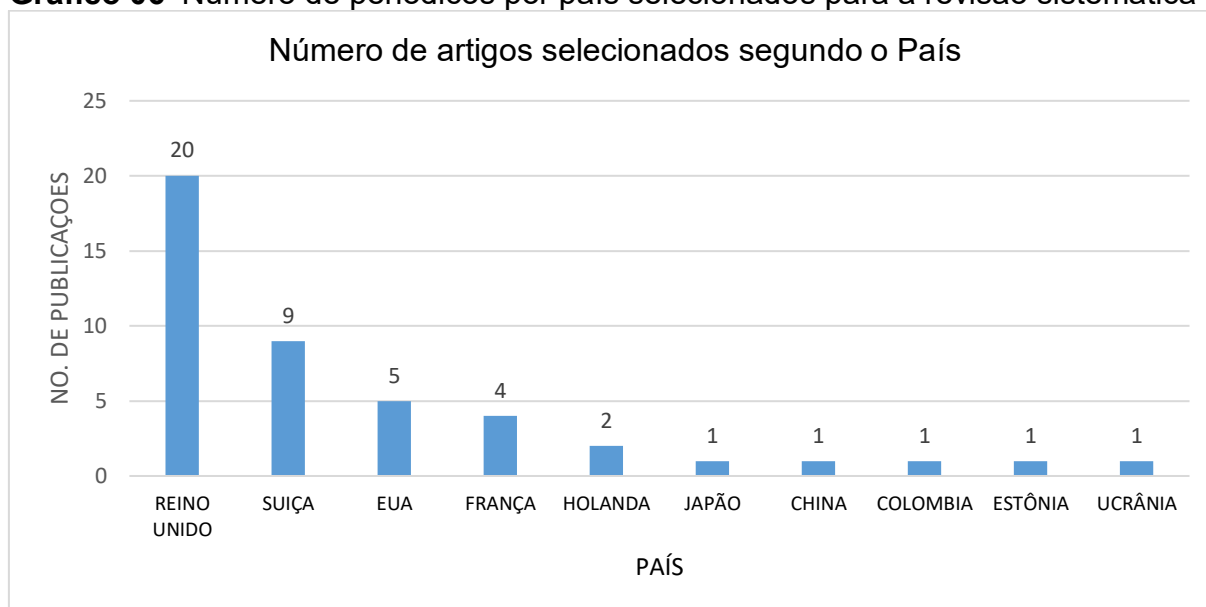
**Gráfico 05-** Número total de citações por artigos no PLUMX do periódico CAPES, segundo os autores artigos para a revisão sistemática.



Fonte: Autor (2024).

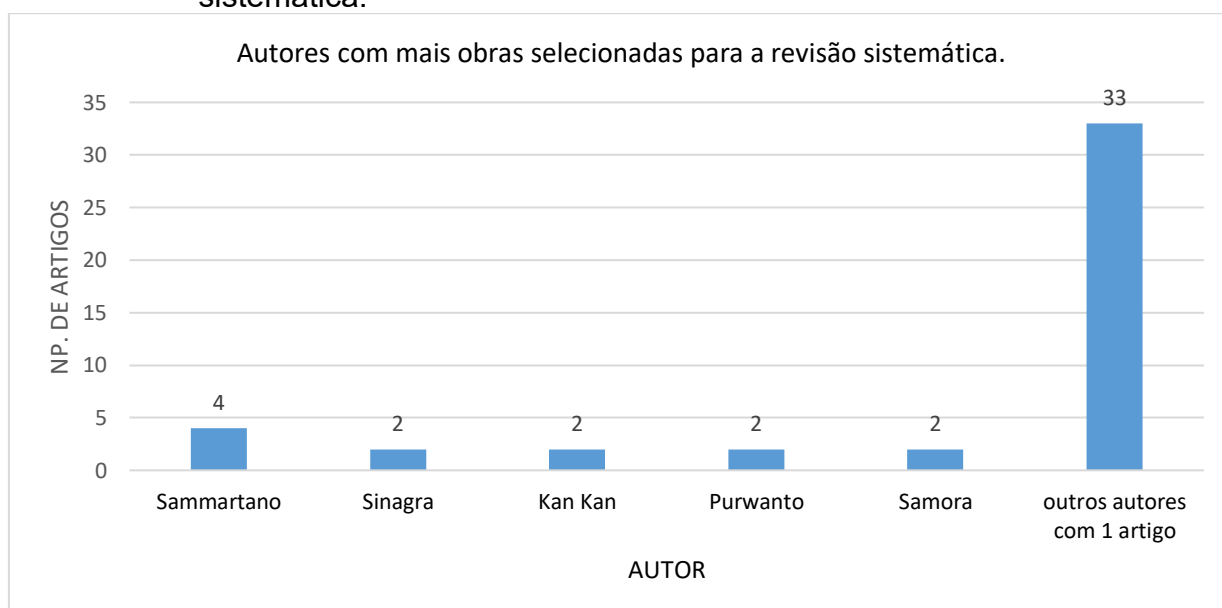
Legenda: 1-Loots et al., 2015, 2-Arfeen, et al., 2019, 3-Samora et al., 2016, 4-Kan Kan et al., 2022, 5-Samora et al., 2016, 6-De Marchis et al., 2016, 7-Kadier et al., 2018, 8-Sinagra et al., 2017, 9-Rao; Arun; Selvan, 2020, 10-Sammartano et al., 2015, 11-Sinagra et a., 2015, 12-Sammartano et al., 2017a, 13-Dehghani et al., 2020, 14-Golmohamadi, 2022, 15-Sammartano et al., 2017b, 16-Mehr et al., 2021, 17-Woldemariam et al., 2018, 18-Polagye et al., 2019, 19-GamalEldine; Corvacho, 2022, 20-Marliansyah, Putri; Hermansyah, 2018, 21-Sinagra et al., 2022, 22-Shahidul et al., 2015, 23-Khomsah et al., 2019, 24-Ratnata et al., 2018, 25-Verma, Gaba, Bhowmick, 2017, 26-Adefarati, Bansal, 2019, 27-Baidar et al., 2016, 28-Galvis-Holguin, Del Rio, Hincapié, 2022, 29-Nasir et al., 2023, 30-Kirke, 2019, 31-Obretenov, Tsalov, 2022, 32-Purwanto, Budiyo, Hermawan, 2017, 33-Sutikno et al., 2019, 34-Malik et al., 2023, 35-Gómez, Higueta, Benavides-Morán, 2018, 36-Jemal; Haile, 2019, 37-Kan Kan et al., 2022, 38-Purwanto et al., 2020, 39-Rantererung et al., 2020, 40-Sammartano et al., 2016, 41-Sangari, Parabelem Tinno Dolf Rompas, 2017, 42-Sulis et al., 2019, 43-Yahagi et al., 2016, 44-Arif; Amanullah, 2017, 45-Wouters; Fraga; James, 2017.

O número de periódicos por país selecionados para a revisão sistemática, conforme a figura 10, contou com 20 artigos (44,44%) do Reino Unido; 9 artigos (20%) Suíça; 5 artigos (11,11%) dos EUA; 4 artigos (8,88%) França; 2 artigos (4,4%) Holanda e 1 artigos (92,2%) Japão, China, Colômbia, Estônia e Ucrânia respectivamente, conforme o **Gráfico 06**.

**Gráfico 06-** Número de periódicos por país selecionados para a revisão sistemática

Fonte: Autor (2024).

Ao analisar os de autores com mais obras selecionadas para a revisão sistemática Sammartano *et al.*, com 4 obras (2015, 2016a, 2016b, 2017); Sinagra com 2 obras (2026 e 2017); Kan Kan *et al.*, com 2 obras (2022a, 2022b); Purwato *et al.*, com 2 obras (2019 e 2020) e Samora *et al.*, com 2 obras (2016a, 2016b). Todos os outros 33 autores citados com 1 obra selecionada, conforme o **gráfico 07**.

**Gráfico 07-** Número de autores com mais obras selecionadas para a revisão sistemática.

Fonte: Autor (2024).

## 4.2 RESULTADOS DOS ESTUDOS DE CASO: 2ª. ETAPA

Avaliar os resultados obtidos nos estudos de caso com a turbina *Michell-Banki*, selecionados, analisando as variáveis.

A tabela 06 apresenta os estudos de caso com a utilização da turbina *Michell-Banki* que foram eleitos segundo o autor, o local de aplicação e o tipo de experimento.

Foi possível analisar que a microgeração de energia foi classificada em residências e em rede de distribuição de água municipal.

**Tabela 06-** Apresentação dos estudos de caso segundo o autor e ano; local de aplicação e tipo de experimento.

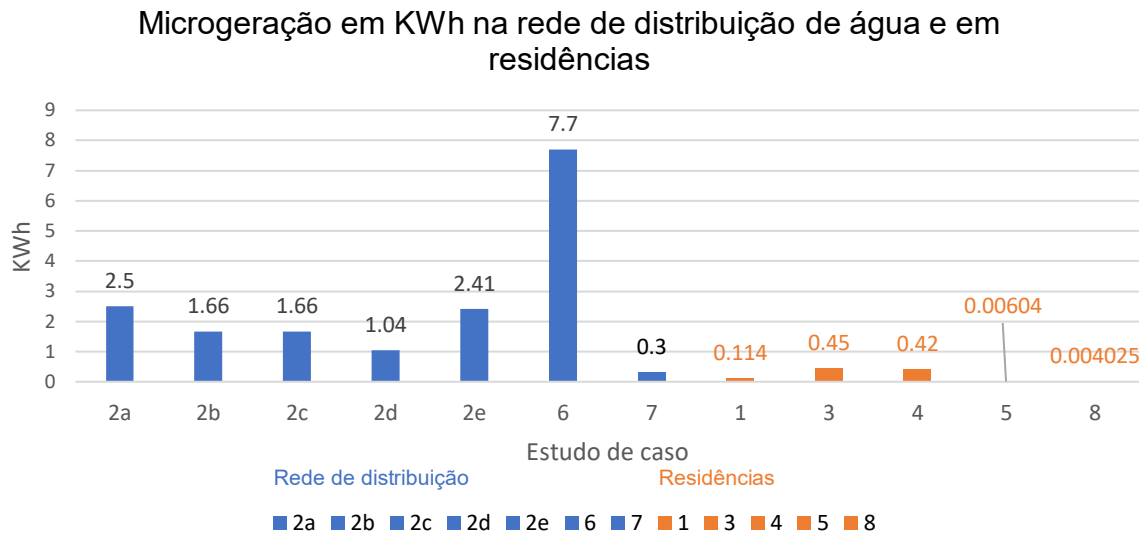
| Autor, Ano                           | Local de aplicação                     | Tipo de experimento                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 Khomsah et al., 2019               | Residências, Indonésia                 | Explora o uso de bambu para turbinas e motores de indução como geradores em sistemas pico hidro, visando soluções econômicas e de fácil implementação, com uma pressão de água de 0,55 kg/cm <sup>2</sup> e vazão de 4 L/s, alcançando 100 volts e 0,38 amperes. |
| 2 De Marchis et al., 2016            | Rede de distribuição de água, Itália   | O uso de bombas como turbinas (PATs) em uma pequena rede de distribuição de água, em cidade próxima a Palermo. Análise foi através de um modelo matemático capaz de simular a rede de distribuição de água com PATs.                                             |
| 3 Purwanto; Budiyono; Hermawan, 2019 | Residências, Indonésia                 | Pesquisa experimental em escala, levantamento de campo, design e fabricação de componentes, além do teste inicial do sistema de acionamento da turbina Cross-Flow.                                                                                               |
| 4 Purwanto et al., 2020              | Residências, Indonésia                 | Implementação de uma usina hidrelétrica de microgeração utilizando uma turbina de fluxo cruzado com 80 mm de diâmetro e tubos de 130 mm de comprimento.                                                                                                          |
| 5 Rantererung et al., 2020           | Laboratório ou Residências, China      | O experimento utilizou uma turbina cross-flow com dois bicos em escala de laboratório, posicionados vertical e horizontal, para observar e melhorar a dinâmica do fluxo de fluido que aciona as lâminas da turbina Cross-Flow.                                   |
| 6 Sammartano et al., 2016            | Rede de distribuição de água, Itália   | Projeto e validação numérica de uma nova turbina do tipo <i>Banki-Michell</i> para produção de eletricidade a partir de tubulações pressurizadas, utilizando o solver numérico ANSYS CFX.                                                                        |
| 7 Samora et al., 2016                | Rede de distribuição de água, Portugal | Caracterização de um novo modelo de turbina de hélice tubular de cinco pás (5BTP) adequada para sistemas pressurizados como redes de abastecimento e distribuição de água.                                                                                       |
| 8 Sulis et al., 2019                 | Residências, Indonésia                 | Planta de micro-hidrelétrica do tipo fluxo cruzado com capacidade de 5 kW, instalada para atender às necessidades de energia rural.                                                                                                                              |

Fonte: Autor (2024).

O gráfico 08, apresentam-se os resultados obtidos nos 8 estudos de caso com a turbina *Michell-Banki*. Conforme a figura 9, foi realizada a conversão das unidades do rendimento da microgeração de cada estudo de caso para Quilowatt-hora (kWh) em rede de distribuição de água (estudos 2a, 2b, 2c, 2d, 2e, 6, 7), a variação ficou

entre 0,42 kWh e 7,7 kWh, demonstrando melhor desempenho. Nas residências (estudos 1, 3, 4, 5, 8), que apresentaram resultados variando de 0,0004025 kWh até 0,45 kWh.

**Gráfico 08-** Conversão das unidades do rendimento da microgeração de cada estudo de caso para quilowatt-hora (kWh) em rede de distribuição e residências.



Fonte: Autor (2024).

Legenda: 1-Khomsah *et al.*, 2019; 2-De Marchis *et al.*, 2016; 3-Purwanto, Budiyo, Hermawan, 2019; 4-Purwanto *et al.*, 2020; 5-Rantererung *et al.*, 2020; 6-Sammartano *et al.*, 2016; 7-Samora *et al.*, 2016; 8-Sulis *et al.*, 2019.

O estudo de Purwanto, Budiyo, Hermawan (2019) alcançou 0,45 kWh produzidos através de uma pequena descarga de 20 litros/segundo e altura manométrica de 3 metros, em um experimento utilizando uma turbina de fluxo cruzado de 80 mm de diâmetro e tubos de 130 mm de comprimento.

O experimento incluiu a construção, montagem e testes de eficiência da turbina e do sistema gerador de energia elétrica em rios da Indonésia. Já Purwanto *et al.* (2020) obtiveram 0,42 kWh produzidos com descarga de 12 L/s e altura manométrica de 3,5 metros, em um experimento utilizando uma turbina de fluxo cruzado de 80 mm de diâmetro e tubos de 130 mm de comprimento.

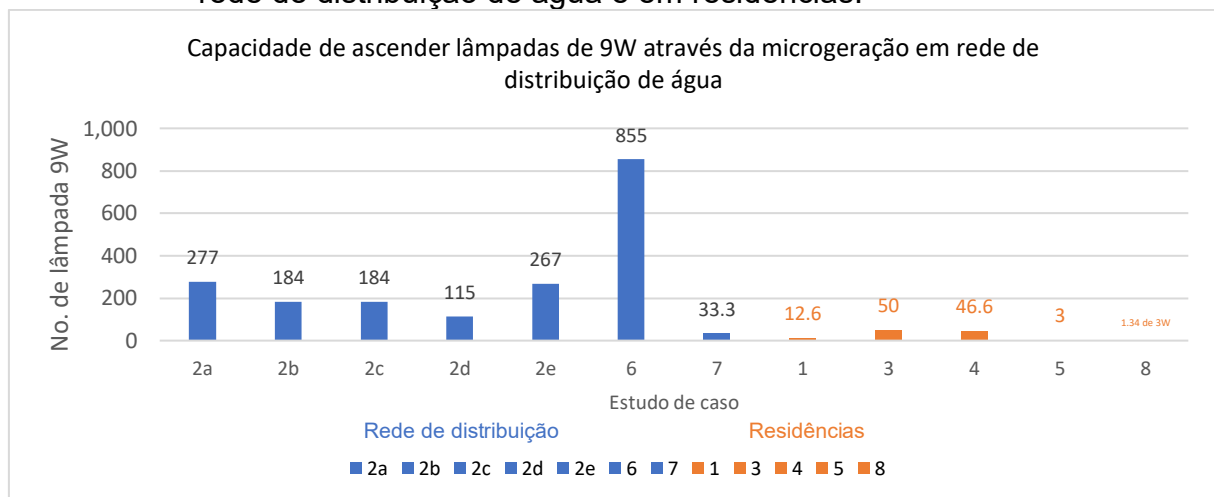
O estudo de Sammartano *et al.*, (2017), que investigou um projeto e fez a validação numérica de uma nova turbina do tipo *Michell-Banki* para produção de eletricidade a partir de tubulações pressurizadas, utilizando o software numérico ANSYS CFX, possibilitou aumentar a eficiência para 84,3%, obtendo como resultado da microgeração 7,7 kWh.

De Marchis *et al.*, (2016) fizeram uma análise utilizando um modelo matemático capaz de simular dinamicamente a rede de distribuição de água com 6 turbinas em Apúlia, no sul da Itália. No estudo foram apresentadas 5 bombas, devido à 6ª apresentar valores maiores que os permitidos na legislação brasileira como microgeração, sendo retirada desse estudo.

Ao se tratar da capacidade de acender lâmpadas de 9W para ambientes residenciais, com a potência do rendimento da microgeração de cada estudo de caso, conforme a figura 10, foram apresentados os estudos 1-Khomsah *et al.*, 2019; 3-Purwanto, Budiyo, Hermawan, 2019; 4-Purwanto *et al.*, 2020; 5-Rantererung *et al.*, 2020; 8-Sulis *et al.*, 2019 para as comunidades ou individualmente, variando entre 50 lâmpadas de 9W para Purwanto, Budiyo, Hermawan (2019) e 3 lâmpadas de 9W para Rantererung *et al.*, (2020). O estudo de Sulis *et al.*, (2019) não alcançou a lâmpadas de 9W e sim 1,34 lâmpadas de 3W.

Para os estudos da rede de distribuição, conforme o gráfico 09, 2a,b,c,d,e-De Marchis *et al.*, 2016; 6-Sammartano *et al.*, 2016; 7-Samora *et al.*, 2016; variou entre 33,3 lâmpadas para o estudo de Samora *et al.*, (2016) e 855 lâmpadas de 9W para o estudo de Sammartano *et al.*, (2017). Já nos estudos de De Marchis *et al.*, (2016), houve a variação entre 115 e 277 lâmpadas.

**Gráfico 09-** Capacidade de acender lâmpadas de 9W (ambientes residenciais) de potência do rendimento da microgeração de cada estudo de caso em rede de distribuição de água e em residências.

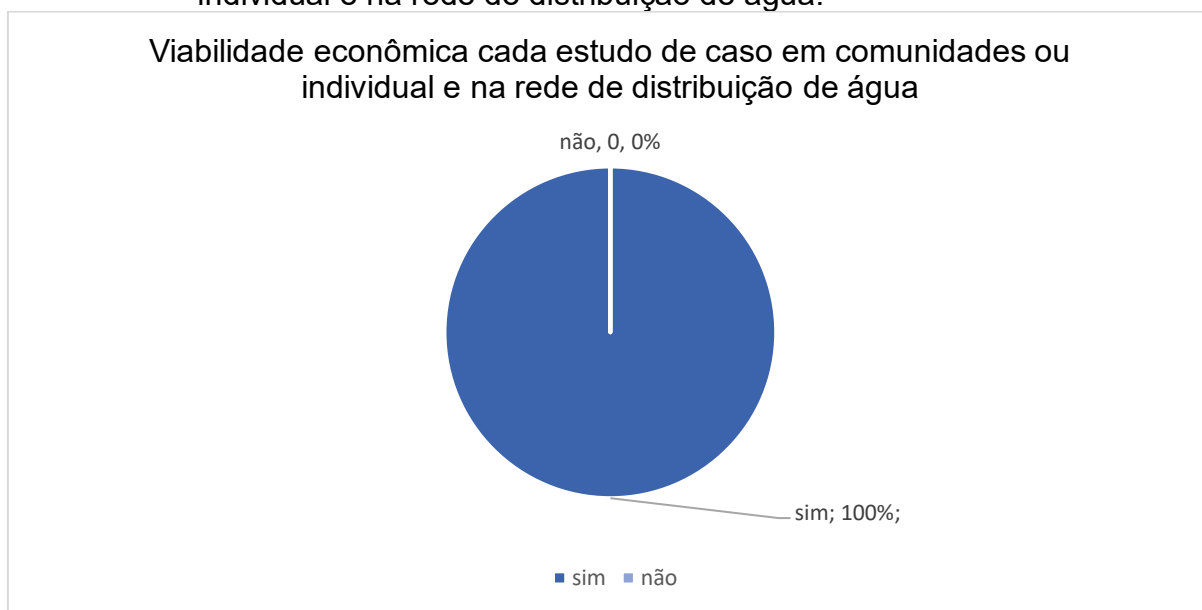


Fonte: Autor (2024).

Legenda: 1-Khomsah *et al.*, 2019; 2a,b,c,d,e-De Marchis *et al.*, 2016; 3-Purwanto, Budiyo, Hermawan, 2019; 4-Purwanto *et al.*, 2020; 5-Rantererung *et al.*, 2020; 6-Sammartano *et al.*, 2016; 7-Samora *et al.*, 2016; 8-Sulis *et al.*, 2019.

Todos os autores concordam que há viabilidade econômica nos estudos de caso apresentados em residências e na rede de distribuição de água, conforme o gráfico 10.

**Gráfico 10-** Viabilidade econômica de cada estudo de caso em comunidades ou individual e na rede de distribuição de água.

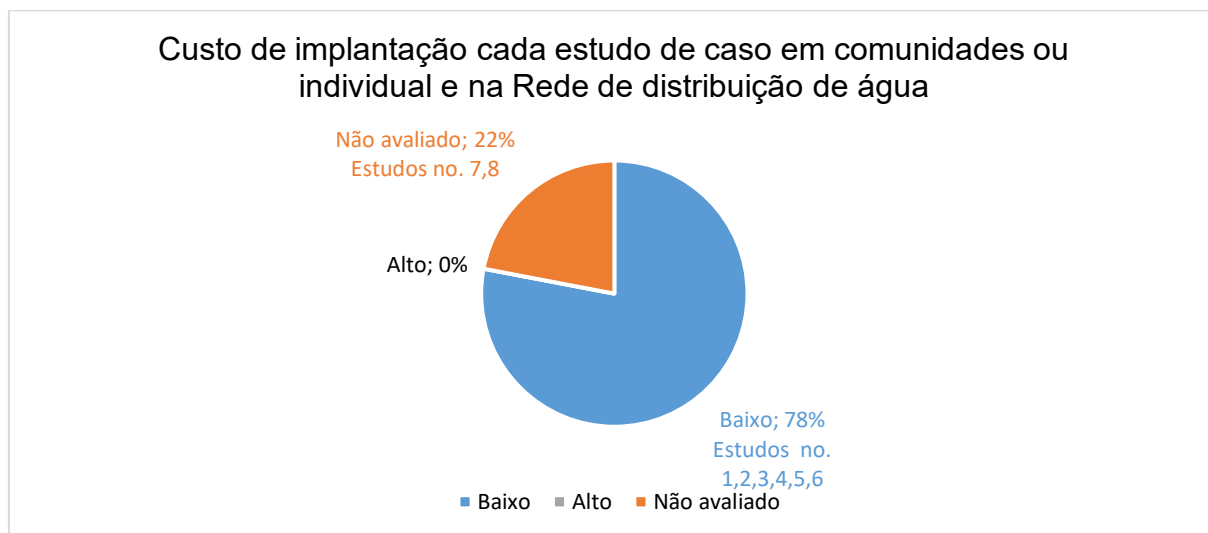


Fonte: Autor (2024).

Legenda: 1-Khomsah *et al.*, 2019; 2-De Marchis *et al.*, 2016; 3-Purwanto, Budiyo, Hermawan, 2019; 4-Purwanto *et al.*, 2020; 5-Rantererung *et al.*, 2020; 6-Sammartano *et al.*, 2016; 7-Samora *et al.*, 2016; 8-Sulis *et al.*, 2019.

O custo de implantação foi avaliado no gráfico 11 como baixo em 78% dos estudos de Khomsah *et al.*, (2019); De Marchis *et al.*, (2016); Purwanto, Budiyo, Hermawan, (2019); Purwanto *et al.*, (2020); Rantererung *et al.*, (2020); Sammartano *et al.*, (2016). Somente 22%, não avaliaram o custo de implantação atribuídos à Samora *et al.*, (2016); Sulis *et al.*, (2019).

**Gráfico 11-** Custo de implantação cada estudo de caso em comunidades ou individual e na rede de distribuição de água.

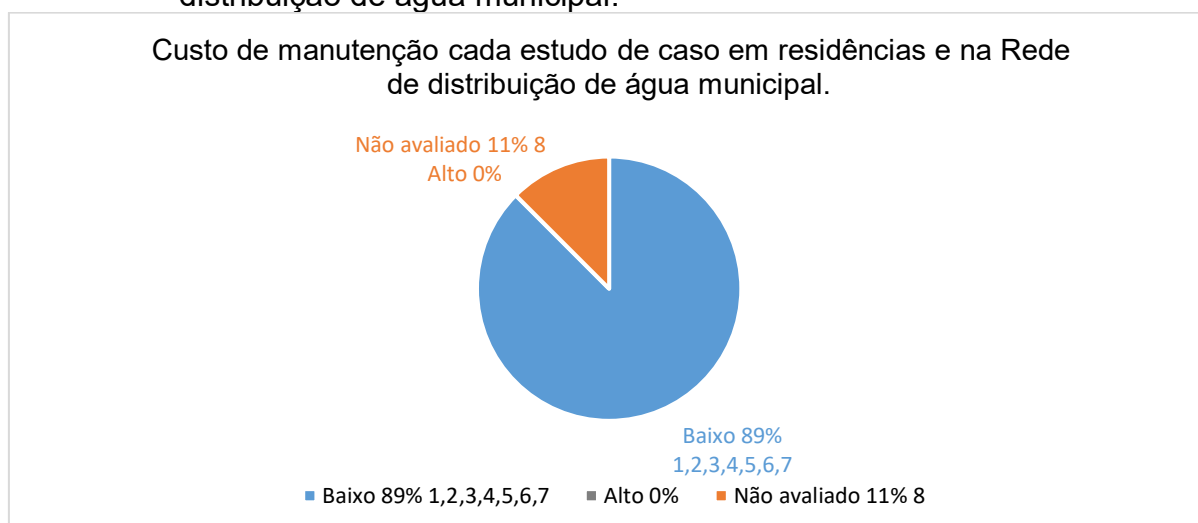


Fonte: Autor (2024).

Legenda: 1-Khomsah *et al.*, 2019; 2-De Marchis *et al.*, 2016; 3-Purwanto, Budiyo, Hermawan, 2019; 4-Purwanto *et al.*, 2020; 5-Rantererung *et al.*, 2020; 6-Sammartano *et al.*, 2016; 7-Samora *et al.*, 2016; 8-Sulis *et al.*, 2019.

O custo de manutenção foi avaliado no gráfico 12 como baixo em 89% dos estudos de Khomsah *et al.*, (2019); De Marchis *et al.*, (2016); Purwanto, Budiyo, Hermawan, (2019); Purwanto *et al.*, (2020); Rantererung *et al.*, (2020); Sammartano *et al.*, (2016) e Samora *et al.*, (2016). Somente 11%, não avaliaram o custo de implantação atribuídos à Sulis *et al.*, (2019).

**Gráfico 12-** Custo de manutenção cada estudo de caso em residências e na rede de distribuição de água municipal.

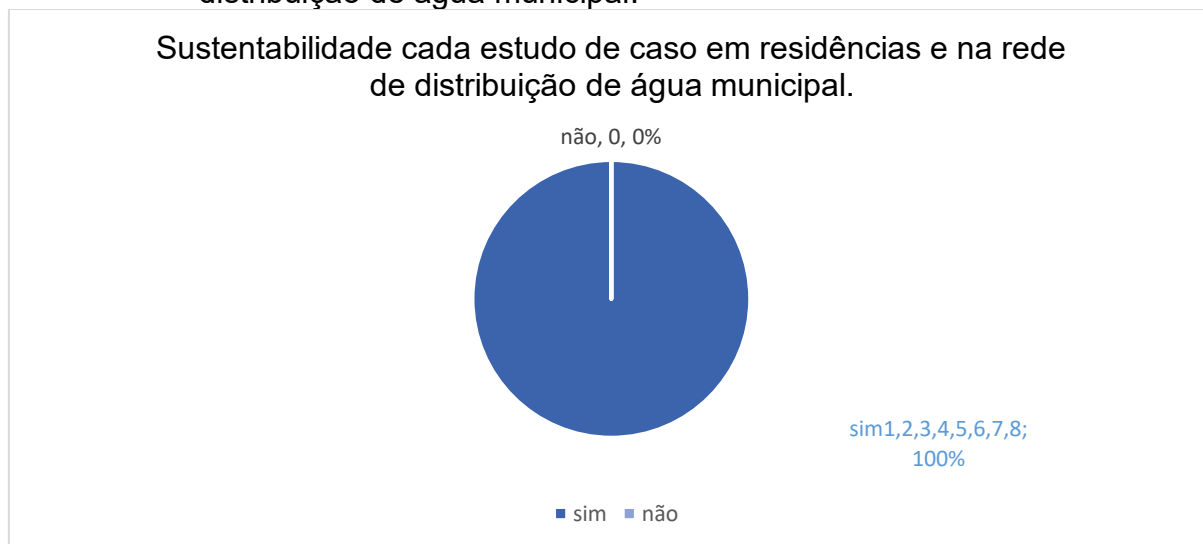


Fonte: Autor (2024).

Legenda: 1-Khomsah *et al.*, 2019; 2-De Marchis *et al.*, 2016; 3-Purwanto, Budiyo, Hermawan, 2019; 4-Purwanto *et al.*, 2020; 5-Rantererung *et al.*, 2020; 6-Sammartano *et al.*, 2016; 7-Samora *et al.*, 2016; 8-Sulis *et al.*, 2019.

A microgeração foi considerada uma prática sustentável nos estudos de caso em residências e na rede de distribuição de água, em 100% dos estudos avaliados. Os autores atribuem à baixa emissão de Gases de Efeitos Estufa (GEE), conforme o gráfico 13.

**Gráfico 13-** Sustentabilidade de cada estudo de caso em residências e na rede de distribuição de água municipal.



Fonte: Autor (2024).

Legenda: 1-Khomsah et al., 2019; 2-De Marchis et al., 2016; 3-Purwanto, Budiyo, Hermawan, 2019; 4-Purwanto et al., 2020; 5-Rantererung et al., 2020; 6-Sammartano et al., 2016; 7-Samora et al., 2016; 8-Sulis et al., 2019.

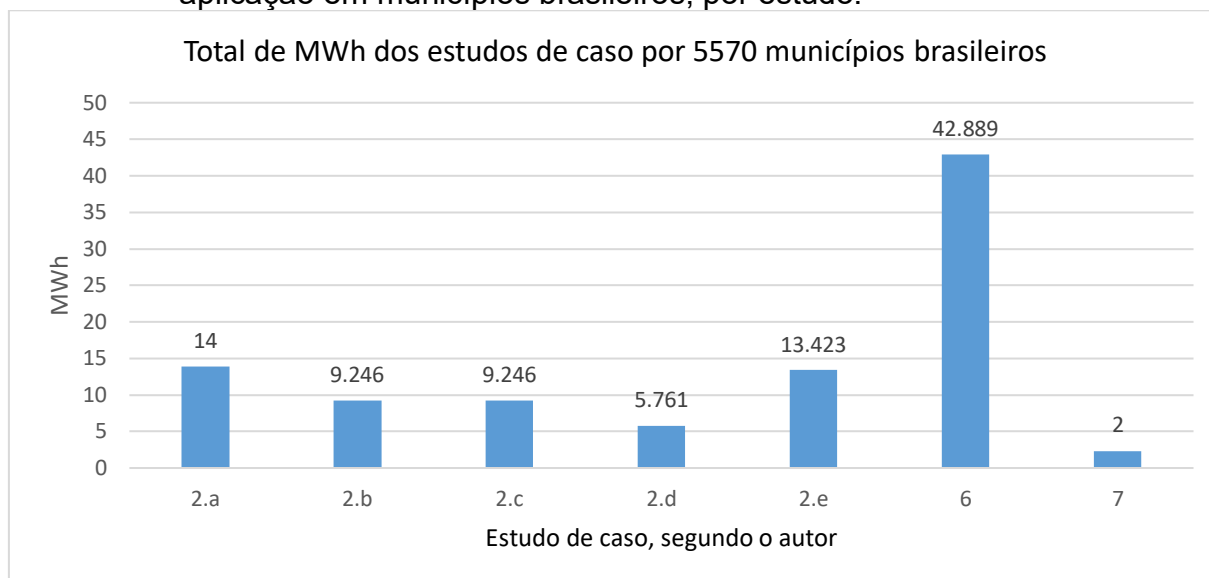
Em seguida será apresentado a aplicação dos estudos de caso nas residências ou cidades brasileiras até 2050.

#### 4.2.1 Aplicar os estudos de caso nas residências ou cidades brasileiras projetadas até 2050.

Os estudos de caso levantados foram divididos para serem aplicados nas residências e nas cidades brasileiras.

O gráfico 14 apresenta a possibilidade de replicação com bons resultados, considerando que, todos os 5.570 municípios Brasileiro (IBGE, 2023), teriam a implantação de um estudo. Não foi considerado a variação do número de municípios para 2030, 2040 e 2050, pois esse dado não é possível projetar. Só há a constação real após a realização do CENSO e a divulgação de seus resultados.

**Gráfico 14-** Total de geração potencial de energia (MWh) obtida pela microgeração em rede de entrada de água, nos estudos de caso que consideram a aplicação em municípios brasileiros, por estudo.



Fonte: Autor (2024).

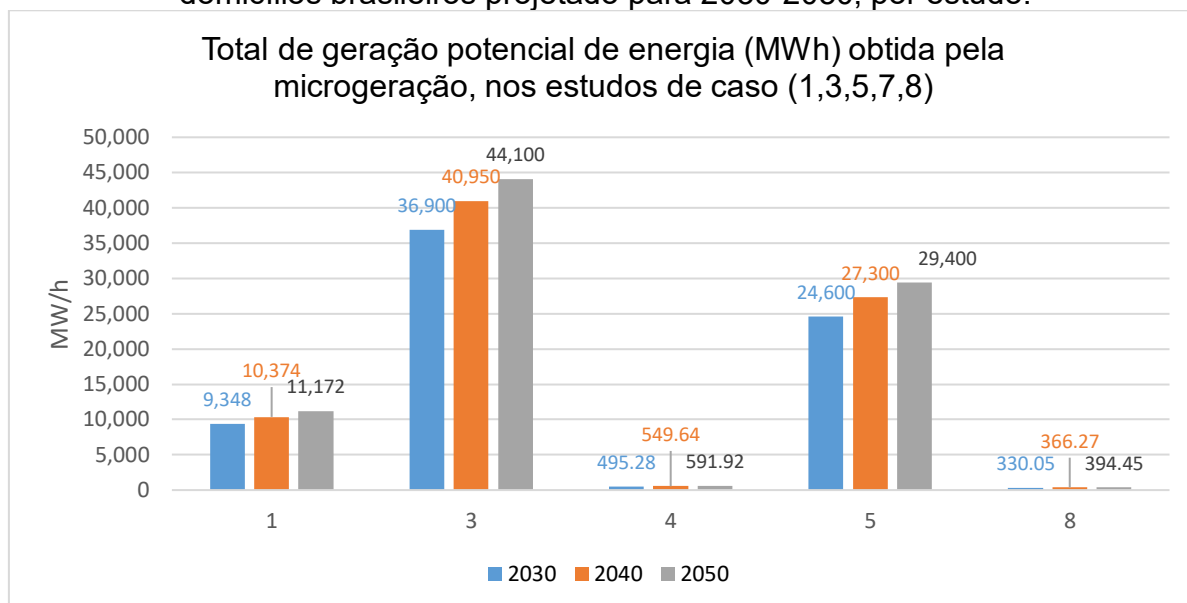
Legenda: 2.a, 2.b, 2.c, 2.d, 2.e -De Marchis *et al.*, 2016; 6-Sammartano *et al.*, 2016; 7-Samora *et al.*, 2016.

Sammartano *et al.*, 2016 conseguiu 42.889 MWh. Os estudos 2.a e 2.b de De Marchis *et al.*, 2016, alcançaram valores parecidos (13,925 MWh e 13,423 MWh respectivamente).

O estudo que alcançou a menor quantidade de microgeração de energia elétrica pela microgeração na rede de abastecimento de água foi Samora *et al.*, (2016) com 2,339 MWh.

O gráfico 15 apresenta o total de geração potencial de energia (MWh) obtida pela microgeração, nos estudos de caso 1-Khomsah *et al.*, 2019; 3-Purwanto, Budiyono, Hermawan, 2019; 4-Purwanto *et al.*, 2020; 5-Rantererung *et al.*, 2020; 8-Sulis *et al.*, 2019, que consideram a aplicação em comunidade ou individual por número de domicílio Brasileiro projetado 2030 (82 milhões), 2040 (91 milhões) e 2050 (98 milhões), segundo Brasil, (2020), por estudo.

**Gráfico 15-** Total de geração potencial de energia (MWh) obtida pela microgeração, nos estudos que consideram a aplicação em residências por número de domicílios brasileiros projetado para 2030-2050, por estudo.



Fonte: Autor (2024).

Legenda: 1-Khomsah *et al.*, 2019; 3-Purwanto, Budiyo, Hermawan, 2019; 4-Purwanto *et al.*, 2020; 5-Rantererung *et al.*, 2020; 8-Sulis *et al.*, 2019.

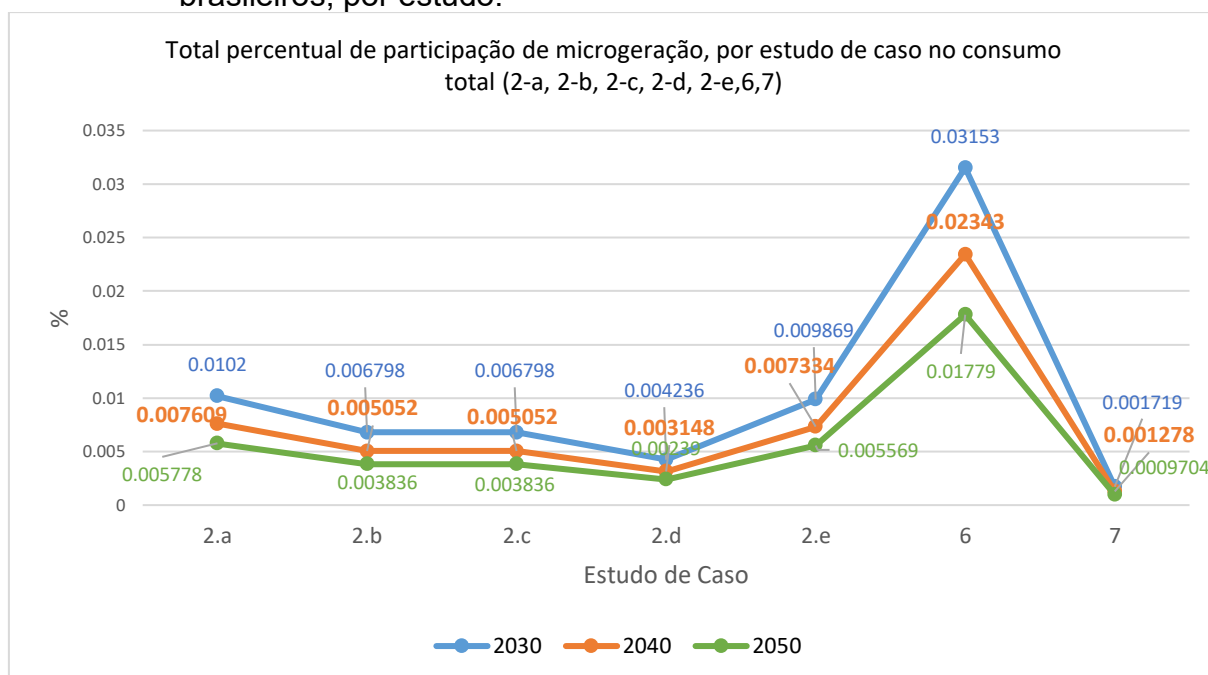
Todos os estudos apresentaram contribuições com a microgeração de energia e crescimento de 2030 a 2050.

O estudo destaque é de Purwanto; Budiyo; Hermawan, (2019) que possibilita, se implantado, gerar 36.900 MWh; 40.950 MWh; 44.100 MWh. O estudo com a menor contribuição se implantado será Sulis *et al.*, (2019) com a contribuição projetada para 330,05 MWh; 366,27 MWh; 394,45 MWh.

#### 4.2.2 Total percentual de participação de microgeração, por estudo de caso no consumo total, projetado para 2030, 2040 e 2050 e por turbina *Michell Banki*.

O gráfico 16 apresenta a participação percentual total da microgeração, por estudo de caso, no consumo total projetado para 2030, 2040 e 2050, considerando a aplicação em 5.570 municípios brasileiros (IBGE, 2023), por turbina *Michell-Banki*.

**Gráfico 16-** Total percentual de participação de microgeração, por estudo de caso no consumo total, nos estudos de caso projetado para 2030, 2040 e 2050 e por turbina *Michell Banki* que consideram a aplicação municípios brasileiros, por estudo.



Fonte: Autor (2024).

Legenda: 2.a, 2.b, 2.c, 2.d, 2.e -De Marchis *et al.*, 2016; 6-Sammartano *et al.*, 2016; 7-Samora *et al.*, 2016.

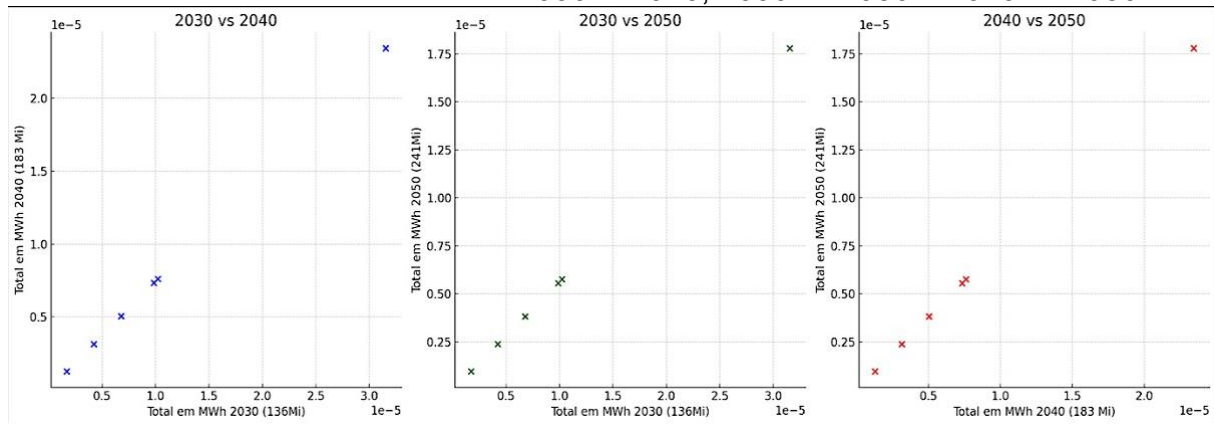
Em todos os estudos foram projetados contribuição se aplicados, porém em 2030 a participação projeta-se maior em relação a 2050, devido ao aumento da necessidade de energia.

Os estudos elaborados por Sammartano *et al.*, (2017), se implantados, terão a maior participação, variando de 0,03153% para 2030, 0,02343% para 2040 e 0,01779% para 2050.

O menor rendimento projetado será o estudo de Samora *et al.*, (2016) com 0,001719% para 2030, 0,001278% para 2040 e 0,0009704% para 2050, demonstrando o baixo percentual de participação da microgeração projetado segundo os estudos de caso apresentados.

O gráfico 17 representa a correlação de Pearson para a projeção da geração de energia nos anos de 2030, 2040 e 2050, considerando os municípios brasileiro, utilizando o Software R, que possibilitou a identificação dos dados dentro do padrão de dispersão, conforme apresentados a seguir.

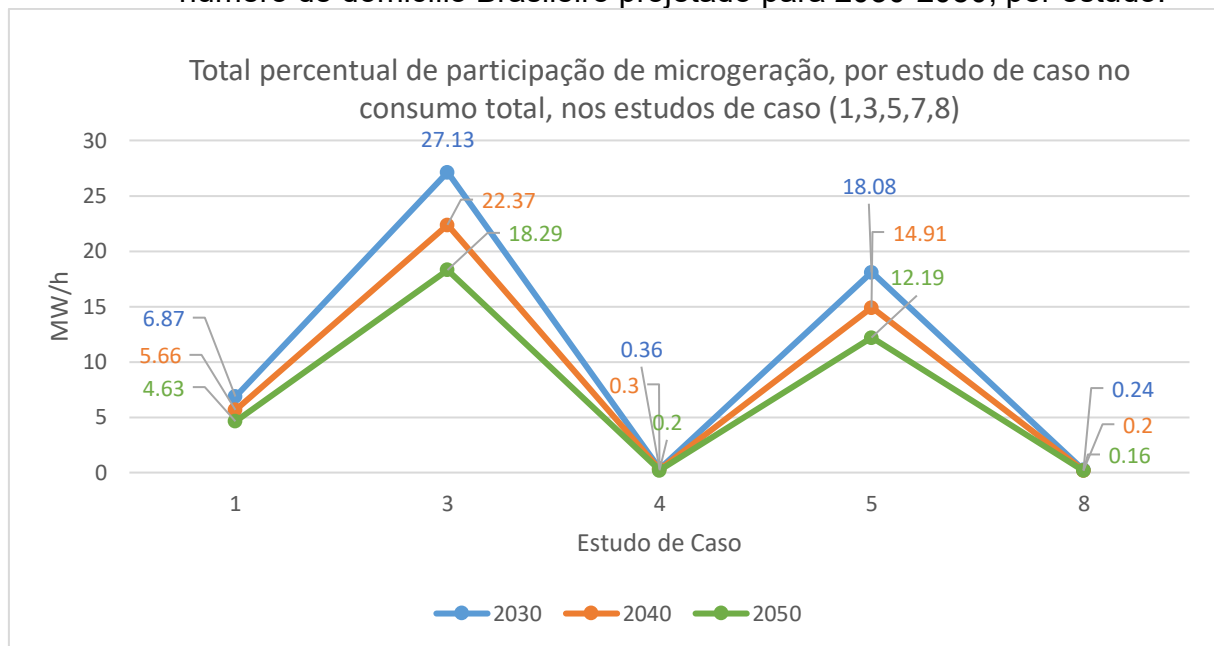
**Gráfico 17-** Gráfico da matriz de correlação de Pearson para a geração de energia nos anos de 2030, 2040 e 2050, considerando os municípios brasileiro, utilizando o Software R 2030vs 2040; 2030 vs 2050 e 2040 vs 2050.



Fonte: Autor (2024).

O gráfico 18 apresenta a participação percentual total da microgeração, por estudo de caso, no consumo total projetado para 2030, 2040 e 2050, considerando a aplicação em residências por número de domicílios brasileiros projetados para 2030 (82 milhões), 2040 (91 milhões) e 2050 (98 milhões), segundo Brasil (2020b).

**Gráfico 18-** Total percentual de participação de microgeração, por estudo de caso no consumo total, nos estudos de caso projetado para 2030, 2040 e 2050 e por turbina *Michell Banki* que consideram a aplicação em residências por número de domicílio Brasileiro projetado para 2030-2050, por estudo.



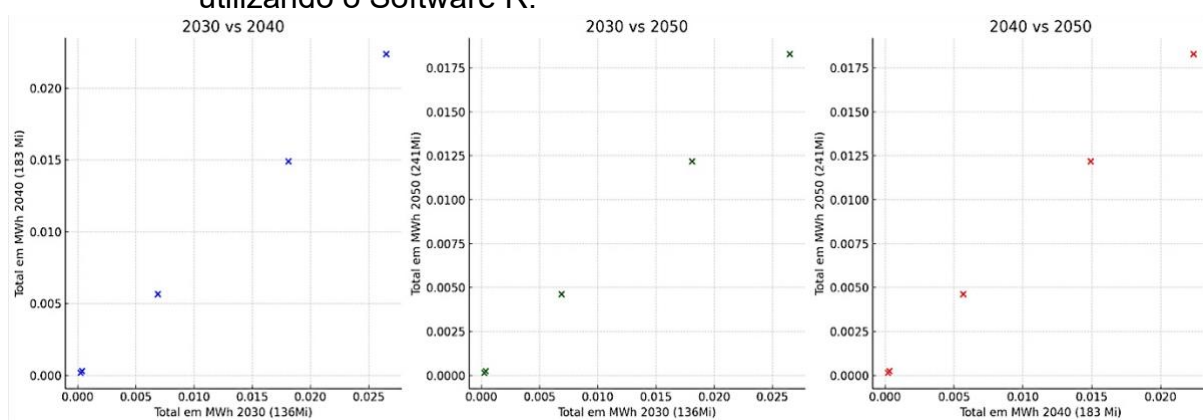
Fonte: Autor (2024).

Legenda: 1-Khomsah et al., 2019; 3-Purwanto, Budiyo, Hermawan, 2019; 4-Purwanto et al., 2020; 5-Rantererung et al., 2020; 8-Sulis et al., 2019.

Purwanto, Budiyo, Hermawan (2019) obtiveram 27,3% em 2030, 22,37% em 2040 e 18,29% em 2050, seguidos por Samora et al., (2016) que apresentaram 18,08% em 2030, 14,91% em 2040 e 12,19% em 2050.

O gráfico 18 representa a correlação de Pearson para a geração de energia nos anos de 2030, 2040 e 2050, considerando as residências, utilizando o Software R, que identificou que os dados da figura 18 estão dentro do padrão de dispersão.

**Gráfico 19-** Gráfico da matriz de correlação de Pearson para a geração de energia nos anos de 2030, 2040 e 2050, considerando os municípios brasileiro, utilizando o Software R.



Fonte: Autor (2024).

Observamos nos gráficos 18 e 19, que a aplicação prática dessa correlação é crucial para o planejamento e a formulação de novas políticas nos municípios brasileiros relacionadas aos avanços na produção de energia elétrica.

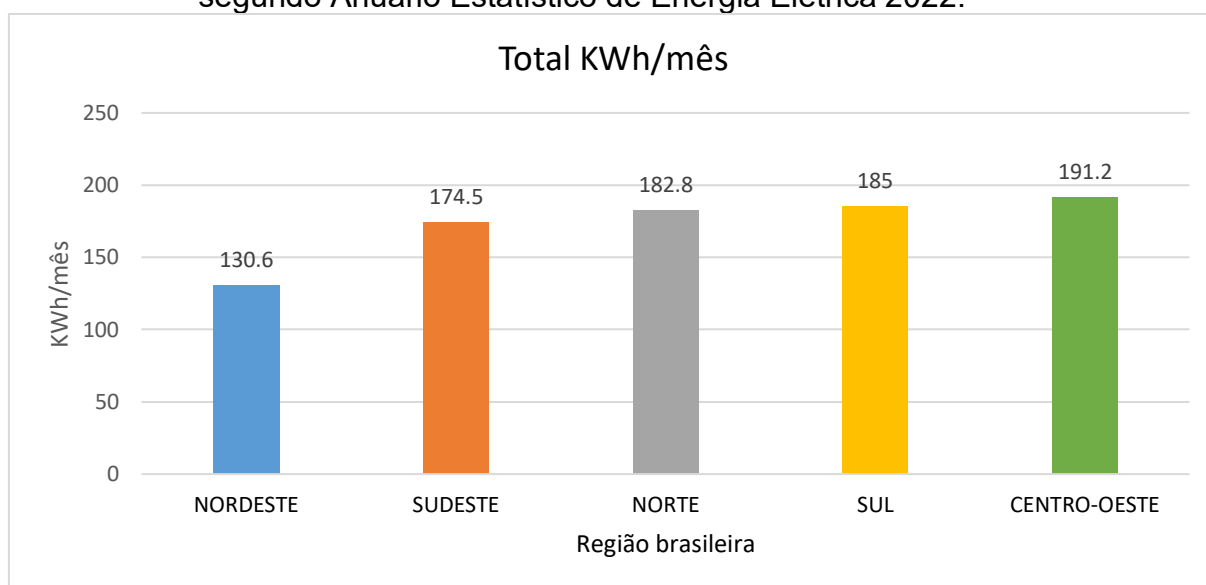
Com base nesses dados projetados é possível considerar que, políticas e investimentos, afetam a geração de energia em um dos anos analisados e poderão ter um impacto consistente e previsível nos outros anos.

Dessa forma, os municípios podem desenvolver estratégias de longo prazo com maior segurança, sabendo que as tendências observadas seguirão uma trajetória linear e perfeitamente correlacionada ao longo das próximas décadas.

4.2.3 Porcentagem de participação da microgeração por turbina *Michell Banki*, segundo o consumo de energia elétrica na classe residencial, em 2021, por região no Brasil.

A média de consumo de energia elétrica residencial por região brasileira destaca-se no Centro-Oeste com 191,2kWh/mês. Enquanto que o Nordeste possui a menor média com 130,6, conforme o gráfico 20.

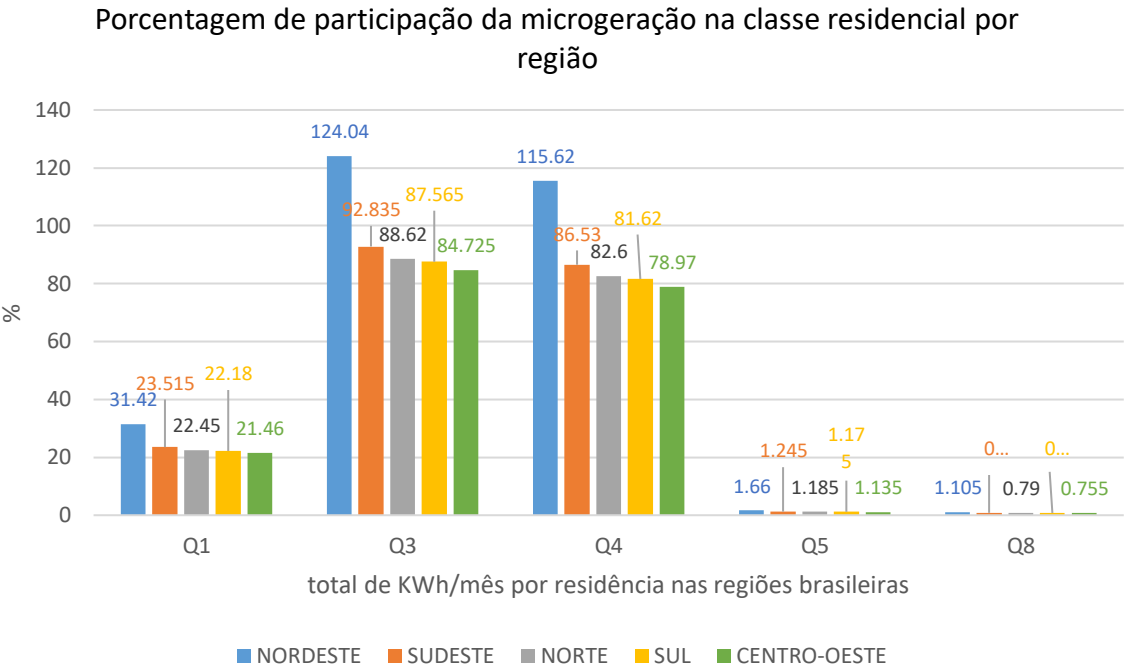
**Gráfico 20-** Média do consumo da energia elétrica na classe residencial por região, segundo Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2022.



Fonte: Autor (2024).

Ao verificar o percentual de participação da microgeração por residências nas regiões brasileira, no gráfico 21, os estudos de Q3 Purwanto, Budiyo, Hermawan, 2019 e Q4 Purwanto *et al.*, 2020 apresentam maior representatividade quando comparado aos outros estudos, com a região Nordeste e Sudeste com melhor desempenho.

**Gráfico 21-** Percentual da participação da microgeração na classe residencial por região.



Fonte: Autor (2024).

Legenda: Q1-Khomsah et al., 2019; Q3-Purwanto, Budiyo, Hermawan, 2019; Q4-Purwanto et al., 2020; Q5-Rantererung et al., 2020; Q8-Sulis et al., 2019.

A maior representatividade da região Nordeste se deve ao menor consumo da região, com uma participação maior.

A seguir, a tabela 07 apresenta o preço para a implantação da microgeração de energia residencial no Brasil, aplicando a turbina *Michell Banck*.

**Tabela 07-** Levantamento de preço para a implantação da microgeração de energia residencial no Brasil, aplicando a turbina *Michell Banck*.

| Tipo                                                                                | Descrição              | Custo em setembro 2024 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|
|  | Turbina gerador Dc 12v | R\$ 113,00 reais       |
|  | Bateria BRAVUS 050D    | R\$ 199,00 reais       |

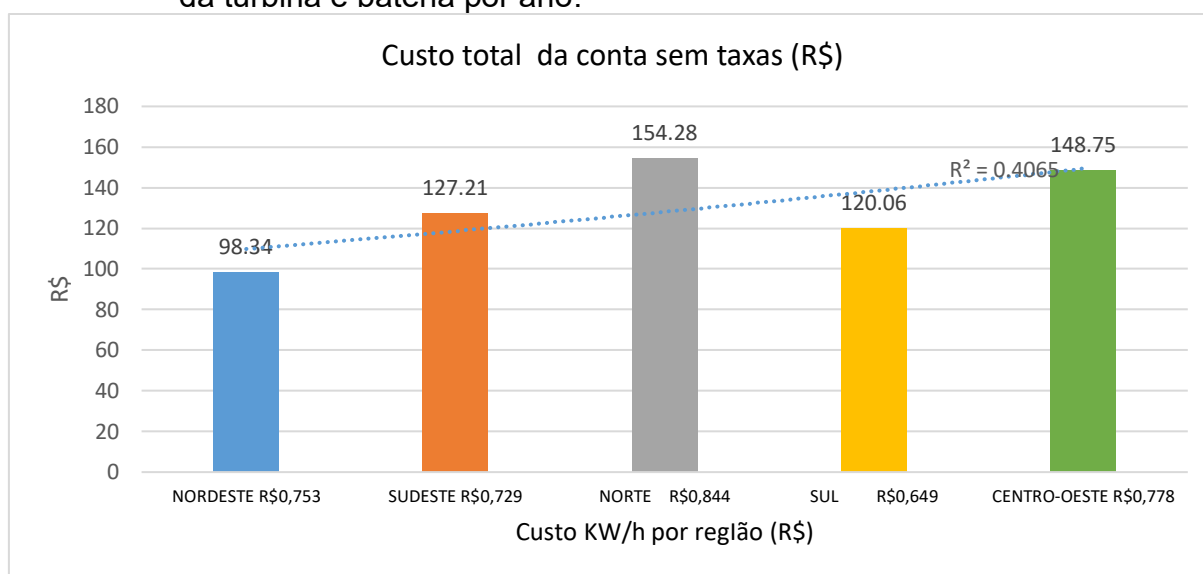
Fonte: Autor (2024).

A turbina possui vida útil, em média de 3.000 horas e a bateria de dois anos. Para chegar ao custo de implantação foi pesquisado o preço oferecido no mercado atual. A escolha desses itens refere-se ao menor preço pesquisado no mês de setembro de 2024, via internet.

Segundo os estudos pesquisados, o custo da manutenção virá da troca da turbina e da bateria. Nesse estudo não foi abordado a mão-de-obra para esse serviço, pelo motivo de poder gerar divergências regionais de valor.

Ao considerar o custo em relação à região e o preço praticado no mercado com sua variação, observou-se a região Norte com a maior taxa com R\$154,28 reais e a região Nordeste com a menor taxa com R\$ 98,34 reais, conforme o gráfico 22.

**Gráfico 22-** Levantamento do custo do sistema considerando o preço e tempo de vida da turbina e bateria por ano.



Fonte: Autor (2024).

O custo total do sistema ficou estimado em R\$ 21,85 reais por mês, sendo que a turbina é responsável por 62,05% e a bateria com 37,94%, como representado na tabela 08.

**Tabela 08-** Custo da turbina, custo da bateria e custo total do sistema por mês.

| Tipo de custo                       | Valor           | Porcentagem |
|-------------------------------------|-----------------|-------------|
| <b>Turbina <i>Michell Banck</i></b> | R\$ 13,56 reais | 62,05%      |
| <b>Bateria</b>                      | R\$ 8,29 reais  | 37,94%      |
| <b>Total do sistema por mês</b>     | R\$ 21,85 reais | 100         |

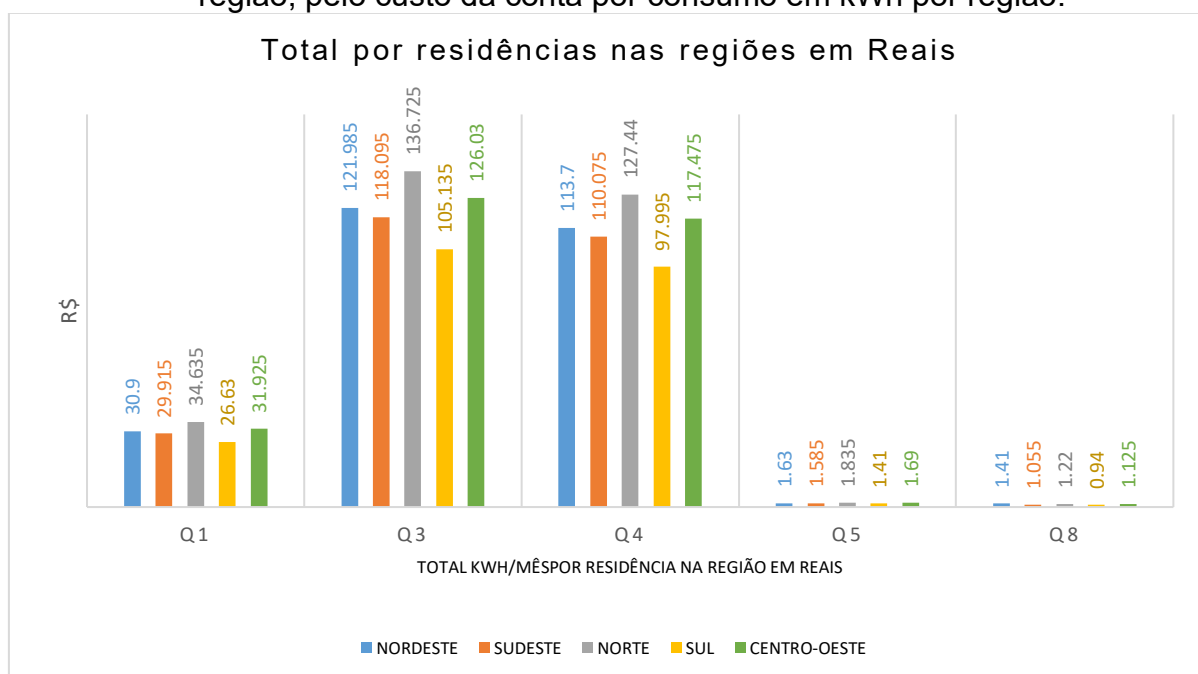
Fonte: Autor (2024).

Através da tabela 08 é possível verificar que o sistema de microgeração pela turbina *Michell Banck* para ser implantado custará mensalmente R\$ 21,85 reais. O consumidor juntamente com o engenheiro só irá aderir ao sistema se a conta de

energia elétrica mensal fornecida pela companhia elétrica sofrer um impacto financeiro a favor do consumidor, reduzindo a conta.

Ao analisar o percentual da participação da microgeração na classe residencial por região, pelo consumo por região, conforme apresentado abaixo no gráfico 23, os estudos de Q3 Purwanto, Budiyono, Hermawan, 2019 e Q4 Purwanto *et al.*, 2020, apresentaram maior representatividade. Em ambos a região Norte se destaca com 136,725% e 127,44% respectivamente. Porém todos os estudos demonstraram uma participação no total de kWh/mês em reais.

**Gráfico 23-** Percentual da participação da microgeração na classe residencial por região, pelo custo da conta por consumo em kWh por região.

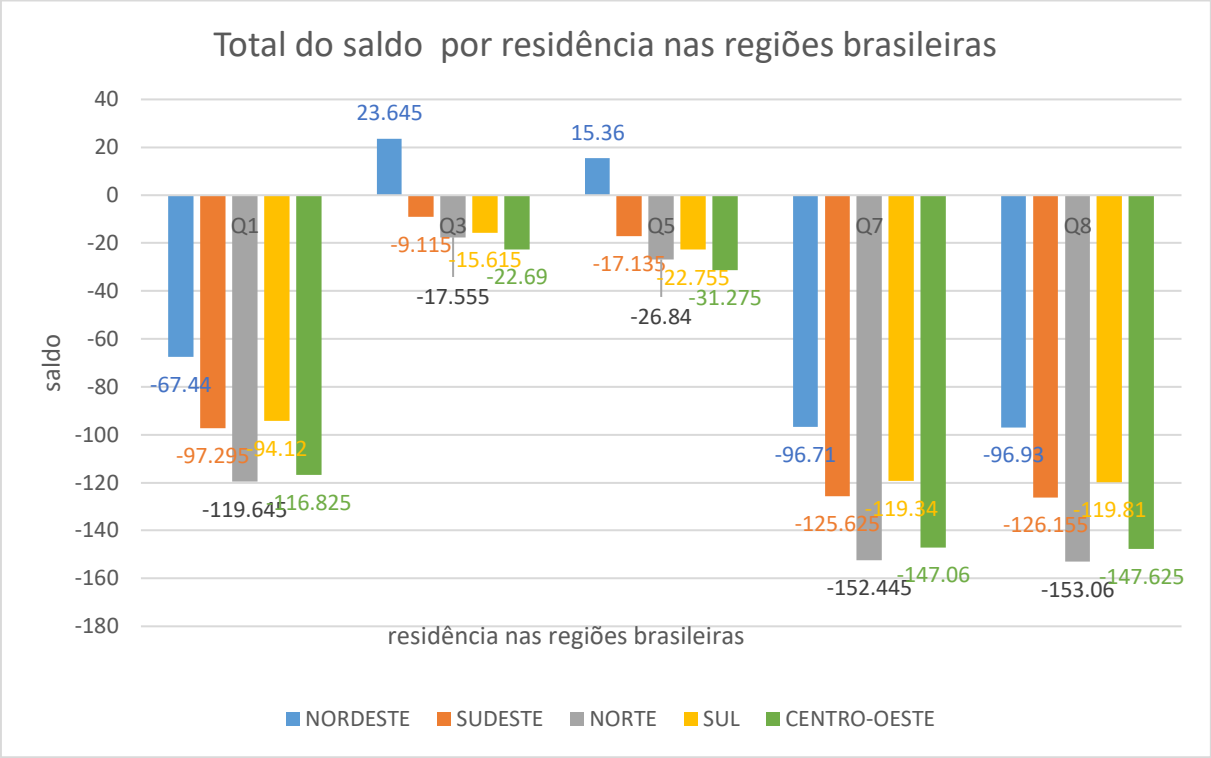


Fonte: Autor (2024).

Ao analisar a viabilidade econômica da microgeração foi considerado total do saldo por residência nas regiões brasileiras, somente a região Nordeste nos estudos Q3 Purwanto, Budiyono, Hermawan, 2019 e Q4 Purwanto *et al.*, 2020, alcançaram na projeção um saldo positivo, ou seja, sua geração foi o suficiente para a sua conta de luz e apresentou uma sobra de energia elétrica para injetar na rede.

Todos os outros estudos projetados, o consumidor necessitou pagar a conta de luz, conforme o gráfico 24.

**Gráfico 24-** Viabilidade econômica da microgeração: total do saldo por residência nas regiões brasileiras.



Fonte: Autor (2024).

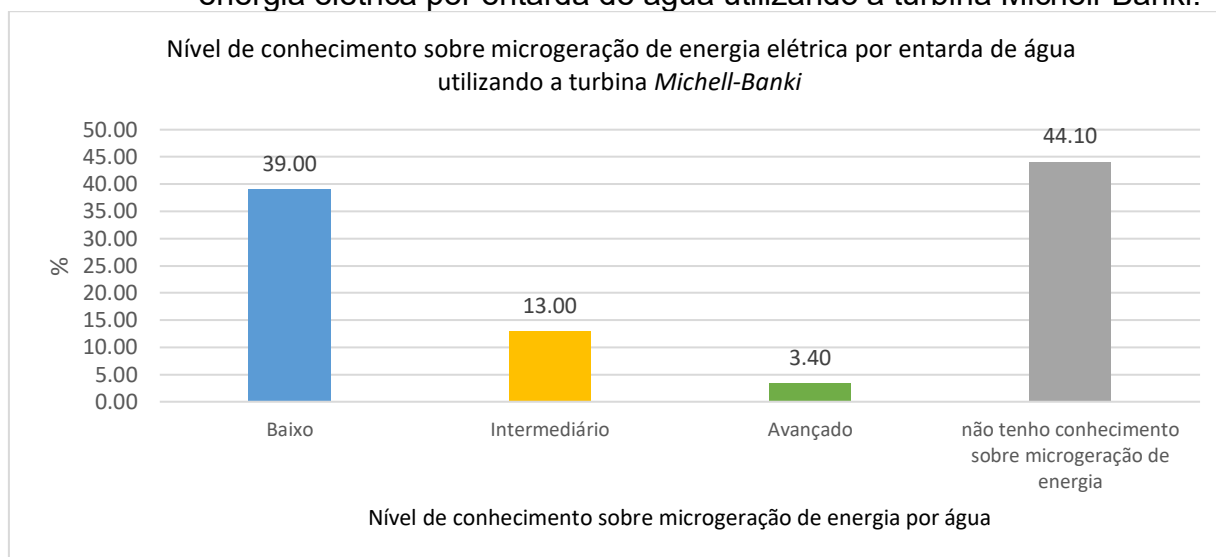
Após a análise dos estudos de caso, a próxima etapa a ser desenvolvida foi a pesquisa de opinião com os engenheiros civis.

### 4.3 PESQUISA COM OS ENGENHEIROS CIVIS: 3<sup>A</sup>. ETAPA

Esta etapa consistiu na aplicação de uma pesquisa com engenheiros civis sobre a utilização e o conhecimento da microgeração de energia elétrica por fonte hídrica, por meio de um questionário semiestruturado com perguntas fechadas sobre a opinião da utilização da microgeração de energia.

O gráfico 25 apresenta o conhecimento dos engenheiros sobre a microgeração de energia, no qual relatam baixo conhecimento em 39% e 44,1% dos engenheiros não souberam responder. Somente 13% dos entrevistados descreveram conhecer o processo de microgeração à nível intermediário e somente 3,4% dos engenheiros no nível avançado.

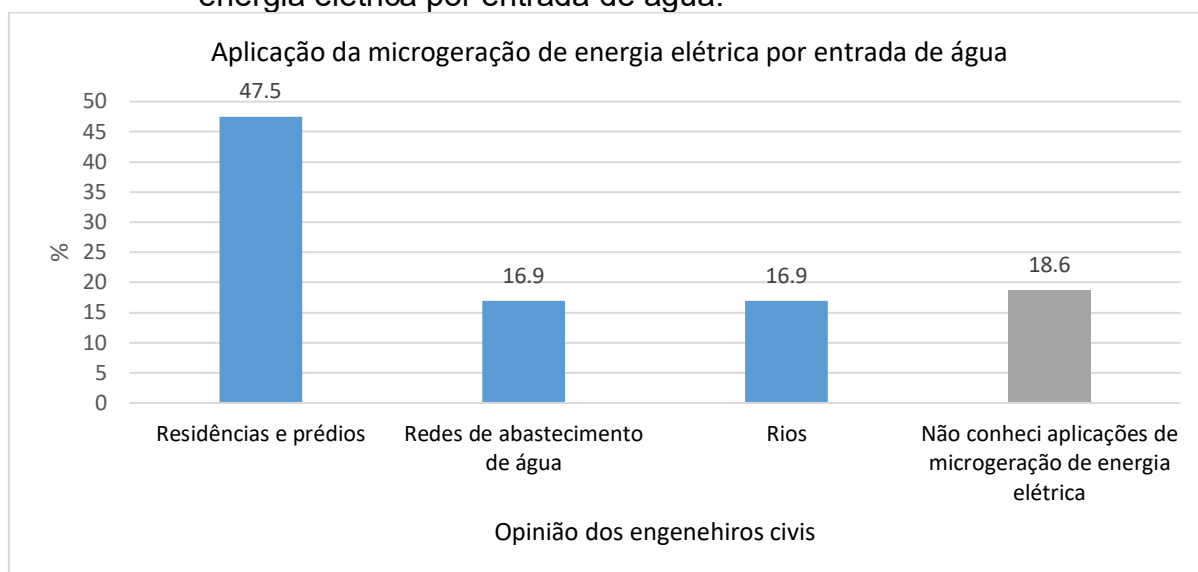
**Gráfico 25-** Nível de conhecimento dos engenheiros civis sobre microgeração de energia elétrica por entrada de água utilizando a turbina *Michell-Banki*.



Fonte: Autor (2024).

Na opinião dos engenheiros civis, o local de aplicação da microgeração de energia elétrica por entrada de água foi apontado em 47,5% ser nas residências e prédios; 16,9% em redes de abastecimento de águas ou rios. Mas 18,6% dos engenheiros pesquisados descreveram desconhecer a microgeração, conforme o gráfico 26.

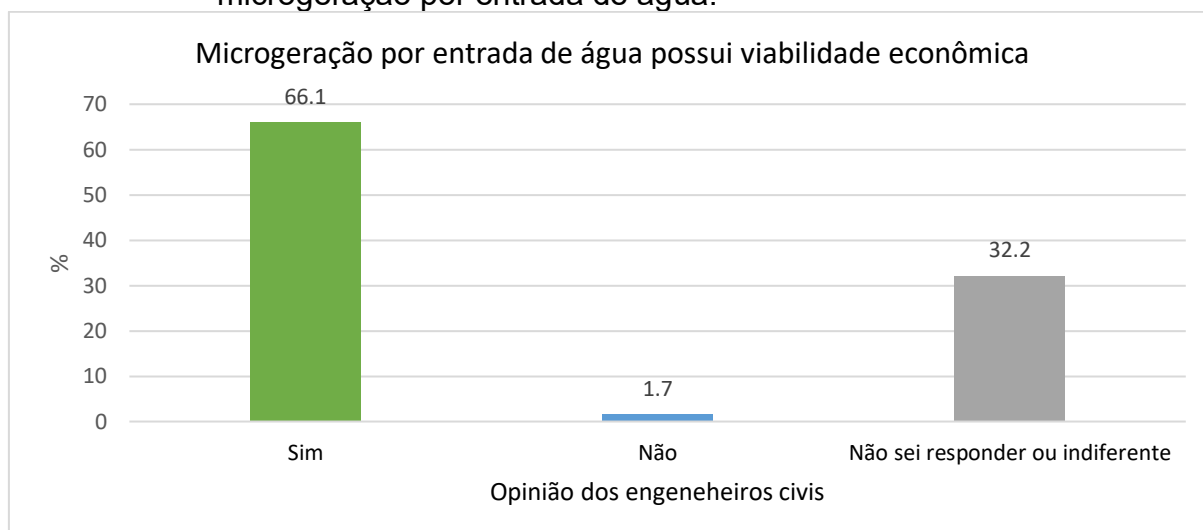
**Gráfico 26-** Opinião dos engenheiros civis sobre a aplicação da microgeração de energia elétrica por entrada de água.



Fonte: Autor (2024).

Ao perguntar sobre a viabilidade econômica da microgeração por entrada de água para os engenheiros civis, 66,1% relataram ter viabilidade econômica no processo de microgeração. Para 1,7% dos entrevistados relataram não reconhecer a viabilidade econômica no processo de microgeração e 32,2% dos engenheiros civis não souberam responder, conforme o gráfico 27.

**Gráfico 27-** Opinião dos engenheiros civis sobre a viabilidade econômica da microgeração por entrada de água.

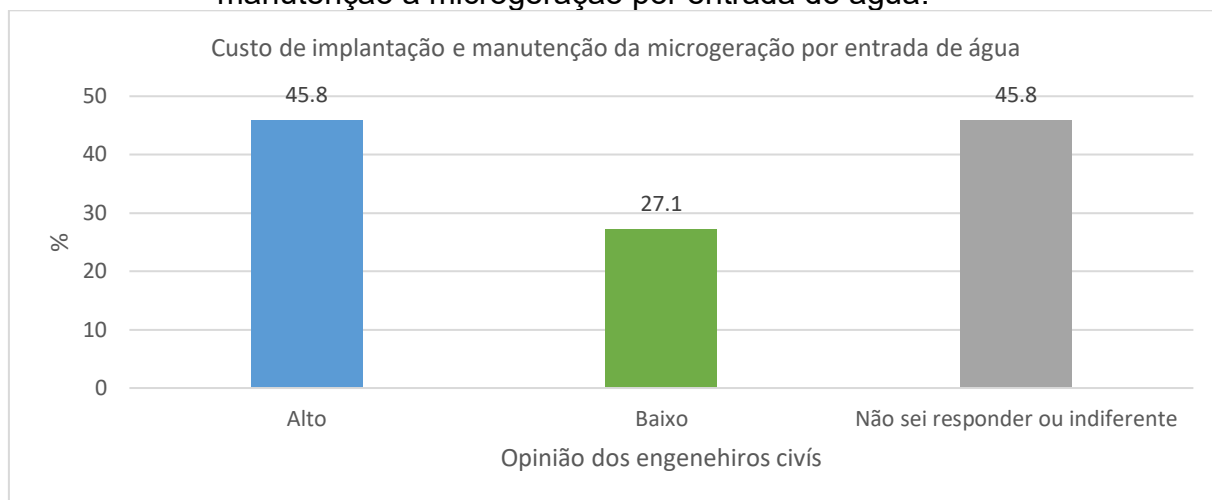


Fonte: Autor (2024).

Ao serem questionados sobre o custo de implantação e manutenção do sistema de microgeração por fonte hídrica, os engenheiros o descreveram como alto em

45,8%, baixo 27,1% e não souberam responder 45,8% dos participantes, demonstrando uma grande parcela não saber opinar na questão, conforme o gráfico 28.

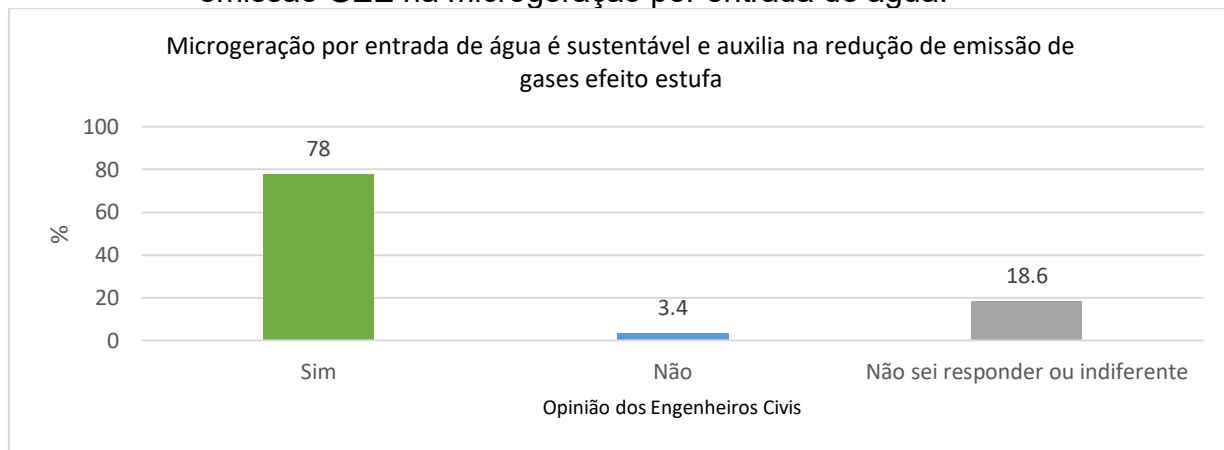
**Gráfico 28-** Opinião dos engenheiros civis sobre o custo de implantação e manutenção a microgeração por entrada de água.



Fonte: Autor (2024).

Ao questionados se a microgeração por entrada de água é sustentável e auxilia na redução de emissão de gases efeito estufa, 78% dos engenheiros civis relataram que sim, 18,6% dos engenheiros civis não souberam responder e apenas 3,4% dos entrevistados apontaram que a microgeração hídrica não será um processo sustentável, conforme o gráfico 29.

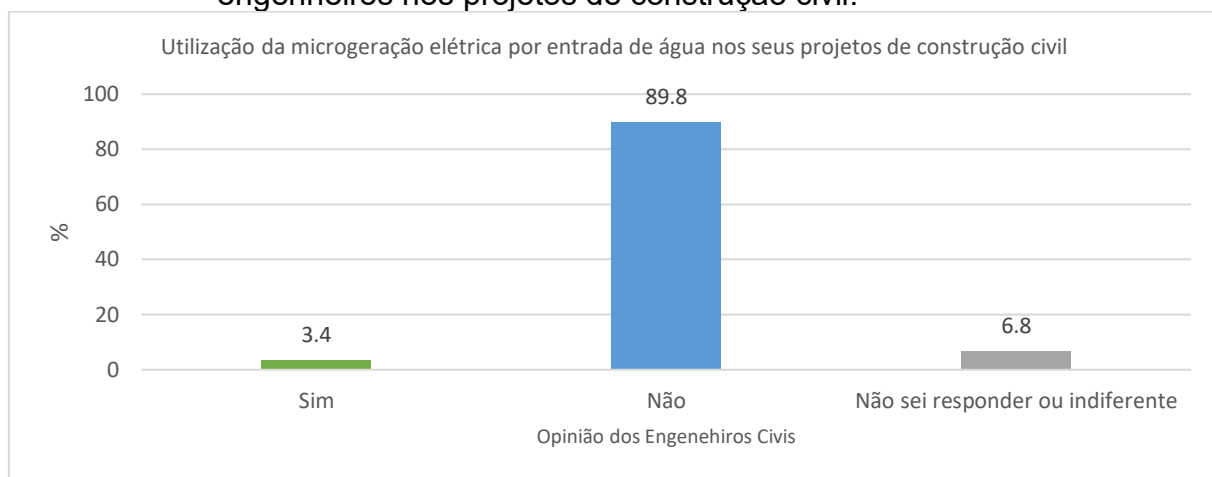
**Gráfico 29-** Opinião dos engenheiros civis sobre sua sustentabilidade e redução da emissão GEE na microgeração por entrada de água.



Fonte: Autor (2024).

O gráfico 30 apresenta que 89,8% dos engenheiros relatam não ter utilizado a microgeração elétrica por entrada de água nos seus projetos de construção civil. Somente 3,4% dos engenheiros utilizaram a microgeração em seus projetos, mas 6,8% dos engenheiros não souberam responder.

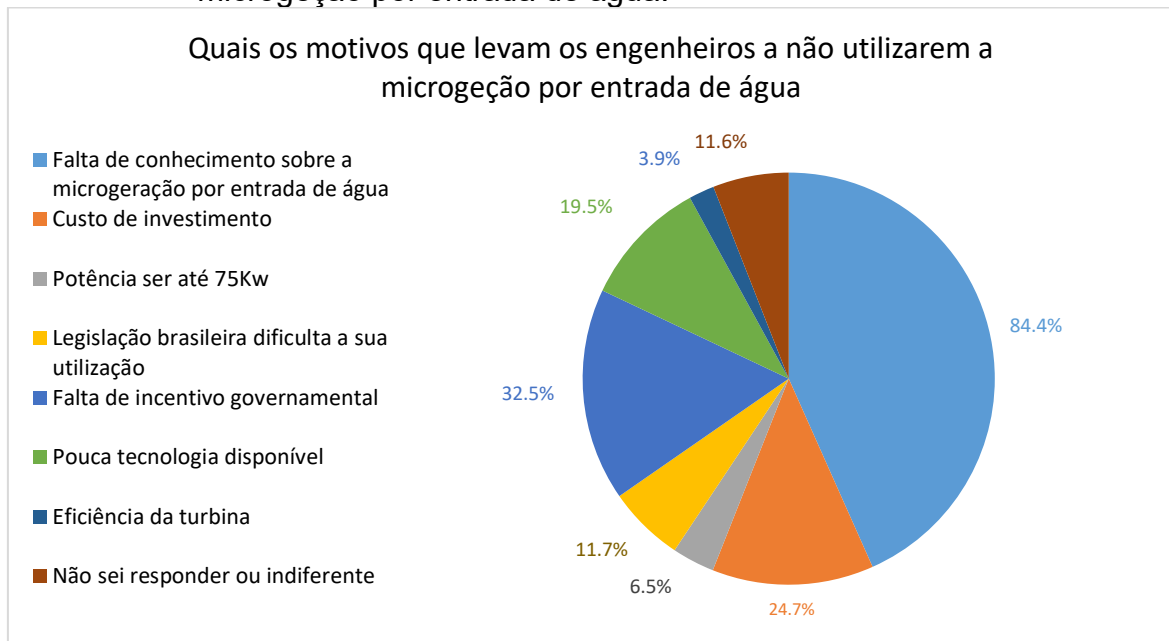
**Gráfico 30-** Utilização da microgeração elétrica por entrada de água pelos engenheiros nos projetos de construção civil.



Fonte: Autor (2024).

Entre os engenheiros, 84,7% relataram que a falta de conhecimento sobre a microgeração por entrada de água é o fator que promove a não utilização nas obras. Mas para 27,1% dos engenheiros trata-se sobre o custo de investimento da microgeração. 30,5% dos engenheiros mencionaram a falta de incentivo governamental para promover a microgeração. 16,9% dos engenheiros apontaram para a pouca tecnologia disponível. Entre 8,5% dos engenheiros a legislação brasileira dificulta a sua utilização. Somente 3,4% dos engenheiros apontaram a potência da microgeração segundo a legislação brasileira ser até 75kW. Já 5,1% dos engenheiros relacionam a eficiência da turbina. 8,5% dos engenheiros relataram não saber responder à questão apresentada, conforme o gráfico 31.

**Gráfico 31-** Opinião dos engenheiros civis sobre os motivos de não utilizarem a microgeração por entrada de água.



Fonte: Autor (2024).

A seguir será apresentado o artigo publicado.

#### **4.4 ARTIGO I: Use of rainwater and water supply to produce electrical energy for homes**

Artigo redigido conforme as normas da revista **REVISTA OBSERVATORIO DE LA ECONOMIA LATINOAMERICANA**

Qualis 2017/2020 Ciências Ambientais: A4 e H5-Index 17



## Use of rainwater and water supply to produce electrical energy for homes

## Uso da água pluvial e de abastecimento para produção de energia elétrica residencial

## Aprovechamiento del agua de lluvia y del suministro de agua para producir energía eléctrica para viviendas

DOI: 10.55905/oelv22n12-084

Receipt of originals: 11/08/2024

Acceptance for publication: 12/03/2024

### Rogério Benedito de Brito

PhD in Environmental Sciences

Institution: Universidade Federal de Alfenas

Address: Alfenas, Minas Gerais, Brazil

E-mail: rogerio.brito@sou.unifal-mg.edu.br

### Breno Régis Santos

Post-Doctorate in Biological Sciences

Institution: Universidade Federal de Alfenas

Address: Alfenas, Minas Gerais, Brazil

E-mail: breno.santos@unifal-mg.edu.br

### Carlos Henrique Alexandrino

PhD in Geophysics

Institution: Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia (ICET) - campus JK

Address: Teófilo Otoni, Minas Gerais, Brazil

E-mail: carlos.alexandrino@ufvjm.edu.br

### Tales Alexandre Aversi Ferreira

Postdoctoral Fellow in Evolutionary Biology

Institution: Universidade Federal de Alfenas, Departamento de Biologia Estrutural

Address: Alfenas, Minas Gerais, Brazil

E-mail: tales.ferreira@unifal-mg.edu.br

### ABSTRACT

The objective was to verify whether microgeneration of energy (MEE) from water, using the Michell-Banki turbine, is viable for lighting with LED lamps, with any impact on sustainability or cost in the Brazilian Energy Development Plan until 2050. To find out if Civil Engineers have knowledge of the MEE for water and/or use it to supply electricity.



The study proposes the 1st. stage such as meta-analysis and bibliometrics; 2a. to 5th. stage analyzed the results of the literature applied to Brazilian homes and cities from 2030-2050, in addition to economic viability; to 6th. stage was a survey with Civil Engineers on MEE knowledge and application. The results demonstrate that the microgeneration was capable of lighting 9W lamps, there was economic viability, with low implementation/maintenance costs, in addition to sustainability and ease of reproduction. Among civil engineers, 5% have advanced MEE knowledge; 45.8% would apply MEE in homes, 63.9% recognize the economic viability of MEE. 22.9% of Engineers report low implementation costs and for 75.9% it reduces the greenhouse effect. 2.4% use SEM in their projects and 85% describe a lack of knowledge about SEM. It is concluded that the MEE is viable and will have a positive impact on the Brazilian Energy Development Plan 2050, helping to save electricity, but the MEE from water, through the Michell-Banki turbine, needs to be known among Civil Engineers to be used.

**Keywords:** Microgeneration of Electrical Energy, Energy, Sustainability, Residential Electrical Energy, Renewable Electrical Energy.

#### RESUMO

Objetivou-se verificar se microgeração de energia (MEE) proveniente da água, por meio da turbina *Michell-Banki* é viável para a iluminação com lâmpadas de LED, com algum impacto na sustentabilidade ou custo no Plano de Desenvolvimento Energético Brasileiro até 2050. Averiguar se os Engenheiros Civis possuem conhecimento da MEE por água e/ou a utilizam para fornecimento de energia elétrica. O estudo propõe a 1ª. etapa como metanálise e bibliometria; 2ª. à 5ª. etapa analisou os resultados da literatura aplicada nas residências e cidades brasileiras de 2030-2050, além da viabilidade econômica; a 6ª. etapa tratou-se de uma pesquisa com Engenheiros Civis sobre o conhecimento e aplicação MEE. Os resultados demonstram que a microgeração foi capaz de acender lâmpadas de 9W, houve viabilidade econômica, com baixo custo de implantação/manutenção, além de sustentabilidade e facilidade de reprodução. Entre os Engenheiros civis, 5% tem conhecimento avançado MEE; 45,8% aplicaria a MEE em residências, 63,9% reconhecem a viabilidade econômica da MEE. 22,9% dos Engenheiros relatam baixo custo de implantação e para 75,9% reduz o efeito estufa. 2,4% utilizam a MEE em seus projetos e 85% descrevem falta de conhecimento sobre MEE. Conclui-se que a MEE é viável e terá um impacto positivo no Plano de Desenvolvimento Energético Brasileiro 2050, auxiliando na economia de energia elétrica, porém a MEE proveniente da água, por meio da turbina *Michell-Banki* precisa ser conhecida entre os Engenheiros Civis para ser utilizada.

**Palavras-chave:** Microgeração de Energia Elétrica, Energia, Sustentabilidade, Energia Elétrica Residencial, Energia Elétrica Renovável.

#### RESUMEN

El objetivo fue verificar si la microgeneración de energía (MEE) a partir de agua, utilizando la turbina *Michell-Banki*, es viable para iluminación con lámparas LED, con algún impacto en la sostenibilidad o costo en el Plan de Desarrollo Energético de Brasil

hasta 2050. Los Ingenieros Civiles tienen conocimiento del MEE para agua y/o lo utilizan para suministrar electricidad. El estudio propone el 1er. etapa como el metaanálisis y la bibliometría; 2a. al 5to. La etapa analizó los resultados de la literatura aplicada a los hogares y ciudades brasileñas en el período 2030-2050, además de la viabilidad económica; al 6to. La etapa fue una encuesta con Ingenieros Civiles sobre el conocimiento y aplicación de MEE. Los resultados demuestran que la microgeneración fue capaz de encender lámparas de 9W, hubo viabilidad económica, con bajos costos de implementación/mantenimiento, además de sostenibilidad y facilidad de reproducción. Entre los ingenieros civiles, el 5% tiene conocimientos avanzados de MEE; El 45,8% aplicaría MEE en viviendas, el 63,9% reconoce la viabilidad económica del MEE. El 22,9% de los Ingenieros reporta bajos costos de implementación y para el 75,9% reduce el efecto invernadero. El 2,4% utiliza SEM en sus proyectos y el 85% describe desconocimiento sobre SEM. Se concluye que el MEE es viable y tendrá un impacto positivo en el Plan de Desarrollo Energético de Brasil 2050, ayudando a ahorrar electricidad, pero el MEE del agua, a través de la turbina Michell-Banki, necesita ser conocido entre los Ingenieros Civiles para ser utilizado.

**Palabras clave:** Microgeneración de Energía Eléctrica, Energía; Sostenibilidad, Energía Eléctrica Residencial, Energía Eléctrica Renovable.

## 1 INTRODUCTION

One of the main demands associated with Civil Engineering (CE) today is the search for sustainable solutions in construction (GamalEldine; Corvacho, 2022), aiming to reduce environmental and social impacts (Samora *et al.*, 2016), through lower costs. and the reuse of energy, which is often wasted (Kan Kan *et al.*, 2022a; Mehra *et al.*, 2021), such as electricity, which represents an essential requirement for population development (Nasir *et al.*, 2023).

One of the possibilities for supporting sustainable construction is associated with saving Electric Energy (EE) (GamalEldine; Corvacho, 2022; Arif; Amanullah, 2017). Among the various possibilities for generating EE with savings, this article highlights the one coming from water sources, through rain or inlet water. Rationalizing the use of EE and using all means to generate more comfort at a lower cost and preserving natural resources is essential, and for this, innovation is essential (Rao; Arun; Selvan, 2020; Kadier *et al.*, 2018; Sinagra *et al.*, 2015).

Due to the increase in population, the growing number of households and the use of household appliances, increased industrialization (Brazil, 2020; Sulis *et al.*, 2019) and, consequently, the decrease in natural resources, a more efficient energy matrix will be necessary to provide the resources to maintain the population in the near future (Kan Kan *et al.*, 2022a; Arif; Amanullah, 2017; Loots *et al.*, 2015).

The use of Renewable Energy (RE), especially in developing countries, is related to greater environmental awareness, changing the way individuals decide and relate to the energy sector (Brazil, 2020).

In countries where EE production is centralized in hydroelectric plants, which depend on rainfall, a variable not controlled by humans (Adefarati; Bansal, 2019; Gómez; Higuita; Benavides-Morán, 2018), one of the possible solutions is to decentralize production with EE conversion on a smaller scale, such as microgeneration, in homes (Khomsah *et al.*, 2019; Purwanto, Budiyo, Hermawan, 2019; Purwanto *et al.*, 2020; Rantererung *et al.*, 2020; Sulis *et al.*, 2019) or in the water supply network (De Marchis *et al.*, 2016; Sammartano *et al.*, 2016; Samora *et al.*, 2016), currently little explored (Brazil, 2020; Brazil, 2018). However, each country can analyze its characteristics and implement microgeneration projects with the aim of corroborating the production of EE (Purwanto; Budiyo; Hermawan, 2019; Polagye *et al.*, 2019).

Thus, it is reasonable to question whether microgeneration of electrical energy (MEE) from water, through the *Michell-Banki turbine*, is viable for use in lighting with 9W LED lamps, with some impact on sustainability or cost, in the Brazilian Energy Development Plan until 2050. And to investigate whether Civil Engineers have knowledge of MEE through water input and use it.

Alternative technologies for sustainability projects are essential for future prospects in terms of EE savings (Sulis *et al.*, 2019). The use of structures and resources already in use reduces the need to build new projects that take up space and time, such as hydroelectric plants. Based on what already exists, by introducing adaptations, it is possible to improve the achievement of EE within the hydraulic system of homes or communities (Mehra *et al.*, 2021; Brasil, 2018).

The aim was to verify whether microgeneration of energy (MEE) from water, through the Michell-Banki turbine, is viable for lighting with LED lamps, with some impact on sustainability or cost in the Brazilian Energy Development Plan until 2050. To find out whether Civil Engineers have knowledge of MEE from water and/or use it to supply electricity.

## 2 THEORETICAL FRAMEWORK

The 75KW MEE power was defined in 2012 by ANELL Resolution No. <sup>482</sup>, revised in 2020 by GED-15.303 and reaffirmed in 2022 as qualified cogeneration by ANELL Resolution No. <sup>1031</sup> (Brazil, 2012; Brazil, 2020; Brazil 2022).

In 2015, ANEEL Resolution No. 687 regulated that, if production is greater than consumption, the excess energy can be sent to the concessionaire and returned in the form of credit to the consumer (Brazil, 2015). In 2023, ANELL Resolution No. <sup>1,059</sup> improved the rules for the connection and billing of microgeneration and distributed minigeneration plants in distribution systems, as well as the rules of the Electric Energy Compensation System (Brazil, 2023).

## 3 METHODOLOGY

In the 1st <sup>stage</sup>, a meta-analysis with bibliometrics was carried out, which deals with the alternative use of sources for the production of electrical energy, in particular the use of rainwater and water supply in homes and buildings.

A total of 851 articles were searched using the PRISMA methodology (figure 1) in the Capes Journal collection. After the analysis phases, 38 articles were included. From the article by Sinagra *et al* (2017), 7 articles were included: De Marchis *et al.*, 2016; Sammartano *et al.*, 2016; Sammartano *et al.*, 2017a ; Sammartano *et al.*, 2017b; Samora *et al.*, 2016a; Samora *et al.*, 2016b; Sinagra *et al.*, 2017, totaling 45 articles (Table 1).

There were 8 case studies identified for hydroelectric power plants up to 75 kWh (1-Khomsah *et al.*, 2019; 2-De Marchis *et al.*, 2016 (5 turbines selected); 3-Purwanto;

Budiyono; Hermawan, 2019; 4-Purwanto *et al.*, 2020; 5-Rantererung *et al.*, 2020; 6-Sammartano *et al.*, 2016; 7-Samora *et al.*, 2016b; 8-Sulis *et al.*, 2019).

Through the website of the Brazilian Ministry of Mines and Energy, 13 documents on national EE were included, updated and with long-term projections on MEE by water source. The exclusion criterion was a study prior to the one selected.

Figure 1: Flow of identification of studies based on data collected from CAPES and the Ministry of Mines and Energy, according to the PRISMA 2020 methodology.



Source: Author (2024).

Figure 2: Venn diagram of the total number of articles found in CAPES Journals and the Ministry of Mines and Energy after applying the exclusion criteria.



Source: Author (2024).

Next, Table 1 will present the list of articles used for meta-analysis, according to the keywords.

Table 1: Articles used for the systematic review, according to keywords.

| <b>Renewable electrical energy AND microgeneration of electrical energy</b>        |                                                                                                                                  |              |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>AUTHOR, YEAR</b>                                                                | <b>TITLE</b>                                                                                                                     | <b>STUDY</b> |
| Arfeen <i>et al.</i> , 2019                                                        | Control of distributed generation systems for microgrid applications: A technological review                                     | VR           |
| <b>Energy AND cross-flow turbine OR Bánki-Michell turbine OR Ossberger turbine</b> |                                                                                                                                  |              |
| <b>AUTHOR, YEAR</b>                                                                | <b>TITLE</b>                                                                                                                     | <b>STUDY</b> |
| Kadier <i>et al.</i> , 2018                                                        | Pico hydropower development in Malaysia: Potential, present status, barriers and future perspectives                             | VR           |
| Khomsah <i>et al.</i> , 2019                                                       | Pico-hydro as A Renewable Energy: Local Natural Resources and Equipment Availability in Efforts to Generate Electricity          | VR           |
| Baidar <i>et al.</i> , 2016                                                        | Strategic rehabilitation of the earthquake affected microhydropower plants in Nepal                                              | VR           |
| From Marchis <i>et al.</i> , 2016                                                  | Energy Saving in Water Distribution Network through Pump as Turbine Generators: Economic and Environmental Analysis              | EC           |
| Galvis-Holguin; River; Hincapié, 2022                                              | Enhancement efficiency of Michell-Banki turbine using NACA 6512 modified blade profile via CFD                                   | VR           |
| Gómez, Higuaita, Benavides-Morán, 2018                                             | Computational analysis of a cross flow turbine performance                                                                       | VR           |
| Jemal; Haile, 2019                                                                 | Comprehensive Review of Pump as Turbine                                                                                          | VR           |
| Kan Kan <i>et al.</i> , 2022a                                                      | Energy loss mechanism due to tip leakage flow of axial flow pump as turbine under various operating conditions                   | VR           |
| Kan Kan <i>et al.</i> , 2022b                                                      | Pump as turbine cavitation performance for both conventional and reverse operating modes: A review                               | VR           |
| Kirke, 2019                                                                        | Hydrokinetic and ultra-low head turbines in rivers: A reality check                                                              | VR           |
| Loots <i>et al.</i> , 2015                                                         | A review of low head hydropower technologies and applications in a South African context                                         | VR           |
| Marliansyah <i>et al.</i> , 2018                                                   | Optimization potential analysis of micro-hydro power plant from river with low head                                              | VR           |
| Mehr <i>et al.</i> , 2021                                                          | A novel design and performance optimization methodology for hydraulic Cross-Flow turbines using successive numerical simulations | VR           |
| Nasir <i>et al.</i> , 2023                                                         | Technical and economic analysis of a pump as a turbine for rural electrification                                                 | VR           |
| Obretenov; Tsalov, 2022                                                            | Research and Design of Cross Flow Water Turbines for Small HPP                                                                   | VR           |
| Polagye <i>et al.</i> , 2019                                                       | Comparison of cross-flow turbine performance under torque-regulated and speed-regulated control                                  | VR           |
| Purwanto; Budiyo; Hermawan, 2017                                                   | The modeling of 80 mm diameter cross flow turbine runner for mini/microhydro environmentally friendly power plant                | EC           |
| Purwanto <i>et al.</i> , 2020                                                      | Microhydro with Tube: A Powerhouse Solution for Rural Electricity                                                                | EC           |
| Rantererung <i>et al.</i> , 2020                                                   | A Double Nozzle Cross Flow Turbine Fluid Flow Dynamics                                                                           | EC           |
| Ratnata <i>et al.</i> , 2018                                                       | Preliminary Study of Micro-hydro Power Plant in The Rural Area                                                                   | VR           |
| Sammartano <i>et al.</i> , 2015                                                    | Cross-Flow Turbine Design for Energy Production and Discharge Regulation                                                         | VR           |
| Sammartano <i>et al.</i> , 2016                                                    | Banki-Michell micro-turbines for energy production in water distribution networks                                                | EC           |



|                                                                                                    |                                                                                                                                                        |              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Sammartano <i>et al.</i> , 2017a                                                                   | Coupled Hydraulic and Electronic Regulation of Cross-Flow Turbines in Hydraulic Plants                                                                 | VR           |
| Sammartano <i>et al.</i> , 2017b                                                                   | The Banki-Michell turbine for in-line hydropower systems.                                                                                              | VR           |
| Samora <i>et al.</i> , 2016                                                                        | Experimental characterization of a five blade tubular propeller turbine for pipe inline installation                                                   | VR           |
| Samora <i>et al.</i> , 2016                                                                        | Energy recovery using micro-hydropower technology in water supply systems: The case study of the city of Fribourg.                                     | EC           |
| Sangari; Rompas, 2017                                                                              | A Model of Small Capacity Power Plant in Tateli Village, North Sulawesi                                                                                | VR           |
| Shahidul <i>et al.</i> , 2015                                                                      | Modeling the Energy Extraction from In-stream Water by Multi Stage Blade System of Cross Flow Micro Hydro Turbine                                      | VR           |
| Sinagra; Rompas 2017                                                                               | A New Device for Pressure Control and Energy Recovery in Water Distribution Networks                                                                   | VR           |
| Sinagra <i>et al.</i> , 2022                                                                       | Low-Head Hydropower for Energy Recovery in Wastewater Systems                                                                                          | VR           |
| Sinagra <i>et al.</i> , 2015,                                                                      | Experimental and Numerical Analysis of a Cross-Flow Turbine.                                                                                           | EC           |
| Sulis <i>et al.</i> , 2019                                                                         | A cross-flow Type Design of 5 kW Micro Hydro Power Plant for Rural Area In West Java                                                                   | EC           |
| Sutikno <i>et al.</i> , 2019                                                                       | Flow visualization of water jet passing through the empty space of cross flow turbine runner                                                           | VR           |
| Verma; Gaba; Bhowmick, 2017                                                                        | An Experimental Investigation of the Performance of Cross-flow Hydro Turbines                                                                          | VR           |
| Woldemariam <i>et al.</i> , 2018                                                                   | CFD-Driven Valve Shape Optimization for Performance Improvement of a Micro Cross-Flow Turbine                                                          | VR           |
| Yahagi <i>et al.</i> , 2016                                                                        | Performance analysis of an undershot cross-flow water turbine based on the flow near the runner                                                        | VR           |
| <b>Energy AND renewable electrical energy and residential electrical energy and sustainability</b> |                                                                                                                                                        |              |
| <b>AUTHOR,</b>                                                                                     | <b>TITLE</b>                                                                                                                                           | <b>STUDY</b> |
| Adefarati; Bansal, 2019                                                                            | Application of renewable energy resources in a microgrid power system                                                                                  | VR           |
| Arif;Amanullah, 2017                                                                               | Net-zero emission residential building in temperate weather condition                                                                                  | VR           |
| Dehghani <i>et al.</i> , 2020                                                                      | Genetic Algorithm for Energy Commitment in a Power System Supplied by Multiple Energy Carriers                                                         | VR           |
| Golmohamadi, 2022                                                                                  | Demand-Side Flexibility in Power Systems: A Survey of Residential, Industrial, Commercial, and Agricultural Sectors                                    | VR           |
| Malik <i>et al.</i> , 2023                                                                         | Climate Change Impacts Quantification on the Domestic Side of Electrical Grid and Respective Mitigation Strategy across Medium Horizon 2030            | VR           |
| GamalEldine; Corvacho, 2022                                                                        | Compliance with Building Energy Code for the Residential Sector in Egyptian Hot-Arid Climate: Potential Impact, Difficulties, and Further Improvements | VR           |
| Rao; Arun; Selvan, 2020                                                                            | Framework of locality electricity trading system for profitable peer-to-peer power transactions in locality electricity market                         | VR           |
| Wouters; Fraga; James, 2017                                                                        | A policy-based multi-objective optimization framework for residential distributed energy system design                                                 | VR           |

Caption: Application=Case Study (CS); Literature Review (LR)  
Source: Author (2024).



To conclude the 1st <sup>stage</sup>, bibliometric studies were carried out on the 45 selected articles, considering the total number of articles selected according to the keywords, year, H-INDEX, PLUMX, country and author for the systematic review.

2nd <sup>Stage</sup>: Evaluate the results obtained in the literature with the *Michell-Banki* turbine:

- Case studies according to the author and year; place of application; Type of experiment.
- Conversion of ESM performance from Watts (W) to Kilowatt-hours (KWh).
- Ability to power 9W lamps using the ESM's performance.

The formula to be considered:

$$N = \frac{Q}{P} \quad (1)$$

Where:

N: Number of lamps per KWh

Q: Amount of energy generated in KWh

P: Lamp power (9w)

- Economic viability, Cost of implementation and/or maintenance and sustainability.

3rd <sup>Stage</sup>: Apply the case studies to Brazilian homes or cities projected for 2030, 2040 and 2050.

- Total potential energy generation (MWh) obtained by MEE in water input, in case studies applied in Brazilian municipalities.

$$GMw = \frac{GKw}{1.000} \quad (2)$$

$$Gt = GKw \times 5,570 \quad (3)$$

Where:

GMw: Total MEE (MWh) per year

Gt: Total potential generation of MEE (MWh) in water inlet network

GKw: Total generation by case study: (2-a, 2-b, 2-c, 2-d, 2-e,6,7) in KWh in the 5,570 Brazilian municipalities (IBGE, 2023).

- b) Total potential energy generation (MWh) obtained by microgeneration, in case studies (1,3,4,5,8) that consider community or individual application by number of Brazilian households projected 2030, 2040, 2050.

$$GMw = \frac{GKw}{1.000} \quad (4)$$

$$Gt30 = GMw \times 82,000,000 \quad (5)$$

$$Gt40 = GMw \times 91,000,000 \quad (6)$$

$$Gt50 = GMw \times 98,000,000 \quad (7)$$

where:

GMw: Total MEE (MW) per year.

GKw: Total Generation in KW.

Gt30: Total potential MEE generation (MWh), in the case studies (1,3,4,5,8) in 2030.

Gt40: Total potential MEE generation (MWh), in the case studies (1,3,4,5,8) in 2040.

Gt50: Total potential MEE generation (MWh), in the case studies (1,3,4,5,8) in 2050

**4th<sup>Stage</sup>** : Percentage of participation of MEE, by case study in total consumption, projected for 2030, 2040 and 2050 and by *Michell Banki turbine*.

- a) Percentage of participation of microgeneration, by case study in total consumption (2-a, 2-b, 2-c, 2-d, 2-e, 6, 7) projected for 2030, 2040 and 2050 and by Michell Banki turbine that consider the application in Brazilian municipalities.

$$P = \frac{G \times 100}{T30 \text{ ou } T40 \text{ ou } T50} \quad (8)$$

where:

P = Percentage of participation by municipalities in microgeneration in 2030  
 G = Total by Municipalities in MWh (5,570 Brazilian municipalities, IBGE, 2023),  
 T30 = Total in MWh 2030 (136 Million)  
 T40 = Total in MWh 2030 (183 Million)  
 T50 = Total in MWh 2030 (241 Million)

- b) Percentage of participation of MEE, by case study in total consumption (1,3,4,5,8) projected for 2030, 2040 and 2050 and by Michell Banki turbine that consider the application in community by number of Brazilian households.

$$P = \frac{Gt \times 100}{T30 \text{ ou } T40 \text{ ou } T50} \quad (9)$$

where:

P = Percentage of household participation in microgeneration in 2030  
 Gt = Total per Household in 2030 in MWh  
 T30: Forecast of electricity consumption 2030 (136 thousand MW average).  
 T40: Forecast of electricity consumption 2040 (183 thousand MW average).  
 T50: Forecast of electricity consumption 2050 (241 thousand MW average).

5th Stage : Economic viability in the participation of MEE by *Michell Banki turbine*, according to the Consumption of residential electricity, in 2021, by region in Brazil.

- a) Conversion of Q from KWh to KWh/month by multiplying Q by 360 (h/Month).

$$\text{KWh/month} = Q1 \text{ or } Q3 \text{ or } Q4 \text{ or } Q5 \text{ or } Q8 \times 360 \text{ (h/Month)}. \quad (10)$$

Where:

$$Q1 = 0.114 \text{ KWh}; Q3 = 0.45 \text{ KWh}; Q4 = 0.42 \text{ KWh}; Q5 = 0.00604 \text{ KWh}; Q8 = 0.004025 \text{ KWh}$$

b) Percentage of MEE participation in the residential class by Brazilian region

$$P = \frac{Q1 \text{ ou } Q3 \text{ ou } Q4 \text{ ou } Q5 \text{ ou } Q8 \times 100}{TN \text{ ou } TNO \text{ ou } TSD \text{ ou } TS \text{ ou } TCO} \quad (11)$$

where:

Q: Percentage of microgeneration participation in the residential class by Brazilian region

Q: Q1= 0.114 KWh; Q3= 0.45 KWh; Q4= 0.42 KWh; Q5= 0.00604 KWh; Q8= 0.004025 KWh

TN: 182.8 KWh/month per residence in the northern region

TNO: 130.6 KWh/month per residence in the northeast region

TSD: 174.5 KWh/month per residence in the southeast region

TS: 185 KWh/month per residence in the southern region

TCO: 191.2 KWh/month per residence in the central-west region

c) Price survey for the implementation of residential MEE in Brazil:

Turbine Generator Dc 12v Micro-hydraulic Water Turbine Generator, considering the specifications (Output voltage: 12V; between the wire resistance 10.5 +/- 0.5 omega; Insulation resistance 10M Omega (DC100 megger); the maximum pressure of 0.6 MPa closed outlet; maximum opening of the outlet pressure 1.2 Mpa; Starting pressure 0.05 Mpa; axial clearance 0.2-1.0 mm; mechanical noise Less than and equal to 55dB; the amount of the generator: 90 g around; generator life: greater than or equal to 3,000h).

BRAVUS 050D - BR50DLD Battery (Amperage: 50Ah; CCA: 260; Length: 240mm; Width: 175mm; Height: 175mm; Weight: 12.3Kg. 2-year lifespan).

d) Survey of the cost of the system considering the price and useful life of the turbine and battery per year.

$$CM = \frac{CU}{T} \times 30 \quad (12)$$

where:

T= Turbine lifetime/month

U= Turbine operation for 12 hours/day due to water operation

V= Useful life 3,000h

D= 30 days

e) Battery cost

$$CB = \frac{CU}{TD} \quad (13)$$

where:

CB= Monthly battery cost

T= Battery lifespan/month = 24 months

CU= Total battery cost value

f) Total system cost per month

$$CT = CB + CM \quad (14)$$

where:

CT= Total cost of electricity bill by region per month (without fees and/or taxes)

CB = Total consumption by region (north, northeast, south, southeast and central-west)

CM= Monthly KW/h cost by region (R\$)

g) Percentage of participation of residential MEE by regional consumption



$$X = \text{Total da participação por região} \times Q(1,3,4,5,8) \text{ KKh/h} \quad (15)$$

where:

X= Cost of EE bill by Brazilian region (without fees and/or taxes)

P= Value of KW/h in R\$ by Brazilian region

Q: Amount of EE generated in KWh/month (Q1= 0.114 KWh; Q3= 0.45 KWh; Q4= 0.42 KWh;

Q5= 0.00604 KWh; Q8= 0.004025 KWh)

i) Economic viability of the MEE: total balance per residence in Brazilian regions

$$VR = CT - X \quad (16)$$

where:

VR= Value resulting from EE savings from the water inlet turbine

CT= Total EE bill cost per region per month (excluding fees and/or taxes)

X= Cost of EE bill by Brazilian region (without fees and/or taxes)

**6th Stage:** Consists of applying a survey with 83 Civil Engineers, on the use and knowledge of MEE by water source, through the application of a semi-structured questionnaire with closed questions, online in the forms: <https://docs.google.com/forms/d/1Nx4epxuL4G04FZ07I1ERkf9tjDufjlrX7P0peXRpXIA/edit>.

The following will be included: Those who have a spontaneous interest in participating in the research, who respond to the questionnaire via Google forms ®.

The following will be excluded: Forms received blank, responses inconsistent, or those who refuse to sign the free and informed consent form.

After the data were tabulated and categorized in the Microsoft Office Excel program ®, statistical analysis of all variables was applied to verify the percentage for comparing responses.

#### 4 RESULTS AND DISCUSSIONS

Table 2: 1st Bibliometric Stage of the Meta-Analysis

|                                                                                          |                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Articles selected according to keywords for systematic review                            | 36 Energy AND cross-flow turbine OR Bánki-Michell turbine OR Ossberger turbine                |
|                                                                                          | 8 Energy AND renewable electrical energy and residential electrical energy and sustainability |
|                                                                                          | 1 Microgeneration of electrical energy AND renewable electrical energy                        |
| Total number of articles selected for systematic review by year.                         | 9 articles (20%) published in 2019                                                            |
|                                                                                          | 7 articles (15.5%) in the years 2016 and 2022                                                 |
|                                                                                          | 6 articles (13.3%) in 2017                                                                    |
|                                                                                          | 5 articles (11.1%) in 2018                                                                    |
|                                                                                          | 4 articles (08.8%) in 2020                                                                    |
|                                                                                          | 3 articles (06.6%) in 2015                                                                    |
|                                                                                          | 2 articles (04.4%) in 2023                                                                    |
|                                                                                          | 1 article (02.2%) from 2021 and 2024                                                          |
| Total number of articles for the systematic review by journal x H-INDEX of the journal . | 421 for Renewable & sustainable energy reviews with 3 articles                                |
|                                                                                          | 356 for Institute of Electrical and Electronics Engineers with 1 article                      |
|                                                                                          | 251 for Energy with 1 article                                                                 |
|                                                                                          | 250 for Renewable Energy with 2 articles                                                      |
|                                                                                          | 169 for Sustainability with 4 articles                                                        |
| PLUMX citations from the CAPES journal, according to the authors                         | 91 citations from Loots et al., 2015                                                          |
|                                                                                          | 82 quotes from Zeeshan Ahmad Arfeen et al., 2019                                              |
|                                                                                          | 81 citations from Samora et al., 2016                                                         |
|                                                                                          | 73 citations Kan Kan et al., 2022a.                                                           |
| Journals by country selected for systematic review                                       | 20 (44.44%) from the United Kingdom                                                           |
|                                                                                          | 9 (20%) Switzerland                                                                           |
|                                                                                          | 5 (11.11%) from the USA                                                                       |
|                                                                                          | 4 (8.88%) France                                                                              |
|                                                                                          | 2 (4.4%) Netherlands                                                                          |
|                                                                                          | 1 (2.2%) Japan, China, Colombia, Estonia and Ukraine                                          |
| Authors with the most works selected for systematic review.                              | Sammartano et al. with 4 works (2015, 2016a, 2016b, 2017);                                    |
|                                                                                          | Sinagra with 2 works (2016, 2017);                                                            |
|                                                                                          | Kan Kan et al. with 2 works (2022a, 2022b)                                                    |
|                                                                                          | Purwato et al. with 2 works (2019, 2020)                                                      |
|                                                                                          | Samora et al. with 2 works (2016a, 2016b)                                                     |

Source: Author (2024).

In the 1st stage, the bibliometric data of the 45 studies were analyzed, of which 80% were selected from the keywords Energy AND Cross-flow turbine OR Bánki-Michell turbine OR Ossberger turbine. The period between 2015 to 2019 with 30 articles, and 2020 to 2024 with 15 articles, indicating a decrease in interest in publications on the subject. The authors who published the most were Samartanno, Sinagra, Kan Kan, Purwato and Samora. The analysis of the H-Index of the journals made it possible to verify the high quality with 03 above 400; 02 above 300; 03 above 251 and 15 above 100.

In Plumx, the ten most cited articles obtained between 91 and 26 citations. The United Kingdom had 20 journals, 9 for Switzerland and 5 for the United States of America.

Table 3: 2nd Stage Evaluate the results obtained in the case studies with the Michell-Banki turbine, selected, analyzing the variables.

| Locations                                                           | Residential |          | Water distribution network |         |
|---------------------------------------------------------------------|-------------|----------|----------------------------|---------|
|                                                                     | Q3          | Q4       | Q6                         | Q2a     |
| <b>Authors</b>                                                      |             |          |                            |         |
| <b>Conversion of ESM yield by case study to Kilowatt-hour (kWh)</b> | 0.45KW/h    | 0.42KW/h | 7.7KW/h                    | 2.5KW/h |
| <b>No. 9 W lamps accessed through the MEE of each case study</b>    | 50          | 46.6     | 855                        | 277     |

Caption: Q3- Purwanto, Budiyo, Hermawan, (2019); Q4 Purwanto et al. (2020); Q2a- From Marchis et al., (2016); Q6- Sammartano et al., (2016).

Source: Author (2024).

The 2nd stage presents the 8 selected case studies, in which they applied and improved the performance of the Michell-Banki turbine for the ESM from the water inlet in homes and water supply systems. It should be noted that all achieved the goal of turning on 9W LED lamps. In homes, 0.45KWh was achieved, making it possible to turn on 50 LED lamps (Purwanto, Budiyo, Hermawan, 2019), considered lower in relation to the water supply system that generated 7.7KWh, turning on 855 LED lamps (Sammartano et al., 2016).

Table 4: Economic viability of each case study in communities or individually and in the water distribution network.

| Case study in communities or individually and in the water distribution network. |                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Economic viability                                                               | 100% Yes                                       |
| Implementation cost                                                              | 78% low1, 2, 3 4, 5, 5<br>22% Not evaluated7.8 |
| Maintenance cost                                                                 | 89% Low1, 2, 3, 4, 5, 6, 7<br>11% Not rated8   |
| Sustainability                                                                   | 100%                                           |

Caption: 1-Khomsah et al., (2019); 2-From Marchis et al., (2016); 3-Purwanto, Budiyo, Hermawan, (2019); 4-Purwanto et al., (2020); 5-Rantererung et al., (2020); 6-Sammartano et al., (2016); 7-Samora et al., (2016); 8-Sulis et al., (2019).

Source: Author (2024).

The 2nd stage presents the 8 selected case studies, in which they applied and improved the performance of the Michell-Banki turbine for the ESM from the water inlet in homes and water supply systems. It should be noted that all of them achieved the goal

of turning on 9W LED lamps. In homes, 0.45KWh was achieved, making it possible to turn on 50 LED lamps (Purwanto, Budiyo, Hermawan, 2019), while the water supply system generated 7.7KWh, turning on 855 LED lamps (Sammartano et al., 2016).

The economic viability of the case studies was highlighted by all authors. Some highlights include the study on the use of bamboo to manufacture the turbine (Khomsah et al., 2019), the ease of manufacturing the components in general workshops (Purwanto, Budiyo, Hermawan, 2019), due to the use of common materials and the simplicity of the design (Purwanto et al., 2020). The possibility of modular construction facilitates the replication of the system in other rural locations, in addition to the durability and reliability of the Michell-Bancki turbines (Rantererung et al., 2020).

Table 5: 3rd Stage: apply the case studies to Brazilian homes or cities designed for 2050.

| places                                                                         | Year | Residences |            | Water distribution network |            |
|--------------------------------------------------------------------------------|------|------------|------------|----------------------------|------------|
| Authors                                                                        |      | Q3         | Q4         | Q6                         | Q2a        |
| Total energy generation (MWh) obtained by MEE in 5570 Brazilian municipalities | 2030 | 36,900 MWh | 24,600 MWh | 13,925 MWh                 | 42,889 MWh |
|                                                                                | 2040 | 40,950 MWh | 27,300 MWh |                            |            |
|                                                                                | 2050 | 44,100 MWh | 29,400 MWh |                            |            |

Caption: Q3- Purwanto, Budiyo, Hermawan, (2019); Q4 Purwanto et al. (2020); Q2a- From Marchis et al., (2016); Q6- Sammartano et al., (2016).

Source: Author (2024).

When applying the MEE group study to the water distribution network in Brazilian municipalities, the study by Sammartano et al. (2016) observed a total energy production of 42,889 MWh, Samora et al. (2016) with 2,339 MWh, was pointed out in this study as the smallest contribution. Such variation occurs due to parametric differences in water flow, location of choice, in addition to specific turbine data.

In residences for Purwanto; Budiyo, Hermawan, (2019) presented growth of 9.99% from 36,900 MWh in 2030 to 40,950 MWh 2040 and 7.41% from 40,950 MWh 2040 to 44,100 MWh in 2050, totaling 16.32% between 2030 to 2050.

Table 6: 4th Stage: Total percentage of participation of MEE, by case study in total consumption, projected for 2030, 2040 and 2050 and by Michell Banki turbine.

| Authors                                                                                                       | Year | Residences |        | Water distribution network |          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------|--------|----------------------------|----------|
|                                                                                                               |      | Q3         | Q4     | Q6                         | Q2a      |
| <b>Percentage of participation of MEE, in total consumption, in the case studies projected for 2030-2050.</b> | 2030 | 27.3%      | 18.08% | 0.0102%                    | 0.03153% |
|                                                                                                               | 2040 | 22.37%     | 14.91% | 0.007609%                  | 0.02343% |
|                                                                                                               | 2050 | 18.29%     | 12.19% | 0.005778%                  | 0.01779% |

Caption: Q3- Purwanto, Budiyo, Hernawan, (2019); Q4 Purwanto et al. (2020); Q2a- From Marchis et al., (2016); Q6- Sammartano et al., (2016).

Source: Author (2024).

Stage 4 described the percentage of participation of the studies in the PNE 2030, 2040 and 2050. When analyzing the MEE by water input in the municipalities, the participation will be 0.03153% in 2030 to 0.02343% in 2040 and 0.01779% in 2050. Therefore, from 2030-2040 there is a reduction of 25.68% and from 2040-2050 there is a decrease of 24.07%. Between 2030-2050 the reduction will be 43.57% in the total participation of energy consumption.

When dealing with the share of MEE in total residential consumption, it obtains 27.13% in 2030, 22.37% in 2040 and 18.29% in 2050. So from 2030 to 2040 there is a decrease of 17.6% and from 2040 to 2050 there is a decrease of 18.29%, totaling from 2030 to 2050 a reduction of 32.58% in the total share of EE consumption.

All studies are representative in terms of participation in the Brazilian energy scenario, confirming the hypothesis and objective of this study. However, microgeneration studies with water inlet in homes will have greater expressiveness (27.13%) in relation to the water inlet network (0.03153%), and their reduction will be smaller (-32.58%) in relation to water inlet studies (-43.57%) for the best scenario in 2030.

Pearson correlation matrices for EE generation referring to the participation of municipalities and households, indicating that there is a linear association between the energy generation values of 2030-2040, 2030-2050 and 2040-2050.



Table 7: 5th Stage: percentage of MEE participation per Michell Banki turbine, according to residential EE consumption, in 2021, by region in Brazil.

| Question                                                                   |    | North East      | Southeast       | North           | South         | Midwest         |
|----------------------------------------------------------------------------|----|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|-----------------|
| Average Residential EE Consumption by Region                               |    | 130.6 kWh/month | 174.5 kWh/month | 182.8 kWh/month | 185 kWh/month | 191.2 kWh/month |
| % share of residential MEE by region.                                      | Q1 | 124.04          | 92,835          | 88.62           | 87,565        | 84,725          |
|                                                                            | Q3 | 115.62          | 86.53           | 82.6            | 81.62         | 78.97           |
| System cost: price and lifetime of turbine and battery/year                |    | R\$ 98.34       | R\$ 127.21      | R\$ 154.28      | R\$ 120.06    | R\$ 148.75      |
| % share of residential MEE by region, by bill cost per consumption in KW/h | Q1 | R\$ 121,985     | R\$ 118,095     | R\$ 136,725     | R\$ 105,135   | R\$ 126.03      |
|                                                                            | Q3 | R\$ 113.7       | R\$ 110,075     | R\$ 127.44      | R\$ 97,995    | R\$ 117,475     |
| MEE economic viability: total balance per residence in Brazilian regions   | Q1 | R\$ 23,645      | R\$ -9,115      | R\$ -17,555     | R\$ -15,615   | R\$ -22.69      |
|                                                                            | Q3 | R\$15.46        | R\$ -17,135     | R\$ -26.84      | R\$ -22,755   | R\$ -31,275     |

Caption: Q3- Purwanto, Budiyo, Hermawan, (2019); Q4 Purwanto et al., (2020)

Source: Author (2024).

In stage 5, the percentage of MEE participation per Michell Banki turbine is discussed, according to residential EE consumption, in 2021, where the central-west region has the highest consumption 191.2KWh/month and the Northeast region, the lowest 130.6 KWh/month.

When applying the percentage of participation, in the studies that considered the inflow of residential water by Brazilian region, the studies by Purwanto, Budiyo, Hermawan, (2019), varied from 124.04%-84.72% and Purwanto et al., (2020) varied from 115.62%-78.97%, for the Northeast and Central-West regions. Sulis et al., (2019) found the lowest of 1.105%-0.755%, demonstrating a positive impact in the Brazilian regions.

The cheapest installation of the total circuit (battery+turbine) totaled R\$312. Applying the useful life, according to the manufacturer, the northern region, because it has higher rates, will present a total cost of the bill of R\$154.28, and the lowest will be the northeast region with 98.34%. Monthly they cost R\$21.85.

When applying the percentage of participation of residential ESM by region, by cost per consumption in KW/h, the North and Northeast regions stand out in the studies by Purwanto, Budiyo, Hermawan, (2019), ranging from 136.72%-84.72% and Purwanto et al., (2020) 127.44%-113.7%.

When applying the balance per residence in studies by region, which considers the cost of the System and the EE bill consumed, only two studies showed the possibility of sending to the grid at R\$23.64 and R\$15.36. In all other studies, the consumer will have a discount on the bill, but it will not cover the entire amount to be paid.

Table 8: 6th Stage: Research with EC on the use and knowledge of MEE by water source.

| Questions                                                                                    | Response from Civil Engineers                   | %     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------|
| Level of knowledge of ECs about MEE by water inflow using the Mitchell-Banki turbine.        | Basic                                           | 36.6% |
|                                                                                              | Intermediary                                    | 13.3% |
|                                                                                              | Advanced                                        | 05.0% |
|                                                                                              | I have no knowledge about MEE                   | 44.6% |
| The application of MEE by water inlet.                                                       | Residence and buildings                         | 45.8% |
|                                                                                              | Water supply networks                           | 16.9% |
|                                                                                              | Rivers                                          | 14.5% |
|                                                                                              | I didn't know any MEE applications              | 22.9% |
| MEE for water input if it is economically viable.                                            | Yes                                             | 63.9% |
|                                                                                              | No                                              | 01.2% |
|                                                                                              | I don't know how to answer or I'm indifferent   | 34.9% |
| EC opinion on the MEE for water inflow has implementation and maintenance costs.             | High                                            | 22.9% |
|                                                                                              | Low                                             | 31.3% |
|                                                                                              | I don't know how to answer or I'm indifferent   | 45.8% |
| MEE per water input is sustainable and helps reduce greenhouse gas (GHG) emissions.          | Yes                                             | 75.9% |
|                                                                                              | No                                              | 02.4% |
|                                                                                              | I don't know how to answer or I'm indifferent   | 21.7% |
| Use of MEE ECs for water input in your civil construction projects.                          | Yes                                             | 02.4% |
|                                                                                              | No                                              | 89.2% |
|                                                                                              | I don't know how to answer or I'm indifferent   | 8.4%  |
| Reasons why engineers do not use MEE due to water ingress. Mark as many answers as you wish. | Lack of knowledge about the MEE                 | 85.5% |
|                                                                                              | Investment cost                                 | 24.1% |
|                                                                                              | Power up to 75KW                                | 6%    |
|                                                                                              | Brazilian legislation makes it difficult to use | 12%   |
|                                                                                              | Lack of government incentive                    | 32.5% |
|                                                                                              | Little technology available                     | 21.7% |
|                                                                                              | Turbine efficiency                              | 4.8%  |
|                                                                                              | I don't know how to answer or I'm indifferent   | 10.8% |

Source: Author (2024).

Stage 6 demonstrates the knowledge of engineers regarding MEE from the water inlet into homes or the supply network. 5% of the ECs reported having advanced

knowledge, 13.3% intermediate and 36.6% low. They do not use it in their projects due to lack of knowledge in 44.6%.

Knowledge about the cost of implementing and maintaining MEE per water inlet was described as low for 31.3%, high in 22.9%, contradicting the cited literature. The application in residences was indicated by 45.8% and in the supply network by 16.9%. Economic viability was indicated by 63.9% of the EC. Low GHG emissions were indicated by 75.9%. However, only 2.4% of the EC use MEE in their projects. The EC indicated that the MEE process is not used due to 85.5% lack of knowledge, 75% Public Policies, 32.5% low government incentive, 24.1% investment cost, 21.7% low available technology, 12% legislation and 4.8% turbine efficiency.

## 5 CONCLUSION

It was possible to verify the possibility of implementing the MEE with the Michell-Banki turbine, using rainwater or supply water, both in homes and in the water supply networks. All studies indicated economic viability, sustainability and low cost, sufficient for lighting, with 50 9w LED lamps in homes and in the supply network with 855 9w LED lamps.

When analyzing, through the literature, the renewable EEE from the Michell-Banki hydraulic turbine, it can be stated that it will assist in the Brazilian Energy Development Plan until 2050 in decreasing order. When the EEE comes from the supply network, it will be 0.03153% in 2030 and in 2050 to 0.01779%. EEE in residences could contribute 27.13% in 2030, reducing to 18.29% in 2050.

This study presents the possibility of implementing MEE using the Michell-Banki turbine in remote rural areas, such as the Legal Amazon region, which do not have access to the National Interconnected System, contributing to the reach of EE to the population, providing environmental preservation and sustainability, given the ease of reproduction and cost of implementation.

Knowledge among civil engineers regarding MEE for water intake in communities and/or residences and in the supply network using the Michell-Bank



hydraulic turbine was considered high by only 5%. However, 47.5% attributed knowledge about the use of MEE in residences. 63.9% of the ECs recognize the economic viability, the low implementation cost for 31.3% and 75.9% indicate the process as sustainable. The use of MEE in projects was indicated by only 2.4% of the ECs, however, 85.5% of the interviewees attribute the lack of knowledge of the engineers regarding the MEE process.

It is concluded that there is a need to publicize the MEE process by water input, as it involves the use of a RE source, with economic viability, considered a sustainable process and with low GHG emissions, as well as the regulatory legislation needs to be publicized, so that there is a greater interest from the population to adhere to the MEE process in residences, with possible government incentives that facilitate the adhesion process, directly contributing to the increase in generating units.

It is suggested that the parameters considered as MEE in Brazil be revised to be 75KWh to be equal to the international ones of 100KWh, in order to have a greater possibility of studies being replicated.

## REFERENCES

ADEFARATI, T.; BANSAL, RC Application of renewable energy resources in a microgrid power system. **The 7th International Conference on Renewable Power Generation (RPG 2018)**. DOI: <https://doi.org/10.1049/joe.2018.9261>

ARFEEN, ZA et al. Control of distributed generation systems for microgrid applications: A technological review. **International transactions on electrical energy systems**. DOI: <https://doi.org/10.1002/2050-7038.12072>

ARIF, M.; AMANULLAH TO Net-zero emission residential building in temperate weather condition. 2017. **Renew. Energy Environ. Sustain.** V.2, n.30.

BAIDAR, B. et al. Strategic rehabilitation of the earthquake affected microhydropower plants in Nepal. 2016. **IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.** V.49 102003 DOI: 10.1088/1755-1315/49/10/102003.

BRAZIL, Ministry of Mines and Energy, Energy Research Company. **National Energy Plan 2050** . Brasília: MME/EPE, 2020.

BRAZIL, Ministry of Mines and Energy, Energy Research Company. **Ten-Year Energy Expansion Plan 2030** . Brasília: MME/EPE, 2021 1v.: il.

BRAZIL, Ministry of Mines and Energy, Energy Research Company. **Ten-Year Energy Expansion Plan 2024** . Brasília: MME/EPE, 2015 2nd volume.

BRAZIL. **Normative Resolution No. 482** , of April 17 , 2012. National Electric Energy Agency – ANEEL. 2012.

BRAZIL. Energy Resources Series . **TECHNICAL NOTE PR 04/18** . Potential of Energy Resources in the Horizon 2050. 2018.

BRAZIL. 2022. **Normative Resolution No. 1,031**. Consolidates the regulatory acts related to the procedures linked to the reduction of tariffs for the use of electrical transmission and distribution systems, for hydroelectric projects and those based on solar, wind, biomass or qualified cogeneration sources; and the requirements for the qualification of cogenerating thermoelectric power plants. Available: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20-221031.pdf>

BRAZIL. ANEEL. National Electric Energy Agency. **Resolution no. 687 of November 24, 2015**. Amends Normative Resolution no. 482 of April 17, 2012, and Modules 1 and 3 of the Distribution Procedures. Available at: <<http://www.aneel.gov.br>>.

BRAZIL. ANEEL. **Normative resolution No. 1,059** . Improves the rules for the connection and billing of microgeneration and distributed minigeneration plants in

electricity distribution systems, as well as the rules of the EE Compensation System. 2023. Available at: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.html>

DE MARCHIS, M. et al. Energy Saving in Water Distribution Network through Pump as Turbine Generators: Economic and Environmental Analysis. **Energies** . 2016, 9, 877.

DEGHANI, M. et al. Genetic algorithm for energy commitment in a power system supplied by multiple energy carriers. **Sustainability** . 2020 , 12 (23). DOI: <https://doi.org/10.3390/su12231-0053>

GALVIS-HOLGUIN, S.; RIO, JSD; HINCAPIÉ-ZULUAGA, D. Enhancement efficiency of Michell-Banki turbine using NACA 6512 modified blade profile via CFD. **EUREKA: Physics and Engineering**, n. 2, p. 55-67, 31 Mar. 2022.

GAMALELDINE, M.; CORVACHO, H. Compliance with Building Energy Code for the Residential Sector in Egyptian Hot-Arid Climate: Potential Impact, Difficulties, and Further Improvements. **Sustainability** 2022 , 14 . DOI: <https://doi.org/10.3390/su14073936>

GOLMOHAMADI, H. Demand-Side Flexibility in Power Systems: A Survey of Residential, Industrial, Commercial, and Agricultural Sectors. **Sustainability**. 2022, 14 (13). DOI: <https://doi.org/10.3390/su14137916>

GÓMEZ, VR; et al. Computational analysis of a cross flow turbine performance. **MATEC Web Conf.** V 240, 2018. XI ICCHMT.

IBGE. Continuous PNAD. **General characteristics of households and residents 2022**. PDE Research Directorate. June 16, 2023. Available at: [https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com\\_mediaibge/arquivos/1cd893a10b3cabf31fc31e994531632f.pdf](https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/1cd893a10b3cabf31fc31e994531632f.pdf)

JEMAL; HAILE, Comprehensive review of pump as turbine (PAT). **Renewable Energy & Sustainable Development**, 2019, Vol 5, Issue 2, p68 .

KADIER A., et al. Pico hydropower (PHP) development in Malaysia: Potential, present status, barriers and future perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. V.81, P2, Jan. 2018, P 2796-2805.

KAN KAN et al. Renewable and sustainable. **Energy Reviews** . V.168, Oct 2022. 112786

KAN KAN et al. 2022. Energy loss mechanism due to tip leakage flow of axial flow pump as turbine under various operating conditions , **Energy** , Elsevier, vol. 255(C).

KHOMSAH, A. et al. Pico-hydro as A Renewable Energy: Local Natural Resources and Equipment Availability in Efforts to Generate Electricity. 2019 **IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng** . 462 012047. DOI 10.1088/1757-899X/462/1/012047

KIRKE, B. Hydrokinetic and ultra-low head turbines in rivers: A reality check. **Energy for Sustainable Development** . V. 52, Oct 2019, P 1-10

LOOTS et al., A review of low head hydropower technologies and applications in a South African context. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** . V50 , Oct 2015, P1254-1268

MALIK et al., Climate Change Impacts Quantification on the Domestic Side of Electrical Grid and Respective Mitigation Strategy across Medium Horizon 2030. **Sustainability**. 2023, 15 (4), 3674. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15043674>

MARLIANSYAH, R. et al. Optimization potential analysis of micro-hydro power plant (MHPP) from river with low head. **Energy Procedia**. V 153, Oct 2018, P 74-79.

MEHR, G. et al. A novel design and performance optimization methodology for hydraulic Cross-Flow turbines using successive numerical simulations. **Renewable Energy**. V.169, May 2021, P 1402-1421.

NASIR, A., et al. (2023). Technical and economic analysis of a pump as a turbine for rural electrification. **International Journal of Sustainable Energy** , 42(1), 914–928. DOI: <https://doi.org/10.1080/14786451.2023.2244606>

OBRETENOV, V.; TSALOV, T. Research and Design of Cross Flow Water Turbines for Small HPP. **E3S Web of Conferences** 320, 04007 (2021).

POLAGYE, B. et al. "Comparison of cross-flow turbine performance under torque-regulated and speed-regulated control Scilightfeatured. **J. Renewable Sustainable Energy** 11, 044501 (2019). DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5087476>

PURWANTO, BUDIONO, HERMAWAN. 2019 The modeling of 80mm diameter cross flow turbine runner for mini/microhydro environmentally friendly power plant. **Journal of Physics: Conf. Series** 1217 012013.

PURWANTO; et al. Microhydro with Tube: A Powerhouse Solution for Rural Electricity. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, V 506, **Joint International Conference on Civil, Environmental, and Geo Engineering** 2019 1-2 Oct 2019, Surabaya, Indonesia.

RANTERERUNG et al. A double nozzle cross flow turbine fluid flow dynamics. **Journal of Southwest Jiaotong University**. V.55 N.4. 2020. DOI:10.35741/issn.0258-2724.55.4.49

RAO; ARUN; SELVAN. Framework of locality electricity trading system for profitable peer-to-peer power transactions in locality electricity market. V3, 2020, DOI: <https://doi.org/10.1049/iet-stg.2019.0131>

RATNATA I W., et al. Preliminary Study of Micro-hydro Power Plant (MHPP) in The Rural Area. 2018 **IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.** 384 012067. DOI 10.1088/1757899X/384/1/012067

SAMMARTANO, V. et al. Cross-Flow Turbine Design for Energy Production and Discharge Regulation. **Journal of Hydraulic Engineering**. V.141, Issue 3

SAMMARTANO, V.; et al. The Banki-Michell turbine for in-line hydropower systems. **J. Hydra. Res.** 2017, in press.

SAMMARTANO, V.; et al. Banki-Michell micro-turbines for energy production in water distribution networks. In **Proceedings of the 4th European IAHR Conference**, Lidge, Belgium, 27–29 July 2016.

SAMMARTANO, V.; et al. Coupled Hydraulic and Electronic Regulation of Cross-Flow Turbines in Hydraulic Plants. **J. Hydraul. Eng.** 2017, 143, 04016071.

SAMORA, I. et al. Energy recovery using micro-hydropower technology in water supply systems: The case study of the city of Fribourg. **Water** 2016, 8, 344.

SAMORA, I. et al. Renewable Energy. Experimental characterization of a five blade tubular propeller turbine for pipe inline installation. **Renewable Energy**. V 95, Sep 2016, P 356-366

SANGARI FJ; ROMPAS PTD A Model of Small Capacity Power Plant in Tateli Village, North Sulawesi. 2017 **IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.** DOI 10.1088/1757-899X/180/1/012010

SHAHIDUL, MI et al. Modeling the Energy Extraction from In-stream Water by Multi Stage Blade System of Cross Flow Micro Hydro Turbine. **Water** 2017, 9(5), 309. DOI: <https://doi.org/10.3390/w9050309> .

SINAGRA, M.; SAMMARTANO, V.; ARICÒ, C.; Collura, A. Experimental and Numerical Analysis of a Cross-Flow Turbine. **J. Hydraul. Eng.** 2015, 142, 04015040.

SOUZA, FM; CIGOLINI, AA Creation of municipalities and institutional conflicts in Brazil. **Terr@Plural**, Ponta Grossa, v.13, n.3, p.42-54, 2019. DOI: 10.5212/TerraPlural.v.13-i3.0005

SUDJITO S., RUDY S., SL. A Double Nozzle Cross Flow Turbine Fluid Flow Dynamics. **Corvis L Rantererung**, V. 55, No. 4 (2020).



SULIS et al. A cross-flow Type Design of 5 kW Micro Hydro Power Plant for Rural Area In West Java. 2019 **J. Phys. Conf. Ser.** 1179 012119. DOI 10.1088/1742659-6/1179/1/012119

SUTIKNO, D.; et al. S. Flow visualization of water jet passing through the empty space of crossflow turbine runner. **Eastern-European Journal of Enterprise Technologies**, [S. l.], v. 3, no. 8 (99), p. 36–42, 2019. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.154896.

VERMA, V.; GABA, VK; BHOWMICK, S. Energy Procedia. An Experimental Investigation of the Performance of Cross-flow Hydro Turbines. **Energy Procedia**. V141, Dec 2017, P630-34.

WOLDEMARIAM; et al. 2018. CFD-Driven Valve Shape Optimization for Performance Improvement of a Micro Cross-Flow Turbine. **Energies** 2018, 11(1), 248. DOI: <https://doi.org/10.3390/en11010248> .

WOUTERS; FRAGA; JAMES, A policy-based multi-objective optimization framework for residential distributed energy system design. 2017. **Renew. Energy Environ. Sustain.** 2, 5.

YAHAGI et al., Performance analysis of an undershot cross-flow water turbine based on the flow near the runner. 2016. **Transactions of the JSME (in Japanese)**, V.82, N.841.

## 5 DISCUSSÃO

A partir dos dados bibliométricos dos 45 estudos analisados, foi possível observar que os artigos foram selecionados com base nas palavras-chave *Energy AND Cross-flow turbine OR Bánki-Michell turbine OR Ossberger turbine*. A seleção dos artigos, conforme o ano de publicação, foi mais expressiva entre 2015 e 2019, com 30 artigos, e entre 2020 e 2024, com 15 artigos, indicando uma queda no interesse por publicações sobre essa temática ao longo dos anos.

Entre os autores dos artigos selecionados, destacam-se Samartanno, Sinagra, Kan Kan, Purwato e Samora, como os que mais publicaram sobre o tema.

Ao analisar o H-Index dos periódicos (Gráfico 04), foi possível avaliar a alta qualidade das publicações selecionadas: 3 periódicos apresentaram H-Index superior a 400; 2, superior a 300; 3, superior a 251; 15, superior a 100; e 7, superior a 50.

Na categorização das citações dos artigos segundo o PlumX (Gráfico 05), os dez artigos mais citados obtiveram entre 91 e 26 citações.

O país que mais concentrou periódicos selecionados foi o Reino Unido, com 20 periódicos, seguido da Suíça, com 9, e dos Estados Unidos da América, com 5 periódicos, conforme apresentado no gráfico 06. Esses países abrigam universidades reconhecidas entre as melhores do mundo, o que favorece a realização de estudos em inovações tecnológicas, como é o caso da microgeração de energia.

Em seguida, foram apresentados os oito estudos de caso selecionados para análise, nos quais a turbina *Michell-Banki* foi aplicada e teve seu desempenho aprimorado para a microgeração de energia elétrica a partir do fluxo de água em residências e em sistemas de abastecimento. Ressalta-se que todos os estudos atingiram o objetivo de acender lâmpadas de LED de 9W, variando apenas na quantidade de lâmpadas alcançada.

Ao comparar os resultados individuais, a geração de energia em residências alcançou 0,45 kWh, o que permitiu acender 50 lâmpadas de LED (Purwanto, Budiyo, Hermawan, 2019). Esse valor é considerado inferior ao obtido pelo grupo de entrada de água, que gerou 7,7 kWh, suficiente para acender 855 lâmpadas de LED (Sammartano *et al.*, 2016).

A viabilidade econômica dos estudos de caso — tanto em comunidades quanto em residências e na rede de distribuição de água — foi destacada por todos os autores dos estudos analisados (De Marchis *et al.*, 2016; Khomsah *et al.*, 2019; Purwanto *et*

*al.*, 2020; Purwanto, Budiyo, Hermawan, 2019; Rantererung *et al.*, 2020; Samora *et al.*, 2016; Sammartano *et al.*, 2016; Sulis *et al.*, 2019), conforme demonstrado no Gráfico 10.

Houve alguns destaques em relação à viabilidade econômica, como a utilização de bambu na fabricação da turbina (Khomsah *et al.*, 2019), a facilidade de produção dos componentes em oficinas comuns (Purwanto, Budiyo, Hermawan, 2019), o uso de materiais acessíveis e a simplicidade do design (Purwanto *et al.*, 2020), bem como a construção modular, que facilita a replicação do sistema em outras localidades rurais. Além disso, destacam-se a durabilidade e a confiabilidade das turbinas Michell-Banki (Rantererung *et al.*, 2020).

Quando os engenheiros civis foram questionados sobre a viabilidade econômica (Gráfico 27), 66,1% responderam em conformidade com a literatura, apontando que ela é viável. Por outro lado, 1,7% dos engenheiros relataram que não há viabilidade, enquanto 32,2% dos entrevistados declararam desconhecer ou não souberam responder, o que é considerado um fator limitante para a adoção da microgeração em seus projetos.

O custo de implantação de cada estudo de caso, tanto em residências quanto na rede de distribuição de água, foi apresentado no Gráfico 11. Apenas Samora *et al.* (2016) e Sulis *et al.* (2019) não realizaram essa avaliação de forma detalhada. Os demais autores (78%) classificaram o custo como baixo (De Marchis *et al.*, 2016; Khomsah *et al.*, 2019; Purwanto *et al.*, 2020; Purwanto, Budiyo, Hermawan, 2019; Rantererung *et al.*, 2020; Sammartano *et al.*, 2017; Samora *et al.*, 2016).

A avaliação de baixo custo pode ser atribuída ao menor investimento de capital em comparação com turbinas tradicionais e ao tempo de retorno calculado, que variou entre 2 e 12 anos (De Marchis *et al.*, 2016).

A turbina Michell-Banki foi projetada para ser facilmente replicável em oficinas comuns, utilizando materiais de aço e equipamentos acessíveis, como soldadores elétricos, furadeiras, rebarbadoras de bancada e tornos (Khomsah *et al.*, 2019; Purwanto *et al.*, 2020; Purwanto, Budiyo, Hermawan, 2019; Rantererung *et al.*, 2020; Sammartano *et al.*, 2017), conforme também confirmado por Kirke (2019) e Woldemariam *et al.*, (2018).

Os custos de fabricação, montagem e instalação são relativamente baixos (Mehr *et al.*, 2021; Purwanto *et al.*, 2020; Rantererung *et al.*, 2020), tornando a turbina uma opção com excelente relação custo-benefício (Sammartano *et al.*, 2015).

Na opinião dos engenheiros (gráfico 27), 72,9% afirmam que o custo é elevado, fato este não corroborado pela literatura.

O custo de manutenção do sistema de microgeração hídrica nos estudos de caso em comunidades, residências e na rede de distribuição de água, apresentado no Gráfico 12, foi avaliado como baixo por 89% dos sete estudos selecionados. Essa avaliação está relacionada à robustez dos componentes, à durabilidade das turbinas *Michell-Banki* e à facilidade de substituição das peças (De Marchis *et al.*, 2016; Khomsah *et al.*, 2019; Purwanto *et al.*, 2020; Purwanto, Budiyo, Hermawan, 2019; Rantererung *et al.*, 2020; Sammartano *et al.*, 2017; Samora *et al.*, 2016), conforme também confirmado por Gómez, Higuera e Benavides-Morán (2018).

Apenas o estudo de Sulis *et al.*, (2019) não avaliou o custo de manutenção do sistema de microgeração.

Quando questionados sobre o custo de implantação e manutenção, 27,1% dos engenheiros civis o classificaram como baixo, 45,8% como alto, e 45,8% afirmaram não saber responder, conforme o Gráfico 25.

Tais resultados não estão em conformidade com a literatura analisada, representando um ponto crítico para a disseminação do conhecimento sobre a microgeração de energia a partir da entrada de água. Esse dado é reforçado no gráfico 20, onde 27,1% dos engenheiros relatam que seus pares não utilizam o processo de microgeração em seus projetos devido ao investimento necessário.

A utilização de recursos hídricos disponíveis na região é fundamental para a sustentabilidade (Jemal; Haile, 2019; Ratnata *et al.*, 2018; Sulis *et al.*, 2019), conforme evidenciado no Gráfico 13, pois minimiza os impactos ambientais e promove a conservação de recursos naturais (Rantererung *et al.*, 2020; Khomsah *et al.*, 2019), gerando também economia direta de emissões de gás carbônico (De Marchis *et al.*, 2016; Purwanto *et al.*, 2020; Samora *et al.*, 2016;).

Essa economia é atribuída ao uso eficiente dos recursos hídricos, à capacidade de fornecer energia renovável a comunidades isoladas (Purwanto, Budiyo, Hermawan, 2019; Verma, Gaba, Bhowmick, 2017) e ao estímulo a práticas sustentáveis nas comunidades locais (Purwanto *et al.*, 2020).

Sammartano *et al.*, (2017) apontaram que a turbina representa uma solução sustentável ao utilizar redes de distribuição de água já existentes para gerar eletricidade, reduzindo as perdas de pressão e produzindo energia renovável.

No quesito sustentabilidade, 78% dos engenheiros civis afirmaram que a microgeração hídrica promove a sustentabilidade, em concordância com a literatura; 27,1% relacionaram a microgeração a uma baixa sustentabilidade, e 45,8% dos engenheiros não souberam responder, conforme o Gráfico 29.

Para aplicar o total de geração potencial de energia (MWh) obtido pela microgeração nas redes de entrada de água dos estudos de caso, considerou-se o número de 5.570 municípios brasileiros (IBGE, 2023), sem projeções de alteração para os anos de 2030, 2040 e 2050. Isso ocorre porque o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) não disponibiliza dados de previsão para o número de municípios, visto que não há legislação vigente que regule a criação de novos municípios. Para que isso ocorra, seria necessário estabelecer novas normas que regularizem as terras emancipáveis, uma vez que a lei atual corresponde à Emenda Constitucional nº 15/1996 (Souza; Cigolini, 2019).

Ao aplicar os dados do grupo de microgeração na rede de distribuição de água aos municípios brasileiros, o estudo de Sammartano *et al.*, (2016) projetou uma produção total de 42.889 MWh, representando a maior contribuição entre os estudos analisados. Em comparação, o estudo de De Marchis *et al.*, (2016) apresentou projeções de 13.955 MWh (cenário A) e 13.423 MWh (cenário E), enquanto o estudo de Samora *et al.*, (2016) indicou 2.339 MWh, sendo este o menor valor projetado.

Essa variação está relacionada às diferenças paramétricas de vazão da água, à localização dos sistemas e às características específicas das turbinas utilizadas, que foram ajustadas conforme cada cenário.

No caso de microgeração em residências ou comunidades, foi possível calcular projeções de variação para os anos de 2030, 2040 e 2050. O estudo de Purwanto, Budiyo e Hermawan (2019) prevê um crescimento de 9,99%, passando de 36.900 MWh em 2030 para 40.950 MWh em 2040, e de 7,41%, passando de 40.950 MWh em 2040 para 44.100 MWh em 2050. O crescimento total projetado é de 16,32% entre 2030 e 2050.

Na opinião dos engenheiros civis, a aplicação da microgeração pode ocorrer em 47,5% dos casos em residências, 16,9% em redes de abastecimento ou rios, enquanto 18,6% dos engenheiros afirmaram não conhecer a aplicação da microgeração, conforme o Gráfico 26.

Essa tendência se confirma ao questioná-los sobre a utilização da microgeração em projetos de engenharia civil: apenas 3,4% relataram já tê-la utilizado, 89,8% dos engenheiros nunca a utilizaram, e 6,8% afirmaram desconhecer a, conforme o Gráfico 27.

Esse resultado se repete quando se avalia o nível de conhecimento dos engenheiros civis sobre o tema: somente 3,4% dos entrevistados relataram ter conhecimento avançado sobre a microgeração de energia por entrada de água, conforme o Gráfico 25.

A etapa de aplicação das projeções dos estudos de caso na realidade brasileira descreveu porcentagem da participação dos estudos no PNE 2030, 2040 e 2050. Ao analisar as projeções a microgeração por entrada de água nos municípios, a participação será de 0,03153% em 2030 para 0,02343% em 2040 e 0,01779% em 2050.

Então de 2030 para 2040 foi projetado uma diminuição de 25,68% e de 2040 para 2050 foi projetado uma redução de 24,07%. Assim entre 2030 a 2050 as projeções indicam um declínio de 43,57% na participação total do consumo de energia.

Ao se tratar da participação da microgeração no consumo total residencial, projeta-se 27,13% em 2030, 22,37% em 2040 e 18,29% em 2050. Então de 2030 para 2040 projeta-se uma diminuição de 17,6% e de 2040 para 2050 espera-se uma redução de 18,29%, totalizando de 2030 a 2050 um declínio de 32,58% na participação total do consumo de energia.

Todos os estudos projetados possuem representatividade na participação no cenário energético brasileiro, confirmando a hipótese e o objetivo deste estudo. Porém os estudos de microgeração com entrada de água nas residências e comunidades terá a projeção de maior expressividade na porcentagem de participação (27,13%) em relação a rede de entrada de água (0,03153%), e sua redução será menor (-32,58%) em relação aos estudos de entrada de água (-43,57%) para o melhor cenário em 2030.

As matrizes de correlação de *Pearson* (gráficos 17 e 19) para a geração de energia nos anos 2030, 2040 e 2050, referentes à projeção da participação dos municípios e às residências, revelam um cenário de correlação entre os dados de todos os pares de anos analisados.

Estas matrizes, que são ferramentas estatísticas fundamentais para medir a força e a direção da relação linear entre duas variáveis, mostram que os coeficientes

de correlação são iguais a 1,0 em todos os casos. Isso significa que há uma associação linear entre os valores de geração de energia de 2030 e 2040, de 2030 e 2050 e de 2040 e 2050.

Discute-se a porcentagem de participação da microgeração por turbina *Michell-Banki*, projetada segundo o consumo de energia elétrica na classe residencial, em 2021, por região no Brasil. Os dados demonstraram que a região Centro-Oeste possui o maior consumo residencial de energia elétrica, com 191,2 kWh/mês, enquanto a região Nordeste apresentou o menor consumo, com 130,6 kWh/mês, conforme apresentado no Gráfico 15.

Ao aplicar a projeção da porcentagem de participação nos estudos que consideraram a entrada de água residencial por região brasileira, os resultados dos estudos de Purwanto, Budiyo e Hermawan (2019) variaram entre 124,04% e 84,72%, enquanto os de Purwanto *et al.*, (2020) variaram entre 115,62% e 78,97% para as regiões Nordeste e Centro-Oeste, respectivamente.

Já no estudo de *Sulis et al.*, (2019), a aplicação projetada foi a mais baixa e quase inexpressiva, variando entre 1,105% e 0,755%, conforme o Gráfico 16. Dessa forma, foi possível verificar que todos os estudos apresentados projetam uma participação da microgeração com impacto positivo nas regiões brasileiras. No entanto, para tal análise, foi necessário calcular o custo de instalação da microgeração.

A instalação do circuito de microgeração, considerando a turbina *Michell-Banki* e uma bateria para armazenamento, totalizou R\$312,00. Com base no tempo de vida útil estimado pelo fabricante, a região Norte, por apresentar tarifas mais altas, terá um custo total da conta de R\$154,28, enquanto a menor despesa foi observada na região Nordeste, com R\$98,34. Mensalmente, a turbina e a bateria, conforme a Tabela 08, apresentam um custo estimado de R\$21,85.

Ao aplicar as projeções de participação percentual da microgeração na classe residencial por região, com base no custo da conta de energia por consumo em kWh, as regiões Norte e Nordeste se destacam nos estudos de Purwanto, Budiyo e Hermawan (2019), com variações entre 136,72% e 84,72%, e no estudo de Purwanto *et al.*, (2020), com variações entre 127,44% e 113,7%. Todos os estudos apontam para projeções positivas de participação no custo, conforme apresentado no Gráfico 20.

Observou-se que, ao aplicar as projeções do saldo por residência nos estudos por região, considerando o custo do sistema e o valor da conta de energia consumida, apenas dois estudos apresentaram possibilidade de excedente energético a ser enviado à rede elétrica, com valores estimados de R\$23,64 e R\$15,36. Em todos os demais estudos projetados, o consumidor poderá obter um desconto na conta de energia elétrica, mas não conseguirá suprir integralmente o valor da fatura.

Vale destacar que o custo com mão de obra e manutenção corretiva não foi incluído na análise, pois esses valores podem variar de acordo com a região e com o tipo de problema apresentado. Isso demonstra que, do ponto de vista financeiro, a microgeração pode não ser considerada um atrativo imediato para os consumidores, o que pode limitar sua adoção. No entanto, do ponto de vista ambiental, os impactos são amplamente positivos.

A Etapa 3 demonstrou o conhecimento dos engenheiros civis em relação à microgeração de energia a partir da entrada de água em residências ou na rede de abastecimento.

Discute-se que o pouco conhecimento sobre microgeração de energia por entrada de água foi relatado por 84,7% dos engenheiros civis, dos quais 45% atribuem essa limitação ao suposto alto custo do sistema — no entanto, a literatura anteriormente citada descreve esse custo como baixo.

Suas possíveis aplicações em residências, na rede de abastecimento e em rios não são amplamente conhecidas pelos entrevistados. Nas residências, apenas 47,5% dos engenheiros civis reconheceram a viabilidade de aplicação da microgeração.

No Gráfico 30, os engenheiros civis indicaram que o processo de microgeração não é utilizado por 30,5% devido à falta de incentivo governamental. Para 8,5% dos entrevistados, a legislação brasileira vigente dificulta sua adoção; 16,9% relatam a escassez de tecnologias voltadas à microgeração, e 5,1% apontam a eficiência da turbina como fator limitante.

Outro ponto relevante é que 22% dos engenheiros civis não reconhecem a microgeração por entrada de água como um processo de baixa emissão de gases de efeito estufa.

Para 3,4% dos engenheiros participantes, a limitação de potência de 75 kW representa um obstáculo à implementação da microgeração. Apenas um desses relaciona essa limitação à legislação vigente, mas nenhum aplicou a tecnologia em seus projetos.

Conforme descrito no PDE-2050, houve um avanço inicial na legislação em 2002, por meio da Lei nº 10.438, que incentivou a geração de eletricidade por fontes renováveis (Brasil, 2002).

A potência de 75 kW foi estabelecida na legislação brasileira em 2012 pela Resolução ANEEL nº 482, revisada em 2020 pelo GED-15.303 quanto aos critérios de conexão, e reafirmada em 2022 como cogeração qualificada pela Resolução ANEEL nº 1031 (Brasil, 2012; Brasil, 2020; Brasil, 2022).

Em 2015, a Resolução ANEEL nº 687 regulamentou que, caso a produção de energia seja superior ao consumo, a energia excedente pode ser injetada na rede da concessionária e convertida em créditos para o consumidor (Brasil, 2015).

Em 2023, a Resolução ANEEL nº 1.059 aprimorou as regras de conexão e faturamento das centrais de micro e minigeração distribuída nos sistemas de distribuição, além de revisar as normas do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (Brasil, 2023).

Dois engenheiros civis (3,4%) relataram possuir conhecimento avançado sobre microgeração, embora nunca tenham aplicado a tecnologia em seus projetos. Por outro lado, outros dois engenheiros relataram já tê-la utilizado em projetos voltados a rios e residências, mas afirmam ter apenas conhecimento básico sobre o tema.

## 6 CONCLUSÃO

Verificou-se a possibilidade de implementar a microgeração de energia elétrica por meio da turbina *Michell-Banki*, utilizando água pluvial ou de abastecimento, tanto em residências quanto nas redes municipais de abastecimento de água.

Todos os oito estudos selecionados na literatura analisada indicaram viabilidade econômica, sustentabilidade e baixo custo, sendo suficiente para a iluminação por meio de lâmpadas de LED. Essas lâmpadas consomem pouca energia e, com base nos dados da literatura, projetou-se a microgeração hídrica em estudos de caso com capacidade para acender até 50 lâmpadas em residências e 855 lâmpadas na rede de abastecimento.

Analisou-se e quantificou-se sistematicamente a produção científica publicada em periódicos da CAPES, no período de 2015 a 2024, sobre a temática pesquisada, conforme as palavras-chave selecionadas. Foram eleitos 45 artigos, com H-index dos periódicos indicando qualidade das publicações e os autores citados quantificados por meio do PlumX.

Ao analisar a microgeração de energia elétrica renovável proveniente da turbina hidráulica *Michell-Banki*, com base na literatura, projeta-se que essa tecnologia poderá auxiliar o Plano de Desenvolvimento Energético (PDE) Brasileiro até 2050. Os dados apontam uma contribuição em ordem decrescente, sendo os resultados de 2030 mais expressivos do que os de 2050.

Quando a microgeração é proveniente da rede de abastecimento, a contribuição projetada será de 0,03153% em 2030, reduzindo para 0,01779% em 2050. Já a microgeração em residências poderá contribuir com 27,13% em 2030, diminuindo para 18,29% em 2050, no cenário atual.

Este estudo apresenta a viabilidade da implantação da microgeração hidrelétrica por meio da turbina *Michell-Banki* em áreas remotas, como na região da Amazônia Legal, que não possuem acesso ao Sistema Interligado Nacional (SIN). Tal implantação contribuiria para o acesso à energia elétrica por populações isoladas, promovendo a preservação ambiental e a sustentabilidade, dada a facilidade de replicação e o baixo custo de instalação. Contudo, quando aplicada em grandes centros urbanos, a tecnologia ainda apresenta custo pouco atrativo.

O conhecimento dos engenheiros civis sobre a microgeração por entrada de água em comunidades e/ou residências, bem como em redes de abastecimento

utilizando a turbina *Michell-Banki*, foi considerado baixo por 83,6% dos entrevistados. Apenas 47,5% atribuíram sua aplicação a residências, e 16,9% à rede de abastecimento de água. Apenas 27,1% acreditam que o custo de implantação é baixo, enquanto 78% consideram o processo sustentável. A utilização da microgeração em projetos foi indicada por apenas 3,4% dos engenheiros, e 84,7% atribuíram a baixa adesão à falta de conhecimento técnico sobre o processo.

Nessa perspectiva, conclui-se que há uma necessidade urgente de divulgação e capacitação técnica sobre o processo de microgeração por entrada de água, por se tratar de uma fonte de energia renovável, com viabilidade econômica, sustentável e com baixa emissão de gases de efeito estufa.

As legislações regulamentadoras também precisam ser amplamente divulgadas, de modo a estimular maior interesse da população em aderir à microgeração em residências. Ademais, políticas públicas e incentivos governamentais poderiam facilitar esse processo, contribuindo diretamente para o aumento do número de unidades geradoras e, conseqüentemente, para o alcance das metas do PDE brasileiro.

Sugere-se uma revisão dos parâmetros que definem a microgeração no Brasil, atualmente limitada a 75 kW, para alinhá-los ao padrão internacional de 100 kW. Tal revisão ampliaria as possibilidades de estudos e a replicação de projetos, além de fomentar futuras pesquisas, especialmente voltadas à aplicação da microgeração em regiões da Amazônia Legal sem acesso à energia elétrica.

## REFERÊNCIAS

- ADEFARATI, T.; BANSAL, R.C. Application of renewable energy resources in a microgrid power system. The 7th International Conference on Renewable Power Generation (RPG 2018). **J. Eng., Scotland**, v. 2019, n. 19 p. 5308-5313, 2019. DOI:<https://doi.org/10.1049/joe.2018.9261>.
- ARFEEN, Z.A. *et al.* Control of distributed generation systems for microgrid applications: A technological review. **International transactions on electrical energy systems**. Reino Unido. v. 29, n.9, e12072. DOI: <https://doi.org/10.1002/2050-7038.12072>.
- ARIF, M.; AMANULLAH T.O. Net-zero emission residential building in temperate weather condition. **Renew. Energy Environ. Sustain.** Australian V.2, n.30. 2017.
- BAIDAR B. *et al.* Strategic rehabilitation of the earthquake affected microhydropower plants in Nepal. **IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.**, Nepal, V.49. 2016. 102003 DOI: 10.1088/1755-1315/49/10/102003.
- BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2050**. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2020.
- BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2030**. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2021 1v.: il.
- BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2024**. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2015 2v.: il.
- BRASIL. Estudos de longo prazo. **NOTA TÉCNICA PR 03/18**. Análise Comparativa de Planos de Energia de Longo Prazo de Países da América Latina, Ministério de minas e energia. EPE. 2018b.
- BRASIL. Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2030. EPE. 13-**Caderno Análise Socioambiental**. Superintendência de Meio Ambiente. Dezembro de 2020a.
- BRASIL. Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2030. Micro e Minigeração Distribuída & Baterias. **4- Caderno Micro e Minigeração Distribuída**. Superintendência de Estudos Econômicos e Energéticos. Setembro de 2020b.
- BRASIL. **Micro e Minigeração Distribuída & Baterias Atrás do Medidor**. Estudos do Plano Decenal de Expansão de energia 2034 Ministério de minas e energia, 2024.
- BRASIL. Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. 2012.
- BRASIL. Câmara dos Deputados. **LEI Nº 9.984, DE 17 DE JULHO DE 2000**. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Água - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do

Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2000/lei-9984-17-julho-2000-360468-publicacaooriginal-1-pl.html>

BRASIL. Casa Civil. LEI Nº 10.881, DE 9 DE JUNHO DE 2004. Dispõe sobre os contratos de gestão entre a Agência Nacional de Águas e entidades delegatárias das funções de Agências de Águas relativas à gestão de recursos hídricos de domínio da União e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/lei/l10.881.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/l10.881.htm)

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Matriz Energética Nacional 2030**. Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME. EPE, 2007c. p. 254. il.

BRASIL. Ministério da Saúde. Conselho Nacional de saúde. **RESOLUÇÃO Nº 510, DE 7 DE ABRIL DE 2016**. O Plenário do Conselho Nacional de Saúde em sua Quinquagésima Nona Reunião Extraordinária, realizada nos dias 06 e 07 de abril de 2016, no uso de suas competências regimentais e atribuições conferidas pela Lei nº 8.080, de 19 de setembro de 1990, pela Lei nº 8.142, de 28 de dezembro de 1990, pelo Decreto nº 5.839, de 11 de julho de 2006. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cns/2016/res0510\\_07\\_04\\_2016.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cns/2016/res0510_07_04_2016.html)

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030**. Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME. EPE, 2007a. 12 v. il.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030**. Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME. EPE, 2007b. p. 324: il.

BRASIL. Série Recursos Energéticos. **NOTA TÉCNICA PR 04/18**. Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte 2050. 2018a

BRASIL. 2022. ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica **Resolução Normativa nº 1.031**. Consolida os atos regulatórios relativos aos procedimentos vinculados à redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, para empreendimentos hidrelétricos e aqueles com base em fonte solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada; e aos requisitos para a qualificação de centrais termelétricas cogeneradoras de energia. Disponível: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20221031.pdf>

BRASIL. ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução nº687 de 24 de novembro de 2015**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 03 jul. 2016.

BRASIL. ANEEL. 2023. **Resolução normativa Nº 1.059**. Aprimora as regras para a conexão e o faturamento de centrais de microgeração e minigeração distribuída em sistemas de distribuição de energia elétrica, bem como as regras do Sistema de Compensação de Energia Elétrica; altera as Resoluções Normativas nº 920, de 23 de fevereiro de 2021, 956, de 7 de dezembro de 2021, 1.000, de 7 de dezembro de 2021,

e dá outras providências. Disponível em:  
<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.html>

BRASIL. 2020. **GED-15303**. Conexão de Micro e Minigeração Distribuída sob Sistema de Compensação de Energia Elétrica.

BRASIL. 2002. **Lei n.10.438**. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa). Disponível em:  
[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/2002/l10438.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/l10438.htm). Acesso em: 26 ago 2020.

DE MARCHIS, M.; *et al.* Energy Saving in Water Distribution Network through Pump as Turbine Generators: Economic and Environmental Analysis. **Energies**, Suíça, 2016, 9, 877.

DEHGHANI, M., *et al.* Genetic Algorithm for Energy Commitment in a Power System Supplied by Multiple Energy Carriers. **Sustainability**, Suíça, 2020, V.12(23). DOI: <https://doi.org/10.3390/su122310053>

GALVIS-HOLGUIN, S.; RIO, J. S.-D.; HINCAPIÉ-ZULUAGA, D. Enhancement efficiency of Michell-Banki turbine using NACA 6512 modified blade profile via CFD. **EUREKA: Physics and Engineering**, n. 2, p. 55-67, 31 Mar. 2022.

GAMALELDINE, M.; CORVACHO, H. Compliance with Building Energy Code for the Residential Sector in Egyptian Hot-Arid Climate: Potential Impact, Difficulties, and Further Improvements. **Sustainability**, Suíça, V.2022, 14. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14073936>

GOLMOHAMADI, H. Demand-Side Flexibility in Power Systems: A Survey of Residential, Industrial, Commercial, and Agricultural Sectors. **Sustainability**, Suíça, 2022, 14(13). DOI: <https://doi.org/10.3390/su14137916>

GÓMEZ, V.R.; *et al.* Computational analysis of a cross flow turbine performance. **MATEC Web Conf.**, Colômbia, Vol. 240, 2018. XI International Conference on Computational Heat, Mass and Momentum Transfer (ICCHMT 2018).

IBGE. PNAD contínua. **Características gerais dos domicílios e moradores 2022**. Diretoria de Pesquisa PDE. 16 junho de 2023. Disponível em:  
[https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com\\_mediaibge/arquivos/1cd893a10b3cabf31fc31e994531632f.pdf](https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/1cd893a10b3cabf31fc31e994531632f.pdf)

JEMAL; HAILE, Comprehensive review of pump as turbine (PAT). **Renewable Energy & Sustainable Development**, Etiópia, 2019, Vol. 5, Issue 2, p68

KADIER A., *et al.* Pico hydropower (PHP) development in Malaysia: Potential, present status, barriers and future perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Reino Unido, Vol. 81, Part 2, January 2018, Pag 2796-2805

KAN KAN *et al.* Renewable and Sustainable. **Energy Reviews**, [S. l.], Vol. 168, October 2022. 112786

KAN KAN, *et al.* 2022. Energy loss mechanism due to tip leakage flow of axial flow pump as turbine under various operating conditions, **Energy**, Elsevier, Reino Unido, Vol. 255(C).

KHOMSAH, A. *et al.* Pico-hydro as A Renewable Energy: Local Natural Resources and Equipment Availability in Efforts to Generate Electricity. 2019 **IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.**, Indonésia, Vol. 462 012047. DOI 10.1088/1757-899X/462/1/012047

KIRKE, B. Hydrokinetic and ultra-low head turbines in rivers: A reality check. **Energy for Sustainable Development**. Vol. 52, Oct 2019, Pages 1-10

LOOTS *et al.*, A review of low head hydropower technologies and applications in a South African contexto. **Renewable and Sustainable Energy Reviews.**, Reino Unido, Vol. 50, Oct 2015, Pag 1254-1268

LIMA, J. da S. **Introdução à Teoria dos Conjuntos**. 2. ed. São Paulo: Editora Acadêmica, 2020.

MALIK *et al.*, Climate Change Impacts Quantification on the Domestic Side of Electrical Grid and Respective Mitigation Strategy across Medium Horizon 2030. **Sustainability.**, Suíça, 2023, 15(4), 3674. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15043674>

MARLIANSYAH, R. *et al.* Optimization potential analysis of micro-hydro power plant (MHPP) from river with low head. **Energy Procedia**, Holanda, Vol. 153, Oct 2018, Pages 74-79.

MARTINS, G. E. (2014). Diagrama de Venn. **Revista de Ciência Elementar**, 2(01):0049.

MEHR, G. *et al.* A novel design and performance optimization methodology for hydraulic Cross-Flow turbines using successive numerical simulations. **Renewable Energy**, Reino Unido, Vol. 169, May 2021, Pages 1402-1421.

MOHER, D. *et al.* Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **PLoS Medicine**, [S. l.], Vol. 6, n. 7, p. e1000097, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>.

NASIR, A., *et al.* (2023). Technical and economic analysis of a pump as a turbine for rural electrification. **International Journal of Sustainable Energy**, Reino Unido, 42(1), 914–928. DOI: <https://doi.org/10.1080/14786451.2023.2244606>

NORMAN G.R., STREINER D.L. **Biostatistics**. The bare essentials. 4th ed. Shelton: People's Medical Publishing House; 2014.

OBRETENOV, V.; TSALOV, T. Research and Design of Cross Flow Water Turbines for Small HPP. **E3S Web of Conferences**, França, Vol. 320, 04007 (2021).

PAGE, M. J. *et al.* A declaração PRISMA 2020: diretriz atualizada para relatar revisões sistemáticas. **Epidemiol. Serv. Saúde**, Brasília, Vol. 31, n.2, e2022107,2022.

Disponível em <[http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S167949742022000201700&lng=pt&nrm=iso](http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S167949742022000201700&lng=pt&nrm=iso)>. acessos em 18 dez. 2024. Epub 13-Jul-2022. <http://dx.doi.org/10.1590/s1679-49742022000200033>.

POLAGYE, B. *et al.* "Comparison of cross-flow turbine performance under torque-regulated and speed-regulated control Scilightheaded. **J. Renewable Sustainable Energy, EUA**, 11, 044501 (2019). DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5087476>

PURWANTO, BUDIONO, HERMAWAN. 2019 The modeling of 80mm diameter cross flow turbine runner for mini/microhydro environmentally friendly power plant. **Journal of Physics: Conf. Series** 1217 012013.

PURWANTO; *et al.* Microhydro with Tube: A Powerhouse Solution for Rural Electricity. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 506, **Joint International Conference on Civil, Environmental, and Geo Engineering** 2019 1-2 October 2019, Surabaya, Indonesia.

RANTERERUNG *et al.* A double nozzle cross flow turbine fluid flow dynamics. **Journal Of Southwest Jiaotong University**. China, Vol. 55 No.4. 2020. DOI:10.35741/issn.0258-2724.55.4.49.

RAO; ARUN; SELVAN. Framework of locality electricity trading system for profitable peer-to-peer power transaction in locality electricity market. Vol. 3, 2020, DOI: <https://doi.org/10.1049/iet-stg.2019.0131>.

RATNATA I W., *et al.* Preliminary Study of Micro-hydro Power Plant (MHPP) in The Rural Area. 2018 **IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.** Reino Unido, 384 012067. DOI 10.1088/1757-899X/384/1/012067.

SAMMARTANO, V. *et al.* Cross-Flow Turbine Design for Energy Production and Discharge Regulation. **Journal of Hydraulic Engineering**, Vol. 141, Issue 3.

SAMMARTANO, V.; *et al.* A Banki-Michell turbine for in-line hydropower systems. **J. Hydr. Res.**, EUA, 2017, in press.

SAMMARTANO, V.; *et al.* Banki-Michell micro-turbines for energy production in water distribution networks. In **Proceedings of the 4th European IAHR Conference**, Liede, Belgium, 27–29 July 2016.

SAMMARTANO, V.; *et al.* Coupled Hydraulic and Electronic Regulation of Cross-Flow Turbines in Hydraulic Plants. **J. Hydraul. Eng**, Reino Unido, 2017, 143, 04016071.

SAMORA, I. *et al.* Energy recovery using micro-hydropower technology in water supply systems: The case study of the city of Fribourg. **Water, Italy**, 2016, 8, 344.

SAMORA, I. *et al.* Renewable Energy. Experimental characterization of a five blade tubular propeller turbine for pipe inline installation. **Renewable Energy, Irã**, Vol. 95, September 2016, Pages 356-366.

SANGARI F.J.; ROMPAS P.T.D. A Model of Small Capacity Power Plant in Tateli Village, North Sulawesi. 2017 **IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng**, Reino Unido, 180 012010. DOI 10.1088/1757-899X/180/1/012010

SHAHIDUL, I.M.I. *et al.* Modeling the Energy Extraction from In-stream Water by Multi Stage Blade System of Cross Flow Micro Hydro Turbine. **Water, Italy**, 2017, 9(5), 309. DOI: <https://doi.org/10.3390/w9050309>.

SINAGRA, M.; SAMMARTANO, V.; ARICÒ, C.; COLLURA, A. Experimental and Numerical Analysis of a Cross-Flow Turbine. **J. Hydraul. Eng.** 2015, 142, 04015040.

SOUZA, F.M.; CIGOLINI, A.A. Criação de municípios e Conflitos institucionais no Brasil. **Terr@Plural**, Ponta Grossa, v.13, n.3, p. 42-54, set./dez. 2019. DOI: 10.5212/TerraPlural.v.13i3.0005

STEWART, I. **A Matemática da Vida**. 1. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2013.

SUDJITO S., RUDY S., SLAMET W. A Double Nozzle Cross Flow Turbine Fluid Flow Dynamics. **Corvis L Rantererung**. Vol. 55, No 4 (2020).

SULIS *et al.* A cross-flow Type Design of 5 kW Micro Hydro Power Plant for Rural Area In West Java. 2019 **J. Phys.: Conf. Ser.** [S. I.], 1179 012119. DOI 10.1088/1742-6596/1179/1/012119

SUTIKNO, D.; *et al.* S. Flow visualization of water jet passing through the empty space of cross-flow turbine runner. **Eastern-European Journal of Enterprise Technologies**, [S. I.], v. 3, n. 8 (99), p. 36–42, 2019. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.154896.

VERMA, V.; GABA, V.K.; BHOWMICK, S. Energy Procedia. An Experimental Investigation of the Performance of Cross-flow Hydro Turbines. **Energy Procedia**, Reino Unido, Vol. 141, December 2017, Pag 630-634.

WOLDEMARIAM; *et al.* 2018. CFD-Driven Valve Shape Optimization for Performance Improvement of a Micro Cross-Flow Turbine. **Energies**, Suíça, 2018, 11(1), 248. DOI: <https://doi.org/10.3390/en11010248>

WOUTERS; FRAGA; JAMES. A policy-based multi-objective optimisation framework for residential distributed energy system design. 2017. **Renew. Energy Environ. Sustain.** 2, 5.

YAHAGI *et al.*, Performance analysis of an undershot cross-flow water turbine based on the flow near the runner. 2016. **Transactions of the JSME (in Japanese)**. Vol.82, No.841.

**APÊNDICE A – Questionário conhecimento de microgeração de energia****A) Sobre o conhecimento da microgeração por entrada de água**

1- Na sua opinião, o seu nível de conhecimento sobre microgeração de energia elétrica por entrada de água utilizando a turbina Michell-Banki é?

- ☐ Básico
- ☐ Intermediário
- ☐ Avançado
- ☐ Não tenho conhecimento sobre microgeração de energia elétrica por entrada de água utilizando a turbina Michell-Banki

2- Na sua opinião, a aplicação da microgeração de energia elétrica por entrada de água pode ocorrer em?

- ☐ Residências e prédios
- ☐ Redes de abastecimento de água
- ☐ Rios
- ☐ Não conheci aplicações de microgeração de energia elétrica

3- Na sua opinião, a microgeração por entrada de água possui viabilidade econômica?

- ☐ Sim
- ☐ Não
- ☐ Não sei responder ou indiferente

4- Na sua opinião, a microgeração por entrada de água possui custo de implantação e manutenção:

- ☐ Alto
- ☐ Baixo
- ☐ Não sei responder ou indiferente

5- Na sua opinião, a microgeração por entrada de água é sustentável e auxilia na redução de emissão de gases efeito estufa?

- ☐ Sim
- ☐ Não
- ☐ Não sei responder ou indiferente

**B) Sobre a utilização da microgeração para fornecimento de energia.**

6- Você já utilizou a microgeração elétrica por entrada de água nos seus projetos de construção civil?

- ☐ Sim
- ☐ Não
- ☐ Não sei responder ou indiferente

7- Na sua opinião, quais os motivos que levam os engenheiros a não utilizarem a microgeração por entrada de água? Assinale quantas respostas quiser

- ☐ Falta de conhecimento sobre a microgeração por entrada de água
- ☐ Custo de investimento
- ☐ Potência ser até 75kW
- ☐ Legislação brasileira dificulta a sua utilização
- ☐ Falta de incentivo governamental
- ☐ Pouca tecnologia disponível
- ☐ Eficiência da turbina
- ☐ Não sei responder ou indiferente