

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS –
CAMPUS DE GOIÂNIA
DEPARTAMENTO DE ÁREAS ACADÊMICAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

JOÃNATHAN GONTIJO DE MAGALHÃES

IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MICROGERAÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA E ANÁLISE DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
DAS INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS DO IFG - CAMPUS GOIÂNIA

GOIÂNIA 2023



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC – Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Joãanathan Gontijo de Magalhães

Matrícula: 20191011060092

Título do Trabalho: Implementação de um Sistema de Microgeração de Energia Elétrica e Análise do Potencial de Geração de Energia Elétrica das Instalações Hidráulicas do IFG - Campus Goiânia

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra. Justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. O documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. Obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. Cumprir quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia, 04/09/2023

Joãanathan G. de Magalhães

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MICROGERAÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA E ANÁLISE DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
DAS INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS DO IFG - CAMPUS GOIÂNIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Bacharelado em Engenharia
Elétrica do Departamento de Áreas Acadêmicas
IV do Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Goiás – Campus Goiânia como
requisito parcial para a obtenção do título de
Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Me Eliézer Alves Teixeira

M189i Magalhães, Joãanathan Gontijo de.

Implementação de um sistema de microgeração de energia elétrica e análise do potencial de geração energia elétrica das instalações hidráulicas do IFG – Campus Goiânia / Joãanathan Gontijo de Magalhães. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia, 2023.

36 f.: il.

Orientador: Prof. Me Eliézer Alves Teixeira.

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Bacharelado em Engenharia Elétrica, Departamento de Áreas Acadêmicas IV, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.

1. Energia elétrica – microgeração – IFG – Campus Goiânia. 2. Instalações hidráulicas – IFG – Campus Goiânia. I. Teixeira, Eliézer Alves (orientador). II. nstituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia. III. Título.

CDD 621.3

Ficha catalográfica elaborada pelo Bibliotecário Alisson de Sousa Belthodo Santos CRB1/ 2.266
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS GOIÂNIA

JOÃNATHAN GONTIJO DE MAGALHÃES

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E ANÁLISE DO
POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DAS INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS DO IFG -
CÂMPUS GOIÂNIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, como parte das exigências para obtenção do Título de Engenheiro Eletricista.

Goiânia, 10 de julho de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Eliézer Alves Teixeira

Orientador - IFG/Goiânia

Prof. Me. Paulo César Bezerra Bastos

Membro da Banca Examinadora - IFG/Goiânia

Prof. Me. Ubaldo Eleutério da Silva

Membro da Banca Examinadora - IFG/Goiânia

Documento assinado eletronicamente por:

- Paulo Cesar Bezerra Bastos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 17/07/2023 23:26:02.
- Ubaldo Eleuterio da Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 11/07/2023 07:40:51.
- Eliezer Alves Teixeira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 10/07/2023 23:36:35.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 10/07/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 429601

Código de Autenticação: c971d3384f



AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer a Deus pela saúde, força, compreensão e perseverança que me deu durante minha graduação.

Também gostaria de agradecer à minha família pelo apoio, que esteve presente durante todo o processo e disposto a me ajudar no que foi possível.

Sou grato ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás e ao corpo docente do curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica pelo qualificado e dedicado ensino.

Joânathan Gontijo de Magalhães

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família que me apoiou, auxiliou e incentivou a buscar meus objetivos e não desistir.

JOÃNATHAN GONTIJO DE MAGALHÃES

RESUMO

A crescente demanda por energia elétrica tem motivado a exploração de fontes renováveis, permitindo a identificação e o desenvolvimento de novas técnicas e aplicações para a geração de energia elétrica. Dessa forma, o avanço da tecnologia se mostra como um forte aliado no desenvolvimento de equipamentos mais eficientes que proporcionam maior aproveitamento do potencial energético de maneira sustentável, mais acessível e com maior viabilidade no mercado. O caminho da sustentabilidade vem ganhando cada vez mais espaço no cenário da geração de energia elétrica, o que é essencial para a preservação dos recursos naturais. Neste sentido, o presente projeto tem o propósito de analisar o potencial de micro geração de energia elétrica em instalações hidráulicas existentes em ambientes acadêmicos, como é o caso do IFG-Campus Goiânia. Os microgeradores trabalham tirando proveito do fluxo hidráulico essencial, ou seja, utilizando as tubulações de ambientes que necessitam do fornecimento de água para o funcionamento adequado.

Palavras-chave: Energia elétrica; Sustentabilidade; Microgeradores.

ABSTRACT

The growing demand for electricity has led to the exploration of renewable sources, enabling the identification and development of new techniques and applications for generating electricity. In this way, the advance of technology is proving to be a strong ally in the development of more efficient equipment that makes better use of energy potential in a sustainable, more accessible and more viable way on the market. The path of sustainability is gaining more and more ground in the electricity generation scenario, which is essential for the preservation of natural resources. With this in mind, the purpose of this project is to analyze the potential for micro-generation of electricity in existing hydraulic installations in academic environments, such as IFG-Campus Goiânia. The micro-generators work by taking advantage of the essential hydraulic flow, i.e. by using the pipes in environments that need a water supply to function properly.

Keywords: Electricity; Sustainability; Microgenerators.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	15
2.1. Objetivos Gerais	15
2.2. Objetivos Específicos	15
2.3. Justificativa	16
3. REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1. Energia Elétrica	17
3.2. Alternativas de Geração de Energia Elétrica	17
3.3. Usinas Hidrelétricas	18
3.4. Micro e Minigeração Distribuída	19
3.5. Gerador De Energia Elétrica	20
4. METODOLOGIA	21
4.1. Materiais	21
4.2. Recursos	22
4.3. Estudo de Caso	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
5.1. Resultados Comentados	33
6. CONCLUSÃO	34
6.1. Recomendações Para Trabalhos Futuros	34
7. REFERÊNCIAS	35
8. ANEXOS	37

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A	Ampère, unidade de corrente elétrica;
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica;
bar	unidade de pressão que equivale a 10^5 Pascal;
DC	<i>Direct Current</i> (Corrente Contínua);
g	grama, unidade de medida de massa;
LED	<i>Light Emitter Diode</i> (Diodo emissor de Luz);
LPH	Litros Por Hora, unidade de medida;
m	metro, unidade de medida de distância;
Pa	Pascal, unidade de medida de pressão;
PVC	Policloreto de vinil, material plástico;
Range	Faixa;
V	Volt, unidade de medida de tensão elétrica;
Vac	<i>Volt Alternating Current</i> (Tensão em Corrente Alternada);
Vdc	<i>Volt Direct Current</i> (Tensão em Corrente Contínua);
W	Watt, unidade de medida de potência.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Discriminação Orçamentária	22
Tabela 2 – Teste 1, sem carga, terminais dos geradores conectados ao medidor.	30
Tabela 3 – Teste 2, com carga.	30
Tabela 4 – Teste 3, com carga, máxima potência.	30
Tabela 5 - Segundo experimento, teste utilizando uma carga resistiva maior que o experimento anterior.	32
Tabela 6 – Teste 1, sem carga, terminais dos geradores conectados ao medidor.	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fontes Da Energia Elétrica Gerada No Brasil.	18
Figura 2 - Esquemático de Ligação da Bancada.....	23
Figura 3 - Esquemático de Instalações do Sistema Idealizado.	24
Figura 4 - Descida da caixa d'água central, tubulação de 1.1/4".	25
Figura 5 - Casa de Máquinas central, abaixo da caixa d'água.	25
Figura 6 - Casa de Máquinas central, abaixo da caixa d'água (foto panorâmica).25	
Figura 7 - Bancada com geradores instalados	26
Figura 8 – Rotâmetro, Medidor de Vazão, marcando 5200 LPH.....	27
Figura 9 - Tensão no Gerador 1 Sem carga.	27
Figura 10 - Tensão máxima no Gerador 2 sem carga.	27
Figura 11- G1 + G2 Pressão máxima sem carga, maior tensão obtida.....	27
Figura 12 - Manômetro digital marcando 1,6 bar.	28
Figura 13- - Medição de Corrente e Tensão em G1.	28
Figura 14 - Medição de Corrente e Tensão em G2.....	29
Figura 15 - Medição de Corrente e Tensão combinada.	29
Figura 16 - Medição G1 + G2 (Maior potência alcançada).....	29
Figura 17 - Medição G1 + G2.....	29
Figura 18 - Medição de Tensão G1 + G2 COM carga.	31
Figura 19 – Medição de Tensão G1 + G2 SEM carga.....	31
Figura 20 - Medição de Pressão 2,25bar a 12 V e 46,7 mA de corrente.	31

1. INTRODUÇÃO

A eletricidade está presente em muitas atividades do nosso dia a dia como, por exemplo, nos aparelhos televisivos, nos aparelhos de rádio, nos aparelhos que transmitem e captam as ondas do rádio, nos aparelhos de chamada telefônica, ou na geladeira etc. Não podemos esquecer também que ela alimenta o nosso computador, hoje tão presente e importante na realização de inúmeras tarefas, as quais sem eletricidade não poderíamos realizar (Santos,2010).

Um fenômeno natural, a eletricidade, é formada basicamente pelo fluxo ou movimento de elétrons, dando origem aos princípios de energia elétrica. Com o desenvolver dos estudos e, evidentemente, das tecnologias, a energia elétrica se tornou um insumo essencial para o desenvolvimento e conforto da sociedade atual.

Especificamente, em se tratando do cenário da engenharia, a sustentabilidade pode ser vista como a busca da maneira mais eficiente de utilizar os recursos disponíveis para promover o desenvolvimento, preservando os recursos naturais e otimizando a sua utilização.

A geração de energia elétrica por meio de fontes alternativas é um dos focos da sustentabilidade, onde são utilizados recursos não esgotáveis presentes em meio natural para a geração de energia elétrica. Há uma discussão mundial em busca de alternativas de fontes de energia. Com o crescimento de poluição no planeta, esta busca se torna ainda mais intensa com aplicações de novas tecnologias e técnicas de produção de energia sustentáveis: eólica, solar, hídrica, biomassa, geotérmica, ondas e marés.

As usinas hidrelétricas podem ser caracterizadas como as que não utilizam águas do reservatório, conhecidas como usinas a fio d'água (*run of river*), e as de reservatórios de regularização (PEREIRA, 2015).

O modelo de usinas hidrelétricas com reservatório necessita de ocupação de área considerável para armazenamento de água. Quanto maior for o tamanho do represamento maior será sua vazão, proporcionando maior potencial de geração de energia elétrica. Apesar dos danos naturais causados pela grande ocupação, é considerada renovável e viável, já que atende parte relevante da demanda de geração da energia nacional. Sendo o terceiro lugar, em potencial hidrelétrico no mundo, ocupado pelo Brasil.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivos Gerais

Este trabalho possui dois objetivos gerais:

1. Projetar e implementar um sistema de microgeração de energia elétrica utilizando o fluxo de água da instalação hidráulica do Campus Goiânia como fonte de energia mecânica para alimentar os microgeradores de energia elétrica.
2. Analisar o potencial de geração de energia elétrica das instalações hidráulicas do Campus Goiânia.

2.2. Objetivo Específicos

Com o foco de se implementar um sistema de microgeração para promover a sustentabilidade em um pequeno sistema elétrico, tem-se os seguintes objetivos específicos:

1. Identificar um local da rede de distribuição de água local do Campus Goiânia, adequado para se instalar dois microgeradores em paralelo para produzir energia elétrica a partir do fluxo de água disponível;
2. Implementar um sistema sustentável completo, constituído por microgeradores, baterias para armazenamento de energia gerada, controlador de carga, carga composta por lâmpadas de LED e inversor de potência para disponibilizar tensões de 220 Vac e 5 Vdc, respectivamente;
3. Analisar a viabilidade de se instalar o mesmo sistema de microgeração em pontos distintos do Campus Goiânia;
4. Analisar o potencial total de geração de energia elétrica do Campus Goiânia, utilizando a rede hidráulica já instalada, com vistas a um possível aproveitamento futuro.

Com estes objetivos, pretende-se, inicialmente com cargas resistivas pequenas, promover economia financeira no consumo total de energia do Campus Goiânia.

A aplicação do projeto pode ser estendida a locais onde as condições de acesso à energia elétrica sejam menos favoráveis, ou locais onde o manejo das fontes hídricas seja mais interessante que o transporte por meio de redes de distribuição de energia elétrica da concessionária.

2.3. Justificativa

O presente projeto surgiu a partir da ideia de se realizar o planejamento, análise de viabilidade, estudo de eficiência e execução de um sistema de microgeração de energia elétrica fundamentado no modelo de geração por usinas hidrelétricas. Para uma etapa inicial, foi considerado o atendimento de um ambiente com consumo de eletricidade moderado e cargas reduzidas.

A descoberta de novas fontes energéticas, que venham substituir as fontes tradicionalmente utilizadas, como os recursos fósseis e hidráulicos, tem se tornado uma necessidade crescente a nível mundial e nacional. Vários fatores são conducentes desse processo, podendo-se citar fatores ambientais, econômicos e políticos (SANTINI; MARCONATO, 2008).

A geração através de usinas hidrelétricas é classificada como uma fonte de energia sustentável e limpa, comparando com outras fontes de geração como termoeletricas e nucleares que causam emissão de gases poluentes e resíduos radioativos.

Os recursos hídricos são utilizados em diversos meios desde os primórdios da civilização com foco principal no consumo, desempenhando grande papel no desenvolvimento e qualidade de vida da humanidade. Com o desenvolvimento da tecnologia, ganhou mais uma importante função, que é a produção da eletricidade.

A instalação, de pequenos, de mini e micro hidrelétricas em redes existentes de irrigação, distribuição de águas e canais abertos, tem sido solução para que cidades aproveitem de forma mais inteligente os recursos hídricos disponíveis, sem interferir na função principal destas redes. Assim, gerar energia a partir da rede de distribuição de água potável é uma solução que engloba as mais recentes tendências na geração de energia que é a descentralização das fontes geradoras, minimizando os impactos mais significativos de geração hidrelétrica (SOSNOSKI, 2015).

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Energia Elétrica

Todas as atividades consomem energia. A palavra energia se origina de um vocábulo grego “*enérgeia*”, que significa: forças em ação. Nas atividades industriais, na construção civil, no transporte de mercadorias, a quantidade de energia necessária é cada vez maior, tornando-se hoje um parâmetro que mede em uma comunidade ou em um país o seu grau de desenvolvimento (BRANCO, 1990).

De acordo com Creder (2013), o consumo de energia elétrica vem crescendo porque cada vez mais a tecnologia oferece aparelhos que possibilitam economia de tempo e mão de obra, numa simples conexão a uma tomada ou a uma chave elétrica. Assim, qualquer construção nova ou reformada ressaltará em aumento de demanda elétrica.

Os físicos definem a palavra energia como a quantidade de trabalho que um sistema é capaz de fornecer. Energia, de acordo com os físicos, não pode ser criada, consumida ou destruída. No entanto a energia pode ser transformada ou transmitida de diferentes formas (MODESTO, 2011).

Segundo Lourenço e Lobão (2008), a eletricidade é uma das fontes de energia mais utilizadas no mundo moderno e essencial a toda hora, sem interrupções.

3.2. Alternativas de Geração de Energia Elétrica

As Fontes de Energia Alternativas, também conhecidas como renováveis, são as fontes de geração elétrica sustentável e de baixo impacto ambiental, como a energia solar que, em razão de seus preços baixos e das mudanças climáticas, hoje cresce mais que as tradicionais fontes poluentes, como o carvão e petróleo (FONTES, 2019).

A Produção alternativa de energia deve priorizar os recursos renováveis e também deve ser orientada no sentido de preservar o meio ambiente para não desembocar no mesmo problema dos combustíveis fósseis, cujas reservas estão se tornando cada vez mais escassas, sem possibilidade de renovação (TORRES et al., 2016).

Segundo Freitas (2013), em 2017, cerca de 80% de toda energia gerada no país foi por meio das fontes renováveis, sendo a maior parte através da fonte hídrica.

Conforme pode-se observar na figura 1, mostra um gráfico das fontes de geração de energia elétrica no Brasil.

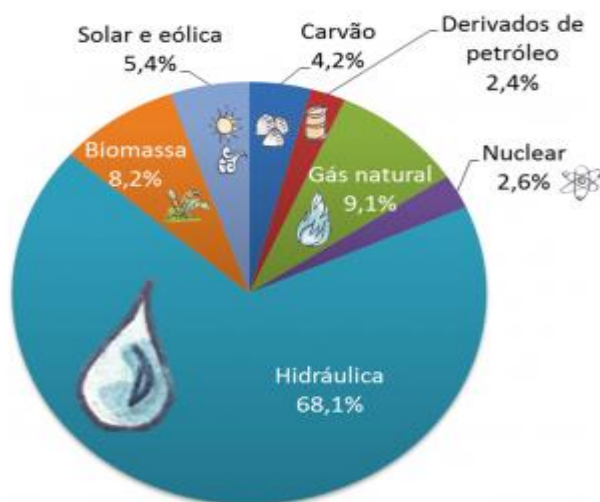


Figura 1 - Fontes Da Energia Elétrica Gerada No Brasil.

Fonte: EPE (Empresa de Pesquisa Energética – Matriz Energética e Elétrica, 2017).

As energias renováveis devem causar, além das implicações ambientais, as de ordem econômica, como: o estabelecimento de uma nova oferta de energia, o custo de produção destes novos energéticos e a tecnologia que viabilizará a nova energia (FREITAS, 2013).

3.3. Usinas Hidrelétricas

De acordo com Pereira (2015), O Brasil possui uma das mais amplas, densas, diversificadas e extensas redes fluviais de todo o mundo. Aproximadamente 13% de toda a água doce do planeta está em território brasileiro. O Brasil possui o terceiro maior potencial hidrelétrico do mundo, depois da China e da Rússia. As bacias do Amazonas e do Paraguai ocupam, predominante, extensas áreas de planícies. As bacias do Paraná e do São Francisco são tipicamente de planalto.

Dentre as quedas de água naturais e que foram aproveitadas para implantação de usinas, merecem destaque as de Urubupungá (rio Paraná), Piropora, Sobradinho, Itaparica e Paulo Afonso (rio São Francisco). As Cataratas do rio Iguaçu estão entre aquelas preservadas por seu valor cênico, ambiental e turístico (PEREIRA, 2015).

Uma central hidroelétrica ou hidrelétrica pode ser definida como um conjunto de obras (barragem, captação e condutos de adução de água [condutos forçados, trecho final inferior do conduto forçado, tubo de sucção], casa de máquinas e restituição de água ao leito do rio [canal de fuga]) e equipamentos (caixa espiral, pré-distribuidor, anel inferior, distribuidor, roda da turbina, eixo inferior da roda da turbina, tampa da turbina, Servo motores, aro de operação, cruzeta inferior, bloco de escora, gerador [estator, rotor, enrolamento de amortecimento], cruzeta superior e eixo superior), cuja finalidade é a geração de energia elétrica, utilizando o potencial hidráulico existente num rio (MOURA et al., 2019).

3.4. Micro e Minigeração Distribuída

Consistem na produção de energia elétrica a partir de pequenas centrais geradoras que utilizam fontes renováveis de energia elétrica ou cogeração qualificada, conectadas à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2016).

Para efeitos de diferenciação, a microgeração distribuída refere-se a uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 quilowatts (kW), enquanto que a minigeração distribuída diz respeito às centrais geradoras com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 megawatt (MW), para a fonte hídrica, ou 5 MW para as demais fontes (ANEEL, 2016).

O cálculo do potencial de geração de energia elétrica de uma turbina depende de vários fatores, como a vazão da água, a altura da queda d'água, a eficiência da turbina e outros parâmetros técnicos. Geralmente, o potencial de geração de energia elétrica de uma turbina pode ser calculado usando a seguinte fórmula simplificada:

$$P = \eta \times \rho \times g \times Q \times H$$

Onde:

P é a potência gerada (em Watts);

η é a eficiência da turbina (um valor entre 0 e 1);

ρ é a densidade da água (aproximadamente 1000 kg/m³);

g é a força da gravidade (9,8 m/s²).

Q é a vazão de água (em m³/s).

H é a diferença de altura entre o reservatório do líquido e a altura do equipamento.

Para calcular a potência de geração de um sistema de maior capacidade podemos utilizar o exemplo do sistema do IFG Campus Centro, que pode ser observado nas figuras 4, 5 e 6 do tópico 4.3. Para essa análise é necessário estimar alguns dos dados, adotamos a eficiência de 80% que é a mínima eficiência para os tipos de turbina Francis, Pelton e Kaplan. Para a vazão, é necessário estimar um “range” para o do diâmetro da tubulação, que é de 1.1/4”, para isso vide a tabela 6 no anexo. Então, adotamos o range de 8 a 200 l/min ou 0,000133 a 0,0033 m³/s. A altura H é de 6 metros. Substituindo na fórmula citada anteriormente, temos Potências variando de:

$$P = 0,8 \times 1000 \times 9,8 \times 0,000133 \times 6 = 6,26 \text{ W}$$

$$P = 0,8 \times 1000 \times 9,8 \times 0,003300 \times 6 = 155,23 \text{ W}$$

3.5. Gerador De Energia Elétrica

Um gerador de energia elétrica pode ser descrito como um dispositivo capaz de converter outras formas de energia em energia elétrica (SALES,2020).

Um gerador elétrico é um dispositivo que converte diferentes formas de energia em energia elétrica. É necessário notar que os geradores não fornecem elétrons ao circuito. Na verdade, eles fornecem energia aos elétrons já existentes. Por exemplo, usinas hidrelétricas são geradores que convertem a energia mecânica do movimento das águas em energia elétrica (TANAKA,2021).

Embora existam diversos tipos de geradores, é necessário levar em consideração que cada modelo tem uma finalidade específica para a qual foi criado. Quando pensamos em um ambiente industrial, os tipos de geradores de energia mais funcionais tendem a ser os mecânicos e os luminosos (SALES,2020).

Um gerador elétrico é uma máquina que realiza a transformação de uma quantidade de energia cinética em energia elétrica. O funcionamento dessas máquinas se baseia na indução eletromagnética. (MARTINO, 1982)

Geradores síncronos são máquinas destinadas a transformar energia mecânica em energia elétrica. Praticamente toda a energia consumida nas indústrias, cidades, residências, etc., é proveniente destes geradores (MODESTO,2011).

Um gerador DC é um motor que converte energia mecânica em energia elétrica. Vemos pela lei de Faraday que quando um fio é movido em um campo magnético para cortar as linhas de força, uma força eletromotriz surge nele.

4. METODOLOGIA

O Projeto desenvolveu-se com embasamento em estudos através de pesquisas bibliográficas em artigos, livros, teses, dissertações e monografias referentes ao tema proposto. Tal como a coleta de dados, leitura e registro das informações extraídas das fontes bibliográficas obtidas.

Por meio de estudo de campo implementou-se um protótipo de um sistema de geração aplicando princípios utilizados em hidrelétricas, porém, com foco específico em sistemas de menor potência e com menos recursos hídricos.

Foram implementados mini geradores em tubulações hidráulicas, utilizando a pressão natural do sistema hidráulico para o fornecimento de energia. O fluxo de água gera energia mecânica nas hélices do gerador, transformando energia mecânica em energia elétrica, a tensão gerada é direcionada a carga e às baterias por meio de um controlador de carga. A carga citada se trata, a princípio, de cargas resistivas do sistema de iluminação ambiente. Elaborou-se uma listagem dos materiais a serem utilizados no projeto.

No estudo de caso, leva-se em consideração se é viável a instalação do sistema de geração. Serão considerados critérios como vazão e pressão natural média que o sistema possui, perdas de carga das tubulações e hélices dos geradores, perdas por consumo de água e energia média estimada do local estudado e, se a eficiência dos equipamentos é factível ao propósito.

No presente caso, foi implementado a montagem do experimento no ambiente acadêmico, o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG) - Campus Goiânia. Toda a instalação hidráulica foi analisada, considerando as características mais favoráveis do Campus.

4.1. Materiais

Para o experimento utilizou-se Cano de PVC; Gerador de Fluxo de água; Cabo Flexível 1,5 mm (m); Fita Isolante PVC Anti-chama; Emendas e Luvas de Cano PVC; Lâmpadas de LED 4,5 W; Controlador De Carga 12V/24V; bateria 12v; Inversor de Potência e Multímetro.

4.2. Recursos

O projeto foi, em sua maior parte, executado com recursos próprios, cabendo a seguinte observação sobre o orçamento: o valor é estimado; parte dos materiais não precisam ser comprados em uma instalação já construída ou os envolvidos no projeto já os possuem. Segue abaixo na Tabela 1, os recursos e a discriminação orçamentária para este projeto:

Tabela 1 - Discriminação Orçamentária

Nº	Descrição	Quant.	Fonte financiadora	Elemento de despesa	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
1	Cano de PVC (br de 3 m)	1,0	Recurso próprio	Material	5,96	17,88
2	Gerador de Fluxo de água (un)	2	Recurso próprio	Material	98	196
3	Cabo Flexível 1,5 mm (m)	20	Recurso próprio	Material	0,8513	17,026
4	Fita Isolante PVC Anti-chama (un)	1	Recurso próprio	Material	8,5	34
5	Emendas e Luvas de Cano PVC (un)	20	Recurso próprio	Material	1,5	30
6	Fita de LED 4,5 W (5 m)	1	Recurso próprio	Material	1	35,91
7	Controlador De Carga 12V/24V (un)	1	Recurso próprio	Material	78,9	78,9
8	Bateria 12 V	1	Recurso próprio	Material	69,9	69,9
9	Inversor de Potência	1	Recurso próprio	Material	150,0	150,0
10	Multímetro	2	Recursos da Instituição	Material	N/A	N/A
TOTAL						R\$ 604,12

Fonte: O autor, 2023.

4.3. Estudo de Caso

Para estipular a perda de carga local provocada pela instalação do sistema de minigeração, baseou-se na ABNT NBR 5626, que contém as informações que estabelece critérios para cálculo de perda. Para obtenção das informações dos equipamentos utilizou-se a ficha técnica do catálogo do fabricante.

O protótipo utiliza geradores de energia elétrica de corrente contínua, que trabalham através da conversão da energia mecânica em energia elétrica. A energia mecânica é convertida de forma que a passagem de água movimenta as hélices de um rotor com ímãs fixados produzindo variação de campo magnético quando é envolto em um estator ferromagnético, assim, gerando uma Força Eletro Motriz.

O sistema idealizado para execução final foi de acordo com a figura 3, porém, utilizamos a bancada para simular o sistema e aferir o funcionamento dos geradores, a bancada foi representada no diagrama da figura 2, abaixo:

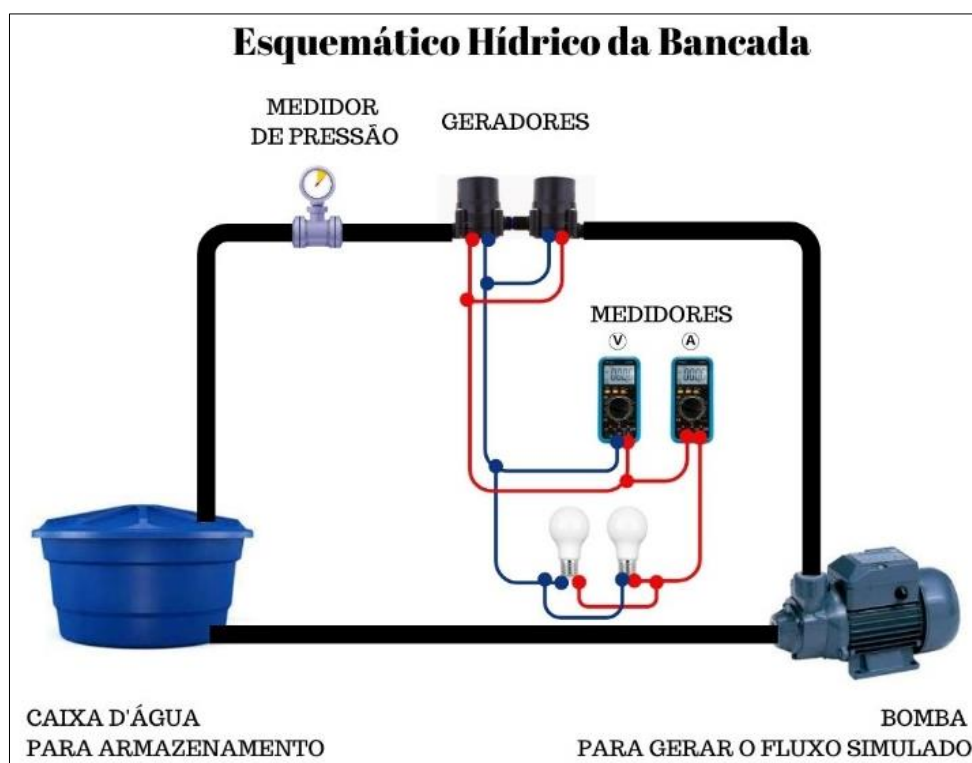


Figura 2 - Esquemático de Ligação da Bancada.
Fonte: Autor, 2023.

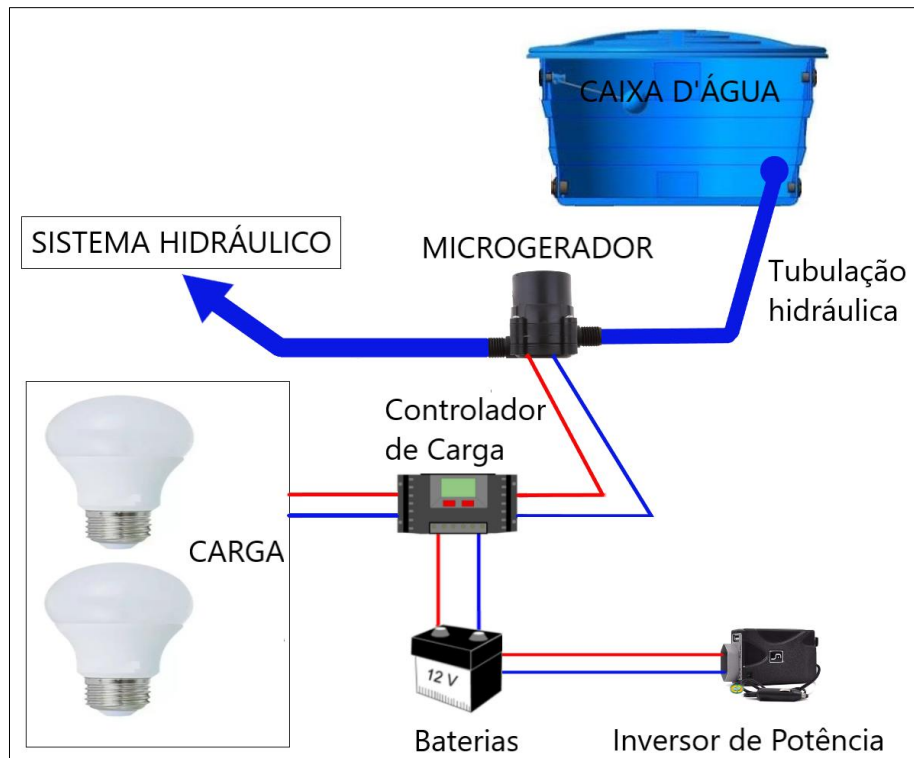


Figura 3 - Esquemático de Instalações do Sistema Idealizado.

Fonte: O autor.

Segundo informado pelo fabricante, o mini-hidrogerador possui as seguintes características:

- Tráfego de perda: 3,6% (0,25 MPa);
- Pressão da água corrente: 0,45 MPa;
- A pressão em execução: 0,55 MPa;
- Pressão máxima: 1.6 MPa;
- Tensão de saída: 9.8 VDC a 18.5 VDC/0.1K Ω com carga;
- Corrente de saída: 128 a 260 mA. Dimensões (CxLxA): ~75x42x74mm;
- Peso: 135 g.

O ambiente para implantação analisado é o IFG Goiânia Campus centro, onde registramos em fotos o sistema central de abastecimento para análise, seguem imagens abaixo:



Figura 4 - Descida da caixa d'água central, tubulação de 1.1/4".
Fonte: Autor, 2023.



Figura 5 - Casa de Máquinas central, abaixo da caixa d'água.
Fonte: Autor, 2023.

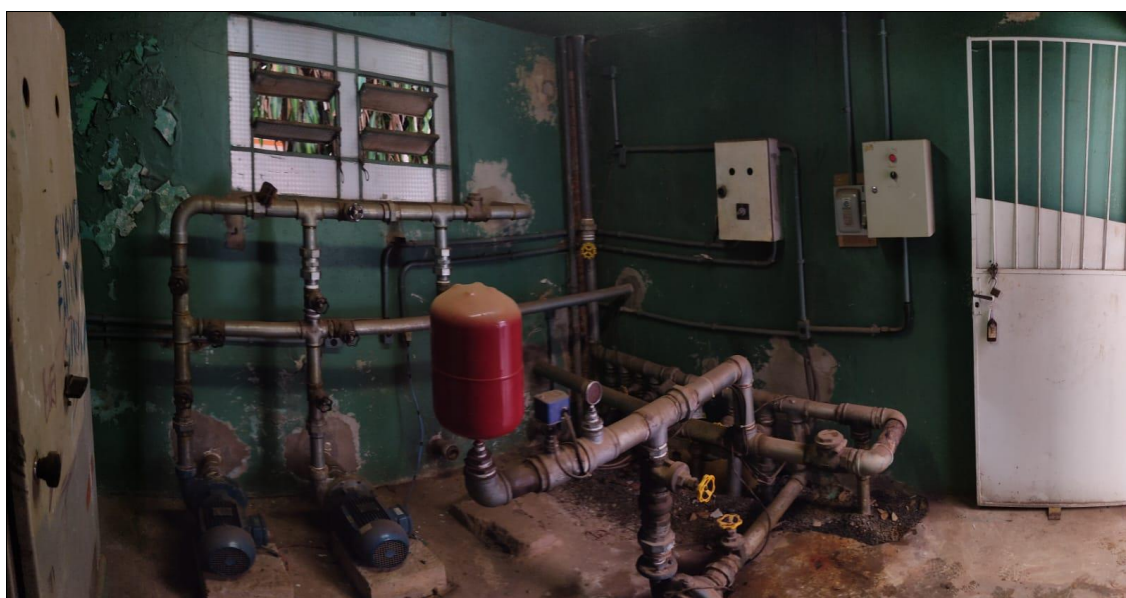


Figura 6 - Casa de Máquinas central, abaixo da caixa d'água (foto panorâmica).
Fonte: Autor, 2023.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os testes e medições foram realizados no laboratório T-501 de hidráulica, na bancada conforme a foto da figura 7. Para a realização, foram realizados os procedimentos respeitando as condições seguras de operação da bancada, evitando alcançar os limites de pressão dos medidores que chegaram próximos ao máximo suportado.

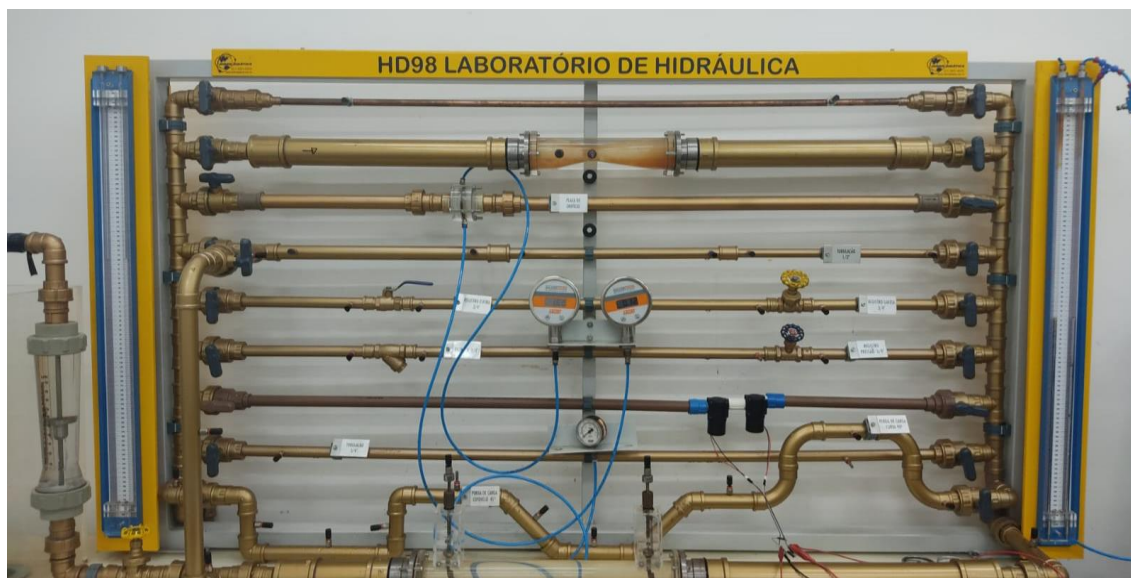


Figura 7 - Bancada com geradores instalados
Fonte: Autor, 2023.

Para obtenção das medições foram feitos três experimentos em laboratório. As figuras de 8 a 20 são fotos retiradas no momento dos testes, seguem abaixo:

- Teste 1 – Geradores ligados em série sem carga:



Figura 8 – Rotâmetro, Medidor de Vazão, marcando 5200 LPH.
Fonte: Autor, 2023.

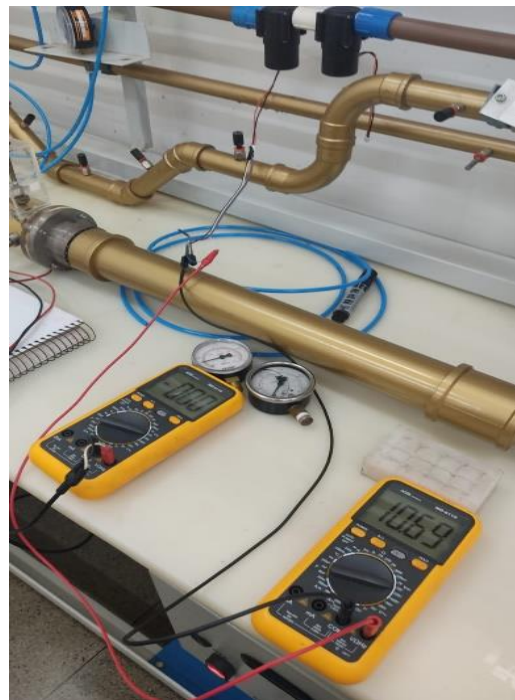


Figura 9 - Tensão no Gerador 1 Sem carga.
Fonte: Autor, 2023.

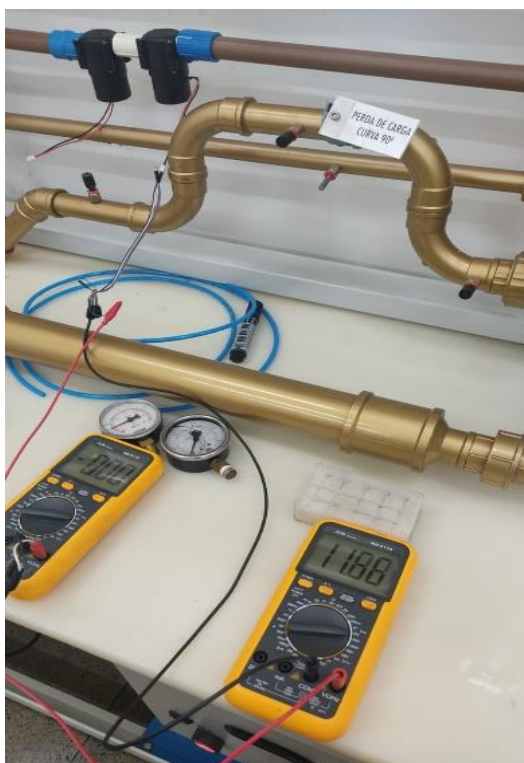


Figura 10 - Tensão máxima no Gerador 2 sem carga.
Fonte: Autor, 2023.



Figura 11- G1 + G2 Pressão máxima sem carga, maior tensão obtida.
Fonte: Autor, 2023.

Nota do teste 1 (figuras 8 a 11):

Neste teste foi realizada a ligação dos geradores sem carga acoplada para fazer a medição da maior tensão de cada gerador e, na figura 11, aferida a maior tensão combinada produzida pelos geradores. O medidor de vazão indicou 5200 LPH para este experimento. Os dados deste teste estão retratados na tabela 2.

• Teste 2 – Geradores ligados em série com carga:

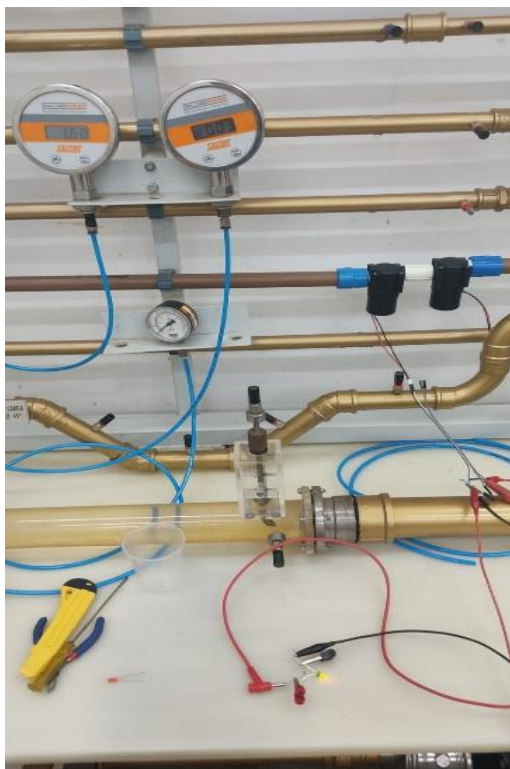


Figura 12 - Manômetro digital marcando 1,6 bar.
Fonte: Autor, 2023.

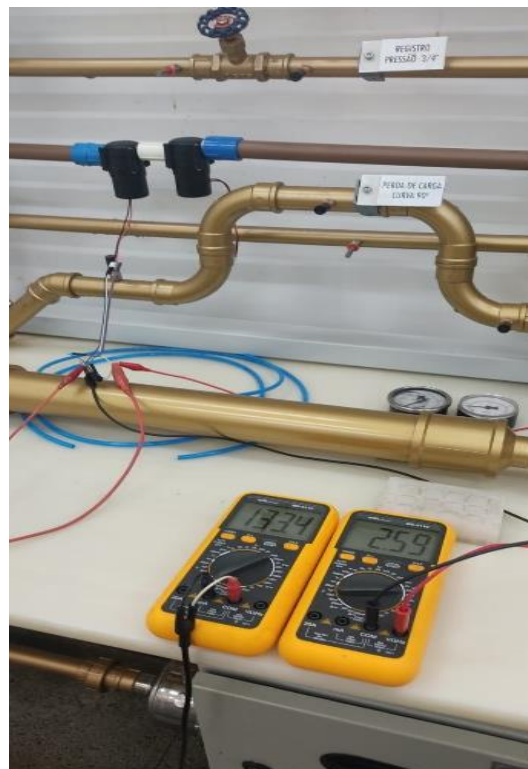


Figura 13- - Medição de Corrente e Tensão em G1.
Fonte: Autor, 2023.

Nota do teste 2 (figura 12):

Na figura 12, percebe-se a pequena carga simbólica e a pressão constatada no manômetro da esquerda de 1,6 bar. Os dados deste teste estão retratados na tabela 3.

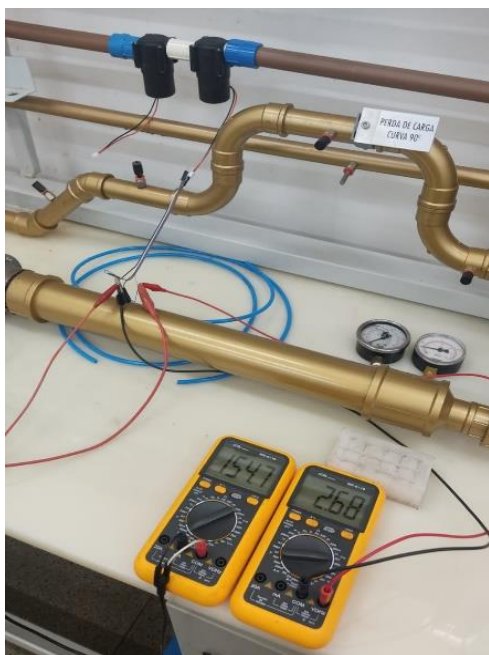


Figura 14 - Medição de Corrente e Tensão em G2.
Fonte: Autor, 2023.

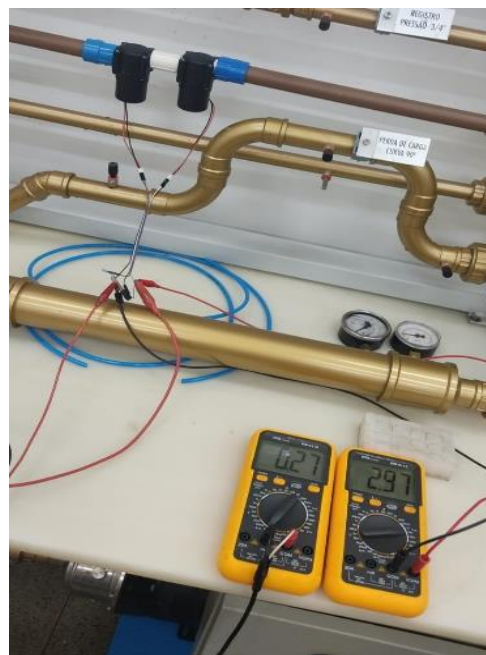


Figura 15 - Medição de Corrente e Tensão combinada.
Fonte: Autor, 2023.

Nota do teste 2 (figuras 13 a 15):

Na figura 13 e 14, constam os geradores G1 e G2 ligados eletricamente em paralelo e as medições de tensão e corrente. Já na figura 15, as medições dos geradores combinados, aferindo 270 mA e 2,97 V. Os dados deste teste estão retratados na tabela 3.

- Teste 3 – Geradores ligados em série com carga, maior potência alcançada no Experimento 1:

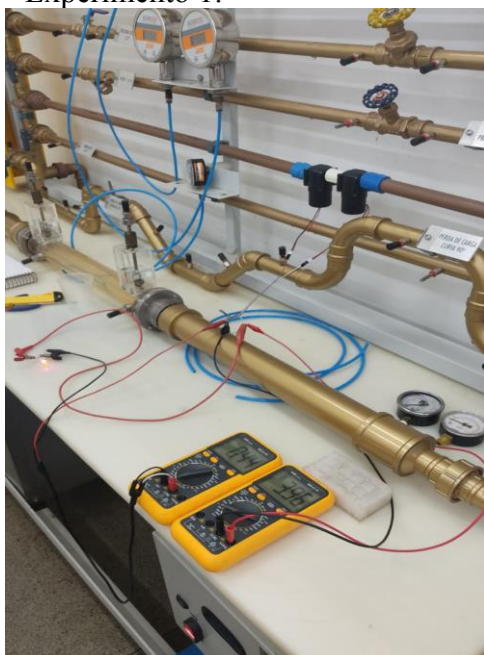


Figura 16 - Medição G1 + G2 (Maior potência alcançada).
Fonte: Autor, 2023.

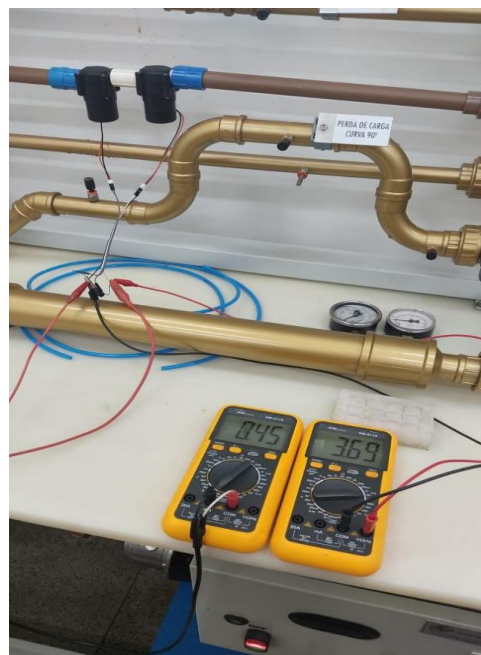


Figura 17 - Medição G1 + G2.
Fonte: Autor, 2023.

Notas do teste 3 do Experimento 1 (figuras 16 a 17):

Neste teste, foi alcançada a maior potência deste experimento, A pressão chegou a 1,9 bar. Os dados deste teste estão apresentados na tabela 4.

Tabela 2 – Teste 1, sem carga, terminais dos geradores conectados ao medidor.

Experimento 1			
Teste 1 - Sem carga			
	V_{máx} (Volts)	I (mAmpere)	Pressão (kgf/cm²)
G1	10,69	-	1,6
G2	11,66	-	1,6
G1 // G2	11,23	-	1,6

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 3 – Teste 2, com carga.

Experimento 1			
Teste 2 - Com Carga			
	V_{máx} (Volts)	I (mAmpere)	Pressão (kgf/cm²)
G1	2,59	133,4	1,6
G2	2,68	154,7	1,6
G1 // G2	2,97	270,0	1,6

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 4 – Teste 3, com carga, máxima potência.

Experimento 1			
Teste 3 - Com Carga - Potência Máxima			
	V_{máx} (Volts)	I (mAmpere)	Pressão (kgf/cm²)
G1	3,96	217	1,9
G2	3,69	252	1,9
G1 // G2	3,96	44	1,9

Fonte: Autor, 2023.

- 2º Experimento - Teste 1 – Geradores ligados em série SEM carga e COM carga:



Figura 18 - Medição de Tensão G1 + G2 COM carga.
Fonte: Autor, 2023.



Figura 19 – Medição de Tensão G1 + G2 SEM carga.
Fonte: Autor, 2023.



Figura 20 - Medição de Pressão 2,25bar a 12 V e 46,7 mA de corrente.
Fonte: Autor, 2023.

Nota do Experimento 2 (figuras 18 a 20):

Neste experimento foi atingida a tensão adequada de operação dos equipamentos e cargas. Na figura 18, foi ensaiado de forma a atingir tensão apropriada para a carga com

o funcionamento da bancada íntegro. Na figura 19, foi ensaiado novamente sem carga para aferir o funcionamento, a título de comparação. Na foto da figura 20, foi aumentada a potência da bomba até atingir os 12V gerados, ao atingir essa tensão, pôde ser aferida a pressão de 2,25 bar, pressão essa já próxima do limiar danoso dos manômetros da bancada.

Tabela 5 - Segundo experimento, teste utilizando uma carga resistiva maior que o experimento anterior.

Experimento 2	V (Volts)	I (mAmpere)	Pressão (kgf/cm²)
Vmín	9,5	30	1,25
Vmédia	10	44,5	1,44
Videal	12,1	46,7	2,29
Vmáx	13,75	49	2,5
Vmáx aberto	17,07	0 (sem carga)	3,2

Fonte: Autor, 2023.

5.1.Resultados Comentados

Utilizou-se a bancada do laboratório de fluídos para simular o fluxo de uma tubulação autêntica de um sistema hídrico usual. A bancada contempla uma bomba para simular queda d'água e exercer pressões controladas, manômetros e medidores para aferição das variáveis hídricas, reservatório de água, registros e tubulações variadas para manobrar o fluxo de água.

Durante as medições aferiu-se a capacidade de geração do sistema, onde foi constatada a baixa potência dos geradores, cuja maior medição dos geradores combinados foi de 0,56W de potência, 46,7 mA e 12 V. Porém, conforme informações do fabricante, os geradores combinados conseguem fornecer até 520 mA em 12 V, sendo, assim, é possível implementar aproximadamente mais 9 conjuntos de leds semelhantes. Com esse implemento totalizaria em torno de 467 mA de corrente fornecida e, obtendo boa luminância para o ambiente.

A potência aferida dos equipamentos é baixa, mas já consegue atender circuitos de baixa potência, portanto, teria potência suficiente para alimentar um circuito de iluminação de, por exemplo, um banheiro, corredores e salas de menor área útil.

As medidas foram feitas com amperímetro, voltímetro e manômetros para obter os resultados práticos conforme figuras apresentadas nos resultados. Mesmo com uma corrente baixa, foi possível acender 8 leds de uma fita de led.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho acadêmico apresenta o estudo de um modelo sustentável de geração distribuída, inicialmente, não independente devido a potência dos geradores para a proposta de acessibilidade econômica. Sendo considerada viável diante do baixo custo de manutenção e investimento.

A princípio, este projeto se trata de um protótipo e, está sendo estudada a aplicabilidade em escalas gradualmente crescentes. Sendo possível, em essência, unicamente quando o local de estudo possuir fonte hídrica suficiente.

Sabendo que este experimento é apenas uma mini-usina, podendo ser ampliado, usando geradores de maior capacidade em fontes de águas em uso contínuo, para aplicação em iluminação de áreas comuns de estabelecimentos e condomínios.

Diante dos estudos apresentados e, por meio da etapa de estada da arte, pode-se definir o projeto como aplicável conforme sua intenção. Sugere mitigar problemas de geração centralizada, porém, não substituir, coexistir.

6.1.Recomendações Para Trabalhos Futuros

A partir deste trabalho é possível, futuramente, desenvolver equipamentos e sistemas de micro geração de energia elétrica. Mas, para a obtenção de um melhor aproveitamento dos recursos, seria conveniente a utilização de medidores de tensão, corrente e potência para melhor acompanhamento da produção dos equipamentos.

Um ótimo possível instrumento de medição seria o *smartmeter*, que possibilitaria o acompanhamento constante dos equipamentos em funcionamento. Nos trabalhos realizados foram utilizados multímetros digitais que, apesar de sua importância, exigem constante manipulação e coleta de dados para a análise ser proveitosa.

O estudo em maior escala deste protótipo de sistema de geração pode ser uma ideia profícua, visando a utilização em grandes reservatórios como caixas d'água de condomínios ou prédios.

O modelo de microgerador também pode ter utilidade para aplicações em pequena escala, funcionando como sinalizador de fluxo em tubulações de ambiente industrial, ou como indicador de vazamento de registros e válvulas.

7. REFERÊNCIAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica; **Micro e Minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica / agência nacional de energia elétrica**. 2. ed – Brasília; ANEEL, 2016.

ABNT, **NBR-5626**, rev.2020. <https://ecivilufes.files.wordpress.com/2013/06/nbr-05626-1998-instalac3a7c3a3o-predial-de-c3a1gua-fria.pdf>

BRANCO, Samuel Murgel. **Energia e Meio Ambiente**; São Paulo; Ed. Moderna, 1990.

Correia, Rodrigo Vieira Pimentel; **Operação de Grupos Motor-Gerador Instalados no Centro de Referência Tecnológica da Embratel**; rio de Janeiro, 2017. Disponível em< <http://www.monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10022684.pdf>. Acesso em 28 de abril.

CREDER, Hélio. **Instalações elétricas**. 15ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

FONTES, Ruy, **Fontes de Energia Alternativas**, 31 de julho, 2019.

FREITAS, G.C.; DATHEIN, R. **As energias renováveis no Brasil: uma avaliação acerca das implicações para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental**. Revista Nexos Econômicos, v. 7, n. 1, 2013.

LOURENÇO, Heliton; LOBÃO, Elidio de C. **Análise da Segurança do Trabalho em Serviços com Eletricidade sob a Ótica da Nova NR-10**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 6. 2016, Ponta Grossa. CONBREPO, 2016.

MARTINO, G.; **Eletricidade industrial**: Volume 1 ed. São Paulo, Hemus Editora Ltda, 1982.

MODESTO, André Marcio; **Geração Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica**; Maio 2011. Disponível em< <https://www.passeidireto.com/arquivo/89519513/geracao-transmissao-e-distribuicao-de-energia-eletrica>> Acesso em 27 de abril.

MOURA, Ailson P; MOURA, et al.; **Geração hidroelétrica e eolioelétrica**, Fortaleza, 2019.

PEREIRA, Geraldo Magela. **Projeto de usinas hidrelétricas passo a passo**; São Paulo, 2015.

Regina Caus, T; Michels, A. (s.d.). **Energia Hidrelétrica: Eficiência na Geração**. Página inicial | Manancial - Repositório Digital da UFSM. Disponível em< https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/1380/Caus_Tuane_Regina.pdf?sequence=1>. Acesso em 15 de julho de 2023.

SALES, Raquel. **Como funciona um gerador de energia? Descubra**. Disponível em< <https://blog.acoplastbrasil.com.br/gerador-de-energia>>. Acesso em 27 de abril 2021.

Santos, Kelly Vinente dos **Fundamentos de eletricidade**. Centro de Educação Tecnológica do Amazonas, Manaus, 2011.

Santana, Adrielle de Carvalho. Unidade 2 - **Aula 5 - Geradores de Corrente Contínua**. Disponível em: < http://professor.ufop.br/sites/default/files/adrielle/files/aula_5.pdf>. Acesso em 15 de julho de 2023.

SANTINI, Giuliana Aparecida; Marconato, Mariane Silva; **Alternativas para a Geração de Energia Renovável no Brasil: a Opção pela Biomassa**. Disponível em < https://www.researchgate.net/publication/241751628_alternativas_para_a_geracao_de_energia_renovavel_no_brasil_a_opcao_pela_biomassa. Acesso em: 28 de abril de 2021.

SIMIONI, Carlos Alberto. **O uso de energia renovável sustentável na matriz energética. 2006**. 314 f. Universidade Federal de Paraná, 2006.

SOSNOSKI, André Sandor Kajdacsy Balla; **Produção de Energia por Mini Hidrelétricas na rede de Distribuição de Água**, São Paulo, 2015. Disponível em < https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-03052016-141852/publico/AndreSandorKajdacsyBallaSosnoski_PPGEC_Corrigida_2015.pdf. Acesso em: 28 de abril de 2021

TABELA DE VAZÃO DE ÁGUA A 15°C ATRAVÉS DE TUBOS SCHEDULE 40. (s.d.). Disponível em <http://www.valaco.com.br/inf_tecnicas/vazaoagua.html>. Acesso em 15 de julho de 2023.

TANAKA, Hugo Shigueo. **Geradores Elétricos**. Disponível em <<https://www.todoestudo.com.br/fisica/geradores-eletricos>. Acesso em: 28 de abril de 2021.

TORRES, Carlos Magno A. et al **Ciências e tecnologia**, 4º edição, São Paulo, 2016.

8. ANEXOS

TABELA DE VAZÃO DE ÁGUA A 15°C ATRAVÉS DE TUBOS SCHEDULE 40																
Vazão (l/min.)	V	Δp	V	Δp	V	Δp	V	Δp	V	Δp	V	Δp	V	Δp	V	Δp
	1/8"		1/4"													
1	0,46	0,73	0,25	0,17	3/8"		1/2"									
2	0,92	2,59	0,5	0,6	0,27	0,14	0,17	0,04	3/4"							
3	1,38	5,59	0,75	1,22	0,41	0,29	0,26	0,09	0,14	0,02	1"					
4	1,84	9,57	1	2,09	0,54	0,48	0,34	0,15	0,19	0,04	0,12	0,01				
5	2,29	14,5	1,25	3,18	0,68	0,7	0,43	0,22	0,24	0,06	0,15	0,02				
6	2,75	20,3	1,5	4,46	0,82	0,98	0,51	0,31	0,29	0,08	0,18	0,02	1.1/4"			
8	3,67	35,2	2,01	7,36	1,09	1,69	0,68	0,52	0,39	0,13	0,24	0,04	0,14	0,01	1.1/2"	
10			2,51	11,8	1,36	2,52	0,85	0,8	0,48	0,19	0,3	0,06	0,17	0,02	0,13	0,01
15			3,76	25,7	2,04	5,37	1,28	1,69	0,72	0,4	0,45	0,12	0,26	0,03	0,19	0,02
20	2"				2,72	9,24	1,7	2,84	0,96	0,68	0,6	0,21	0,34	0,05	0,25	0,03
30	0,23	0,02	2.1/2"				2,55	6,17	1,44	1,45	0,9	0,44	0,52	0,11	0,38	0,05
40	0,31	0,03	0,22	0,01			3,4	10,7	1,92	2,5	1,2	0,76	0,69	0,19	0,51	0,09
50	0,39	0,04	0,27	0,02					2,41	3,83	1,5	1,14	0,86	0,29	0,63	0,14
60	0,46	0,06	0,32	0,02					2,89	5,41	1,8	1,61	1,03	0,4	0,76	0,17
70	0,54	0,1	0,38	0,03	3"				3,37	7,27	2,1	2,15	1,21	0,54	0,89	0,25
80	0,62	0,09	0,43	0,04	0,28	0,01	3.1/2"		3,85	9,27	2,4	2,76	1,38	0,69	1,01	0,32
90	0,69	0,12	0,49	0,05	0,32	0,02	0,24	0,01			2,7	3,47	1,55	0,86	1,14	0,4
100	0,77	0,14	0,54	0,06	0,35	0,02	0,26	0,01	4"		3	4,25	1,72	1,05	1,27	0,49
150	1,15	0,3	0,81	0,13	0,52	0,04	0,93	0,02	0,3	0,01	4,5	9,3	2,58	2,26	1,9	1,03
200	1,54	0,51	1,08	0,21	0,7	0,07	0,52	0,04	0,41	0,02			3,44	3,91	2,54	1,81
250	1,92	0,77	1,35	0,32	0,87	0,11	0,65	0,05	0,51	0,03	5"				3,17	2,74
300	2,31	1,1	1,62	0,45	1,05	0,15	0,78	0,07	0,61	0,04	0,39	0,01			3,8	3,82
350	2,69	1,47	1,89	0,61	1,22	0,2	0,92	0,1	0,71	0,05	0,45	0,02	6"		4,44	5,18
400	3,08	1,92	2,16	0,78	1,4	0,26	1,05	0,13	0,81	0,07	0,52	0,02	0,36	0,01	5,07	6,69
450	3,46	2,39	2,43	0,98	1,57	0,33	1,18	0,16	0,91	0,08	0,58	0,03	0,4	0,01	5,71	8,45
500	3,85	2,95	2,7	1,2	1,75	0,4	1,31	0,2	1,01	0,1	0,65	0,03	0,45	0,01		
550	4,23	3,55	2,97	1,44	1,92	0,48	1,44	0,23	1,11	0,12	0,71	0,04	0,49	0,02		
600	4,62	4,2	3,24	1,69	2,1	0,57	1,57	0,27	1,22	0,15	0,78	0,05	0,54	0,02		
650	5	6,88	2,51	1,97	2,27	0,66	1,7	0,32	1,32	0,17	0,84	0,06	0,58	0,02		
700	5,39	5,63	3,78	2,28	2,45	0,76	1,83	0,37	1,42	0,19	0,9	0,06	0,63	0,03		
750	5,77	6,44	4,05	2,6	2,62	0,86	1,96	0,42	1,52	0,22	0,97	0,07	0,67	0,03		

Tabela 6 – Teste 1, sem carga, terminais dos geradores conectados ao medidor.

Fonte: http://www.valaco.com.br/inf_tecnicas/vazaoagua.html

Notas:

1. Vazão expressa em litros por minuto;
2. Para converter em outras unidades de medidas acesse a seção de Conversões de Medidas;
3. V = Velocidade em metros por segundo;
4. Δp = Perda de pressão em bar por 100 metros.