

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM GESTÃO E
REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS - PROFÁGUA

RAFAEL DOS SANTOS

**ESTUDOS SOBRE A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM
ÁGUAS URBANAS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CAMPO MOURÃO

2020

RAFAEL DOS SANTOS

**ESTUDOS SOBRE A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM
ÁGUAS URBANAS**

**Studies on the generation of electricity with
urban waters**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Eudes José Arantes.

CAMPO MOURÃO

2020



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

Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho para fins não comerciais, desde que atribuam a você o devido crédito e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão



RAFAEL DOS SANTOS

ESTUDOS SOBRE A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM ÁGUAS URBANAS.

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Instrumentos Da Política De Recursos Hídricos.

Data de aprovação: 04 de Novembro de 2020

Prof Eudes Jose Arantes, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.a Cristiane Kreutz, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Jefferson De Queiroz Crispim, Doutorado - Universidade Estadual do Paraná (Unespar)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 05/11/2020.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento. Agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR pelo apoio recebido.

RESUMO

A cada dia tem crescido o número de estudos sobre novas fontes de energias, melhor aproveitamento e maior eficiência. Existe a possibilidade de transformar a energia cinética das águas urbanas em outras formas de energias, como por exemplo, a elétrica. Para construir uma barragem hidrelétrica geram-se impactos ambientais. Logo, se for possível gerar uma quantidade relevante de energia elétrica com águas urbanas, como por exemplo, águas residenciais, poderia se diminuir a necessidade de hidrelétricas e assim reduzir impactos em bacias hidrográficas. Esta pesquisa tem como um de seus objetivos estudar a transformação da energia cinética das águas urbanas em energia elétrica, através de geradores de pequeno porte e baixo custo que foram construídos. Além disso, analisar vantagens e desvantagens entre a geração de energia com águas de barragens hidrelétricas e a geração de energia com águas urbanas. No Brasil ainda são escassas as pesquisas sobre geração de energia com águas urbanas. O gerador e as turbinas foram construídos com peças que foram adaptadas, a montagem e os ajustes foram realizados manualmente. Foram realizados ensaios com água direto da rede de abastecimento, água de reservatório e água da chuva. Foram realizadas leituras de tensão e corrente, foram feitas estimativas de potência aparente. O gerador projetado e construído funcionou conseguindo acender seis lâmpadas de LEDs de três volts simultaneamente. Gerou-se uma tensão de aproximadamente sete volts utilizando o gerador. Pode-se observar que existe a possibilidade de alcançar melhores resultados com novas pesquisas utilizando equipamentos mais eficientes.

Palavras-chave: Geração de energia. Águas urbanas. Barragens hidrelétricas. Bacias hidrográficas.

ABSTRACT

Each day the number of studies on new sources of energy, better use and greater efficiency has grown. There is the possibility of transforming the kinetic energy of urban waters into other forms of energy, such as electrical. To build a hydroelectric dam, environmental impacts are generated. Therefore, if it is possible to generate a relevant amount of electricity with urban waters, such as residential waters, the need for hydroelectric plants could be reduced and thus reduce impacts on river basins. This research has as one of its objectives to study the transformation of the kinetic energy of urban waters into electrical energy, through small and low cost generators that were built. In addition, to analyze advantages and disadvantages between the generation of energy from hydroelectric dams and the generation of energy from urban waters. In Brazil, research on energy generation with urban waters is still scarce. The generator and turbines were built with parts that were adapted, the assembly and adjustments were carried out manually. Tests were carried out with direct water from the supply network, reservoir water and rainwater. Voltage and current readings were taken, apparent power estimates were made. The designed and constructed generator worked by successfully turning on six three-volt LED lamps simultaneously. A voltage of approximately seven volts was generated using the generator. It can be seen that there is a possibility of achieving better results with new research using more efficient equipment.

Key- Words: Power generation. Urban water. Hydroelectric dams. River basins.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 OBJETIVOS.....	8
2.1 Geral	8
2.2 Específicos	8
3 JUSTIFICATIVA.....	9
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	10
4.1 Barragens hidrelétricas e outras fontes de energias renováveis	10
4.2 Alguns impactos ambientais causados por barragens	14
4.3 Acidentes e incidentes envolvendo barragens	17
4.4 Geradores elétricos para águas urbanas e geração de energia	18
4.5 Turbinas	25
5 MATERIAIS E MÉTODOS	28
5.1 Construção do gerador	28
5.2 Turbina exposta e enclausurada.....	35
5.3 Malha modular geradora de energia	38
5.4 Instalação hidráulica e perda de carga.....	39
5.5 Ensaios exploratórios	41
5.5.1 Ensaios com água direto da rede de abastecimento.....	41
5.5.2 Ensaios com água do reservatório	43
5.5.3 Ensaios com água da chuva e ensaios de perda de carga	46
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
6.1 Instalação hidráulica e perda de carga.....	48
6.2 Ensaios exploratórios	50
6.2.1 Ensaios com água direto da rede de abastecimento.....	50
6.2.2 Ensaios com água do reservatório	52
6.2.3 Ensaios com água da chuva e ensaios de perda de carga	56
6.3 Gerador (avulso) e Malha modular geradora de energia	57
6.4 Considerações.....	59
7 PRODUTO	60
8 CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS.....	62

1 INTRODUÇÃO

A cada dia tem crescido o número de estudos sobre novas fontes de energias e maneiras de aproveitá-las com mais eficiência. Existe a possibilidade de transformar energia contida em águas urbanas em energia elétrica através de pequenos geradores. Segundo o site da Empresa de Pesquisa Energética (2020), o Balanço Energético Nacional de 2018, informa que 65,2% da matriz elétrica brasileira de 2017 é de fontes hidráulicas. Conforme o site da Agência Nacional de Energia Elétrica (2020), as águas contidas nos reservatórios de barragens podem ser utilizadas para regularizar a vazão em uma determinada seção de um rio, em períodos de estiagem.

A construção de barragens hidrelétricas gera impactos ambientais na bacia hidrográfica de um rio. Logo, se for possível gerar uma quantidade relevante de energia elétrica com águas urbanas, como por exemplo, águas residenciais, poderia diminuir a necessidade de barragens hidrelétricas e assim diminuir impactos em bacias hidrográficas. Ainda, criar-se empregos com a construção e manutenção destes geradores elétricos para águas urbanas. Acrescenta-se que uma bacia hidrográfica sem barragem hidrelétrica, em muitos casos, pode facilitar a gestão hídrica e importar em segurança hídrica. Segundo Adam (2008), uma melhor gestão dos recursos hídricos urbanos pode contribuir com a redução da pobreza e importar em melhoria da saúde e melhoria da qualidade de vida. Quanto à segurança hídrica pode-se citar:

Segurança hídrica para abastecimento urbano de água pode ser definido como a garantia de provimento de quantidade e qualidade de água bruta suficiente para o abastecimento público, associado a um determinado risco de escassez, tendo como referencial a bacia hidrográfica. (CARVALHO DE MELO, 2016, p.9).

Esta pesquisa tem como um de seus objetivos estudar a transformação da energia potencial e cinética de águas urbanas em energia elétrica, através de geradores de pequeno porte, que foram construídos especificamente para esta função. Além disso, analisar vantagens e desvantagens entre a geração de energia com águas de barragens e geração de energia com águas urbanas.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Estudar a geração de energia elétrica com águas urbanas.

2.2 Específicos

- Pesquisar e construir um gerador pequeno que corresponda ao porte hídrico das águas urbanas.
- Quantificar tensão, corrente e potência aparente produzida pelo gerador de energia para águas urbanas.
- Contribuir com a fase inicial das pesquisas sobre geração de energia com águas urbanas no Brasil, criando-se bases e linhas de pesquisas;
- Analisar vantagens e desvantagens entre a geração de energia com águas de barragens hidrelétricas e a geração de energia com águas urbanas, comparando principalmente questões relativas à gestão hídrica, aos impactos ambientais e a segurança hídrica;
- Fazer um manual sobre pequenos geradores hidrelétricos para águas urbanas.

3 JUSTIFICATIVA

A energia é algo que move a sociedade, porém a geração desta pode ter um custo elevado e gerar impactos no meio ambiente. Logo, o aproveitamento da mesma com mais eficiência pode trazer benefícios econômicos, ambientais entre outros. Se a geração de energia elétrica com águas urbanas mostrar-se eficiente para gerar uma quantidade relevante de energia, poderá reduzir a necessidade de utilizar energia de outras fontes, como por exemplo, a energia gerada por barragens hidrelétricas. Se a necessidade de se construir barragens hidrelétricas reduzir, diminuirão também os impactos em bacias hidrográficas, e isto importaria em benefícios à gestão de recursos hídricos e em segurança hídrica.

Na engenharia brasileira são poucas as pesquisas na área de geração de energia elétrica com águas urbanas e também poucos os produtos específicos que podem ser aplicados nesta área. Logo, o presente trabalho tem também um caráter exploratório, visando juntar conhecimento de diversas áreas, fazer análises conceituais e experimentais, buscando formar bases para a área explorada. Além disso, este trabalho busca contribuir com a fase inicial das pesquisas sobre geração de energia com águas urbanas no Brasil, criando-se bases científicas e literárias para as linhas de pesquisas.

Sendo importante que a exploração se desenvolva para então serem esclarecidas as novas linhas de estudos. Quanto à pesquisa exploratória, Gil (1991) descreve, entre outras coisas, que esta tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, que seu objetivo principal pode estar relacionado com a descoberta de intuições e que seu planejamento é bastante flexível. A presente pesquisa busca uma opção para a geração de energia limpa e de baixo custo, sendo que esta alternativa resulta em desenvolvimento sustentável. Ainda, Montibeller filho (1999) relaciona o desenvolvimento sustentável com a melhoria da qualidade de vida das populações atuais, sem comprometer as possibilidades das gerações futuras.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Barragens hidrelétricas e outras fontes de energias renováveis

Uma barragem é uma barreira artificial, construída em um corpo hídrico, para se fazer contenção de água, formando um reservatório que possa ser utilizado para diversos fins. Segundo Soares Júnior (2013), uma usina hidrelétrica pode ser definida como sendo um conjunto de obras e equipamentos, que tem por finalidade a geração de energia elétrica utilizando o potencial hidráulico de um rio. Na Figura 1 é possível ver a barragem hidrelétrica de Itaipu.

Figura 1- Vista aérea da barragem hidrelétrica de Itaipu, Brasil.



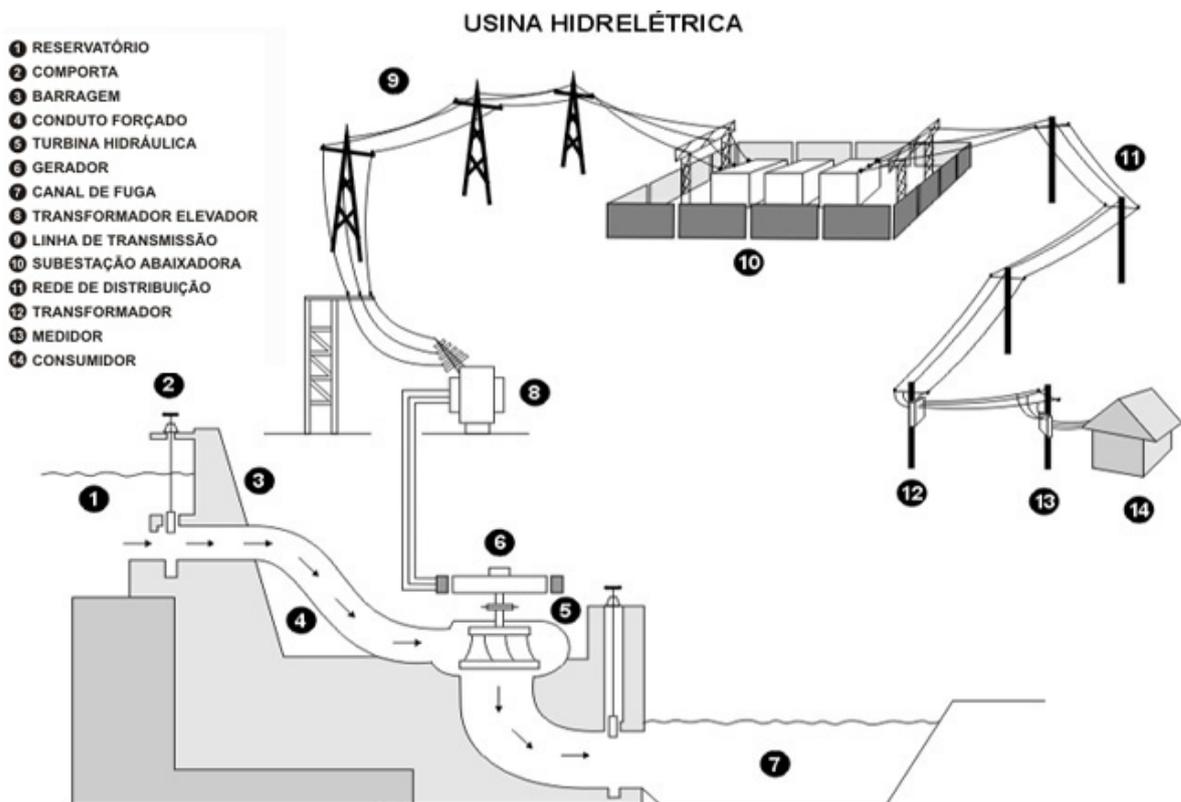
Fonte: Jornal de Itaipu eletrônico (2011).

Mello Júnior (2000) evidencia que um fator importante na construção de usinas hidrelétricas de pequeno porte, próximas ao local de consumo da energia, está relacionado com a preservação do equilíbrio do meio ambiente. Antes da construção de uma usina hidrelétrica, devem ser feitos planejamentos e estimativas de durabilidade. Segundo Sousa (2000), as usinas hidrelétricas são investimentos planejados para um longo tempo, são frequentes as hidrelétricas que são utilizadas por algumas gerações.

Existem hidrelétricas de diferentes portes, este geralmente é definido pela potência instalada. Segundo Agência Nacional de Águas (2013), a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) classifica as hidrelétricas em três categorias diferentes: Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH), com até 1MW de potência instalada; Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), entre 1,1 MW e 30 MW de potência Instalada; e Usina Hidrelétrica de Energia (UHE), com potência instalada acima de 30 MW.

Na Figura 2 é mostrado, de maneira simples, um esquema superficial de uma barragem hidrelétrica e de seu sistema de distribuição de energia, sem apresentar detalhes mais específicos de cada parte do sistema. Observando que cada sistema de geração de energia elétrica tem as suas particularidades.

Figura 2- Esquema de uma usina Hidrelétrica.



Fonte: Duarte (2007).

Segundo o site da Empresa de Pesquisa Energética (2020), grande parte da energia elétrica produzida no Brasil vem de usinas hidrelétricas. Quanto à necessidade de serem feitos estudos prévios antes da construção destes modelos de barragens cita-se a lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.

Atualmente é possível encontrar vários estudos sobre a energia eólica. Segundo Matos Melo (2012, p.5): “[...] a energia cinética contida nos ventos é convertida em energia mecânica rotacional nas pás da turbina, para a realização de trabalho mecânico ou conversão em energia elétrica”. Parte da energia contida no vento é transformada em energia elétrica pelo conjunto turbina gerador eólico. Na Figura 3 é apresentada uma turbina eólica.

Figura 3- Turbina eólica.



Fonte: Energybras (2020).

Atualmente é possível encontrar muitas pesquisas relacionadas com a energia solar. Segundo Lira (2017, p. 30): “A conversão direta da energia contida na radiação solar em eletricidade é possível graças ao efeito fotovoltaico [...]”. Os módulos fotovoltaicos fazem a conversão da radiação solar em energia elétrica. Na Figura 4 é apresentado um conjunto de módulos fotovoltaicos.

Figura 4- Módulos fotovoltaicos.



Fonte: Energybras (2020).

Segundo o site da Empresa de Pesquisa Energética (2020), o Balanço Energético Nacional de 2018, informa que a soma das fontes de energia solar e eólica representam 6,9% da matriz elétrica brasileira de 2017. O meio ambiente tem sofrido impactos devido às ações humanas. Existe uma busca constante por novas fontes de energia. Também pode-se gerar energia a partir da biomassa, quanto a isto pode-se citar:

Qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica é classificada como biomassa. De acordo com a sua origem, pode ser: florestal (madeira, principalmente), agrícola (soja, arroz e cana-de-açúcar, entre outras) e rejeitos urbanos e industriais (sólidos ou líquidos, como o lixo). (ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL, 2008, p 67).

Ainda, segundo o Atlas de Energia Elétrica do Brasil (2008), a biomassa poder ser queimada em caldeiras e a energia térmica resultante pode ser utilizada na produção do vapor, este vapor pode acionar as turbinas usadas no trabalho mecânico requerido nas unidades de produção e as turbinas para geração de energia elétrica.

Ainda, segundo o Atlas de Energia Elétrica do Brasil (2008), do ponto de vista social, a criação de novos empregos diretos e indiretos tem sido reconhecida como um dos principais benefícios da biomassa. Ainda, conforme o site da Empresa de Pesquisa Energética (2020), a biomassa representa 8,2% da matriz elétrica brasileira de 2017 segundo o Balanço Energético Nacional de 2018.

4.2 Alguns impactos ambientais causados por barragens

A água é um bem de grande valor para o homem e necessário para a sua subsistência. Quanto à importância da água, Faria (2007) descreve que a água é um recurso natural essencial à vida, pois sendo indispensável, encontra-se em todos os organismos vivos, sendo elemento insubstituível em muitas atividades humanas, além de ajudar a manter o equilíbrio do meio ambiente.

Quanto à necessidade de se realizarem estudos prévios na bacia hidrográfica antes da construção de uma barragem hidrelétrica, Chioqueta (2011) evidencia que qualquer alteração realizada sem estudo prévio em uma bacia hidrográfica pode trazer consequências desastrosas, pode causar mudanças no nível da água e na sua qualidade, causando assim problemas de abastecimento, ou ainda, a total inutilização da bacia como uma fonte de água. A construção de uma barragem hidrelétrica pode causar vários impactos ambientais na bacia hidrográfica, quanto a isto pode-se citar:

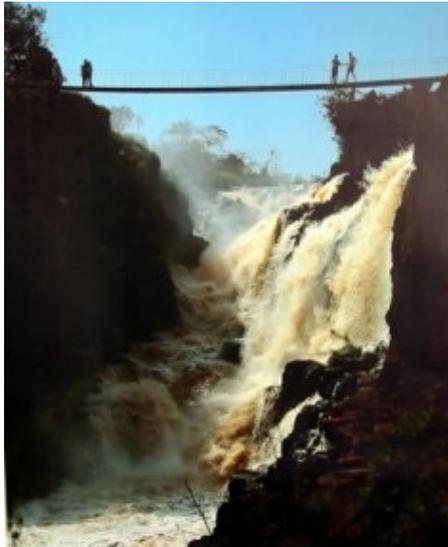
Os impactos físicos mais comuns são a diminuição da correnteza do rio alterando a dinâmica do ambiente aquático, com isso o fluxo de sedimentos é alterado favorecendo a deposição deste no ambiente lótico, a temperatura do rio também é modificada, tendendo a dividir o lago da represa em dois ambientes: um onde a temperatura é mais baixa (o fundo do lago) e outro onde a temperatura é mais alta (superfície do lago). (SOUSA, 2000, p.10).

Outra consequência da construção de uma barragem hidrelétrica é o alagamento de terras produtivas. Segundo Mendes (2005), os lagos formados para serem utilizados em usinas hidrelétricas, geralmente atingem áreas com solos férteis deixando-as submersas, provocando a saída compulsória da população, assim desintegrando costumes e tradições.

As barragens podem trazer danos ao meio ambiente. Para Mendes (2005) os lagos das usinas hidrelétricas afetam a fauna e a flora, além de fazerem desaparecer vestígios de culturas antepassadas que poderiam ser estudadas.

Um fato que chama a atenção, foi o desaparecimento das Sete quedas (Figura 5), que foi submersa pelo reservatório de água que é utilizado para a geração de energia na barragem hidrelétrica de Itaipu. Segundo MS hoje (2012), o alagamento das Sete quedas ocorreu em outubro de 1982.

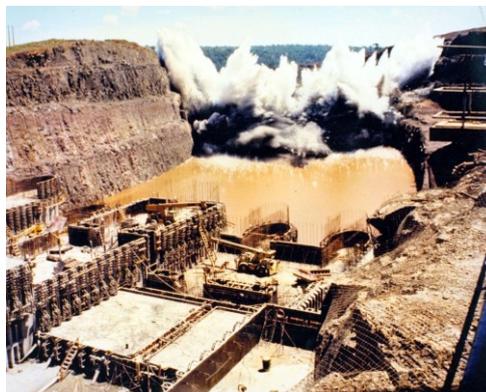
Figura 5 - Sete quedas.



Fonte: MS hoje (2012).

Para construir uma barragem geralmente é necessário desviar o canal do rio, porém esta tarefa não é tão simples. Para isto, muitas vezes, é preciso romper rochas e terras, sendo que, às vezes, para isto se utiliza explosivos. Segundo o Portal da cidade (2018), na Figura 6 é apresentada a explosão do canal de desvio para a construção da usina de Itaipu.

Figura 6 - Explosão de canal.



Fonte: Portal da cidade (2018).

A Usina Hidrelétrica de Balbina localiza-se no estado do Amazonas. Segundo Félix (2016), existe questionamento em relação ao ponto de vista técnico e econômico quanto à capacidade de produção energética da UHE de Balbina. Ainda, segundo Félix (2016), a UHE de Balbina gerou impactos negativos na fauna e flora local, provocando o processo de desterritorialização e reterritorialização de indígenas. Segundo Lima (2015), na Figura 7 é apresentada uma parte do lago da UHE Balbina, neste local existe grande concentração de árvores mortas, juntamente com troncos que formam os chamados paliteiros.

Figura 7- Paliteiros.



Fonte: Lima (2015).

Segundo Mendes (2005), a UHE Porto Primavera teve o canteiro de obras instalado no distrito de Primavera, que está localizado no município de Rosana. Ainda, segundo Mendes (2005), para a construção da UHE Porto Primavera foi feito o remanejamento dos moradores ribeirinhos que tiveram suas residências ou local de trabalho inundados pela formação do lago.

4.3 Acidentes e incidentes envolvendo barragens

Uma barragem geralmente exige constante monitoramento, pois um acidente envolvendo-a poderia gerar as seguintes consequências: mortos, feridos, desabrigados, destruições urbanas e rurais, interrupções nos setores industriais etc. Segundo Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2018), a quantidade de barragens indicadas como mais vulneráveis subiu de 25 em 2016 para 45 em 2017, a maior parte dos casos demonstra problemas de baixo nível de conservação, mas ainda existem outros motivos como a insuficiência do vertedor e falta de documentação que comprovem a estabilidade da barragem. Na história existem vários registros de acidentes e incidentes envolvendo barragens, houve casos em que pequenas cidades foram gravemente danificadas e muitas pessoas morreram. O Relatório de Segurança de Barragens 2017(2018), disponibilizado pela Agência Nacional de Águas, fornece o Quadro 1 com os seguintes acidentes e incidentes com barragens ocorridos no Brasil em 2017.

Quadro 1 - Lista de acidentes e incidentes ocorridos no Brasil no ano de 2017.

Data	Evento	Nome da barragem	UF	Empreendedor	Órgão fiscalizador	Causa provável
06/1/2017	Acidente	Rincão dos Kroeff	RS	Não informado	SEMA/RS	Cheia
16/2/2017	Acidente	Cacimba Nova	PE	Ministério da Integração Nacional	ANA	Percolação pela fundação
03/3/2017	Acidente	Barreiros	PE	Ministério da Integração Nacional	ANA	Percolação pela fundação
01/12/2017	Acidente	Lageado	MS	Luciano Loureiro	IMASUL/MS	Galgamento
07/3/2017	Incidente	Açude dos Irmãos	PB	Prefeitura de São José de Caiana	AESA/PB	Vertedor insuficiente quase causou galgamento
10/3/2017	Incidente	PCH Tamboril	GO	Tamboril Energética	ANEEL	Rompimento parcial de membrana PEAD e aterro na margem esquerda
08/5/2017	Incidente	Conjunto de Baías VIGA	MG	Ferrous Resources do Brasil SA	ANM	Recalque após remoção de rejeitos/sedimentos
23/5/2017	Incidente	Conjunto de Baías VIGA	MG	Ferrous Resources do Brasil SA	ANM	Recalque após remoção de rejeitos/sedimentos
05/6/2017	Incidente	Pindoba	AL	Desconhecido	SEMARH/AL	Vertedor insuficiente quase causou galgamento
11/7/2017	Incidente	Casa de Pedra	MG	CSN Mineração S.A.	ANM	Surgências após elevação do nível da água do reservatório alteado
07/2017	Incidente	PCH Rodulf	SC	Heidrich & Heidrich Ltda	ANEEL	Pequeno rompimento em junta de dilatação
12/8/2017	Incidente	PCH Verde 4A	MS	Phoenix Geração de Energia S.A.	ANEEL	Vazamento dentro da casa de força
05/10/2017	Incidente	Capané	RS	IRGA-RS	SEMA/RS	Excesso de percolação
16/12/2017	Incidente	Água Limpa	ES	Prefeitura de Jaguaré	AGERH/ES	Material carreado obstruindo vertedor

Fonte: Relatório de Segurança de Barragens 2017 (2018).

Ainda, segundo o Relatório de Segurança de Barragens 2017 (2018, p.71): “Acidente: comprometimento da integridade estrutural com liberação incontrolável do conteúdo de um reservatório ocasionado pelo colapso parcial ou total da barragem ou de estrutura anexa”. Ainda, segundo o Relatório de Segurança de Barragens 2017 (2018, p. 72): “Incidente: qualquer ocorrência que afete o comportamento da barragem ou estrutura anexa que, se não for controlada, pode causar um acidente”.

4.4 Geradores elétricos para águas urbanas e geração de energia

Referente às águas urbanas, cita-se Tucci (2008, p. 100): “As águas urbanas englobam o sistema de abastecimento de água e esgotos sanitários, a drenagem urbana e as inundações ribeirinhas, a gestão dos sólidos totais [...]”.

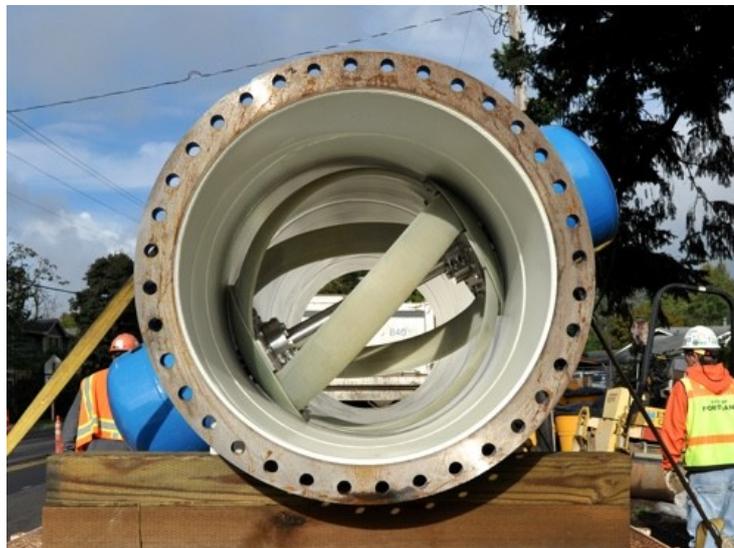
Na presente pesquisa, foi considerado que as águas urbanas são aquelas que se encontram dentro das áreas urbanas. Comumente as áreas urbanas são delimitadas nos planos diretores dos municípios ou em documento complementar. As águas urbanas podem ser oriundas de diversas fontes, como por exemplo, da água da chuva, da água de abastecimento urbano, da água de rios que atravessam o município etc. Quanto ao plano diretor dos municípios cita-se a lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Sobre águas prediais pode-se citar a norma de Instalação predial de água fria NBR 5626 de 1998, que estabelece exigências e recomendações relativas ao projeto, execução e manutenção da instalação predial de água fria.

O tema energia é de notória relevância para as pessoas, pois a energia facilita o trabalho delas, e não só isto, mas a energia também move a sociedade. Segundo Bezerra (2017), o mundo atravessa um período de mudanças na forma de produção de energia, as fontes renováveis têm sido as mais investigadas pela rede científica internacional. Ainda, conforme Alvarez (1998, p.7): “O uso racional e eficiente de energia elétrica tem como paradigma a implementação de ações que otimizem o uso de energia elétrica [...]”.

Geradores elétricos são máquinas que transformam uma energia de alimentação, como por exemplo, a mecânica, em energia elétrica. Segundo Russo (2012), máquina elétrica é o nome genérico dado aos dispositivos que fazem a conversão de energia elétrica para energia mecânica (motores), a conversão de energia mecânica para energia elétrica (geradores), ou ainda, que convertem níveis de tensão e corrente alternada (transformadores).

A empresa estadunidense LucidEnergy desenvolveu um equipamento para a geração de energia elétrica com águas urbanas, que já foi utilizado na cidade de Portland nos Estados Unidos. O sistema desenvolvido se chamou *LucidPipe Power System* (LPS). Segundo o site da empresa LucidEnergy (2020), o LPS pode ser montado em linha nos tubos de uma rede de água e pode gerar eletricidade utilizando o excesso de pressão que existe na tubulação, reduzindo o assim o trabalho de válvulas de redução de pressão. Na Figura 8 é apresentada uma visão interna do *LucidPipe Power System*.

Figura 8 - LucidPipe Power System.



Fonte: Lucid Energy (2020).

A empresa TRAXCO, localizada na Espanha, comercializa uma miniturbina solidária a um pequeno gerador de energia. Segundo a TRAXCO (2020), a miniturbina de 2 polegadas consegue gerar uma energia de 1KWh com uma vazão de 10 litros por segundo. Na Figura 9 é apresentado o equipamento.

Figura 9 - Gerador e miniturbina.



Fonte: TRAXCO (2020).

Jiyun et al (2018) realizou estudos sobre o desempenho de uma turbina de fluxo cruzado em linha usada em adutoras urbanas, o tubo era DN250, a velocidade do fluxo poderia ser ajustada entre 0,5 a 3,0 metros por segundo e a queda da água máxima poderia atingir até 80 metros. Segundo Jiyun et al (2018), um gerador foi conectado ao eixo da turbina para a geração de eletricidade, em um dos casos, os resultados numéricos mostraram que se pode atingir uma eficiência máxima de 42,6% com cerca de 1565 W de potência. Na Figura 10 é apresentado o equipamento.

Figura 10 - Turbina de fluxo cruzado e equipamentos para testes.



Fonte: Jiyun et al (2018).

Iorra (2013), baseado em suas estimativas numéricas, descreve que com uma pressão de 20 metros de coluna de água, provinda da rede hidráulica pública, para alimentar um prédio com um consumo diário de 36 mil litros de água, se consegue gerar uma energia de 35,28 KWh/mês com um gerador de rendimento igual a 60%.

A potência está relacionada com um trabalho realizado em um intervalo de tempo. Referente à potência aparente, cita-se Markus (2011, p.187): “Em um circuito, a potência aparente total fornecida pelo gerador é o produto da sua tensão pela corrente fornecida ao circuito”. Ainda, segundo Markus (2011), a potência aparente P_s , em volt. ampère [VA], pode ser descrita pela Equação 1.

$$P_s = V \cdot I \quad (1)$$

Onde:

P_s = Potência aparente (VA);

V = Tensão (V);

I = Corrente (A).

Ao serem feitas abordagens sobre a geração de energia ainda existem outras equações interessantes. Segundo Mello Júnior (2000), a potência hidráulica pode ser descrita pela Equação 2.

$$P_h = g \cdot \rho \cdot Q \cdot H_u \quad (2)$$

Onde:

P_h = Potência hidráulica (W);

g = Aceleração da gravidade (m/s^2);

ρ = Massa específica da água (kg/m^3);

Q = Vazão (m^3/s);

H_u = Altura útil da queda da água (m).

Foi adotado por Mello Júnior (2000), o valor de $9,81 \text{ m/s}^2$ para a aceleração da gravidade, e o valor de 1000 kg/m^3 para massa específica da água. Observando que a expressão "altura útil da queda da água" neste caso pode ser interpretada como "altura útil da coluna de água". Em tubulações de água existe um fenômeno chamado perda de carga, que está relacionado com a perda de pressão da água no interior das tubulações. A altura útil de uma coluna de água, comumente é considerada como sendo a sua altura menos a perda de carga que o escoamento sofre ao decorrer da trajetória. Gomes (2009) utilizou um manômetro diferencial, com coluna de mercúrio e escala graduada em milímetros, para a determinação de perda localizada de carga em gotejadores ao longo de um tubo.

A energia está relacionada com a capacidade de realizar trabalho. A energia se apresenta de várias maneiras na natureza, encontra-se a energia térmica, a elétrica entre outras. Uma máquina pode ser introduzida em um sistema hidráulico, fornecendo ou retirando energia em forma de trabalho. Brunetti (2008) aplica a Equação 3 para sistemas hidráulicos.

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 + H_M = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + H_{p1,2} \quad (3)$$

Onde:

Z = Cota em relação ao plano horizontal de referência;

V = Velocidade;

g = Gravidade;

P = Pressão;

γ = Peso específico;

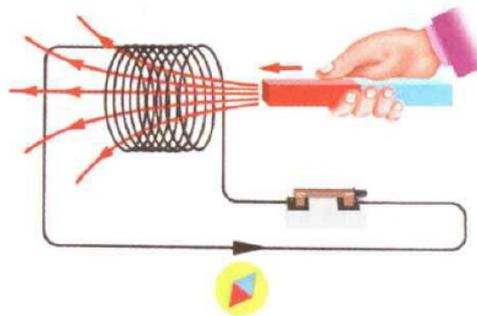
$H_{p1,2}$ = Perda de carga do ponto 1 ao 2;

H_M = Carga manométrica da máquina.

Se a máquina fornecer energia para o sistema o valor de H_M será positivo. Se a máquina retirar energia do sistema o valor de H_M será negativo.

Segundo Monteiro (2018), Faraday e Henry descobriram que não era preciso uma bateria ou uma outra fonte de tensão para gerar corrente elétrica em uma bobina, bastava somente o movimento de um ímã indo e voltando em relação à bobina. Na Figura 11 é apresentada uma ilustração a respeito deste fenômeno, que está relacionado com o funcionamento dos geradores elétricos.

Figura 11 - Geração de corrente elétrica com um ímã e uma bobina.



Fonte: Paraná (1999).

Ao enrolar alguns tipos de metais com um condutor e passar uma corrente elétrica por ele, o conjunto se comporta de uma maneira semelhante a um ímã, criando em torno de si um campo magnético. O conjunto passa a se chamar eletroímã (Figura 12). Ainda, Monteiro (2018) descreve que se uma corrente elétrica percorre um solenóide de cobre enrolado em um prego de ferro cria-se um campo magnético.

Figura 12 - Eletroímã.



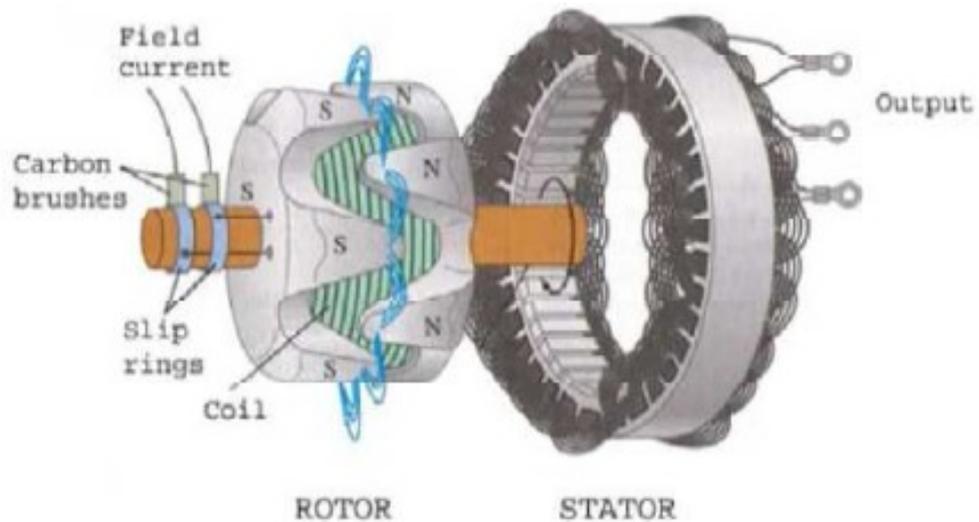
Fonte: Adaptado de Paraná (1999).

Segundo Paraná (1999), a resistência elétrica de um material é o resultado da divisão da tensão pela corrente elétrica correspondente. Esta relação é conhecida como lei de Ohm.

Segundo Russo (2012), alguns modelos de geradores são conhecidos por alternadores. Quanto aos estatores, cita-se Russo (2012, p.21): “Uma máquina síncrona é composta por um estator, que aloja um enrolamento onde será induzida ou aplicada uma tensão [...]”. Quanto aos rotores, pode-se citar Russo (2012, p.23): “Nos alternadores, o rotor é o responsável pelo campo magnético girante [...]”.

Na Figura 13 é apresentado um alternador, percebe-se que os polos do rotor são alternados em norte (N) e sul (S). Pode-se observar a representação do campo magnético formado pelos polos do rotor e observar o enrolamento do estator. Ainda, segundo Russo (2012), no alternador a corrente produzida é obtida no enrolamento do estator.

Figura 13 - Visão de um alternador do tipo Lundell.



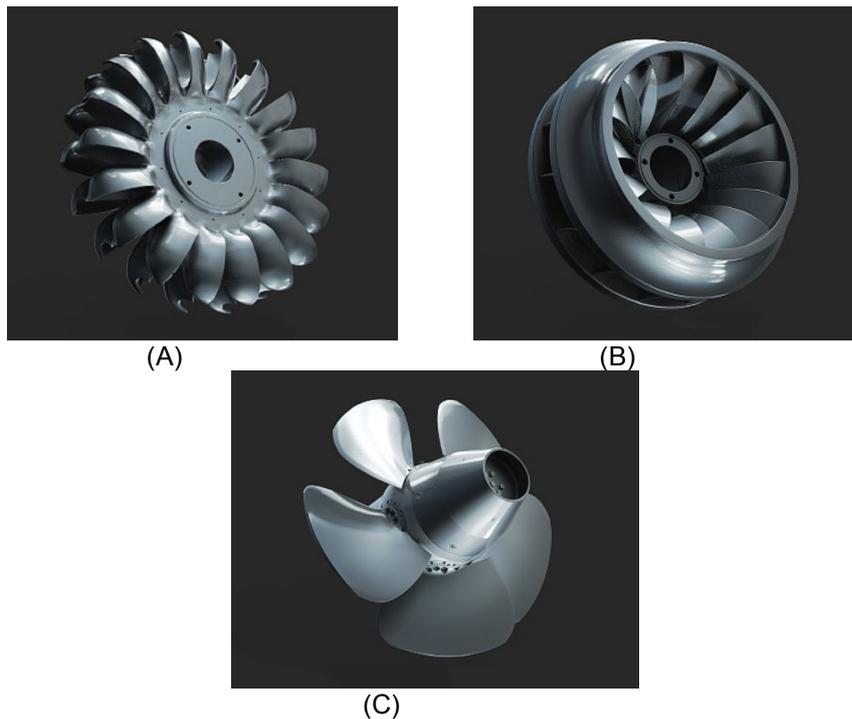
Fonte: Giancoli (1998 apud WHALEY et al, 2004).

4.5 Turbinas

Conforme Mello Júnior (2000, p.1): “As turbinas hidráulicas desempenham um papel importante na geração de energia em todo o mundo”. Geralmente as turbinas são formadas por pás ou hélices. Normalmente o fluxo de água entra na turbina axialmente ou tangencialmente. Ainda, segundo Soares Júnior (2013, p. 6): “[...] a água ao atingir a turbina a faz girar ocorrendo assim, a transformação da energia hidráulica em mecânica”.

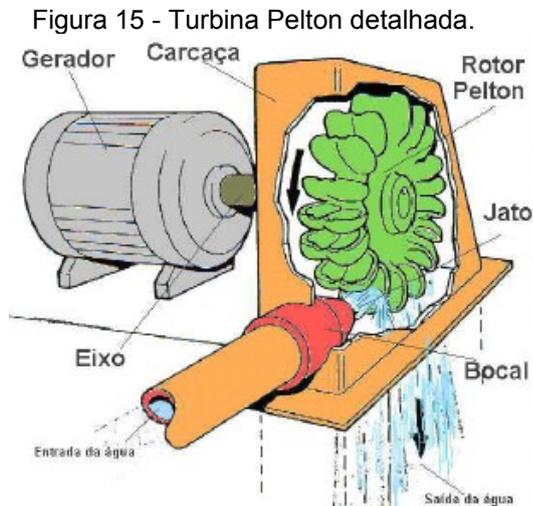
As turbinas são muito utilizadas no processo de geração de energia elétrica. Existem vários tipos e modelos de turbinas, tem que ser feito estudos prévios para saber qual é a turbina mais indicada para a situação específica. Na Figura 14 é apresentado alguns tipos de turbinas.

Figura 14 - Turbina Pelton (A) Francis (B) Kaplan (C).



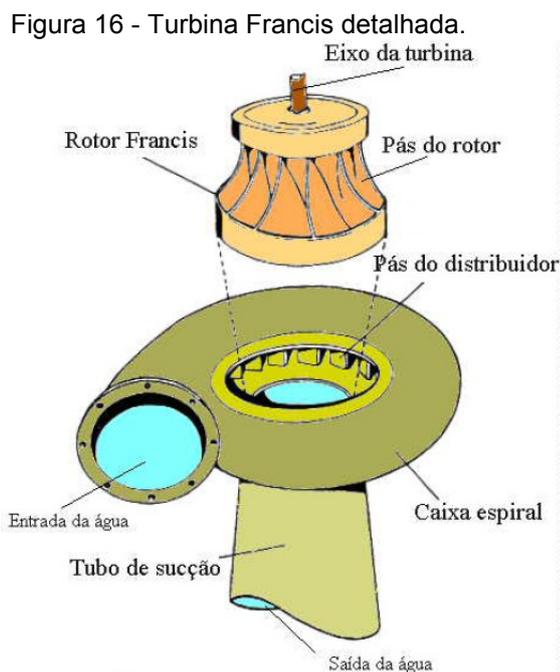
Fonte: Global hydro (2020).

As turbinas Peltons (Figura 15) são constituídas basicamente por uma roda com pás e um ou mais bicos injetores. Conforme Mello Júnior (2000), na turbina tipo Pelton o torque é produzido pela ação do jato livre sobre a dupla concha do rotor.



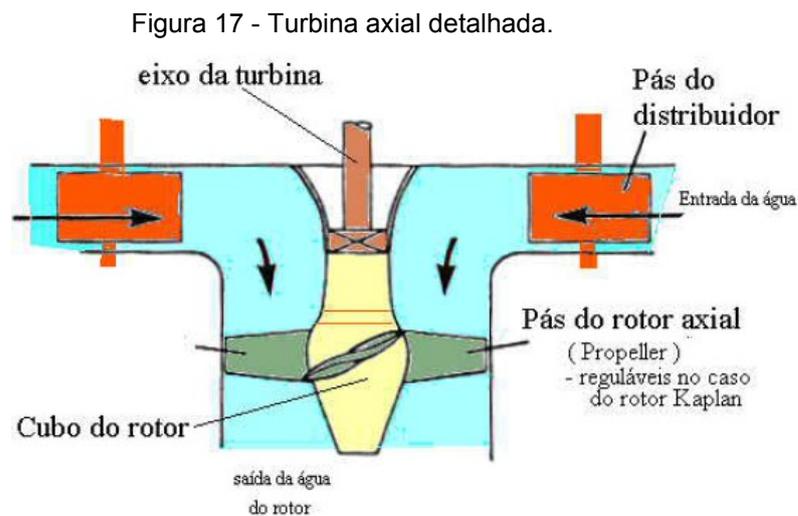
Fonte: Mello Júnior (2000).

A turbina Francis (Figura 16) é composta basicamente por um distribuidor e por um rotor, ambos constituídos por um conjunto de pás. Segundo Mello Júnior (2000), quando uma turbina Francis está em funcionamento, a água entra no rotor pela periferia, após passar pelas pás diretrizes que guiam o líquido em uma direção adequada para a entrada das pás do rotor.



Fonte: Mello Júnior (2000).

O fluxo de água entra na turbina Kaplan se chocando com as pás, que compõem a hélice, fazendo com que o rotor gire. Conforme Mello Júnior (2000), a turbina axial tradicional consiste basicamente em um rotor similar a uma hélice de um navio. Segundo Mello Júnior (2000), as turbinas axiais nas quais torna-se possível a variação dos passos das pás do rotor são conhecidas como turbinas Kaplan (Figura 17).



Fonte: Mello Júnior (2000).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Construção do gerador

O gerador foi desenvolvido com a finalidade de ser utilizado para estudos relacionados com a geração de energia com águas urbanas. O gerador com uma turbina é apresentado na Figura 18.

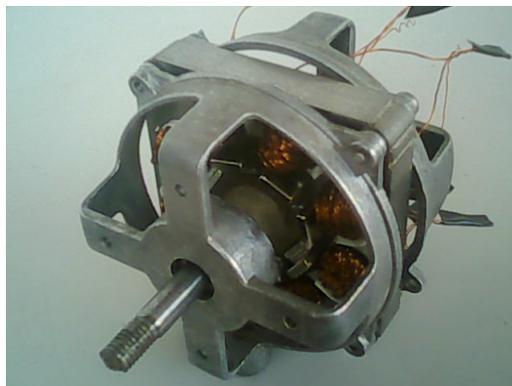
Figura 18 - Gerador.



Fonte: Aatoria própria.

Na Figura 19 é apresentado o gerador construído com um eixo reduzido, sendo que este eixo geralmente é utilizado quando se usa uma turbina avulsa, que deve ser conectada ao eixo.

Figura 19 - Gerador.



Fonte: Aatoria própria.

A carcaça do gerador foi construída a partir da carcaça de um ventilador de 30 cm. A proteção do gerador foi construída a partir de uma proteção de um ventilador e a partir de uma redução excêntrica de tubulação de esgoto com as medidas de 100x50 mm. Estes componentes podem ser vistos na Figura 20.

Figura 20 - Carcaça e proteção do gerador.



Fonte: Autoria própria.

O rotor foi construído com ímãs de neodímio N52, com as dimensões de 20x10x2 (mm), e N35, com dimensões de 30x10x3 (mm). As sapatas do rotor foram construídas com 3 peças de compensado naval em forma de octógono de lados iguais a 10,4 mm e espessura de 6 mm. A configuração do rotor pode ser vista na Figura 21.

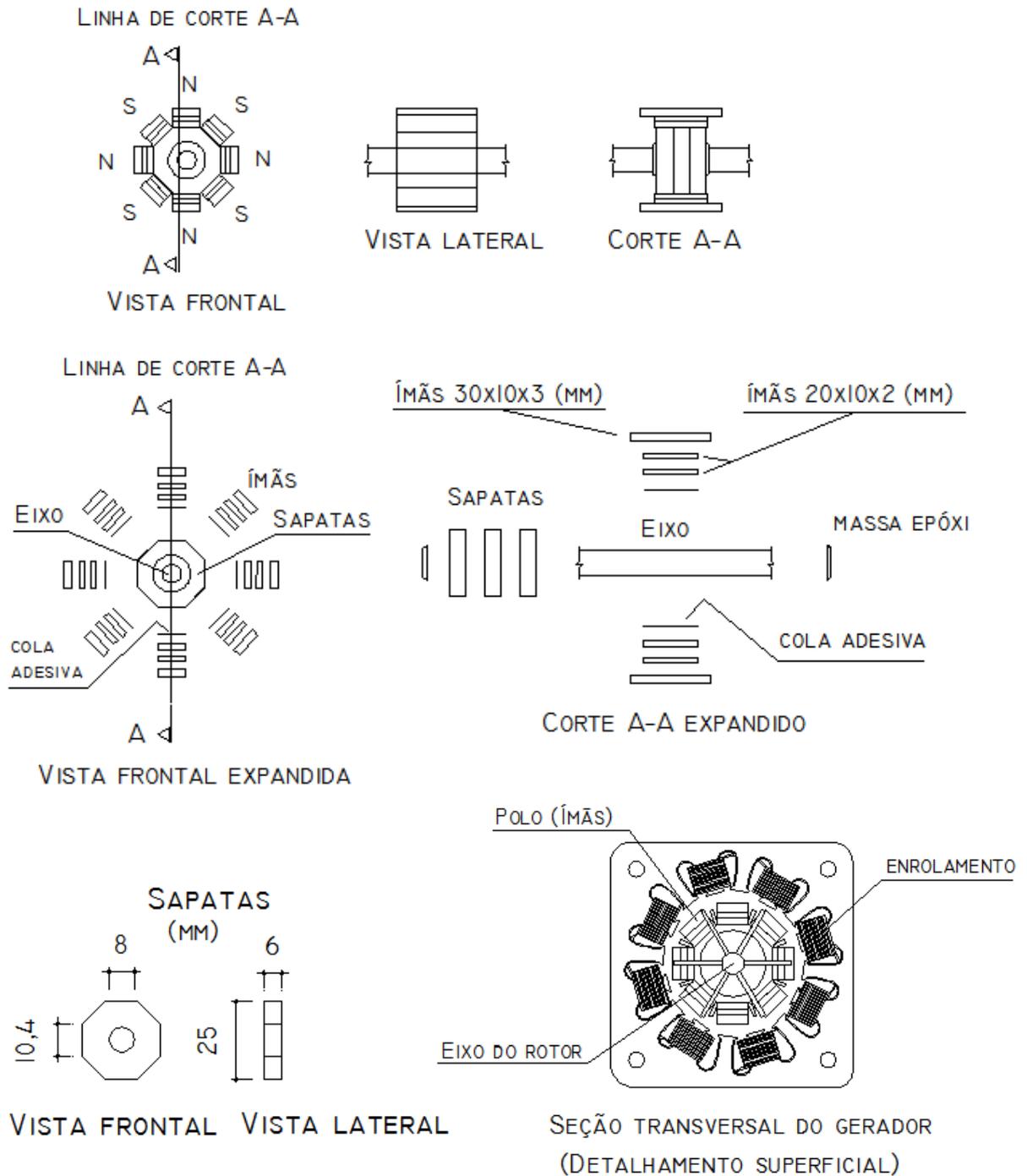
Figura 21 – Configuração do rotor.



Fonte: Autoria própria.

Alguns detalhamentos do rotor foram feitos no software AutoCAD como se pode ver na Figura 22. Foram feitas vistas frontais, vistas laterais, cortes e vistas expandidas.

Figura 22 – Detalhamento da configuração do rotor.



Fonte: Autoria própria.

Outra composição de ímãs que é interessante, é aquela em que cada um dos oito lados da sapata recebe 4 ímãs de neodímio N52 com dimensões iguais a 20x10x2 (mm). Quando se tem pouca força de rotação no rotor, muitas vezes, deve-se utilizar composições de ímãs menos potentes, como por exemplo, aquela em que cada um dos oito lados da sapata recebe 3 ímãs de neodímio N52 com dimensões iguais a 20x10x2 (mm). Uma composição com uma quantidade mínima de ímãs é aquela em que cada um dos oito lados da sapata recebe 1 ímã de neodímio N52 com dimensões iguais a 20x10x2 (mm). As composições de ímãs citadas no presente parágrafo podem ser vistas na Figura 23.

Figura 23 – Rotor com 4 ímãs por face (A) 3 ímãs por face (B) 1 ímã por face (C).



(A)



(B)

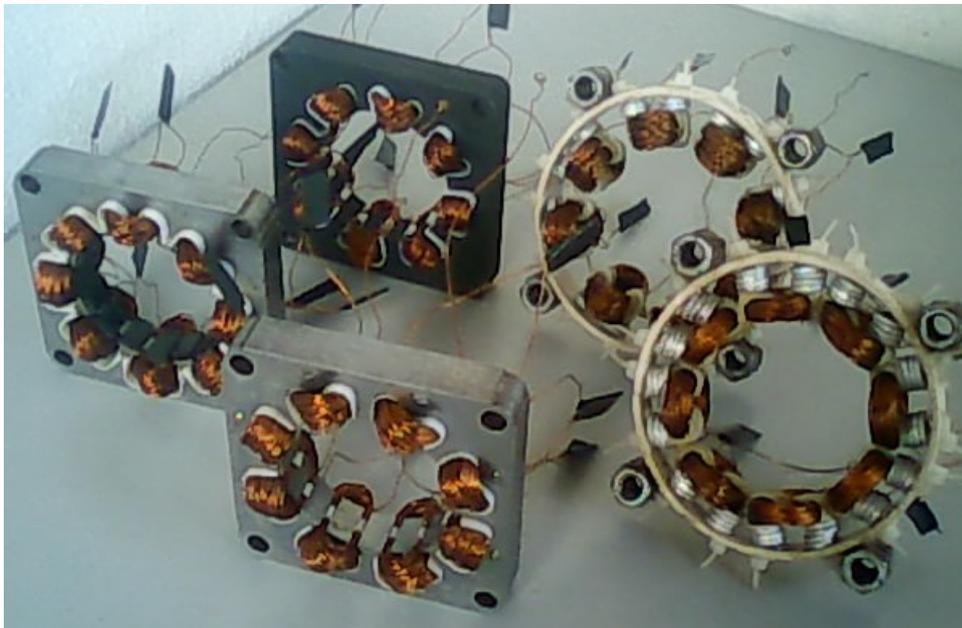


(C)

Fonte: Autoria própria.

O estator é a parte estacionária de um gerador. É nas bobinas (enrolamento) do estator que surge a corrente elétrica produzida pelo gerador. Foram desenvolvidos vários estatores para a presente pesquisa, conforme se pode ver na Figura 24. Um estator com carcaça de madeira. Dois estatores com carcaça de plástico, porém, como está apresentado na Figura 24, o enrolamento das bobinas destes dois são diferentes. Dois estatores com carcaça metálica, porém pode-se perceber na Figura 24 que em um deles há um revestimento interno com material polimérico.

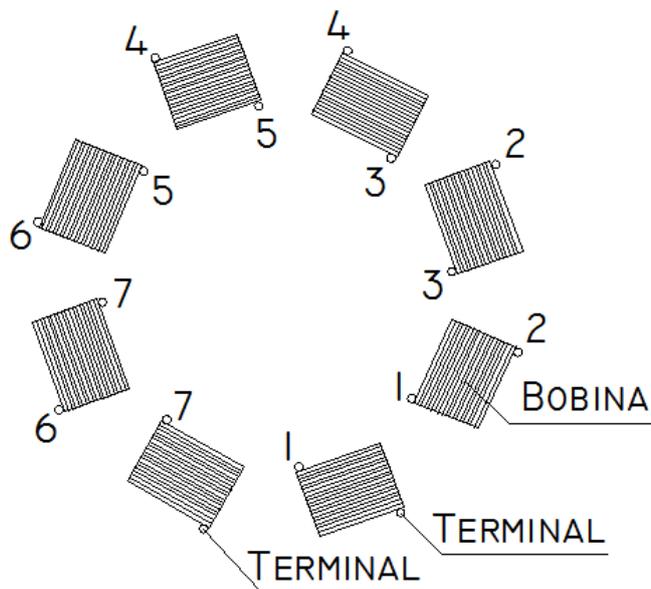
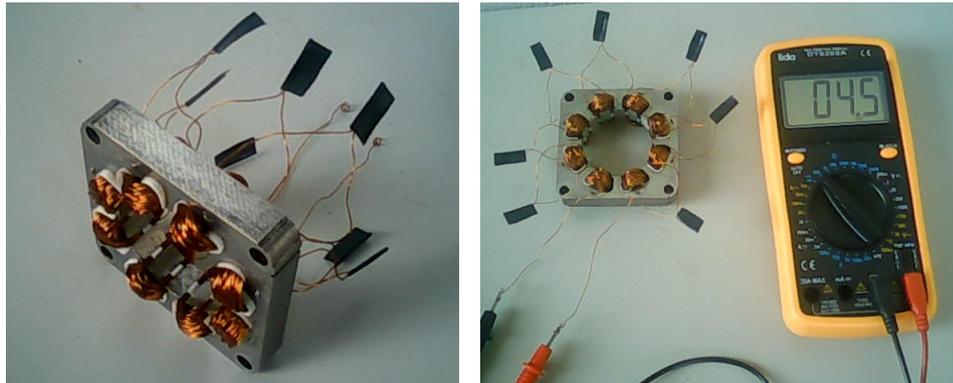
Figura 24 - Estatores desenvolvidos.



Fonte: Autoria própria.

O estator (Figura 25) é composto basicamente por 8 bobinas de aproximadamente 90 espiras cada e por uma carcaça (núcleo). Todas as bobinas são interligadas formando um único condutor. O fio utilizado para a construção das bobinas foi o 25 AWG, trata-se de um fio esmaltado. A resistência do conjunto de bobinas do estator é em torno de 4,5 ohms.

Figura 25 – Características do estator.



LIGAÇÕES DAS BOBINAS
(VISTA A PARTIR DO LADO DAS LIGAÇÕES)

Fonte: Autoria própria.

Para fazer a ventilação do gerador utilizou-se uma ventoinha de ventilador. Para a proteção dos mancais, contra sujeira e umidade, foi utilizado protetores também de ventiladores. Estes acessórios podem ser vistos na Figura 26.

Figura 26 – Ventoinha do rotor e protetor dos mancais.



Fonte: Autoria própria.

Como a carcaça do gerador e sua proteção foram adaptadas a partir das peças de um ventilador estas se encaixavam. Quanto à redução excêntrica, por ser um material polimérico, optou-se por fazer aberturas nela para encaixe. Estes encaixes são apresentados na Figura 27.

Figura 27 – Ligações das proteções.



Fonte: Autoria própria.

Para fazer a limpeza das peças, foi utilizado algodão e álcool para limpeza de componentes metálicos. Caso necessário utilizava-se produtos com propriedades desengripantes. Se necessário, as impurezas mais resistentes eram removidas com esponja de aço.

5.2 Turbina exposta e enclausurada

A turbina exposta (Figura 28) foi projetada para se assemelhar a uma turbina Pelton, pois a água que chega da tubulação pode ser considerada como um jato. A turbina foi construída de forma artesanal, utilizando oito pás de colheres fixadas com resina epóxi em uma porca.

Figura 28 - Turbina exposta.



Fonte: A autoria própria.

Para se enclausurar uma turbina, deve ser criado um sistema de vedação para água não vazar pela interface formada pela câmara de enclausuração e pelo eixo da turbina. Este sistema pode gerar resistência ao giro do eixo da turbina.

Foi desenvolvido artesanalmente uma turbina enclausurada (Figura 29). As pás da hélice foram construídas com pedaços de cano de PVC, seu eixo foi retirado de um motor de ventilador e tinha diâmetro de aproximadamente 8 mm. A parte frontal da câmara de enclausuração foi construída a partir de um CAP, de tubulação de esgoto, de 7,5 cm e a parte dorsal a partir de CAP de 10 cm. A vedação da interface formada entre a câmara e o eixo da turbina foi feita com um rolamento. As fixações e vedações necessárias foram feitas com resina epóxi.

Figura 29 – Turbina enclausurada.



Fonte: Autoria própria.

Foram desenvolvidos vários modelos de ligações para serem utilizadas como conexões entre o gerador e a turbina enclausurada. Quanto às ligações rígidas, uma foi feita com porcas interligadas por resina epóxi, e a outra ligação foi feita com talas de fustes de pregos, presas por braçadeiras. As ligações flexíveis foram feitas com pequenos pedaços de mangueiras hospitalares, visando reduzir trepidações no gerador. Nas Figuras 30 e 31 são apresentadas as conexões de eixo.

Figura 30 – Ligação entre gerador e turbina com conexão rígida.



Fonte: Autoria própria.

Figura 31 – Ligação entre gerador e turbina com conexão flexível.

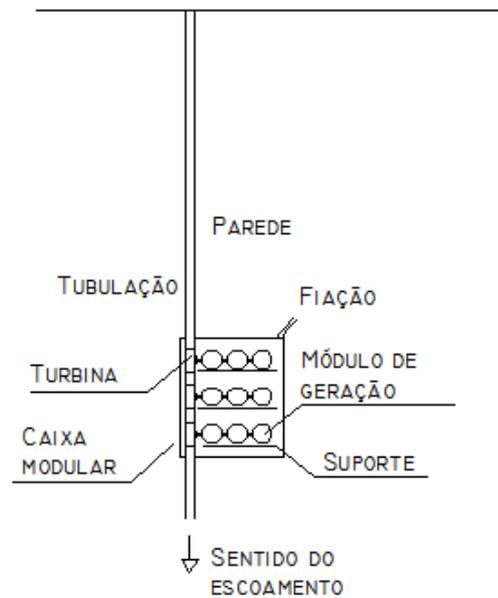


Fonte: Autoria própria.

5.3 Malha modular geradora de energia

É possível ligar em série os eixos de vários geradores e montar os conjuntos em fileiras paralelas. Assim formando uma malha modular geradora de energia, em que cada gerador passa a ser considerado um módulo de geração. Na Figura 32 é apresentado um projeto superficial, ainda em estudo, de uma malha modular geradora de energia. A quantidade de módulos de geração que pode ser utilizado em uma malha modular geradora de energia está relacionada com a energia disponível no sistema hidráulico.

Figura 32 – Malha modular geradora de energia.



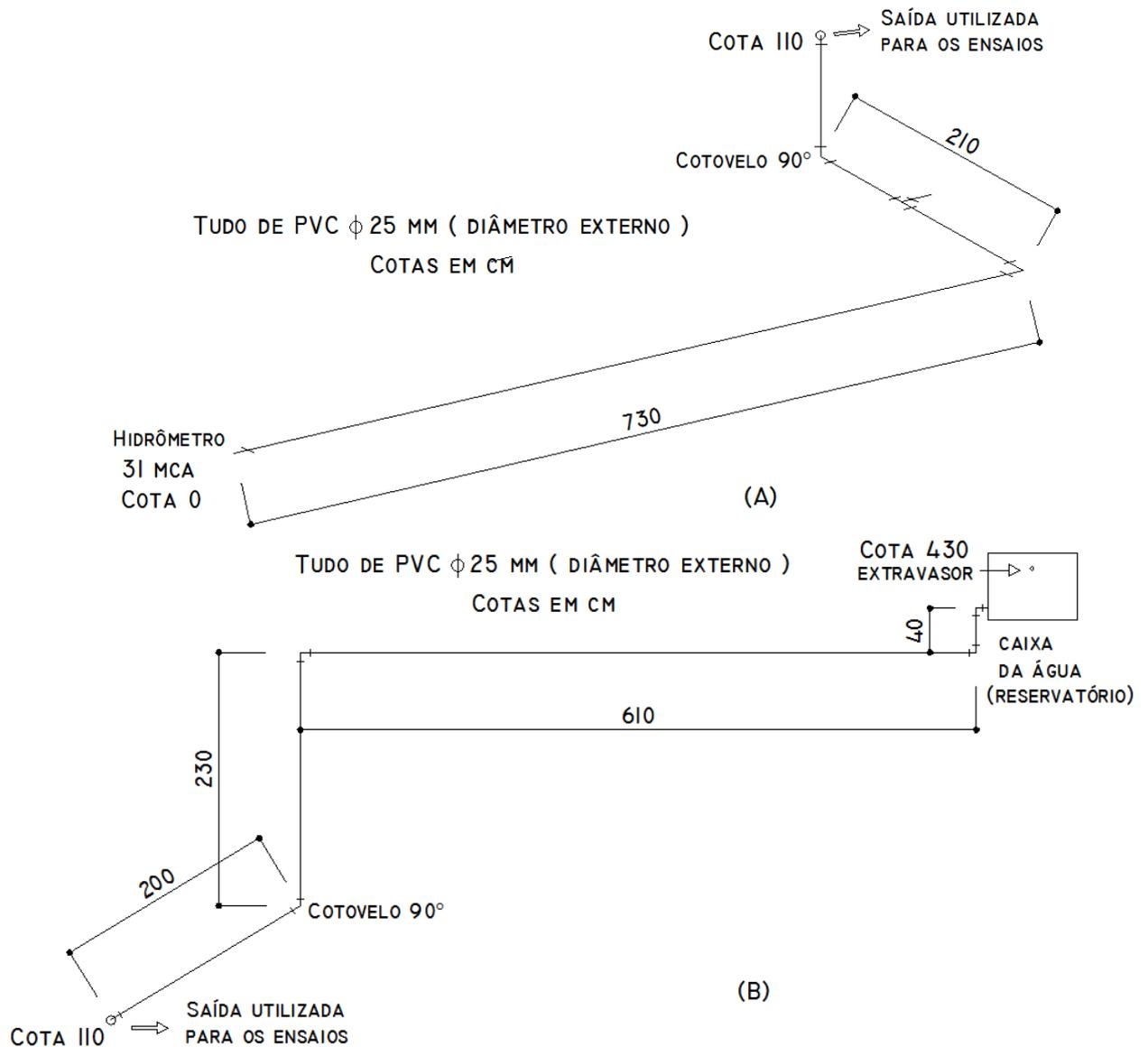
VISTA FRONTAL

Fonte: Autoria própria.

5.4 Instalação hidráulica e perda de carga

Foram obtidas algumas informações acerca da instalação hidráulica da residência onde foram realizados os experimentos. Logo, se elaborou um modelo tridimensional, com valores aproximados, buscando representar a instalação hidráulica que tem influência sobre o ponto hídrico utilizado para fazer os ensaios. O esquema da Figura 33 - A, se refere ao ensaio de geração de energia com água direto da rede de abastecimento, e o da Figura 33 - B, se refere ao ensaio de geração de energia com água do reservatório.

Figura 33 – Esquema fictício da instalação hidráulica.



Fonte: Autoria própria.

Segundo a NBR 5626 (1998, p.29): “A perda de carga ao longo de um tubo depende do seu comprimento e diâmetro interno, da rugosidade da sua superfície interna e da vazão”. Ainda, a NBR 5626 (1998) traz, entre outras, a equação de Fair-Whipple-Hsiao (Equação 4), indicada para determinação de perdas de cargas para tubos lisos de plástico.

$$J = 8,69 \times 10^6 \times Q^{1,75} \times d^{-4,75} \quad (4)$$

Ainda, conforme a NBR 5626 (1998):

J é a perda de carga unitária, em quilopascals por metro.

Q é a vazão estimada na seção considerada, em litros por segundo.

d é o diâmetro interno do tubo, em milímetros.

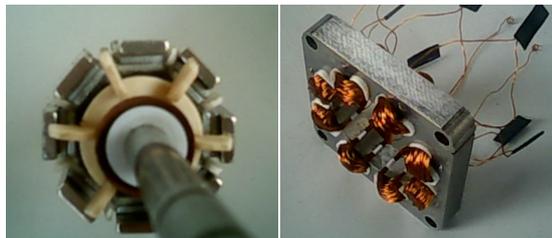
Referente à perda de carga em conexões, a NBR 5626 (1998) indica que um cotovelo de 90° de DN 20 e de tubo liso de plástico tem um comprimento equivalente de 1,2. Ainda, a citada norma indica que um “tê” de passagem direta de DN 20 e de tubo liso de plástico tem um comprimento equivalente de 0,8. Além disso, a referida norma não faz referência sobre comprimento equivalente de entrada e saída de tubulações.

5.5 Ensaios exploratórios

5.5.1 Ensaios com água direto da rede de abastecimento

Em relação aos ensaios de geração de energia, com águas direto da rede de abastecimento, utilizando o gerador com turbina exposta, para construir a haste injetora foram utilizados um cano de 25 mm de diâmetro, um registro globo e um bico de plástico. O bico da mangueira era encaixado na haste injetora. O jato era direcionado para a turbina do gerador manualmente. O rotor e o estator, que compunha o gerador utilizado no ensaio, estão demonstrados na Figura 34 e suas descrições se encontram no item 5.1. Ainda, na Figura 35 é mostrado o esquema do ensaio. A leitura de pressão no hidrômetro foi realizada com a água em estado estático. A vazão de água na saída da tubulação era cerca de $0,18 \text{ l.s}^{-1}$. Foi feita uma média com cinco leituras de tensão. As disposições sobre a instalação hidráulica e a perda de carga se encontram nos itens 5.4 e 6.1. A Equação 2 foi utilizada para o cálculo da potência hidráulica e está no item 4.4. As considerações sobre frequência estão no último parágrafo do item 6.3.

Figura 34 – Composição do gerador.



Fonte: Autoria própria.

Figura 35 - Ensaio de geração de energia com água direto da rede de abastecimento.



Fonte: Autoria própria.

Em relação aos ensaios de geração de energia, com águas direto da rede de abastecimento, utilizando o gerador com turbina enclausurada, o eixo da turbina era ligado ao eixo do gerador. O bico da mangueira era encaixado na entrada da turbina. O rotor e o estator, que compunha o gerador utilizado no ensaio, estão demonstrados na Figura 36 e suas descrições se encontram no item 5.1. Ainda, na Figura 37 é mostrado o esquema do ensaio. A leitura de pressão no hidrômetro foi realizada com a água em estado estático. A vazão de água na saída da tubulação era cerca de $0,18 \text{ l.s}^{-1}$. Foi feita uma média com cinco leituras de tensão. As disposições sobre a instalação hidráulica e a perda de carga se encontram nos itens 5.4 e 6.1. A Equação 2 foi utilizada para o cálculo da potência hidráulica e está no item 4.4. As considerações sobre frequência estão no último parágrafo do item 6.3.

Figura 36 - Composição do gerador.



Fonte: Autoria própria.

Figura 37 - Ensaio de geração de energia com água direto da rede de abastecimento.

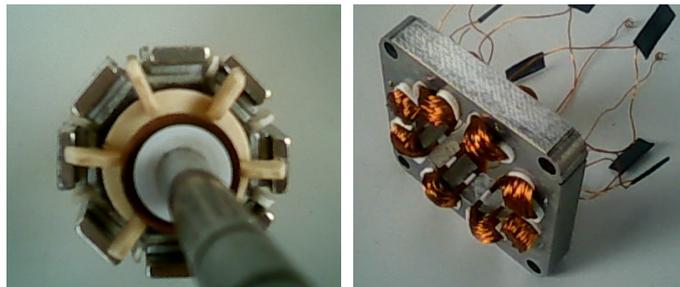


Fonte: Autoria própria.

5.5.2 Ensaio com água do reservatório

Em relação aos ensaios de geração de energia, com água do reservatório, utilizando o gerador com turbina exposta, os ensaios foram realizados sobre uma pia. O gerador foi posicionado de tal maneira que o jato da torneira atingia as pás da turbina. O rotor e o estator, que compunha o gerador utilizado no ensaio, estão demonstrados na Figura 38 e suas descrições se encontram no item 5.1. Ainda, na Figura 39 é mostrado o esquema do ensaio. A vazão de água na saída da tubulação era cerca de $0,28 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Foi feita uma média com cinco leituras de tensão. As disposições sobre a instalação hidráulica e a perda de carga se encontram nos itens 5.4 e 6.1. A Equação 2 foi utilizada para o cálculo da potência hidráulica e está no item 4.4. As considerações sobre frequência estão no último parágrafo do item 6.3.

Figura 38 - Composição do gerador.



Fonte: Autoria própria.

Figura 39 – Ensaio de geração de energia com água do reservatório.



Fonte: Autoria própria.

Em relação aos ensaios de geração de energia, com água do reservatório, utilizando o gerador com turbina enclausurada, o eixo da turbina enclausurada era ligado ao eixo do gerador. O bico da torneira foi ligado a entrada da turbina utilizando ligações intermediárias. O rotor e o estator, que compunha o gerador utilizado no ensaio, estão demonstrados na Figura 40 e suas descrições se encontram no item 5.1. Ainda, na Figura 41 é mostrado o esquema do ensaio. A vazão de água na saída da tubulação era cerca de $0,28 \text{ l.s}^{-1}$. Foi feita uma média com cinco leituras de tensão. As disposições sobre a instalação hidráulica e a perda de carga se encontram nos itens 5.4 e 6.1. A Equação 2 foi utilizada para o cálculo da potência hidráulica e está no item 4.4. As considerações sobre frequência estão no último parágrafo do item 6.3.

Figura 40 - Composição do gerador.



Fonte: Autoria própria.

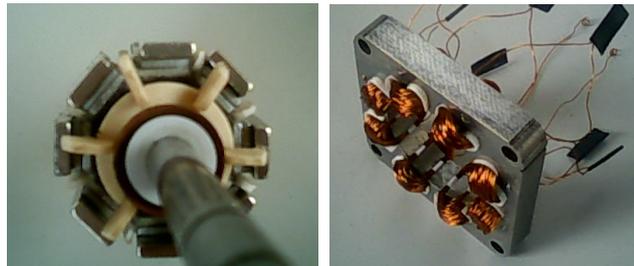
Figura 41 – Ensaio de geração de energia com água do reservatório.



Fonte: Autoria própria.

Em relação aos ensaios de geração de energia com múltiplas leituras simultâneas, com água do reservatório, utilizando o gerador com turbina exposta, os ensaios foram realizados sobre uma pia. Foram ligados dois medidores ao gerador, um para a leitura de tensão e o outro para a leitura de corrente elétrica. Foram ligados, alternadamente, alguns resistores ao gerador. O rotor e o estator, que compunha o gerador utilizado no ensaio, estão demonstrados na Figura 42 e suas descrições se encontram no item 5.1. Ainda, na Figura 43 é mostrado o esquema do ensaio. A vazão de água na saída da tubulação era cerca de $0,28 \text{ l.s}^{-1}$. Para cada um dos cinco resistores, foi feita uma média com cinco leituras de tensão e uma média com cinco leituras de corrente alternada. As disposições sobre a instalação hidráulica e a perda de carga se encontram nos itens 5.4 e 6.1. A Equação 1 foi utilizada para o cálculo da potência aparente e está no item 4.4. As considerações sobre frequência estão no último parágrafo do item 6.3.

Figura 42 - Composição do gerador.



Fonte: Autoria própria.

Figura 43 – Ensaio de geração de energia com múltiplas leituras simultâneas.



Fonte: Autoria própria.

5.5.3 Ensaio com água da chuva e ensaios de perda de carga

Foi realizado um ensaio exploratório tentando utilizar água da chuva para a geração de energia. Foi fixada uma redução excêntrica, de esgoto de dimensões de 100 x 50 (mm), na boca da calha. A partir da redução excêntrica se foi reduzindo os diâmetros da tubulação até se chegar ao diâmetro de 25 mm, para o encaixe do bico injetor. Foi colocada uma peneira simples na boca da calha. Ainda, na Figura 44 são apresentados detalhes deste esquema. Realizou-se uma limpeza superficial na calha e após poucos dias veio a primeira chuva, com a qual se realizou o ensaio.

Figura 44 – Captação de água da chuva (A) Bico injetor (B) Peneira (C).



(A)



(B)



(C)

Fonte: Autoria própria.

Este ensaio de perda de carga foi realizado nas dependências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) no Campus de Campo Mourão. O gerador foi ligado, com uma quantidade mínima de ímãs, à turbina enclausurada e após o conjunto foi ligado a um manômetro de coluna, em forma de “U”, através de duas pequenas mangueiras. Ao abrir a torneira inicia-se o escoamento e a turbina começa à rotação, era realizada a leitura no manômetro da diferença de pressão entre a entrada e a saída de água da turbina. O rotor e o estator, que compunha o gerador utilizado no ensaio, estão demonstrados na Figura 45 e suas descrições se encontram no item 5.1. Ainda, na Figura 46 é mostrado o esquema do ensaio. A vazão de água na tubulação era de aproximadamente $0,13 \text{ l.s}^{-1}$ e a pressão era cerca de 1,3 bar que equivale a 13,24 mca (adotado que 1 bar equivale a 10,19 mca). Para o ensaio foram lidos no manômetro valores de pressão por cerca de 1 minuto. Para análise de perda de carga foram utilizados dois ensaios.

Figura 45 - Composição do gerador.



Fonte: Aatoria própria.

Figura 46 - Esquema do ensaio de perda de carga.



Fonte: Aatoria própria.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Instalação hidráulica e perda de carga

Referente aos ensaios de geração de energia com água direto da rede de abastecimento, aplicando-se os devidos valores na equação de perda de carga de Fair-Whipple-Hsiao (Equação 4) obteve-se:

$$\begin{aligned}
 J &= 8,69 \times 10^6 \times Q^{1,75} \times d^{-4,75} & (4) \\
 J &= 8,69 \times 10^6 \times 0,18^{1,75} \times 22^{-4,75} \\
 J &= 0,18 \text{ KPa.m}^{-1}
 \end{aligned}$$

Onde $0,18 \text{ KPa.m}^{-1}$ é o valor da perda de carga unitária. Ainda, adotando que 1 KPa equivale a aproximadamente 0,1 mca tem-se que:

$$J = 0,018 \text{ mca.m}^{-1}$$

Relacionando os devidos comprimentos com o valor da perda de carga unitária encontrado tem-se a perda de carga ΔH .

$$\begin{aligned}
 \Delta H &= 0,018 \times (10,5 + 1,2 \times 3 + 1 \times 0,8) \\
 \Delta H &= 0,26 \text{ mca}
 \end{aligned}$$

Sendo assim, pelo disposto, considera-se que a perda de carga do escoamento referente à tubulação é de 0,26 mca.

Referente aos ensaios de geração de energia com água do reservatório, aplicando-se os devidos valores na equação de perda de carga de Fair-Whipple-Hsiao (Equação 4) obteve-se:

$$J = 8,69 \times 10^6 \times Q^{1,75} \times d^{-4,75} \quad (4)$$

$$J = 8,69 \times 10^6 \times 0,28^{1,75} \times 22^{-4,75}$$

$$J = 0,39 \text{ KPa.m}^{-1}$$

Onde $0,39 \text{ KPa.m}^{-1}$ é o valor da perda de carga unitária. Ainda, adotando que 1 KPa equivale a aproximadamente 0,1 mca tem-se que:

$$J = 0,039 \text{ mca.m}^{-1}$$

Relacionando os devidos comprimentos com o valor da perda de carga unitária encontrado tem-se a perda de carga ΔH .

$$\Delta H = 0,039 \times (10,8 + 1,2 \times 5)$$

$$\Delta H = 0,65 \text{ mca}$$

Sendo assim, pelo disposto, considera-se que a perda de carga do escoamento é de 0,65 mca.

6.2 Ensaios exploratórios

6.2.1 Ensaios com água direto da rede de abastecimento

Referente aos ensaios de geração de energia, com água direto da rede de abastecimento, utilizando o gerador com turbina exposta, a média das leituras de tensão foi de 6,64 volts em corrente alternada. A altura útil da coluna de água era de aproximadamente 29,64 metros. Aplicando a Equação 2, estima-se uma potência hidráulica de 52,33 watts. Mesmo estando a tubulação de água da rede de abastecimento sujeita a variações momentâneas de vazão era aguardado a estabilização para iniciar a coleta dos resultados. Na Figura 47 é apresentado o ensaio sendo realizado e a respectiva leitura de tensão.

Figura 47 - Ensaio (A) Leitura de tensão (B).



(A)

(B)

Fonte: Autoria própria.

Referente aos ensaios de geração de energia, com águas direto da rede de abastecimento, utilizando o gerador com turbina enclausurada, a média das leituras de tensão foi de 0,41 volts em corrente alternada. A altura útil da coluna de água era de aproximadamente 29,64 metros. Aplicando a Equação 2, estima-se uma potência hidráulica de 52,33 watts. A tensão gerada utilizando a turbina enclausurada foi pequena em relação à tensão gerada utilizando a turbina exposta, também devido à resistência natural do rolamento ao giro. Se a turbina enclausurada fosse feita com precisões industriais os resultados poderiam ser melhores. Mesmo estando a tubulação de água da rede de abastecimento sujeita à variações momentâneas de vazão era aguardado a estabilização para iniciar a coleta dos resultados. Na Figura 48 é apresentado o ensaio sendo realizado e a respectiva leitura de tensão.

Figura 48 - Ensaio (A) Leitura de tensão (B).

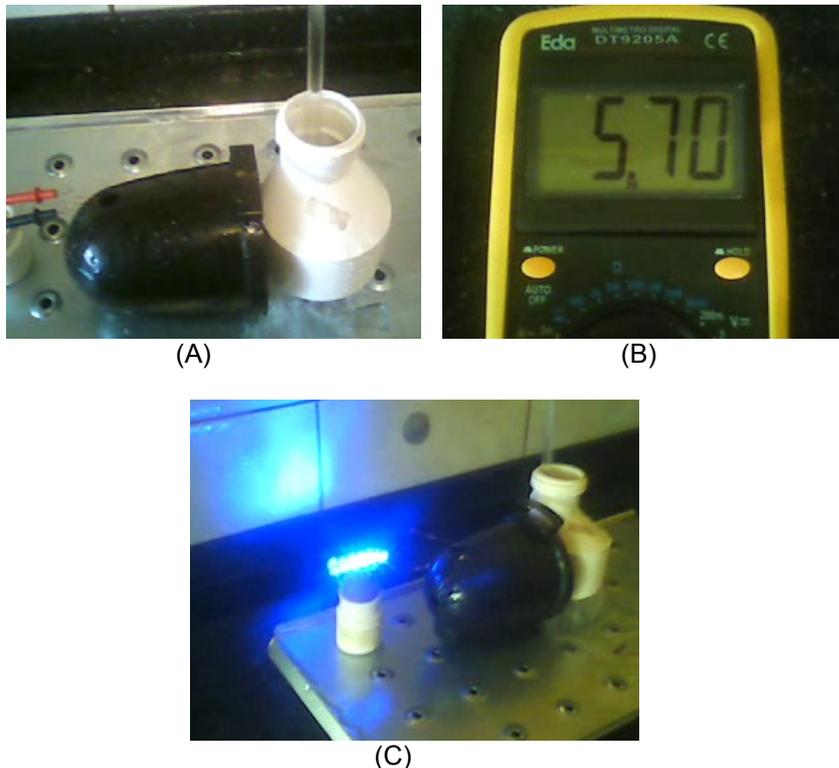


Fonte: Autoria própria.

6.2.2 Ensaio com água do reservatório

Referente aos ensaios de geração de energia, com água do reservatório, utilizando o gerador com turbina exposta, a média das leituras de tensão foi de 5,70 volts em corrente alternada. A altura útil da coluna de água era de aproximadamente 2,55 metros. Aplicando a Equação 2, estima-se uma potência hidráulica de 7,0 watts. Após foram ligados, em paralelo, aos terminais do gerador seis LEDs de 10 milímetros de diâmetro e 3 volts, foi fechado o circuito e realizado o ensaio, sem nenhum tipo de leitura, para se ter uma noção do potencial luminoso do gerador. Na Figura 49 são apresentados os ensaios realizados e a respectiva leitura de tensão.

Figura 49 - Ensaio (A) Leitura de tensão (B) luminosidade (C).



Fonte: Autoria própria.

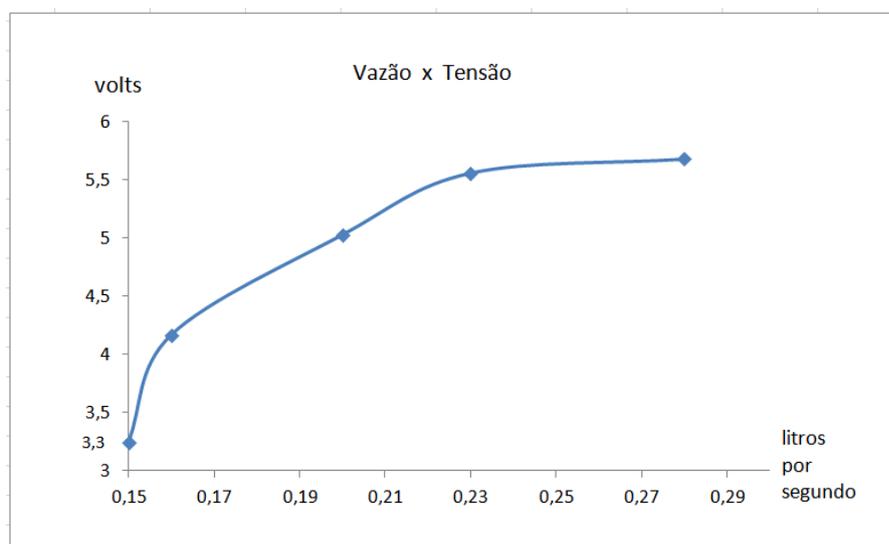
Ainda, referente aos ensaios de geração de energia, com água do reservatório, utilizando o gerador com turbina exposta, foi feita uma relação entre algumas vazões de água aplicadas na turbina e as tensões geradas. Para cada vazão foi feita uma média com cinco leituras de tensão em corrente alternada. A vazão em litros por segundo e a tensão em volts. Com o aumento da vazão aumentava-se a tensão gerada. Os resultados são apresentados na Tabela 1 e no gráfico da Figura 50.

Tabela1 - Relação entre vazão e tensão.

Gerador	
Vazão (l.s⁻¹)	Tensão (V)
0,28	5,68
0,23	5,56
0,2	5,03
0,16	4,17
0,15	3,25

Fonte: Autoria própria.

Figura 50 - Relação entre vazão e tensão.



Fonte: Autoria própria.

Referente aos ensaios de geração de energia, com água do reservatório, utilizando o gerador com turbina enclausurada, a média das leituras de tensão foi de aproximadamente 0,03 volts em corrente alternada. A altura útil da coluna de água era de aproximadamente 2,55 metros. Aplicando a Equação 2, estima-se uma potência hidráulica de 7,0 watts. A tensão gerada utilizando a turbina enclausurada foi pequena em relação à tensão gerada utilizando a turbina exposta, também devido à resistência natural do rolamento ao giro. Se a turbina enclausurada fosse feita com precisões industriais os resultados poderiam ser melhores. Na Figura 51 é apresentado o ensaio sendo realizado e a respectiva leitura de tensão.

Figura 51 - Ensaio (A) Leitura de tensão (B).



(A)

Fonte: Autoria própria.



(B)

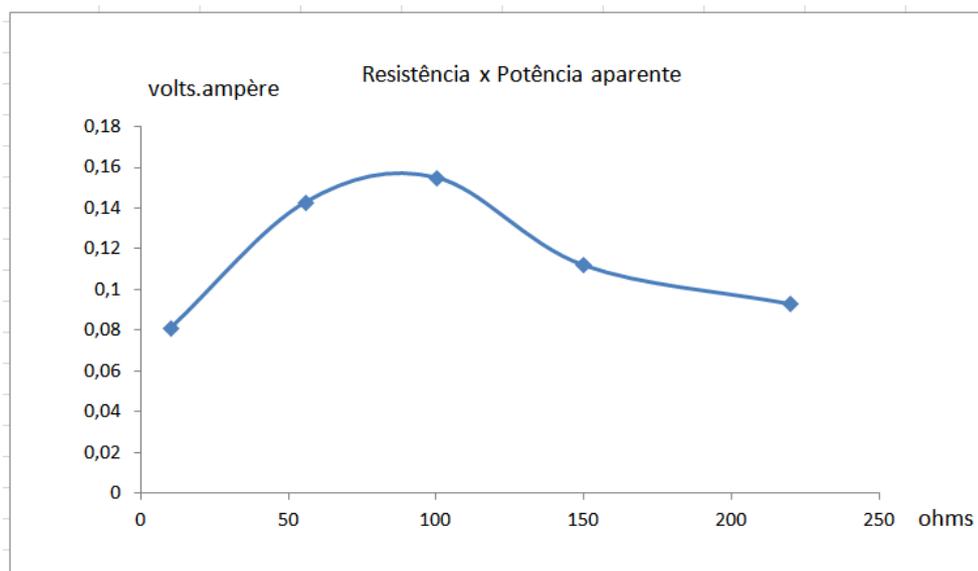
Referente aos ensaios de geração de energia com múltiplas leituras simultâneas, com água do reservatório, utilizando o gerador com turbina exposta, os ensaios foram realizados sobre uma pia. Os resultados são apresentados na Tabela 2 e no gráfico da Figura 52. Observa-se no gráfico de potência aparente, que está em função das resistências dos resistores, que existe um pico de potência gerada.

Tabela 2 – Relação entre resistência e potência aparente.

Gerador			
Resistência (Ω)	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência aparente (VA)
10	0,97	0,084	0,081
56	2,87	0,05	0,143
100	3,98	0,039	0,155
150	4,17	0,027	0,112
220	4,66	0,02	0,093

Fonte: Autoria própria.

Figura 52 - Relação entre resistência e potência aparente.



Fonte: Autoria própria.

6.2.3 Ensaio com água da chuva e ensaios de perda de carga

Referente ao ensaio de geração de energia com água da chuva, no primeiro ensaio, verificou-se com clareza que o bico injetor entupia facilmente com as impurezas trazidas pela chuva. Ainda, na Figura 53 são demonstradas imagens da realização do ensaio. Verificou-se a necessidade de se fazerem outros trabalhos mais específicos para esta área de estudo, devido à contaminação da água da chuva e a necessidade da utilização de filtros específicos.

Figura 53 - Sujeira retida na peneira (A) Bico do injetor entupido (B).



Fonte: Autoria própria.

Os ensaios de perda de carga apontaram praticamente os mesmos resultados. Nos dois ensaios, houve no manômetro uma diferença de pressão, referente à entrada e a saída da turbina, de aproximadamente 90 mmHg que equivale a 1,17 mca (adotado que 1 mmHg equivale a 0,013 mca). Mesmo estando a tubulação de água sujeita a variações momentâneas de vazão era aguardado a estabilização para a coleta dos resultados. Na Figura 54 são mostradas as leituras das pressões no manômetro.

Figura 54 – Diferença de pressão manométrica.



Fonte: Autoria própria.

6.3 Gerador (avulso) e Malha modular geradora de energia

Com o gerador desenvolvido neste trabalho foi possível à realização dos ensaios, conseguiu-se acender seis lâmpadas de LEDs de três volts. As estimativas numéricas de potências utilizando a equação 2 se mostraram significativas e estão relacionadas com a potência hidráulica disponível no local de ensaio. Lâmpadas e pilhas são exemplos de dispositivos que podem ser utilizados com geradores. Ao conectar um dispositivo a um gerador estes dois funcionam como um circuito. Logo, dependendo de como é o funcionamento interno do dispositivo ele pode influenciar no comportamento do gerador.

Se o gerador e a turbina fossem construídos com peças mais específicas industrializadas poderiam ser obtidos melhores resultados, pois estas peças são construídas com mais precisão e passam por programas de qualidade. Poderiam ser acrescentados dispositivos eletrônicos ao gerador em busca de melhores resultados. O desempenho do gerador desenvolvido neste trabalho também está relacionado com seu tempo de uso, ajustes nos parafusos e encaixes, e limpeza de polos.

Conforme exposto no item 6.2.2, aplicando a equação 2 estimou-se uma potência hidráulica de 7,0 watts. Conforme a Tabela 2 o gerador conseguiu gerar uma potência aparente máxima de 0,155 volt.ampère. Ou seja, poderia se buscar uma maneira de acrescentar ao sistema mais geradores buscando conseguir alcançar uma potência mais próxima de 7,0 watts, assim podendo criar uma malha modular geradora de energia. Ainda, a energia gerada pelo gerador poderia ser armazenada em uma bateria. As tensões de 6,64 volts e 5,70 volts, abordadas nos itens 6.2.1 e 6.2.2, foram fornecidas pelo gerador e são pequenas em relação às tensões utilizadas para alimentar grande parte dos aparelhos de uma residência.

Conforme exposto no item 6.2.1, aplicando a equação 2 estimou-se uma potência hidráulica de 52,33 watts, esta poderia ser utilizada para alimentar alguns tipos de recarregadores, como os de pilhas, e acender alguns tipos de lâmpadas. No entanto, ela é baixa em relação à potência que grande parte dos aparelhos de uma residência necessita.

Referente à malha modular geradora de energia existe um número máximo de módulos de geração que pode ser ligado a uma tubulação. Este número está relacionado com a pressão disponível para geração de energia na rede hidráulica.

Caso seja colocado uma quantidade excessiva de módulos de geração na tubulação a perda de carga será tão grande que possivelmente a água não conseguira chegar até o reservatório. Tendo o valor da perda de carga disponível para a geração de energia e o valor da perda de carga de um módulo de geração é possível fazer uma pré-estimativa da quantidade de módulos de geração que pode ser utilizado em uma residência. Observando que após o escoamento passar por uma turbina ele pode sofrer alguma alteração. Quanto a isto, cita-se o ensaio de perda de carga do item 5.5.3. Uma sugestão para trabalhos futuros é estudar maneiras de interligar os terminais dos módulos de geração formando uma rede.

Para as leituras de tensão e corrente foi utilizado um multímetro. A frequência do sinal produzido pelo gerador varia de acordo com a rotação do seu eixo. Geralmente, as especificações dos multímetros informam a precisão dos resultados apresentados para uma determinada escala de frequência (neste caso 40~400 Hz). Nos ensaios a frequência do sinal produzido pelo gerador estava sujeita a ser menor do que o limite inferior desta escala de frequência. Observando que os ensaios realizados foram exploratórios. Uma sugestão para trabalhos futuros é fazer a retificação da corrente do gerador. Na Tabela 3 são apresentados resultados de ensaios realizados com o gerador.

Tabela 3 - Resultados de tensão e potência aparente.

Fonte hídrica	Escoamento hídrico	Gerador	Turbina	
Classe	Características	Características	Exposta	Enclausurada
Água Rd	Ver item 5.5.1 e 6.2.1	Ver item 5.5.1	6,64 volts	
Água Rd				0,41 volts
Água Rt	Ver item 5.5.2 e 6.2.2	Ver item 5.5.2	5,70 volts	
Água Rt				0,03 volts
Água Rt				0,155 volt.ampère
Água Ch	Necessidade de outros trabalhos mais específicos, ver item 6.2.3			

Água Rd: Água direto da rede de abastecimento

Tensão (volts)

Água Rt: Água do reservatório

Potência aparente (volt.ampère)

Água Ch: Água da chuva

Para outros detalhes sobre os ensaios, ver nos itens "materiais e métodos" e "resultados e discussão"

Fonte: Autoria própria.

6.4 Considerações

As empresas que fazem a distribuição de água nas cidades normalmente disponibilizam para as residências uma pressão maior do que a necessária para se conseguir abastecer os reservatórios. Logo, parte da energia relacionada com esta pressão pode ser transformada em energia elétrica através de geradores.

Para a construção de geradores de pequeno porte, os materiais não precisam ser tão resistentes quanto aos utilizados em geradores de portes maiores, e isto pode resultar em peças mais leves e mais esbeltas. A utilização das águas urbanas não é constante ao decorrer do dia, porém, é possível direcionar a energia que vai sendo gerada para a rede de energia elétrica urbana.

Gerando-se energia com águas urbanas pode-se reduzir a necessidade de construção de novas barragens hidrelétricas, podendo assim evitar possíveis problemas com a piracema dos peixes, problemas com alagamentos e por consequência preservar a fauna e a flora. Ainda, podendo preservar o regime da água e a sua temperatura, sendo que a alteração destes poderia gerar a morte de seres vivos.

A não construção de barragens hidrelétricas poderia resultar em benefícios para a gestão e manutenção das bacias hidrográficas, pois não existiria a necessidade de se levar em consideração a presença da barragem hidrelétrica antes de qualquer decisão e atitude referente à bacia. Ainda, isto importaria em segurança para a bacia, pois um acidente envolvendo uma barragem hidrelétrica poderia resultar em uma tragédia.

Quanto à geração de energia com águas urbanas, esta, a princípio, não causa prejuízos à gestão e manutenção das bacias hidrográficas e nem grandes impactos ambientais. No entanto, a presente pesquisa, começa a dar condições de vislumbrar a hipótese de que com as águas urbanas seria possível gerar um potencial energético bem menor que o potencial energético gerado por barragens hidrelétricas. Uma sugestão para trabalhos futuros é fazer comparações numéricas entre a produção de energia com águas urbanas e a produção de energia com barragens hidrelétricas.

7 PRODUTO

O material denominado “Manual básico de pequenos geradores hidrelétricos para águas urbanas” está disponível de forma gratuita para download no repositório da Biblioteca da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, no link <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/>.

8 CONCLUSÃO

O gerador desenvolvido apresentou desempenho satisfatório, visto que funcionou possibilitando a obtenção dos resultados que eram buscados. Seria interessante que fossem desenvolvidas peças mais específicas para a finalidade de geração de energia com águas urbanas, peças mais esbeltas, leves e industrializadas.

O presente trabalho é uma das primeiras pesquisas na área de geração de energia com águas urbanas no Brasil e os resultados alcançados já se mostraram satisfatórios. Com o gerador conseguiu-se acender seis lâmpadas de LEDs de três volts simultaneamente, gerando uma energia luminosa notável. As estimativas de potências realizadas, utilizando a equação da potência hidráulica, se mostraram relevantes. Conseguiu-se idealizar conceitos sobre a geração de energia com águas urbanas, conseguiu-se fazer várias abordagens demonstrando como a amortização da necessidade de construções de barragens hidrelétricas poderia trazer benefícios ambientais. Pode-se observar que existe a possibilidade de alcançar melhores resultados com novas pesquisas utilizando equipamentos mais eficientes.

A presente pesquisa leva a acreditar que exista a possibilidade de reduzir a necessidade de construção de novas barragens hidrelétricas utilizando a energia elétrica gerada com águas urbanas, diminuindo assim danos relacionados com bacias hidrográficas e importando em benefícios para a segurança e gestão hídrica.

REFERÊNCIAS

- ADAM, Josiane Inácio. **Gestão de recursos hídricos numa perspectiva de sustentabilidade: uma proposta.** 2008. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção na Área de Gestão Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/92072/252393.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 15 dez. 2020.
- ALVAREZ, André Luiz Montero. **Uso racional e eficiente de energia elétrica: metodologia para a determinação dos potenciais de conservação dos usos finais em instalações de ensino e similares.** 1998. Dissertação (Mestrado na Área de Sistemas de Potência) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-17082001-000915/publico/Dissertacao.pdf> Acesso em: 15 dez. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5626:** Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro: ABNT, 1998. Disponível em: <https://webapp.utfpr.edu.br/bibservices/gedWeb> Acesso em: 29 nov. 2020.
- BEZERRA, Pedro Henrique Silva. **Energia solar concentrada: simulação do desempenho de heliostatos de pequeno porte.** 2017. Tese (Doutorado em Agronomia na Área de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2017. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/152845/bezerra_phs_dr_botfca.pdf?sequence=3&isAllowed=y Acesso em: 15 dez. 2020.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Relatório de segurança de barragens 2017.** Brasília, DF: ANA, 2018. 81 p. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/noticias/45-barragens-preocupam-orgaos-fiscalizadores-aponta-relatorio-de-seguranca-de-barragens-elaborado-pela-ana/rsb-2017.pdf/view> Acesso em: 15 dez. 2020.
- BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil.** 3ª ed. Brasília, DF: ANEEL, 2008. 236 p. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2008_AtlasEnergiaEletricaBrasil3ed/297ceb2e-16b7-514d-5f19-16cef60679fb Acesso em: 15 dez. 2020.
- BRUNETTI, Franco. **Mecânica dos fluidos.** 2ª ed. rev. São Paulo. Editora Pearson Prentice Hall. 2008.
- CARVALHO DE MELO, Marília. **Segurança hídrica para abastecimento urbano: proposta de modelo analítico e aplicação na bacia do rio das velhas, minas gerais.** 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://www.coc.ufrj.br/pt/teses-de-doutorado/391-2016/8306-marilia-carvalho-de-melo> Acesso em: 15 dez. 2020.

CHIOQUETA, Jorge Eduardo. **Diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do rio pato branco**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco, 2011. Disponível em:

http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/234/1/PB_COECI_2011_2_02.pdf

Acesso em: 15 dez. 2020.

CRITÉRIOS para rateio. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Brasília.

Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=538&idPerfil=2> Acesso em: 12 set. 2020.

DUARTE, João Luiz Botelho. **Utilização de técnicas inteligentes nas metodologias de manutenção de geradores síncronos**. 2007. Dissertação (Mestrado na Área de Ciências em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em:

<http://www.pee.ufrj.br/index.php/pt/producao-academica/dissertacoes-de-mestrado/2007-1/2007062802-2007062802/file> Acesso em: 15 dez. 2020.

ENERGYBRAS. 1 fotografia. Disponível em:

<http://energybras.com.br/segmentos-atuacao/energia-eolica>

Acesso em: 16 dez. 2020.

ENERGYBRAS. 1 fotografia. Disponível em:

<http://www.energybras.com.br/segmentos-atuacao/energia-solar-fotovoltaica>

Acesso em: 16 dez. 2020.

EXPLOSÃO do Canal de Desvio para construção de Itaipu completa 40 anos.

Portal da cidade, Foz do Iguaçu, 19 out. 2018. Disponível em:

<https://foz.portaldacidade.com/noticias/cidade/explosao-do-canal-de-desvio-para-construcao-de-itaipu-completa-40-anos> Acesso em: 12 set. 2020.

FARIA, Maria do Carmo Carvalho. **As transformações históricas e a dinâmica atual da paisagem na bacia hidrográfica do Ribeirão Biguaçu – Apucarana/PR**.

2007. Dissertação (Mestrado em Geografia na Área de Análise Regional e Ambiental) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007. Disponível em:

<http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/2794> Acesso em: 15 dez. 2020.

FÉLIX, Rodrigo de Oliveira. **Transformações socioespaciais no entorno do reservatório de Balbina – Presidente Figueiredo (AM)**. 2016. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016. Disponível em:

<https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/5299/2/Disserta%20Rodrigo%20Felix.pdf> Acesso em: 15 dez. 2020.

GIANCOLI, D.C. **Physics: Principles with applications**. 5th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1998.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3^a ed. São Paulo: Atlas, 1991.

GOMES, Anthony Wellington Almeida. **Perda localizada de carga em gotejadores integrados em tubos de polietileno**. 2009. Dissertação (Mestrado em Agronomia na Área de Irrigação e Drenagem) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-13042009-161653/publico/Anthony_Gomes.pdf Acesso em: 15 dez. 2020.

GLOBAL HYDRO, Niederranna. Disponível em: <http://www.global-hydro.eu/es/productos> Acesso em: 12 set. 2020.

HIDRELÉTRICAS. Agência Nacional de Águas (ANA), Brasília, 30 set. 2013. Disponível em: <https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/metadata.show?id=136&currTab=simple> Acesso em: 12 set. 2020.

IORRA, Paulo Roberto de Quadros. **Análise do potencial de microgeração hidroelétrica predial**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/96210/000915412.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 15 dez. 2020.

ITAIPU recebe prêmio por barragem. **Jornal de Itaipu eletrônico**, 28 set. 2011. Disponível em: <https://jie.itaipu.gov.br/node/48441> Acesso em: 12 set. 2020.

JIYUN, Du; ZHICHENG, Shen; HONGXING, Yang. Numerical study on the impact of runner inlet arc angle on the performance of inline cross-flow turbine used in urban water mains. **Energy**, Hong Kong, v.158, p. 228 - 237, 8 Junho 2018. Disponível em: www.elsevier.com/locate/energy Acesso em: 16 dez. 2020.

LIMA, Flávio Teixeira. **Uso de geotecnologias como ferramentas na identificação de atividades econômicas aplicadas a área de influência do reservatório da usina hidrelétrica de Balbina no estado do Amazonas**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos da Amazônia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2015. Disponível em: https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/7168/6/Disserta%c3%a7%c3%a3o_FlavioLima_PPGENGRA.pdf Acesso em: 15 dez. 2020.

LIRA, Rodolfo França. **Estimativa da geração de uma unidade fotovoltaica baseada na modelagem de uma célula utilizando valores da folha de dados**. 2017. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/12764/1/Arquivototal.pdf> Acesso em: 15 dez. 2020.

LUCID ENERGY, Portland. Disponível em: <http://lucidenergy.com/how-it-works/> Acesso em: 12 set. 2020.

MARKUS, Otávio. **Circuitos elétricos: corrente contínua e corrente alternada: teoria e exercícios**. 9ª ed. rev. São Paulo: Editora Érica, 2011. Disponível em: <https://webapp.utfpr.edu.br/bibservices/minhaBiblioteca> Acesso em: 29 nov. 2020.

- MATOS MELO, Marcelo Silva de. **Energia eólica: aspectos técnicos e econômicos**. 2012. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/Marcelo_Silva_de_Matos_Melo.pdf Acesso em: 15 dez. 2020.
- MATRIZ Energética e Elétrica. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 12 set. 2020.
- MELLO JÚNIOR, Antonio Gonçalves de. **A turbina de fluxo cruzado (Michell-Banki) como opção para centrais hidráulicas de pequeno porte**. 2000. Dissertação (Mestrado em energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-15052013-144737/publico/AntonioMelloJr.pdf> Acesso em: 15 dez. 2020.
- MENDES, Noeli Aparecida Serafim. **As usinas hidrelétricas e seus impactos: os aspectos socioambientais e econômicos do Reassentamento Rural de Rosana - Euclides da Cunha Paulista**. 2005. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2005. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/96258/mendes_nas_me_prud.pdf?sequence=1&isAllowed=y Acesso em: 15 dez. 2020.
- MONTEIRO, Hudson Roberto. **Experimentos demonstrativos para o estudo do eletromagnetismo**. 2018. Dissertação (Mestrado Profissional de Ensino de Física) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/10940/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 15 dez. 2020.
- MONTIBELLER FILHO, Gilberto. **O mito do desenvolvimento sustentável**. 1999. Tese (Doutorado na Área de Concentração: Sociedade e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/81183/137926.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 15 dez. 2020.
- PARANÁ, Djalma Nunes da Silva. **Física**. 7ª ed. São Paulo. Editora Ática, v.3,1999.
- RUSSO, Edison. **Sistema de geração de energia elétrica para acionamento de cargas embarcadas em máquinas agrícolas**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola na Área de Máquinas Agrícolas) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/256813/1/Russo_Edison_D.pdf Acesso em: 15 dez. 2020.
- SOARES JÚNIOR, Ricardo Luiz. **Projeto conceitual de uma turbina hidráulica a ser utilizada na usina hidrelétrica externa de Henry Borden**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10005429.pdf> Acesso em: 15 dez. 2020.

SOUSA, Wanderley Lemgruber de. **Impacto ambiental de hidrelétricas: uma análise comparativa de duas abordagens**. 2000. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <http://antigo.ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/wlemgruber.pdf> Acesso em: 15 dez. 2020.

TRAXCO, Zaragoza. Disponível em: <https://www.traxco.es/tienda/mini-turbina-hidraulica> Acesso em: 12 set. 2020.

TUCCI, Carlos E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.22, p.97-112, 2008. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10295/11943> Acesso em: 16 dez. 2020.

WHALEY, D.M.; SOONG, W.L.; ERTUGRUL, N. Extracting more power from the lundell car alternator. *In*: AUSTRALASIAN UNIVERSITIES POWER ENGINEERING CONFERENCE (AUPEC 2004), 2004, Brisbane, Australia. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.596.9000&rep=rep1&type=pdf> Acesso em: 16 dez. 2020.

30 anos sem 7 Quedas. **MS hoje**, 15 out. 2012. Disponível em: <http://www.mshoje.com/noticias/11498-30-anos-sem-7-quedas> Acesso em: 12 set. 2020.

45 barragens preocupam órgãos fiscalizadores, aponta Relatório de Segurança de Barragens elaborado pela ANA. **Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)**, Brasília, 19 nov. 2018. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/noticias/45-barragens-preocupam-orgaos-fiscalizadores-aponta-relatorio-de-seguranca-de-barragens-elaborado-pela-ana> Acesso em: 12 set. 2020.