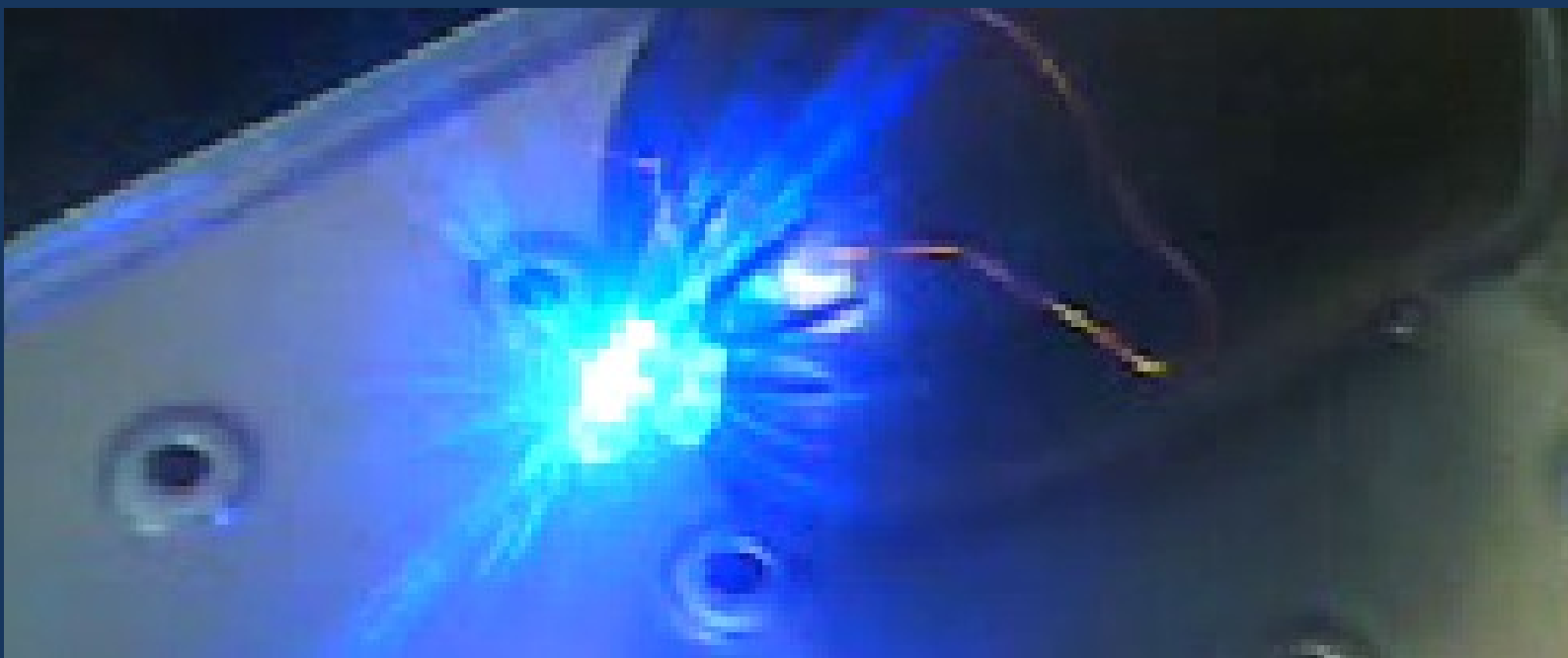


MANUAL BÁSICO DE PEQUENOS GERADORES HIDRELÉTRICOS PARA ÁGUAS URBANAS



Autoria Rafael dos Santos
Orientação Eudes José Arantes

Autoria Rafael dos Santos

Engenheiro Civil graduado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientação Eudes José Arantes

Engenheiro Civil graduado pela Universidade de São Paulo (USP). Mestre e Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP).

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

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 No. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento. Agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR pelo apoio recebido.

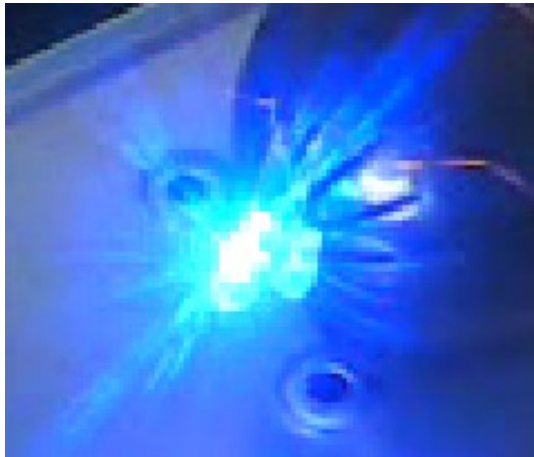
SUMÁRIO

| | |
|-----------------------|----|
| CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| CAPÍTULO 2 TEORIA | 5 |
| CAPÍTULO 3 GERADOR | 7 |
| CAPÍTULO 4 APLICAÇÕES | 18 |
| CAPÍTULO 5 ENSAIOS | 19 |
| REFERÊNCIAS | 23 |

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

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.

Figura 1- Lâmpadas acesas.



Fonte: Autoria própria.

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

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 trabalho de válvulas de redução de pressão. Na figura abaixo é apresentada uma visão interna do *LucidPipe Power System*.

Figura 2 - LucidPipe Power System.

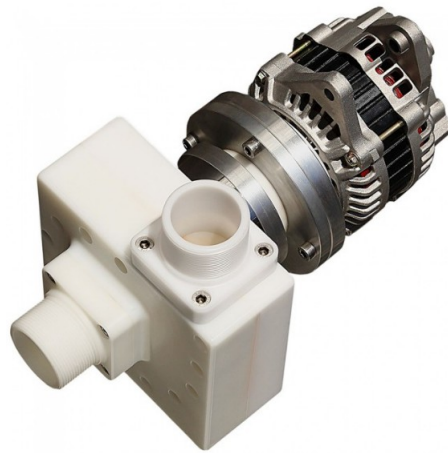


Fonte: Lucid Energy.

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

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 abaixo é apresentado o equipamento.

Figura 3 - Gerador e miniturbina.



Fonte: TRAXCO.

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

As turbinas são muito utilizadas no processo de geração de energia elétrica. Existem vários tipos e modelos de turbinas que podem ser utilizadas solidárias a um pequeno gerador para gerar energia com águas urbanas. Na figura abaixo é apresentado alguns tipos de turbina. As imagens foram disponibilizadas no site da empresa Global hydro.

Figura 4 - Turbina Pelton (A) Francis (B) Kaplan (C).



(A)

Fonte: Global hydro.



(B)



(C)

CAPÍTULO 2 TEORIA

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 abaixo.

$$P_s = V \cdot I$$

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 abaixo.

$$P_h = g \cdot \rho \cdot Q \cdot H_u$$

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).

CAPÍTULO 2 TEORIA

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.

Existem equações matemáticas fundamentadas no princípio da conservação de energia, que modelam numericamente o comportamento de um sistema hidráulico com máquina. Caso o leitor desejar, poderá buscar mais informações sobre estes tipos de equações em materiais didáticos de hidráulica. Podem existir outros estudos, relacionados com os assuntos abordados neste material. Lembrando que o presente material trata-se de um manual básico.

Um modelo simples de gerador funciona da seguinte maneira: o rotor, que suporta os ímãs, gira, e o campo magnético se movimenta sendo gerada uma corrente elétrica no enrolamento do estator. No próximo capítulo é detalhado um modelo de gerador.

CAPÍTULO 3 GERADOR

O gerador e as turbinas detalhados neste capítulo e nos próximos são produtos desenvolvidos pelo próprio autor. O gerador foi desenvolvido com a finalidade de ser utilizado para estudos relacionados com a geração de energia com águas urbanas. Este tipo de gerador fornece corrente alternada ao circuito. O gerador com uma turbina é apresentado na figura abaixo.

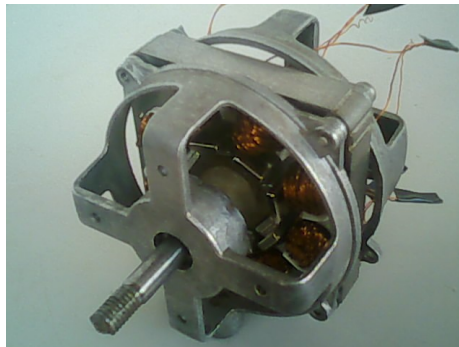
Figura 5 - Gerador.



Fonte: Aatoria própria.

Na figura abaixo 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 6 - Gerador.



Fonte: Aatoria própria.

CAPÍTULO 3 GERADOR

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 a seguir.

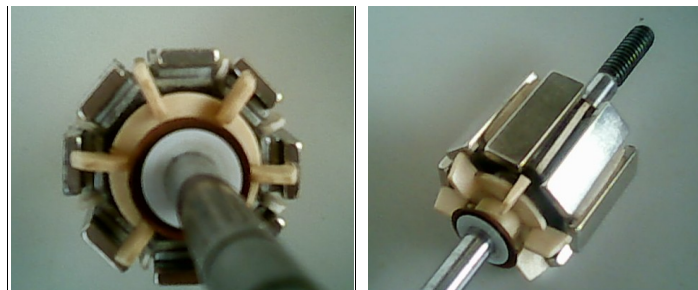
Figura 7 - Carcaça e proteção do gerador.



Fonte: Aatoria 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 a seguir.

Figura 8 – Configuração do rotor.

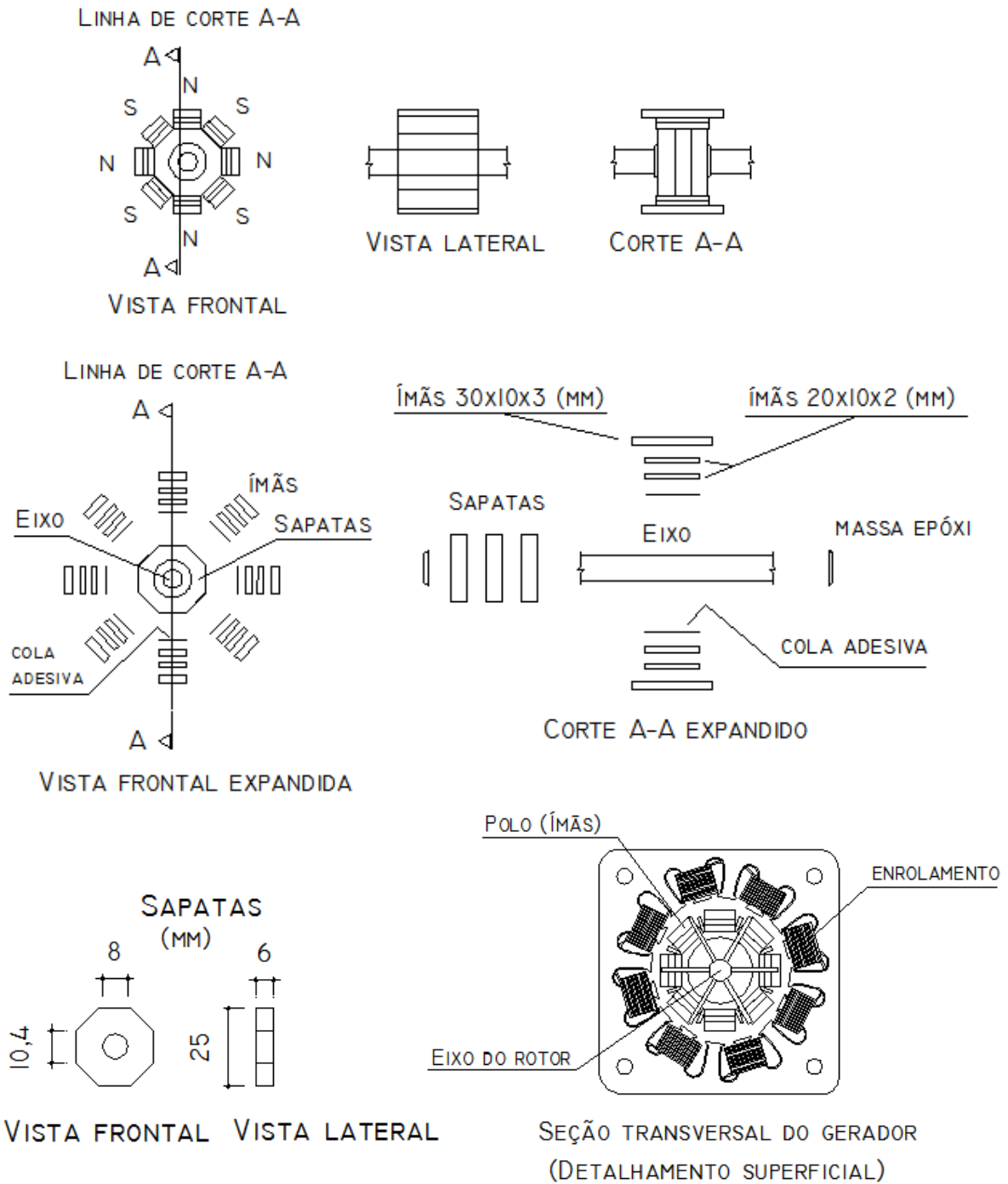


Fonte: Aatoria própria.

CAPÍTULO 3 GERADOR

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

Figura 9 – Detalhamento da configuração do rotor.



Fonte: Autoria própria.

CAPÍTULO 3 GERADOR

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 a seguir.

Figura 10 – Rotor com 4 ímãs por face (A) 3 ímãs por face (B) 1 ímã por face (C).



(A)



(B)



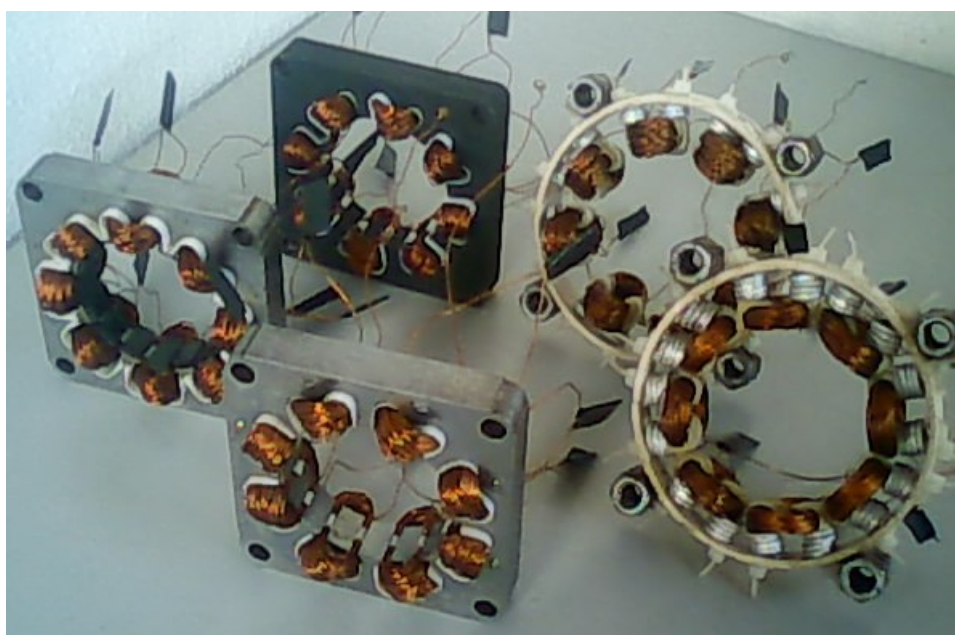
(C)

Fonte: Autoria própria.

CAPÍTULO 3 GERADOR

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 abaixo. Um estator com carcaça de madeira. Dois estatores com carcaça de plástico, porém, como está apresentado na figura abaixo, o enrolamento das bobinas destes dois são diferentes. Dois estatores com carcaça metálica, porém pode-se perceber na figura abaixo que em um deles há um revestimento interno com material polimérico.

Figura 11 - Estatores desenvolvidos.

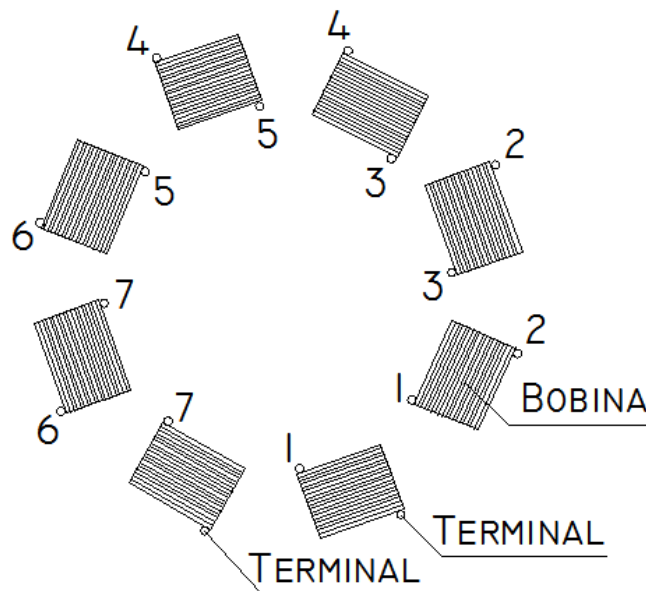
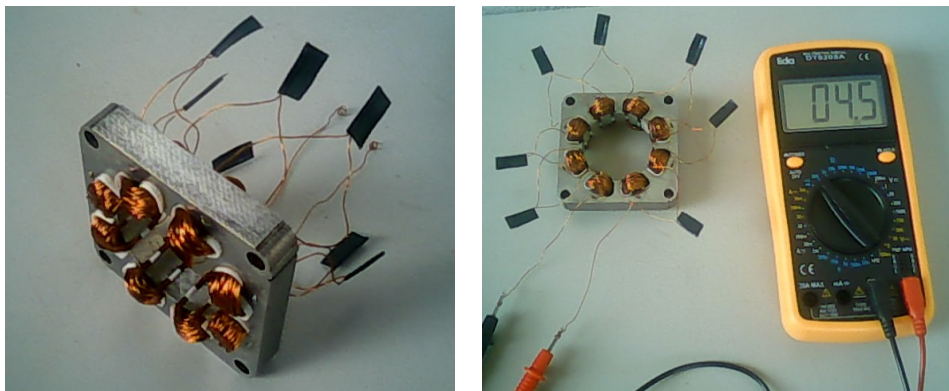


Fonte: Autoria própria.

CAPÍTULO 3 GERADOR

O estator da figura a seguir 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 12 – Características do estator.



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

Fonte: Autoria própria.

CAPÍTULO 3 GERADOR

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 a seguir.

Figura 13 – 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 a seguir.

Figura 14 – Ligações das proteções.



Fonte: Autoria própria.

CAPÍTULO 3 GERADOR

A turbina exposta (Figura abaixo) 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 15 - Turbina exposta.



Fonte: Autoria própria.

CAPÍTULO 3 GERADOR

Foi desenvolvido artesanalmente uma turbina enclausurada (figura abaixo). 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 16 – Turbina enclausurada.



Fonte: Autoria própria.

CAPÍTULO 3 GERADOR

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 a seguir são apresentadas as conexões de eixo.

Figura 17 – Ligação entre gerador e turbina com conexão rígida.



Fonte: Autorial própria.

Figura 18 – Ligação entre gerador e turbina com conexão flexível.

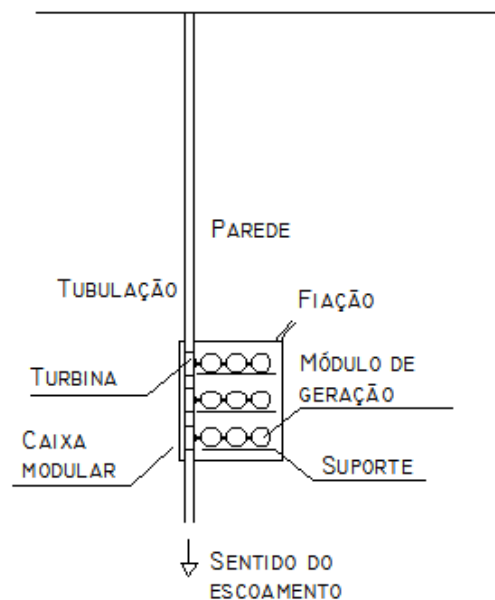


Fonte: Autorial própria.

CAPÍTULO 3 GERADOR

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 abaixo 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 19 – Malha modular geradora de energia.



VISTA FRONTAL

Fonte: Autoria própria.

CAPÍTULO 4 APLICAÇÕES

Foram ligados, em paralelo, ao gerador seis LEDs de 10 milímetros de diâmetro, para se ter uma noção do potencial luminoso do gerador, após foi aberto o escoamento. O jato de água atingiu a turbina iniciando a rotação e a geração de energia. Na figura abaixo é apresentado o gerador em funcionamento.

Figura 20 - Ensaio de geração de energia.



Fonte: Autoria própria.

Pode ser ligado um componente eletrônico ao gerador, para retificação de corrente. Teoricamente é possível recarregar pilhas e baterias, que são recarregáveis, com a energia produzida pelo gerador.

CAPÍTULO 5 ENSAIOS

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. A frequência do sinal produzido pelo gerador esta sujeita a ser menor do que o limite inferior desta escala de frequência. Uma sugestão para trabalhos futuros é fazer a retificação da corrente do gerador.

O eixo do gerador foi ligado ao eixo da turbina enclausurada. O bico da torneira foi ligado a entrada da turbina através de conexões intermediárias. Após foi aberto o escoamento, o jato de água atingiu a turbina iniciando a rotação. Para fazer a leitura de tensão, um medidor foi ligado aos terminais do gerador. O gerador tinha uma quantidade mínima de ímãs.

Figura 21 - Ensaio de geração de energia.



Fonte: Autoria própria.

CAPÍTULO 5 ENSAIOS

Um resistor foi ligado no gerador, abriu-se a torneira iniciando o escoamento, o jato de água atingiu a turbina iniciando a rotação. Para fazer a leitura de tensão e corrente elétrica, dois medidores foram ligados ao circuito. Tendo os valores da tensão do gerador e da corrente elétrica do circuito é possível fazer uma estimativa de potência.

Figura 22 - Ensaio de geração de energia.



Fonte: Autoria própria.

CAPÍTULO 5 ENSAIOS

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. Foi realizada a leitura no manômetro da diferença de pressão entre a entrada e a saída de água da turbina. Podendo assim ser feito uma estimativa da perda de carga do conjunto gerador turbina.

Figura 23 - Esquema do ensaio de perda de carga.

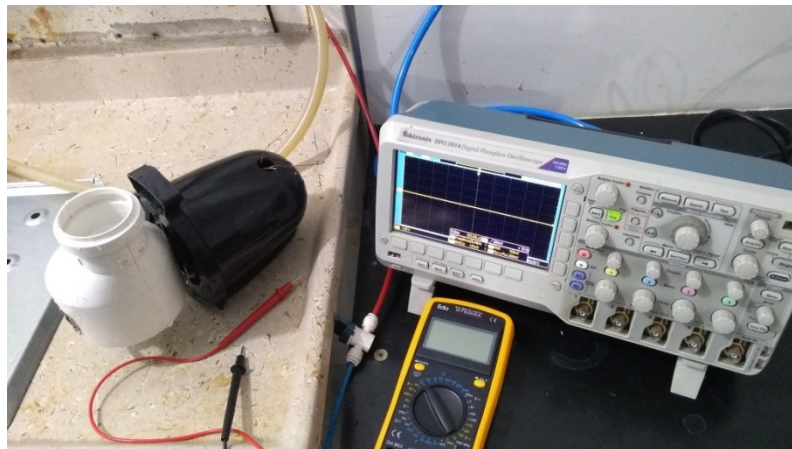


Fonte: Autoria própria.

CAPÍTULO 5 ENSAIOS

Foram realizados ensaios com o gerador utilizando um osciloscópio, disponibilizado pela empresa Evolutec Indústria e Comércio de Eletrônicos Ltda. Um osciloscópio fornece o gráfico de tensão e a sua frequência, além de outras informações.

Figura 24 – Gerador e osciloscópio.



Fonte: Autor e Evolutec.

REFERÊNCIAS

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

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.

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