

# IMPLANTAÇÃO DE UMA TURBINA HIDROcinÉTICA EM UMA COMUNIDADE ISOLADA DA AMAZÔNIA

Válber de Almeida Pires Filho – ([valberalmeida185@gmail.com](mailto:valberalmeida185@gmail.com))

**Maria Eduarda Coimbra Eloi**

Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Engenharia e Geociências

**Lázaro João Santana da Silva**

Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Engenharia e Geociências

**Mateus da Silva Carvalho**

Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Engenharia e Geociências

**Luís Henrique Sousa de Oliveira**

Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Engenharia e Geociências

**Fábio Ribeiro Lopes**

Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Engenharia e Geociências

**Manoel de Jesus Passos de Castro**

Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Engenharia e Geociências

**Resumo.** Este trabalho aborda os resultados e o relato da implementação, bem sucedida, de uma turbina hidrocinética na comunidade Cachoeira Mentae, localizada na Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, na cidade de Santarém-PA, a qual foi concretizada mediante a parceria realizada entre UFOPA, MSU e UnB. A turbina surge como um modelo alternativo de fonte de energia renovável de baixo custo para uso na região Amazônica. O potencial energético dela pode atender parcialmente ou totalmente as deficiências energéticas que as comunidades de difícil acesso da Amazônia possuem, como por exemplo, o uso em iluminação pública como uma medida para prevenir os acidentes com animais peçonhentos durante o deslocamento das pessoas pela comunidade em períodos noturnos, ou até mesmo abastecer um sistema de internet para atender a demanda de comunicação que os moradores possuem. Como a turbina ainda é um protótipo, alguns resultados importantes foram alcançados, como é o caso do flutuante, que serve de base para o funcionamento da turbina, os testes realizados revelaram que boas condições de flutuabilidade. Devido a pouca área ocupada, a estrutura não interfere nas características do rio, permitindo o tráfego de canoas pelo rio e também o reposicionamento da turbina em diferentes locais em função do regime do rio além de oferecer facilidade e rapidez em serviços de manutenção. A turbina é axial e possui dois rotores que giram em sentidos opostos e, em cada um deles é possível alterar manualmente a mudança do passo das pás, tal manobra é possível devido a uma torre de elevação que permite que a turbina seja retirada de dentro da água para serviços de manutenções e ajuste. Os resultados preliminares revelaram-se positivos.

**Palavras-chave:** Turbina hidrocinética, Comunidade isolada, Amazônia.

## 1. INTRODUÇÃO

Conforme prevê o art. 10, inciso I da Lei nº 7.783/1989, o fornecimento de energia elétrica é considerado um serviço essencial. Entretanto, as comunidades da Amazônia brasileira ainda enfrentam inúmeros problemas em relação a distribuição de energia.

Segundo CERPCH (2011), o Brasil está entre os cinco países com o maior potencial hidrelétrico do mundo. Isso só é permitido devido suas características físicas, geográficas e a enorme disponibilidade de recursos hídricos, no entanto, esse fator varia de região para região. O fato da região amazônica estar distante dos grandes centros consumidores de energia elétrica, dificulta a distribuição da mesma pelas comunidades isoladas (Queiroz *et al.*, 2013).

As comunidades da Resex Tapajós-Arapiuns, estão dentro desse contexto, entretanto, muitas delas ainda estão fora de alcance de programas federais que promovem o acesso à energia elétrica, como o Programa Mais Luz Para a Amazônia (MLA) e o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica “Luz para Todos”, onde várias delas não possuem energia elétrica ou usam grupos geradores a diesel para atender as suas necessidades de energia por um período limitado de tempo, em geral, não mais do que 04:00 h, sendo que, o custo com o combustível não é compatível com a renda de boa parte dos comunitários e, por outro lado, o transporte desse combustível é realizado em sua maioria em barcos dentro de galões não certificados, o que é proibido segundo a norma NBR 15.594-1 (ABNT, 2008).

Para enfrentar parte dessa realidade, uma parceria entre a Michigan State University (MSU), a Universidade de Brasília (UnB) e a Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) foi estabelecida com o objetivo de levar soluções de energia renovável para comunidades isoladas no interior do Pará, mais especificamente na Resex Tapajós-Arapiuns.

Olhando para esse cenário e combinando com a oportunidade de desenvolver o conceito de turbinas hidrocinéticas na Amazônia e ainda reduzir as emissões de GEE (gases do efeito estufa) a implantação de uma turbina hidrocinética de baixo custo para atendimento das demandas de energia em comunidades isoladas da Amazônia surgiu como uma alternativa promissora, capaz de satisfazer algumas das demandas de energia de uma das comunidades da Resex (FILHO *et al.*, 2023). Sabendo que a instalação de turbinas em rios ou correntes de água pode causar distúrbios no leito do rio e modificar os padrões de fluxo, o que pode afetar a ecologia e fauna local, por esses motivos, foram realizadas várias avaliações cuidadosas dos impactos e implementações na estrutura da turbina para minimizar qualquer impacto negativo no meio ambiente durante a implantação projeto.

### 1.1 Turbinas hidrocinéticas

Atualmente as turbinas são caracterizadas de acordo com a disposição dos eixos, alguns autores, obedecendo a essa regra, apresentam três configurações possíveis: eixos verticais, horizontais e transversais. As instalações de turbinas podem ser classificadas em: instalações flutuantes; instalações em fundo; instalações em pilar e instalações em pontes ou ancoradores. Algumas máquinas, de pequeno, médio e grande porte, que estão em fase pré-comercial ou são comercializadas, servem como base para a evolução da tecnologia e para as inovações incrementais, como é o caso da turbina de pequeno porte da fabricante Guinnard capaz de produzir até 3,5 KW (quilo Watts) de potência (YUCE E MURATOGLU, 2015). Essa forma de energia apresenta limitações pelo crescimento de material incrustação nas pás e a degradação das mesmas com necessidades de manutenções periódicas. De acordo com a classificação de turbinas hidrocinéticas (THCs) de Veloso e Clemente (2013). Elas podem ser classificadas de acordo com a disposição de seu eixo em relação à direção do fluxo que passa pelo equipamento, conforme Fig. 1.

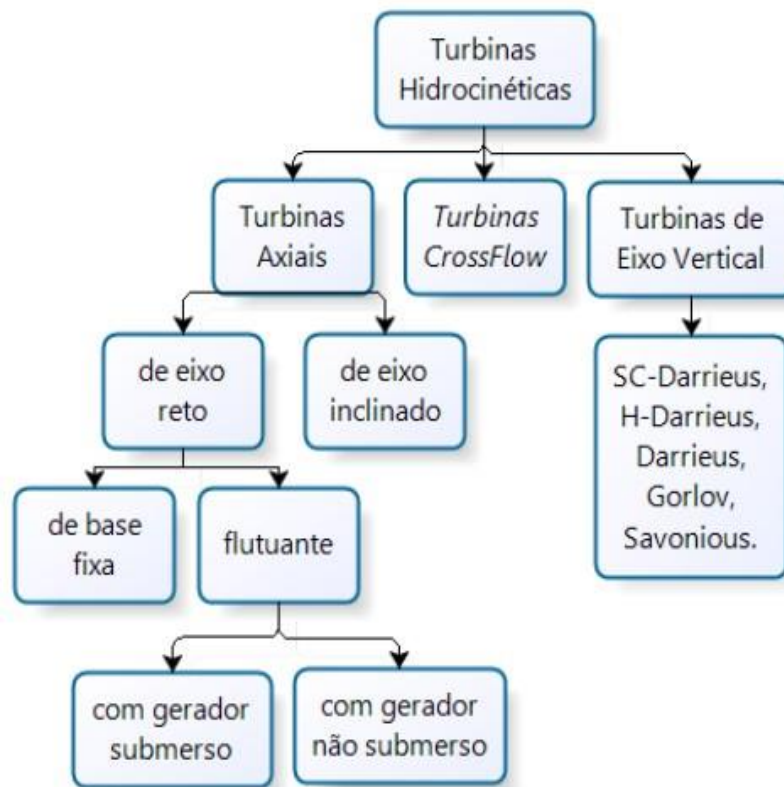


Figura 1 - Classificação das THCs.

Existem duas grandes categorias: as turbinas com fluxo axial, que são classificadas como as bombas axiais, pois seu eixo é paralelo ao deslocamento do fluido. E as turbinas de fluxo cruzado que recebem esse nome pois têm seus rotores perpendiculares à corrente de água. Elas ainda podem ser subdivididas em duas categorias: com o eixo vertical e com o eixo ao nível da água. O modelo da turbina desenvolvida pela empresa INDALMA, mostrado na Fig. 2, é axial, faz a utilização de dois rotores girando em direções contrárias mergulhados na corrente d'água, o seu diferencial está no flutuante que apresenta algumas facilidades importantes: facilita o reposicionamento do conjunto durante os períodos de seca e cheia do rio ao longo ano; possui uma estrutura de elevação da turbina que possibilita a sua remoção de dentro da água para fazer manutenções. Cada rotor possui um encaixe das pás que permite variar, através de parafusos, os ângulos das pás.

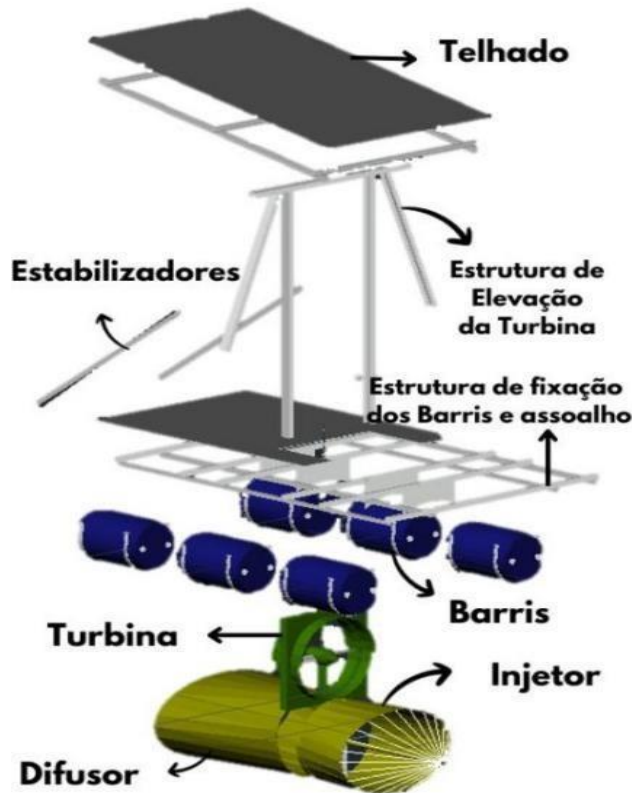


Figura 2 - Primeiro modelo da THC desenvolvida pela INDALMA.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Com o apoio financeiro da MSU, os professores da UnB desenvolveram uma turbina hidrocinética compacta, montada em conjunto de flutuantes e que foi construída por uma empresa local. A turbina foi testada no rio Tapajós e instalada em maio de 2023 na comunidade Cachoeira do Mentae, para monitoramento, por uma equipe de alunos e professores do Laboratório de Energia Renováveis (LABER-IEG-UFOPA). As vantagens desse tipo de instalação são: a sua adequação às características dos cursos de água existente na região; ausência de barragem; a não interferência na navegação fluvial que é um fator muito importante, pois os cursos d'água nessas regiões funcionam como “estradas”, facilitando a circulação dos ribeirinhos e de carga por meio de pequenos transportes denominados de rabetas (canoas motorizadas). A turbina instalada é constituída por 2 conjuntos de rotores que giram em direções opostas e que possuem regulagem dos ângulos das pás, essa regulagem permite alterar a rotação de saída para o gerador e isso pode contribuir para o aproveitamento energético do conjunto. Após a instalação, o propósito da equipe será de observar o seu desempenho e propor melhorias a partir desse processo (FILHO *et al.*, 2023).

### 2.1 Determinação do local

Como o trabalho envolveria comunidades tradicionais da Resex Tapajós-Arapiuns houve a necessidade de cadastrar o projeto no SISBIO (Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade) do IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis), também foi requerido a autorização para visitação às comunidades (FILHO *et al.*, 2023). Para se determinar um local onde a turbina poderia ser instalada buscou-se informações junto ao ICMBIO (Instituto Chico Mendes de Conservação e Biodiversidade) a fim de identificar algumas comunidades nas margens do Rio Arapiuns que possuíssem um potencial hidrocinético e se adequasse a alguns requisitos propostos pelo projeto (possuir um curso d'água com potencial hidrocinético à proximidades da comunidade; difícil acesso à energia elétrica e o pouco ou nenhum acesso ao fomento dos órgãos públicos para solução das demandas energéticas da comunidade). Com o objetivo de visitar algumas dessas comunidades, uma equipe de pesquisadores da UFOPA e do MSU participaram, a convite do ICMBIO, de uma viagem de monitoramento que o órgão realiza regularmente pelas comunidades da RESEX. Dentre as comunidades visitadas, as que se encaixaram no perfil procurado pelos pesquisadores foram: Prainha do Maró e Cachoeira do Mentae, sendo que essa última foi a que melhor atendeu aos requisitos do projeto. A Fig. 3 mostra a localização dessa comunidade.



Figura 3 – Localização da comunidade de Cachoeirinha do Mentae.

Portanto, foi acordado que a turbina seria instalada em Cachoeirinha do Mentae, conforme os critérios definidos no projeto. Durante um ano, o rio que banhava a comunidade escolhida foi monitorado e, em seguida, foi realizado a medição de velocidades, profundidades e larguras do rio nesses pontos, como mostra a Tab. 1.

Tabela 1 – Medidas de velocidades realizadas na Cachoeirinha do Mentae.

	2022					2023	
	24/mar	27/abr	26/mai	04/jul	11/set	25/nov	11/mar
	<b>Velocidade (m/s)</b>						
<b>No canal</b>	0,905	0,660	0,638	0,660			0,9703
<b>Montante</b>			0,705	0,597	0,893	1,308	0,6527
<b>Jusante</b>			0,427	0,445	0,8819	1,2359	0,8742

## 2.2 Transporte da turbina até a comunidade

A turbina e o flutuante (parcialmente desmontado pela equipe de alunos do LABER) foram transportados de barco até a comunidade Mentae que fica no lago onde deságua o rio Mentae, a partir desse ponto, o transporte do conjunto foi realizado por meio de rabetas até a comunidade Cachoeira Mentae, visto que, a partir desse ponto, o rio Mentae tem características que impossibilitam o tráfego de embarcações de grande porte. O projeto financiou o frete de um barco para levar a turbina e a equipe responsável pela sua instalação. A equipe de instalação era composta de professores/pesquisadores das três instituições (MSU, Ufopa e Unb) e alunos da Ufopa.

## 2.3 Curso de operação e manutenção da turbina

Para a realização da operação e manutenção da turbina foi ofertado a alguns comunitários um curso, ministrado pelos professores da UFOPA e UnB. O curso abordou técnicas de medição da velocidade do rio, apresentação dos principais componentes da turbina hidrocínética (torre de elevação da turbina, turbina, gerador e sistema de controle e armazenamento de energia), montagem do conjunto, operação e manutenção e quais as ferramentas, aparelho e EPI's que devem ser usados para execução de uma atividade de operação ou manutenção de forma segura. Além do mais,

pesquisadores da UFOPA fazem viagens periódicas para realizar o monitoramento e contam com informações relatadas pelos comunitários, enviadas por aplicativo de mensagem, a respeito do funcionamento da turbina.

## 2.4 Função de cada componente do sistema de geração de energia

O flutuante é o responsável pela sustentação do conjunto: piso, turbina e torre de elevação. Sendo dividido em dois elementos:

- O primeiro é um conjunto de barris que garantem a flutuabilidade da estrutura geradora. Os barris são feitos de material reutilizável.
- O segundo é a chamada torre de elevação, que consiste em uma estrutura metálica de perfil em U e cantoneira fixadas à base do piso do flutuante. A turbina pode ser erguida/descida por um conjunto de cabos de aço e manivela a qual possui uma trava manual para posicionamento da turbina facilitando as atividades de operação e manutenção. A Fig. 4 mostra a estrutura da turbina.



Figura 4 – Conjunto flutuante, turbina e estrutura de elevação da turbina.

A turbina é o dispositivo que converte a energia cinética da água em energia mecânica rotacional. Para isso, sua estrutura é composta por:

- Um injetor a montante que ordena o fluxo da água.
- Um difusor a jusante que cria uma baixa pressão na saída dos rotores.
- Dois conjuntos de hélices com rotações opostas que permitem o movimento rotatório e o transmitem para o eixo. A Fig. 5 mostra uma representação desse conjunto.

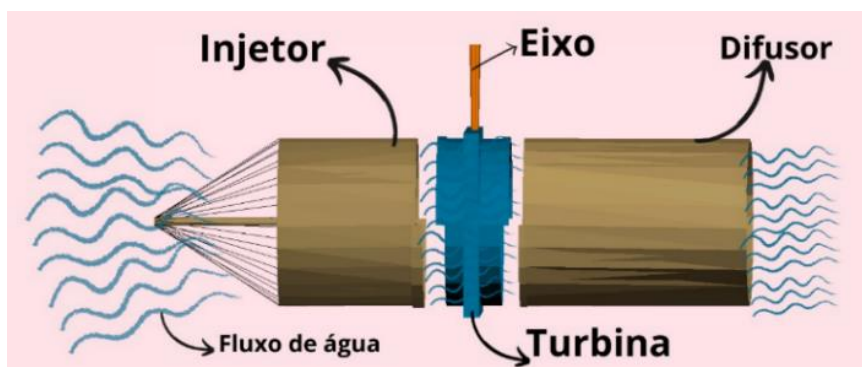


Figura 5 – Vista lateral ilustrativa do injetor, turbina e difusor.

Os sistemas de transmissão de energia da turbina são: um para sincronizar o movimento de rotação dos dois rotores e outro constituído por coroas e uma corrente de moto, que transmitem o movimento de rotação ao eixo do gerador. O motor gerador representado na Fig. 6 transforma a energia mecânica rotacional recebida em energia elétrica de corrente alternada (CA) e outro dispositivo, chamado de ponte retificadora, transforma essa corrente alternada em corrente contínua (CC).



Figura 6 – Gerador usado para transformar a energia mecânica em energia elétrica.

### 3. RESULTADOS

O conjunto foi ancorado em árvores às margens do rio Mentae por cordas, conforme Fig. 7, garantindo a sua operação numa posição fixa, mas que pode ser realocada de acordo com as condições de enchente e seca do rio.



Figura 7 – Local onde a turbina ficou ancorada.

Durante o primeiro teste, logo após o posicionamento da turbina no canal, a velocidade média na entrada do difusor da turbina foi medida e o seu valor foi de 0,43 m/s, conforme registrado pelo equipamento de medição de vazão. Nessas condições, para os ângulos das pás dos rotores de entrada e saída posicionados em 30° e 20° respectivamente, a tensão na saída da ponte retificadora do gerador foi de 12,4 Vcc. A partir dessa primeira medida de velocidade no local de instalação, testes adicionais foram realizados para verificar a resposta de tensão em relação aos ângulos das pás dos rotores de entrada e saída, a Fig. 8 apresenta a relação entre o ângulo das pás e a tensão produzida pelo gerador, é possível observar que a tensão se eleva à medida que se reduz os ângulos das pás para 5°, como mostra a Fig. 8.

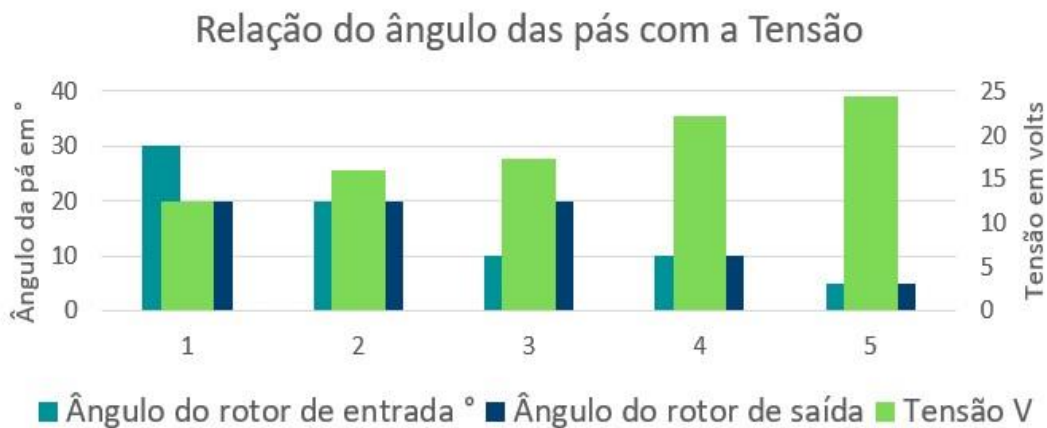


Figura 8 – Relação dos ângulos das pás e tensão.

O potencial hidrocínético de energia da turbina é determinado considerando uma condição de escoamento permanente, incompressível, uniforme e invíscido através das equações a seguir (de Araujo, 2016), onde:  $E_c$  é a energia cinética;  $m$  é a massa e  $v$  é a velocidade.

$$E_c = \frac{1}{2} * m * v^2 \quad (1)$$

Tomando as seguintes igualdades:

$$m = \rho * vol \quad (2)$$

$$vol = A * D \quad (3)$$

$$D = t * v \quad (4)$$

Obtemos:

$$E_c = \frac{1}{2} * \rho * A * v * t * v^2 \quad (5)$$

Derivando a Eq. (5) em relação ao tempo e substituindo a área do rotor, temos:

$$P_{hc} = \frac{dE}{dt} = \frac{1}{2} * \rho * \pi * \frac{D^2}{4} * v^3 \quad (5)$$

Onde:

$P_{hc}$  é a potência hidrocínética disponível;  $E$  é a energia contida na massa fluida em Joules (J);  $t$  é o tempo em segundos (s);  $\rho$  é a massa específica da água (kg/m<sup>3</sup>);  $v$  é a velocidade média do curso d'água (m/s);  $D$  é o diâmetro do rotor em metros (m).

Adicionando o coeficiente de potência ( $C_p$ ) e atribuindo um rendimento geral ( $\eta_g$ ) ao conjunto mecânico e elétrico obtém-se a Eq. (6) da potência elétrica:

$$P_{el} = \eta_g * C_p * \frac{1}{2} * \rho * \pi * \frac{D^2}{4} * v^3 \quad (6)$$

A Fig. 9 mostra a estimativa de produção de potência para alguns meses ao longo dos anos de 2022 e 2023 conforme os dados de velocidade apresentados na Tab. 1.

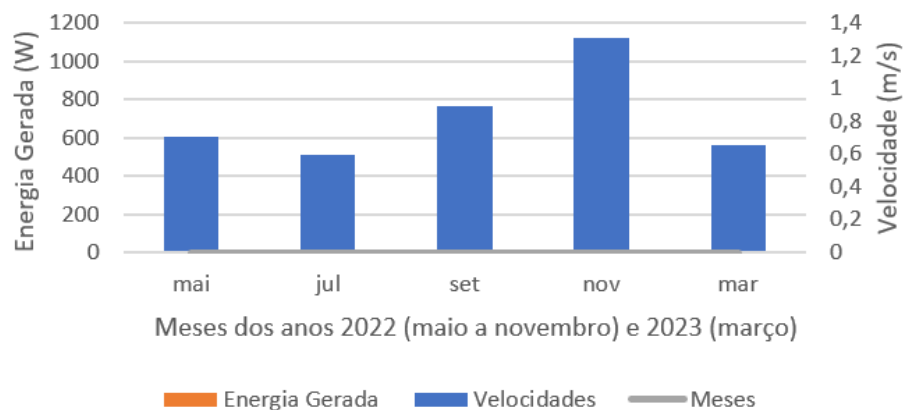


Figura 9 – Potência elétrica estimada em função das velocidades.

Neste momento ainda não foi possível assegurar se esses valores são compatíveis com a realidade, pois ainda não foi instalado um sistema para monitoramento dos dados de energia produzida pela turbina, tarefa sobre a qual os pesquisadores do projeto estão dando andamento.

Outro resultado importante, foi o sistema de armazenamento em baterias de 220 Ah que abastece 3 lâmpadas, sendo que uma fica na casa do quadro de comando, constituído de um disjuntor e controlador de carga do tipo solar, como mostra a Fig. 10.



Figura 10 – Alojamento do sistema de controlador e bateria da THC de Cachoeira do Mentae.

A característica adotada de uma estrutura flutuante permitiu que os próprios comunitários efetuem a operação de mudança do local de instalação da turbina em função do regime do Rio Mentae, que enche e seca ao longo do ano, entretanto, alterações já foram propostas no sentido de permitir a instalação de um motor de popa na estrutura do flutuante

#### 4. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos em campo, conclui-se, que a turbina pode ser uma alternativa energética para os moradores de comunidades isoladas. Um resultado importante é a facilidade de deslocamento da turbina, que só foi possível, graças ao flutuante que apresentou um alto nível de fluabilidade mesmo após a adição de mais 300 kg de carga em cima da estrutura, permitindo aos comunitários mudar o local de operação de acordo com as condições que rio apresentar durante as épocas de cheia e de seca do rio.

A estrutura de elevação da turbina, mostrou-se eficaz, uma vez que, facilitando a manutenção e rapidez de acesso ao conjunto de rotores. Já os rotores em rotação invertida, ainda não foi possível obter uma conclusão do efeito que ele causa para a geração de energia.

Com relação, a influência dos ângulos das pás na tensão de saída do gerador, apesar de ser satisfatório os resultados encontrados em campo, ainda é preciso um estudo mais abrangente para evidenciar uma melhor conclusão.

A geração de energia, em primeiro momento, mostrou-se suficiente para abastecer um conjunto de iluminação que serve: para sinalização da turbina à noite, iluminação de uma área para criação de animais e iluminação do alojamento de equipamentos e bateria. Além disso, o restante da energia produzida pela turbina poderá servir para: i) iluminação de áreas de circulação dos comunitários durante o período noturno melhorando as condições de visibilidade, essa medida pode permitir a prevenção de acidentes com animais peçonhentos; ii) fornecimento de energia para o sistema de acesso à internet da comunidade, facilitando a comunicação dos moradores. Observou-se, também, que o projeto proposto pelos pesquisadores não influenciou no ecossistema local, não provocou danos na fauna da região e permitiu o livre tráfego de canoas pelo rio.

É importante frisar, a importância da inserção dos alunos na construção do projeto, onde foi possível o desenvolvimento de metodologias de aprendizados de maneira prática que não são possíveis dentro de sala de aula.

Por fim, é inegável que há a necessidade de se instalar um sistema de monitoramento dos dados, de entrada e saída dessa instalação, para facilitar o trabalho de pesquisa para ter melhores resultados e subsidiar proposta de melhorias nesse tipo de instalação.



## Agradecimentos

Os autores expressam agradecimentos à Mott Foundation pelo apoio financeiro que tornou possível a realização deste projeto. Além disso, estendem os agradecimentos aos Professores: Dr. Emilio Mouran (coordenador do projeto); MsC Lázaro João S. da Silva (coordenador do LABER e pesquisador do projeto) e Dr. Manoel Roberval P. Santos (coordenador do convênio Ufopa/MSU e pesquisador do projeto) e a Dra. e Jornalista Karina Ninni (coordenadora do projeto no Brasil) pela oportunidade que nos foi concedida para participar deste projeto e contribuir para o avanço da pesquisa na área de energias renováveis e melhoria da qualidade de vida da população que reside em comunidades isoladas. Agradecimentos especiais são também dedicados aos alunos (bolsistas e voluntários); ao Técnico Eletricista Raimundo Afonso Barra (Servidor da Ufopa) e aos comunitários que se dedicaram durante a instalação da Usina Fotovoltaica, da rede de distribuição e das instalações elétricas residenciais na comunidade.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.594-1-Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis. Pará. ABNT, 2008
- Filho, V. A. P. *et al*, 2023. Implantação de uma turbina hidrocínética em uma comunidade da Amazônia. Anais do Congresso Internacional de Engenharia Mecânica e Industrial. Vitória, 2023.
- Fonseca, E. N., Araujo, I. G., 2013. Projeto do sistema de transmissão e estrutura de turbina hidrocínética, Projeto de Graduação, Departamento de Engenharia Mecânica, UnB, Brasília.
- Queiroz, R., *et al*, 2013. Geração de energia elétrica através da energia hidráulica e seus impactos ambientais. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, [s. l.], v. 13, n. 13, 2013.
- Santos, S. M., *et al*, 2023. Projeto, construção e instalação de Turbinas Hidrocínéticas de pequeno porte no Brasil e no mundo - A experiência da FURG. Rio Grande: [s. n.], 2023.
- Silva, P. A. S. F., 2014. Estudo numérico de turbinas hidrocínéticas de eixo horizontal. Brasília: [s. n.], 2014.
- Veloso, G G., Clemente, R. E. B., 2013. Estudo comparativo entre perfis hidrodinâmicos de rotores de turbinas hidrocínéticas [s. l.], 2013.

## IMPLEMENTATION OF A HYDROKINETIC TURBINE IN AN ISOLATED COMMUNITY IN THE AMAZON

**Abstract.** *This work addresses the results and report of the successful implementation of a hydrokinetic turbine in the Cachoeira do Mentae community, located in the Tapajós-Arapiuns Extractive Reserve, in the city of Santarém-PA, which was only achieved through the partnership between UFOPA, MSU and UnB. The turbine appears as a model of a lowcost renewable energy source. Its energy potential can meet the energy deficiencies that difficult-to-access communities in the Amazon have, such as public lighting, to prevent accidents with venomous animals and more efficient movement of people through the community, or even supply a system of internet to meet the communication demands that residents have. As the turbine is still a prototype, some results of the added implementations were achieved, such as the floating one, which serves as support for the turbine's operation, which proved to have a high level of buoyancy, without influencing the characteristics of the river. , allowing canoe traffic on the river and also the repositioning of the turbine in different locations depending on the river regime and offering ease and speed in maintenance services. The turbine is axial and has two rotors that rotate in opposite directions and in each of them they have a system that makes it possible to change the pitch of the blades, which is only possible because of the lifting tower that pulls the turbine out of the water and allows maintenance and adjustments. Preliminary results were positive.*

**Keywords:** *Hydrokinetic Turbine, Isolated Community, Amazon.*