

# Turbinas Submersas como Alternativa Energética Sustentável nos Rios da Amazônia: Uma Revisão

*Submerged Turbines as a Sustainable Energy Alternative in the Amazon Rivers: A Review*

*Turbinas Sumergidas como Alternativa Energética Sostenible en los Ríos de la Amazonía: Una Revisión*

Victor Raul Huaman Condori <sup>1</sup>, Everton Diniz dos Santos <sup>2</sup> e Naiara Firmiano Fabiano da Silva <sup>3</sup>

<sup>1</sup> UNESP-Faculdade de Engenharia e Ciências, Campus de Guaratinguetá, Departamento de Mecânica, Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333 - Pedregulho, Guaratinguetá - SP, 12516-410, Brasil. [victor.huaman@unesp.br](mailto:victor.huaman@unesp.br)

 <https://orcid.org/0000-0002-3130-8230>

<sup>2</sup> Centro Universitário UniDomBosco – Av. Cel. Prof. Antônio Esteves, 1 - Campo de Aviação, Resende - RJ, 27523-000, Brasil. [caevetech@gmail.com](mailto:caevetech@gmail.com)

 <https://orcid.org/0000-0003-0809-6695>

<sup>3</sup> UNESP-Faculdade de Engenharia e Ciências, Campus de Guaratinguetá, Departamento de Energia, Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333 - Pedregulho, Guaratinguetá - SP, 12516-410, Brasil. [naiara-firmiano.silva@unesp.br](mailto:naiara-firmiano.silva@unesp.br)

 <https://orcid.org/0009-0007-5669-2949>

Recebido: 25/11/2024; Aceito: 13/02/2025; Publicado: 04/03/2025

**Resumo:** A Região Norte do Brasil apresenta um potencial energético significativo, especialmente na geração de energia hidrelétrica. Essa área, que abrange grande parte da Amazônia, possui características naturais e recursos abundantes que a tornam um polo estratégico para o desenvolvimento de projetos de geração de energia. A implementação de usinas de turbinas submersas na região Norte representa uma alternativa inovadora e sustentável para a geração de energia, especialmente diante da crescente dependência de grandes hidrelétricas e suas consequências socioambientais. Este estudo teve como objetivo avaliar o potencial da tecnologia de turbinas submersas para diversificar a matriz energética e melhorar o acesso à eletricidade para comunidades ribeirinhas. A pesquisa examinou as características tecnológicas das turbinas submersas, sua compatibilidade com as condições hidrológicas dos rios amazônicos e seu potencial de geração de energia em áreas remotas. Além disso, foram analisados os impactos socioambientais, destacando a importância da preservação da biodiversidade e da participação das populações locais no processo de tomada de decisão. Os resultados indicam que a adoção dessa tecnologia pode gerar benefícios econômicos e sociais substanciais, embora desafios relacionados à adaptabilidade tecnológica e à viabilidade econômica ainda precisem ser enfrentados. A integração das turbinas submersas no sistema energético brasileiro é fundamental para promover um desenvolvimento sustentável e garantir a preservação ambiental para as gerações futuras.

**Palavras-chave:** Energia renovável; turbinas submersas; hidrelétricas de baixa emissão; região Norte do Brasil; sustentabilidade energética.

**Abstract:** The Northern region of Brazil presents a significant energy potential, particularly in hydroelectric power generation. This area, which encompasses a large part of the Amazon, possesses natural characteristics and abundant resources that make it a strategic hub for the development of power generation projects. The implementation of submerged turbine power plants in the Northern region represents an innovative and sustainable alternative for energy generation, especially considering the growing dependence on large hydroelectric plants and their socioenvironmental consequences. This study aimed to evaluate

the potential of submerged turbine technology to diversify the energy matrix and improve access to electricity for riverine communities. The research examined the technological characteristics of submerged turbines, their compatibility with the hydrological conditions of Amazonian rivers, and their potential for generating power in remote areas. Additionally, the socioenvironmental impacts were analyzed, highlighting the importance of preserving biodiversity and the participation of local populations in the decision-making process. The results indicate that the adoption of this technology can generate substantial economic and social benefits, although challenges related to technological adaptability and economic viability still need to be addressed. The integration of submerged turbines into the Brazilian energy system is essential to promote sustainable development and ensure environmental preservation for future generations.

**Keywords:** Renewable energy; submerged turbines; low-emission hydroelectric power plants; Northern region of Brazil; energy sustainability

**Resumen:** La Región Norte de Brasil presenta un potencial energético significativo, especialmente en la generación de energía hidroeléctrica. Esta área, que abarca gran parte de la Amazonía, posee características naturales y recursos abundantes que la convierten en un polo estratégico para el desarrollo de proyectos de generación de energía. La implementación de centrales de turbinas sumergidas en la región Norte representa una alternativa innovadora y sostenible para la generación de energía, especialmente ante la creciente dependencia de grandes hidroeléctricas y sus consecuencias socioambientales. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el potencial de la tecnología de turbinas sumergidas para diversificar la matriz energética y mejorar el acceso a la electricidad para comunidades ribereñas. La investigación examinó las características tecnológicas de las turbinas sumergidas, su compatibilidad con las condiciones hidrológicas de los ríos amazónicos y su potencial de generación de energía en áreas remotas. Además, se analizaron los impactos socioambientales, destacando la importancia de la preservación de la biodiversidad y la participación de las poblaciones locales en el proceso de toma de decisiones. Los resultados indican que la adopción de esta tecnología puede generar beneficios económicos y sociales sustanciales, aunque desafíos relacionados con la adaptabilidad tecnológica y la viabilidad económica aún deben ser abordados. La integración de las turbinas sumergidas en el sistema energético brasileño es fundamental para promover un desarrollo sostenible y garantizar la preservación ambiental para las futuras generaciones.

**Palabras clave:** Energía renovable; turbinas sumergidas; hidroeléctricas de baja emisión; región Norte de Brasil; sostenibilidad energética.

---

## 1. Introdução

A matriz energética da região Norte do Brasil caracteriza-se por uma dependência predominante das usinas hidrelétricas, que representam a principal fonte de eletricidade para a região (Valente, 2024). Esse modelo aproveita o vasto potencial hídrico da Amazônia, mas depende, em grande parte, da construção de barragens, o que acarreta significativos impactos ambientais e sociais (Bustamante et al., 2019). Embora as hidrelétricas sejam eficazes para suprir a demanda energética de centros urbanos e polos industriais, elas apresentam limitações de sustentabilidade, especialmente em relação à preservação dos ecossistemas e ao acesso à energia em áreas remotas (Nowakowski, 2015; Santos et al., 2018).

A diversificação da matriz energética por meio de fontes renováveis, como solar, eólica e biomassa, ainda é incipiente na região. A falta de investimentos consistentes nessas alternativas, somada à dependência das hidrelétricas, torna o sistema energético vulnerável, particularmente em períodos de estiagem prolongada, quando a capacidade de geração hídrica é comprometida (Terrin; Blanchet, 2019). Essa situação evidencia a necessidade urgente de fontes adicionais e complementares que reduzam a vulnerabilidade energética e melhorem a sustentabilidade do fornecimento de energia (Viana; Tavares; Lima, 2015).

Outro desafio significativo enfrentado pela região Norte é a distribuição e o transporte de eletricidade. A geografia amazônica, marcada por extensas florestas, rios de grande porte e longas distâncias, torna complexa e onerosa a construção de redes de transmissão para abastecer comunidades isoladas. Essa limitação na infraestrutura energética compromete o desenvolvimento social e econômico de muitas áreas, que permanecem à margem do acesso regular à eletricidade (Bezerra, 2021).

Nesse contexto, a integração de fontes renováveis, como solar, eólica e pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), surge como uma solução para promover um modelo energético mais sustentável e diversificado (Deus, 2021). A energia solar, por exemplo, encontra na Amazônia um ambiente favorável, devido à abundância de radiação solar ao longo do ano. Essa fonte pode atender comunidades remotas, ribeirinhas e indígenas, reduzindo custos de infraestrutura de rede e aumentando a autonomia energética dessas populações (Pereira, 2023; Oliveira, 2024). Já

a energia eólica, embora ainda subexplorada, possui potencial em áreas específicas da região, como nas proximidades de rios e na costa paraense, onde a intensidade dos ventos pode sustentar uma geração complementar (Sampaio e Batista, 2021; Oliveira, 2024). As PCHs também se apresentam como uma alternativa sustentável, pois operam com reservatórios reduzidos e sistemas de fio d'água, diminuindo a necessidade de grandes alagamentos e preservando o ecossistema local (Vinagre et al., 2016; Deliza, 2021; Oliveira, 2024).

A adoção de um modelo energético renovável na Amazônia oferece múltiplos benefícios: contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa, promove a preservação dos ecossistemas e da biodiversidade, impulsiona o desenvolvimento econômico e social das comunidades isoladas e gera empregos nas etapas de instalação e manutenção das novas tecnologias. Além disso, um sistema energético descentralizado e renovável aumenta a resiliência da matriz energética da região Norte, tornando-a mais robusta frente a desafios climáticos e de sustentabilidade (Vieira, 2022).

O crescimento econômico do Brasil e o aumento da demanda por energia tornam a exploração dos recursos energéticos da região Norte uma prioridade estratégica. Com aproximadamente 35% do potencial hidrelétrico do país, essa região se destaca pela presença de grandes rios, como o Xingu, Madeira e Tapajós, que oferecem oportunidades para a instalação de usinas hidrelétricas de grande porte (Gadêlha et al., 2022).

Com uma estratégia energética que inclua tecnologias inovadoras e respeite os limites ecológicos, a região Norte do Brasil pode se consolidar como um exemplo de desenvolvimento sustentável. Nesse cenário, o crescimento econômico e a preservação ambiental caminham juntos, promovendo a qualidade de vida das populações locais e garantindo um futuro mais equilibrado para a Amazônia.

## 2. Metodologia

Este estudo foi conduzido por meio de uma revisão sistemática da literatura sobre parques energéticos e o potencial de fontes renováveis, com foco nas publicações dos últimos quinze anos (2010-2024). A pesquisa incluiu estudos sobre infraestrutura energética, impacto ambiental, uso de turbinas submersas e desafios para a implementação de energias renováveis em regiões sensíveis, como a Amazônia.

A coleta de dados foi realizada em bases de dados eletrônicas, como Scielo e Google Acadêmico, utilizando termos-chave como "parques energéticos," "turbinas submersas," "sustentabilidade na Amazônia" e "energias renováveis."

A seleção dos estudos seguiu critérios de inclusão e exclusão previamente definidos:

- **Crítérios de inclusão:**

- Publicações revisadas por pares e indexadas em bases científicas.
- Estudos publicados entre 2010 e 2024.
- Trabalhos que abordam diretamente a infraestrutura, impactos e viabilidade de fontes renováveis em regiões sensíveis.
- Artigos disponíveis em português, inglês ou espanhol.

- **Crítérios de exclusão:**

- Estudos que não apresentavam metodologia clara ou embasamento teórico adequado.
- Trabalhos repetidos ou que fossem versões duplicadas de publicações já incluídas.
- Pesquisas com foco exclusivo em regiões que não apresentam semelhanças climáticas ou socioeconômicas com a Amazônia.
- Artigos de opinião ou revisões sem análise crítica dos dados.

Os artigos selecionados passaram por uma análise crítica, buscando identificar padrões, lacunas de pesquisa e insights sobre o uso de fontes renováveis na Amazônia. Os dados foram organizados em gráficos e tabelas para facilitar a interpretação dos resultados e a identificação de tendências e desafios.

A análise qualitativa considerou não apenas o potencial técnico e econômico das tecnologias energéticas, mas também suas implicações sociais e ambientais na região. Esse processo permitiu uma discussão fundamentada, baseada em evidências extraídas da literatura científica.

### 3. Revisão da Literatura

#### 3.1. Tecnologia de Turbinas Submersas

As turbinas submersas representam uma importante inovação na geração de energia elétrica, aproveitando a energia cinética das correntes fluviais sem a necessidade de barragens ou grandes reservatórios (Gadêlha et al., 2022). Funcionando de maneira semelhante às turbinas eólicas, suas hélices giram impulsionadas pelo movimento da água, e a energia gerada é convertida em eletricidade por meio de geradores (Ventura Filho, 2013). Para isso, essas turbinas são projetadas para operar submersas, exigindo resistência à pressão hidráulica e aos impactos de detritos encontrados no ambiente aquático.

De acordo com Vitoriano (2022), existem diferentes tipos de turbinas submersas, cada uma adaptada a condições específicas:

- Turbinas de Eixo Horizontal: Estas se assemelham às turbinas eólicas e são projetadas para captar a energia do fluxo de água em direção horizontal. São altamente eficientes em rios de correnteza rápida, como muitos rios amazônicos com alta vazão.
- Turbinas de Eixo Vertical: Operam com hélices girando ao redor de um eixo vertical, permitindo o aproveitamento de fluxos provenientes de diferentes direções. Essas turbinas são mais adaptáveis a variações na velocidade e profundidade do fluxo, sendo ideais para regiões com condições hidrológicas menos constantes.
- Turbinas de Fluxo Cruzado: Este modelo direciona a água por um tubo ou canal, permitindo maior controle sobre o fluxo. Essa configuração é especialmente útil para locais com baixa profundidade.

No contexto amazônico, as turbinas submersas demandam adaptações específicas para enfrentar desafios locais. Os rios da Amazônia, conhecidos por seu alto teor de sedimentos, podem causar danos às turbinas. Por isso, elas são fabricadas com materiais resistentes à abrasão e equipadas com sistemas que minimizam o acúmulo de sedimentos. Além disso, a densa biodiversidade da região requer dispositivos que reduzam os impactos na fauna, como mecanismos que previnem o aprisionamento de peixes nas hélices. Também é essencial que essas turbinas resistam a variações no fluxo de água durante as cheias sazonais, o que exige sistemas de ancoragem capazes de se ajustar às mudanças no nível do rio.

#### 3.2. Tecnologia de Turbinas Hidrocinéticas

As turbinas hidrocinéticas emergem como uma solução promissora para a geração de energia em rios e canais artificiais, oferecendo alternativas menos invasivas em comparação às usinas hidrelétricas tradicionais. Conhecidas como Turbinas de Corrente de Rio (TCR) ou Sistemas de Conversão de Energia de Corrente de Rio (SCECR), essas tecnologias são projetadas para converter a energia cinética do fluxo de água diretamente em eletricidade. Operando geralmente na faixa de 1 a 10 kW, seu design é semelhante ao das turbinas eólicas, com configurações que podem incluir eixos horizontais ou verticais, dependendo da orientação em relação ao fluxo (Deus, 2021). Essas turbinas são classificadas em modelos de fluxo axial e transversal, com subdivisões que atendem a diferentes condições operacionais (Bezerra, 2021), de acordo a Figura 1.

Um estudo recente publicado na “Revista Observatório de la Economía Latinoamericana” destacou o desempenho das turbinas hidrocinéticas na Bacia Amazônica, uma região com condições hidrológicas específicas que apresentam desafios técnicos. Os resultados evidenciaram a eficiência dessas turbinas mesmo em rios com velocidades de fluxo relativamente baixas. O protótipo avaliado, fabricado com materiais como aço carbono e componentes elétricos otimizados, demonstrou alta modularidade. Essa característica permite que as turbinas sejam adaptadas para diferentes cenários, tornando a tecnologia escalável e especialmente adequada para a eletrificação rural sustentável (Cavalcante, 2024).

Além disso, o estudo revelou que as turbinas hidrocinéticas possuem a capacidade de fornecer energia suficiente para atender comunidades remotas, muitas vezes excluídas do acesso à eletricidade. Essa descentralização da geração de energia não apenas melhora a qualidade de vida das populações locais, mas também reduz a dependência de combustíveis fósseis e promove o desenvolvimento sustentável. Ao proporcionar uma solução energética acessível e eficaz, as turbinas hidrocinéticas desempenham um papel essencial no avanço

da infraestrutura energética da Amazônia, contribuindo para a preservação ambiental e o fortalecimento socioeconômico da região (Silva, 2024).

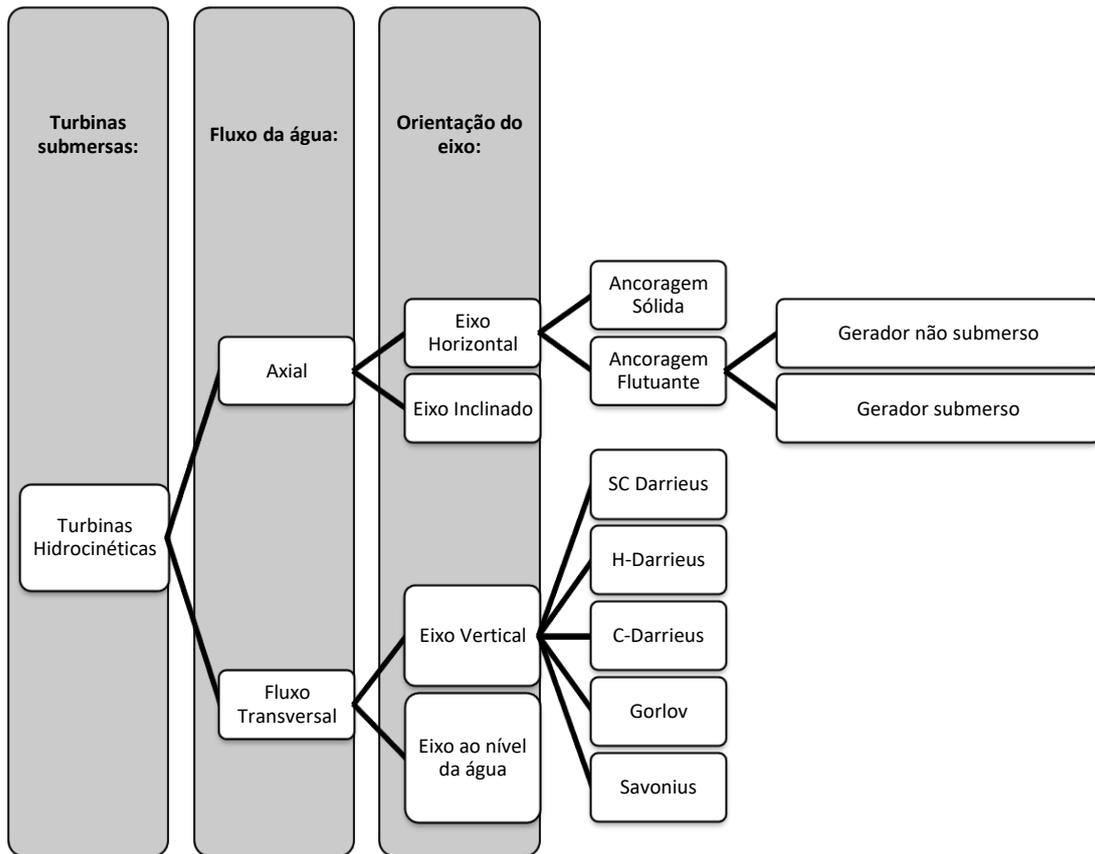
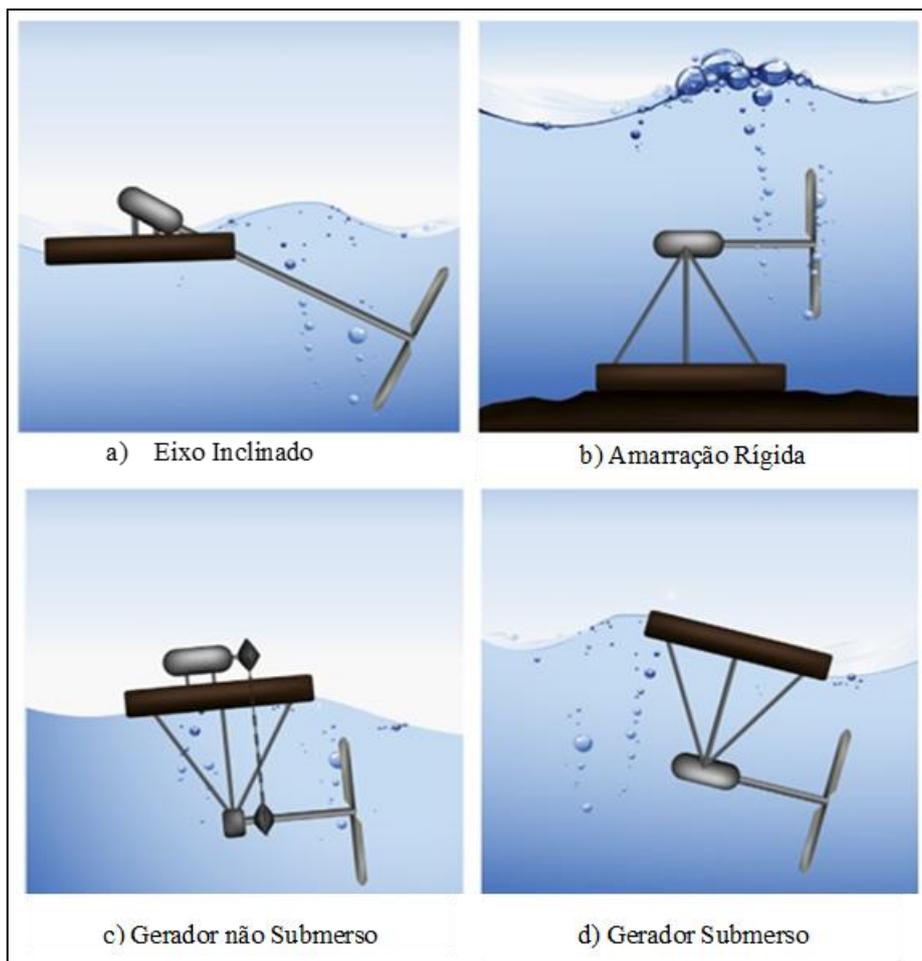


Figura 1. Classificação das Turbinas Hidrocinéticas. Fonte: Silva (2024).

### 3.3. Turbinas de Fluxo Axial

As turbinas de fluxo axial, também conhecidas como turbinas de eixo horizontal, são caracterizadas por eixos paralelos ao fluxo do fluido, operando com rotores do tipo hélice para converter energia cinética em eletricidade (Deus, 2021). Essas turbinas apresentam um design eficiente e versátil, permitindo sua aplicação em diferentes ambientes aquáticos. Diversas configurações desse tipo de turbina estão ilustradas na Figura 2.

Entre os modelos de turbinas de fluxo axial, as turbinas de eixo inclinado (Figura 2.a) destacam-se por sua capacidade de adaptação a condições de fluxo menos intensas, tornando-se ideais para pequenos conversores de energia em rios. Por outro lado, as turbinas de fluxo axial mostradas nas Figuras 2.b, 2.c e 2.d são otimizadas para ambientes oceânicos, onde as correntes são mais constantes e vigorosas. Essas turbinas compartilham semelhanças significativas com turbinas eólicas, tanto no design quanto na estrutura, o que possibilita a transferência de tecnologias e soluções desenvolvidas para sistemas eólicos em contextos hidrocinéticos. Essa convergência tecnológica contribui para a eficiência e a inovação na geração de energia em ambientes aquáticos (Deus, 2021).



**Figura 2.** Turbinas de eixo horizontal. Fonte: Vermaak *et al.* (2014).

### 3.4. Turbinas de Fluxo Transversal

As turbinas de fluxo transversal, ilustradas na Figura 3, são projetadas com eixos de rotor perpendiculares ao fluxo da água, mas paralelos à superfície. Elas podem ser classificadas em dois tipos principais: turbinas de eixo vertical, cujo eixo é perpendicular ao plano da água, e turbinas de eixo horizontal, que permanecem alinhadas ao nível da água (Deus, 2021).

As turbinas de eixo horizontal (Figura 3.a) geralmente operam com base no princípio de arrasto, sendo menos eficientes em comparação com modelos baseados em sustentação. Por outro lado, as turbinas de eixo vertical (Figuras 3.b, 3.c, 3.d, 3.e e 3.f) têm uma ampla aplicação na geração de energia em ambientes fluviais, destacando-se as turbinas do tipo Darrieus. Entre essas, as turbinas Darrieus de pás retas, também conhecidas como "tipo H" ou "Gaiola de Esquilo," se mostram particularmente eficazes para aplicações hidrológicas. Sua robustez e eficiência as tornam uma solução viável para aproveitamento energético em rios, sendo frequentemente empregadas em locais onde as condições de fluxo apresentam maior variabilidade (Deus, 2021).

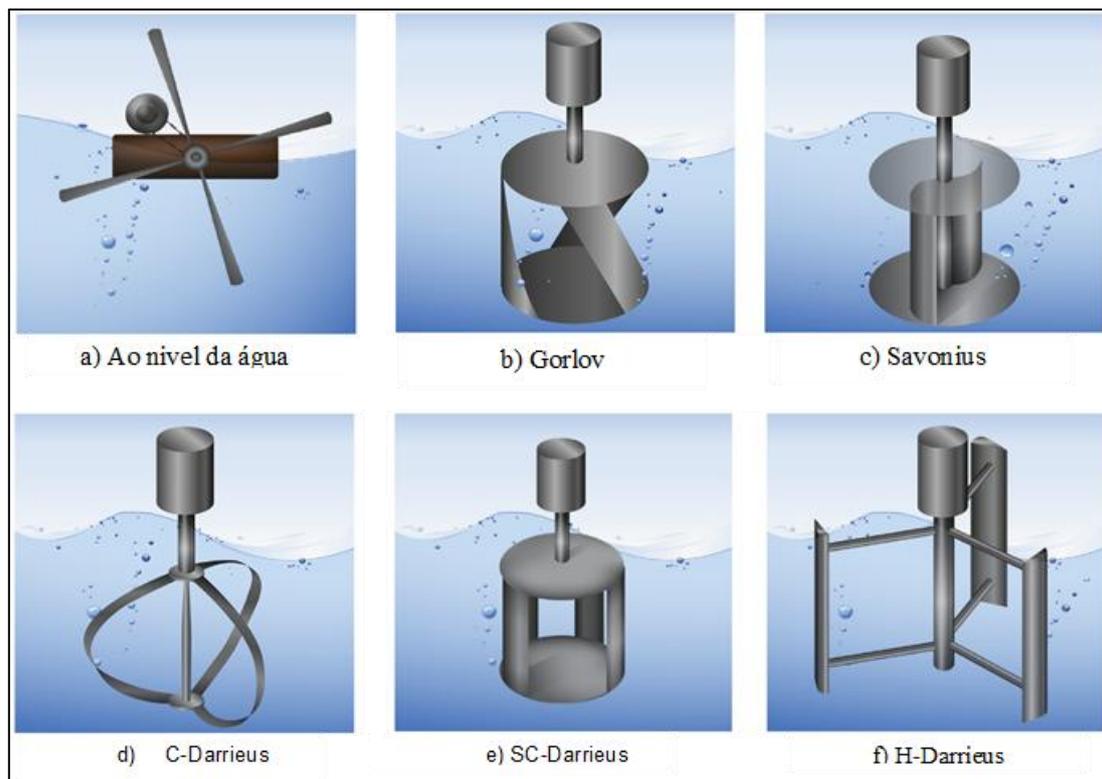


Figura 3. Turbinas de eixo vertical. Fonte: Vermaak *et al.* (2014).

### 3.5. Sistema de Conversão de Energia de Corrente de Rio (SCECR)

O Sistema de Conversão de Energia de Corrente de Rio (SCECR) representa uma solução técnica inovadora, que exige um design simplificado e econômico, utilizando materiais comercialmente acessíveis. Uma visão externa de um SCECR genérico com canal aumentado é apresentada na Figura 4.a, ilustrando os principais componentes de uma unidade completa. Esses componentes incluem:

- **Rotor:** Responsável por captar a energia cinética da correnteza do rio e convertê-la em movimento rotacional. O número e o material das pás são fatores críticos para a eficiência do sistema.
- **Canal Aumentado:** Estrutura que direciona e acelera o fluxo de água para o rotor, aumentando a eficiência da captação de energia.
- **Montagem:** Sistema de fixação que mantém o rotor e outros componentes alinhados e estáveis durante a operação.
- **Flutuação:** Mecanismo que permite que o sistema permaneça na superfície da água, garantindo que o rotor esteja na posição ideal para captar a correnteza.
- **Amarração:** Sistema de ancoragem que mantém o SCECR estável e posicionado corretamente no rio, mesmo em condições de correnteza variável.
- **Trem de Força:** Conjunto de engrenagens e rolamentos que transmitem a energia mecânica do rotor para o gerador. O design deve ser robusto para suportar operações em baixa velocidade e em ambientes aquáticos.
- **Conversor de Potência:** Dispositivo que converte a energia mecânica em energia elétrica, ajustando a tensão e a corrente para o uso em sistemas elétricos.
- **Instrumentos de Controle:** Sensores e sistemas de monitoramento que regulam a operação do SCECR, garantindo eficiência e segurança.
- **Dispositivos de Proteção:** Mecanismos que protegem o sistema contra danos causados por condições adversas, como correntezas excessivas ou detritos.

A escolha do rotor adequado, considerando o número e os materiais das pás, é um aspecto central para a eficiência do sistema. Além disso, o desenvolvimento de um trem de força eficiente, com engrenagens e rolamentos

projetados para suportar a operação em baixa velocidade e em ambientes aquáticos, é essencial. A seleção do gerador elétrico mais apropriado (síncrono, assíncrono, corrente contínua ou corrente contínua sem escovas) demanda uma análise detalhada que leve em conta o equilíbrio entre custo e desempenho.

Outro desafio técnico é a integração de todos os componentes ao mecanismo de flutuação e ao sistema de canal aumentado, exigindo análises estruturais e de confiabilidade para assegurar a estabilidade e eficiência do conjunto.

Um sistema hidrocínético é composto por uma turbina hidrocínética, um gerador (Gerador Síncrono de Ímãs Permanentes - GSIP), um conversor de eletrônica de potência e um sistema de conexão, seja por bateria ou diretamente à rede elétrica (Figura 4.a.). No processo, a água em movimento gira a turbina a uma certa velocidade. O rotor do GSIP é diretamente acoplado ao eixo da turbina, sem o uso de engrenagens, e o movimento aciona automaticamente o rotor do gerador. A potência gerada pelo GSIP é controlada e convertida por meio do sistema de conversão de eletrônica de potência. Em sistemas autônomos, o sistema de corrente alternada (CA) variável (trifásico) é convertido em tensão contínua (CC) variável por retificadores trifásicos. Posteriormente, um conversor CC-CC transforma a tensão CC variável em uma tensão de barramento CC constante. Já no sistema conectado à rede elétrica, um inversor é utilizado para converter a tensão CC constante em energia CA antes de transferi-la para a rede elétrica (Ibrahim et al., 2021).

A Figura 4.b ilustra os estágios de controle de um sistema SCECR, detalhando as diferentes fases de operação das turbinas, desde a inicialização até a otimização do desempenho. Esses estágios incluem:

- Inicialização (Startup): Fase em que o sistema é ativado e começa a captar a energia cinética da correnteza do rio. Nesta etapa, os sensores verificam as condições do fluxo de água e ajustam o posicionamento do rotor para maximizar a captação de energia.
- Rastreamento de Potência Máxima: O sistema ajusta continuamente a velocidade do rotor e a posição das pás para garantir que a máxima energia seja extraída da correnteza, independentemente das variações no fluxo de água.
- Proteção: Durante a operação, o sistema monitora constantemente as condições ambientais e mecânicas. Se detectar condições adversas, como correntezas excessivas ou obstruções, o sistema entra em modo de proteção, reduzindo a velocidade do rotor ou parando temporariamente a operação para evitar danos.
- Parada (Shutdown): Fase final em que o sistema é desativado de forma controlada, seja para manutenção ou em resposta a condições ambientais que impossibilitem a operação segura.

Essa abordagem inclui estratégias de controle sofisticadas para maximizar a eficiência energética enquanto garante a operação estável e segura das turbinas (Oliveira, 2024). A integração de sistemas de controle avançados permite que o SCECR opere de forma autônoma, adaptando-se às variações nas condições do rio e garantindo uma geração de energia contínua e eficiente.

### 3.6. Adversidade Ambiental

As usinas hidrelétricas convencionais, por sua natureza, exigem a construção de grandes barragens e alterações significativas nos cursos d'água, o que pode causar impactos profundos nos ecossistemas fluviais. Esse fator é especialmente preocupante em regiões ecologicamente sensíveis, como a Amazônia, onde a preservação do meio ambiente natural é crucial para a manutenção da biodiversidade e do equilíbrio dos ecossistemas (Bezerra, 2021).

A introdução de sistemas de turbinas fluviais, embora menos invasiva que as hidrelétricas tradicionais, também apresenta desafios ambientais que precisam ser cuidadosamente avaliados. Uma análise detalhada dos impactos ambientais deve ser conduzida para garantir que essa tecnologia possa ser implementada de maneira sustentável. Aspectos como alterações no fluxo a jusante, que podem modificar a dinâmica natural dos rios, e os possíveis efeitos negativos sobre plantas e animais aquáticos devem ser considerados (Oliveira, 2024).

Essas avaliações são essenciais para assegurar que as turbinas fluviais não comprometam a integridade dos ecossistemas locais, especialmente em áreas de alta sensibilidade ambiental como a bacia amazônica. Medidas de mitigação, baseadas em estudos científicos rigorosos, devem ser parte integrante do planejamento e da operação dessas tecnologias, para que seu uso contribua para o desenvolvimento sustentável sem prejudicar o patrimônio natural da região.

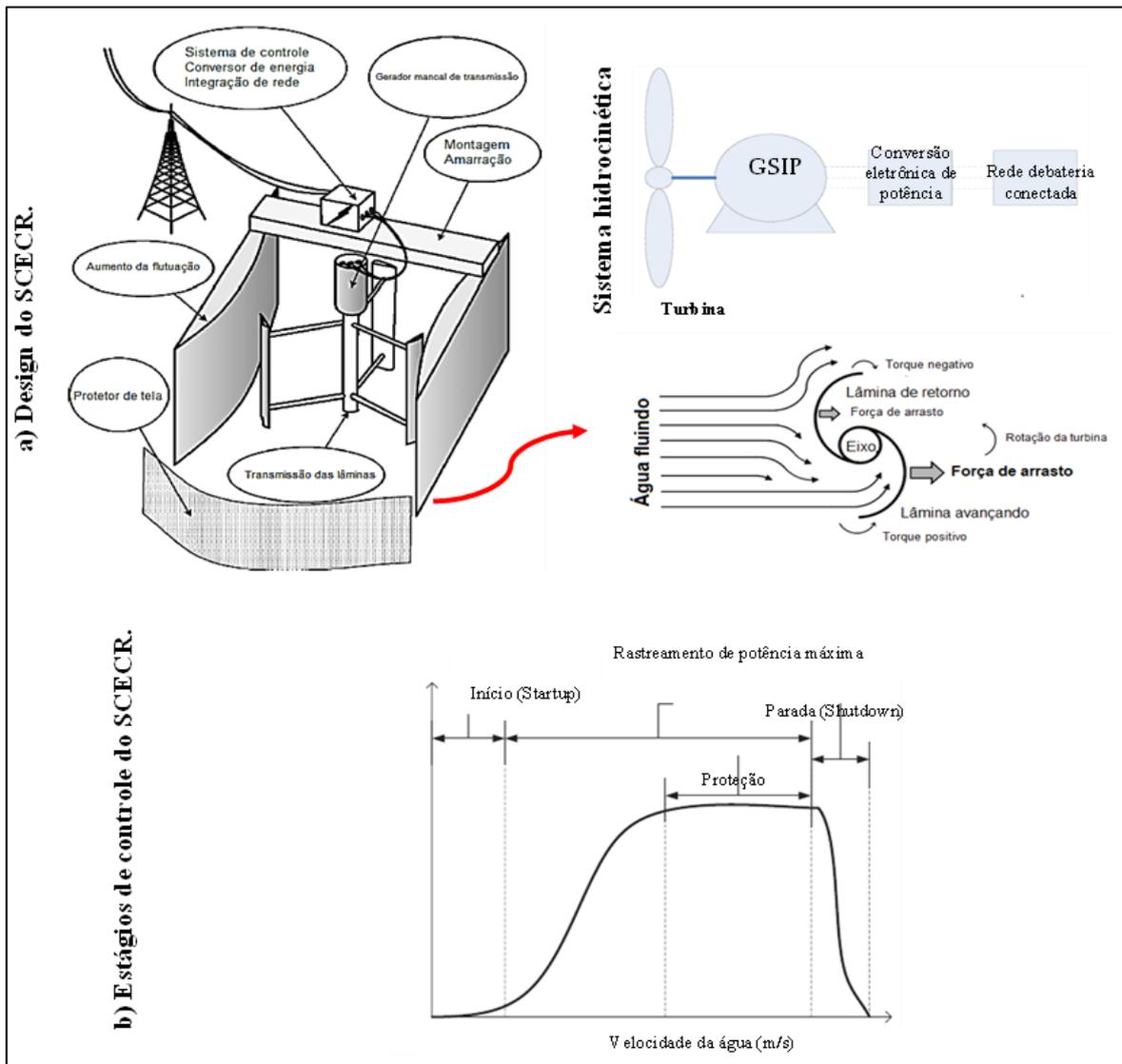


Figura 4. Sistema de Conversão de Energia de Correnteza de Rio. Fonte: Khan et al. (2014).

### 3.7. Potencial Energético na Região Norte

A região Norte do Brasil, com sua extensa rede hidrográfica, destaca-se como um território de elevado potencial para a geração de energia renovável, especialmente por meio de turbinas submersas. A bacia amazônica é composta por rios de grande vazão, como o Amazonas, Tocantins e Madeira, que apresentam fluxos contínuos e elevados durante praticamente todo o ano. Essas características tornam esses rios particularmente adequados para a exploração energética sustentável (Cavalcante, 2024).

Entre as usinas hidrelétricas em operação na região, destacam-se Tucuruí, Jirau e Santo Antônio, todas com capacidades instaladas superiores a 3000 MW, consolidando-se como pilares fundamentais da matriz energética brasileira (Pizza et al., 2023). A relevância dessas hidrelétricas é demonstrada na Tabela 1 - Hidrelétricas Instaladas nos Estados do Amazonas, Amapá, Pará e Rondônia, que ilustra a contribuição significativa dessas instalações para o suprimento energético nacional.

O vasto potencial técnico da bacia amazônica para geração de energia renovável, aliado à possibilidade de diversificação da matriz energética, aponta para a importância estratégica da região Norte no desenvolvimento sustentável do setor energético brasileiro. Essa exploração, no entanto, deve ser cuidadosamente planejada, considerando não apenas a viabilidade técnica, mas também os aspectos socioambientais inerentes ao contexto amazônico.

Nome do Projeto Hidrelétrico	Potência (MW)	Nome do Consórcio	Estado
Tucuruí	8535	100% para Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A	Pará
Jirau	3375	100% para Energia Sustentável do Brasil S.A	Rondônia
Santo Antônio	3150,76	100% para Santo Antônio Energia S.A	Rondônia
Teles Pires	1819	Companhia Hidrelétrica Teles Pires	Mato Grosso, Pará
Belo Monte	1338,8	100% para Norte Energia SA	Pará
São Manoel	700	Empresa de Energia São Manoel S.A	Mato Grosso, Pará
Srº Antônio do Jari	373,4	100% para ECE Participações S.A	Amapá, Pará
Ferreira Gomes	252	100% para Ferreira Gomes Energia S.A	Amapá
Balbina	249,75	100% para Amazonas Geração e Transmissão de Energia S.A	Amazonas
Cachoeira Caldeirão	219	100% para Empresa de Energia Cachoeira Caldeirão S.A	Amapá
Ferreira Gomes	252	Ferreira Gomes Energia S.A	Amapá
Samuel	216,75	100% para Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A.	Rondônia
Coroacy Nunes	78	Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A.	Amapá
Rondon II	73,5	100% para Eletrogoes S/A	Rondônia
Curuá-Una	30,3	100% para Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A	Pará
Santo Curuá	30	100% para Curuá Energia S.A	Pará
<b>Total</b>	<b>20.623,26</b>		

**Tabela 1.** Hidrelétricas Instaladas nos Estados do Amazonas, Amapá, Pará e Rondônia. Fonte: Elaborado a partir da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2021).

Esse potencial energético é sustentado pelas características dos rios da Amazônia, que, devido ao volume e velocidade das águas, possuem um fluxo cinético que pode ser aproveitado para a geração constante de eletricidade (Silva, 2024). Estima-se que a bacia amazônica tenha um potencial técnico que, se explorado adequadamente, poderia suprir uma parcela significativa da demanda energética da região, especialmente em áreas remotas onde o acesso à eletricidade é limitado (Ileberi, 2023). Estudos apontam que, com a instalação de turbinas submersas em pontos estratégicos, seria possível gerar energia de maneira descentralizada, levando eletricidade diretamente a comunidades ribeirinhas e reduzindo a dependência da construção de grandes e complexas redes de transmissão (Silva et al., 2023).

A hidreletricidade é a principal fonte de energia na Região Norte, com grandes usinas como Belo Monte, Jirau e Santo Antônio desempenhando um papel central na matriz energética. Essas usinas adotam o modelo "fio d'água", que minimiza a criação de grandes reservatórios, reduzindo os impactos ambientais associados. Esse modelo é especialmente relevante em áreas sensíveis como a Amazônia, onde a conservação da biodiversidade é uma preocupação importante (Gadêlha et al., 2022).

A usina de Belo Monte, localizada no rio Xingu, é um dos maiores projetos hidrelétricos do mundo e representa um marco no aproveitamento do potencial hidrelétrico da região. Outras usinas em operação, como Jirau e Santo Antônio no rio Madeira, também contribuem significativamente para a geração de energia elétrica, mas enfrentam desafios como impactos socioambientais e disputas legais relacionadas a questões indígenas e ambientais (Santos, 2018).

### 3.8. Impactos Socioambientais

Os projetos de geração de energia na Região Norte enfrentam desafios ambientais e sociais de grande magnitude. A construção de hidrelétricas, em particular, resulta em alterações significativas nos ecossistemas aquáticos e terrestres, além de impactar profundamente as comunidades ribeirinhas e povos indígenas que habitam essas áreas. Embora os modelos "fio d'água" sejam projetados para reduzir as áreas alagadas e mitigar esses efeitos, críticas persistem quanto à sua eficiência e sustentabilidade a longo prazo (Santos, 2018).

As turbinas submersas, por sua vez, apresentam um impacto ambiental consideravelmente menor em comparação às hidrelétricas tradicionais. Elas eliminam a necessidade de barragens e grandes reservatórios, evitando o alagamento de vastas áreas, a perda de biodiversidade e o deslocamento de comunidades locais. Instaladas diretamente no leito dos rios, essas turbinas preservam os ecossistemas ribeirinhos e reduzem as emissões de gases de efeito estufa, geralmente associadas à decomposição de matéria orgânica em reservatórios (Santos, 2018).

Apesar dessas vantagens, as turbinas submersas não estão isentas de impactos socioambientais. Sua presença nos rios pode interferir no fluxo natural de organismos aquáticos, afetando, por exemplo, espécies de peixes migratórios que dependem desses trajetos para reprodução (Silva et al., 2015). Para mitigar esses efeitos, é crucial realizar estudos detalhados que analisem as interações entre as turbinas e a fauna aquática. Medidas como redes de proteção e defletores podem ser incorporadas ao design das turbinas para minimizar danos à vida aquática.

Sob o aspecto social, a instalação de turbinas submersas pode alterar o uso tradicional dos rios pelas populações ribeirinhas, que dependem dessas águas para pesca, transporte e subsistência. Portanto, adotar uma abordagem participativa no planejamento e implementação dos projetos é essencial. Garantir que as comunidades locais tenham voz ativa e sejam beneficiadas por iniciativas como compensações, acesso à energia elétrica e capacitação técnica para a manutenção das turbinas contribui para um modelo mais inclusivo e sustentável (Levy Neto, 2020).

Por outro lado, as hidrelétricas continuam apresentando desafios ambientais graves. A criação de áreas alagadas afeta ecossistemas de forma potencialmente irreversível, causando mudanças significativas na biodiversidade local. Em uma escala mais ampla, essas alterações podem influenciar o regime de chuvas e a intensidade climática, tanto na região Amazônica quanto em áreas distantes. Essa modificação do equilíbrio ecológico impacta diretamente as populações que habitam o território amazônico, alterando seus modos de vida e as relações com o ambiente natural (Pizza et al., 2023).

### 3.9. Viabilidade Econômica e Sustentabilidade

A viabilidade econômica das turbinas submersas na região Norte está diretamente relacionada a fatores como o custo inicial de instalação, as características específicas dos rios e a demanda energética das áreas beneficiadas. Embora o investimento inicial seja elevado, o custo de manutenção dessas turbinas é relativamente baixo. Uma vez instaladas, elas operam de maneira contínua, sem a necessidade de intervenções frequentes. No longo prazo, essa tecnologia pode se mostrar economicamente mais vantajosa em comparação a outras fontes de energia, devido à ausência de custos adicionais com combustível e à menor complexidade de infraestrutura, especialmente quando comparadas às grandes hidrelétricas (Chuma, 2023).

Além da viabilidade econômica, as turbinas submersas apresentam uma alternativa sustentável. Ao contrário de fontes intermitentes, como a energia solar e eólica, elas oferecem geração contínua de eletricidade, o que as torna ideais para atender comunidades remotas e de difícil acesso. Essa característica assegura um fornecimento confiável e consistente, reduzindo a dependência de fontes não renováveis (ANEEL, 2021). No entanto, a sustentabilidade desse modelo depende de um compromisso conjunto entre governos e o setor privado. Incentivos governamentais, políticas públicas e parcerias público-privadas são fundamentais para promover a pesquisa, o desenvolvimento e a adoção em larga escala dessa tecnologia.

Um exemplo de medida voltada para minimizar os impactos ambientais e sociais associados à instalação de hidrelétricas é o caso da bacia do rio Tapajós. A proximidade de unidades de conservação, como o Parque Nacional da Amazônia, as Florestas Nacionais de Itaituba I e II, a Área de Proteção Ambiental do Tapajós e a Floresta Nacional de Crepori, levou ao adensamento planejado das hidrelétricas nessas áreas. Essa estratégia visou integrar os limites de regiões já protegidas, facilitando o processo de licenciamento ambiental e, conseqüentemente, a instalação das usinas. Embora as redefinições dos limites das áreas protegidas tenham sido relativamente pequenas, o subdimensionamento foi utilizado como uma forma de minimizar os impactos dessas alterações, conforme demonstrado na tabela 2.

Deste modo há uma flexibilização institucional onde a esfera administrativa utiliza de leis e medidas provisórias sem que haja estudos técnicos que justifiquem as redefinições dos limites em virtude da instalação de usinas hidrelétricas.

Unidade de Conservação	Grupo de Proteção	Áreas antes da alteração (ha)	Área após alteração (ha)	Quantidade de área (ha) excluída	Projeto hidrelétrico	Situação após alteração
Parna da Amazônia	Proteção Integral	1.114.496	1.070.737	43.759	São Luis do Tapajos	Reduzida
FLONA Itaituba I	Uso Sustentável	220.034	213.238	6.796	São Luis do Tapajos	Reduzida
FLONA Itaituba II	Uso Sustentável	440.500	412.047	28.453	São Luis do Tapajos	Reduzida
APA do Tapajós	Uso Sustentável	2.059.496	2.039.580	19.916	Jatobá	Reduzida
FLONA de Crepori	Uso Sustentável	740.661	739.906	856.00	Jatobá	Reduzida

**Tabela 2.** Unidade de Conservação da Bacia do Rio Tapajós que Tiveram Redefinições de Limites nas Áreas Próximas as Usinas Hidrelétricas Planejadas. Fonte: Elaborado a partir do Instituto Socioambiental – ISA, (2020).

Embora a energia seja um fator estruturante da sociedade e interfere no fator micro e macro da economia, mas quando se trata dos impactos ocasionados pela instalação de hidrelétricas. Os autores chamam atenção para que o estudo não seja realizado de forma isolada como é feita pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 001/1986 e 237/1997, que estabelecem a necessidade de incorporar toda a bacia hidrográfica, e não apenas rio que vai ser barrado além das atribuições da Lei n.10.847/2004 da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) onde define estudos da promoção energética incluindo o inventário de bacias hidrográficas que não tem ocorrido. Há necessidade de considerar todos os efeitos cumulativos dos empreendimentos planejados com os em operação e assim considera a junção dos efeitos sinérgicos sobre a bacia (Pizza, 2023).

### 3.10. Desafios e Oportunidades

A implementação de turbinas submersas na Amazônia enfrenta desafios significativos, que abrangem desde obstáculos técnicos e logísticos até questões ambientais e sociais. No aspecto tecnológico, destaca-se a necessidade de desenvolver turbinas resistentes à corrosão e ao desgaste causado por sedimentos, um problema comum nos rios da região. Adicionalmente, a logística de transporte e instalação em áreas remotas apresenta custos elevados e exige um planejamento detalhado, considerando as limitações de infraestrutura e o acesso restrito a essas localidades (Ronchesel, 2016).

Outro grande desafio é assegurar que as turbinas sejam instaladas de maneira a minimizar danos ambientais, respeitando a fauna aquática e garantindo que o projeto não interfira no modo de vida das comunidades ribeirinhas. Para isso, é imprescindível que iniciativas de pesquisa e desenvolvimento continuem a buscar inovações que possibilitem a adaptação das turbinas às condições específicas dos rios amazônicos, como a variabilidade do fluxo de água e a rica biodiversidade (Ronchesel, 2016).

Apesar desses desafios, as oportunidades oferecidas pela tecnologia de turbinas submersas na região Norte são amplas e promissoras. A instalação dessas turbinas pode fortalecer a economia local ao gerar empregos diretos e indiretos, além de incentivar o desenvolvimento de comunidades em áreas de difícil acesso. Ademais, essa tecnologia surge como uma solução estratégica para reduzir a dependência de grandes hidrelétricas, diminuindo a vulnerabilidade do sistema energético local e promovendo a diversificação da matriz energética, tornando-a mais resiliente às mudanças climáticas.

Além dos benefícios locais, a adoção de turbinas submersas representa uma oportunidade estratégica para o Brasil se alinhar a metas globais de sustentabilidade. A tecnologia contribui para a redução das emissões de carbono e a preservação de ecossistemas únicos, como a Amazônia. Com o avanço de políticas públicas voltadas à energia renovável e investimentos em tecnologias inovadoras, as turbinas submersas têm o potencial de transformar o cenário energético da região. Isso possibilita um desenvolvimento econômico que respeita os limites ecológicos e culturais da Amazônia, garantindo um futuro mais sustentável para a região e para o país como um todo (Machado, 2020).

### 3.11. Diversificação da Matriz Energética

Embora a energia hidrelétrica ainda predomine na matriz energética da região, há um interesse crescente na diversificação das fontes de geração de energia. A energia solar, por exemplo, está em expansão, beneficiando-se

da alta incidência de radiação solar ao longo do ano na Amazônia. De maneira similar, a energia eólica vem sendo avaliada como uma alternativa promissora em áreas específicas, onde a velocidade dos ventos possibilita uma geração energética viável. A diversificação da matriz é essencial para reduzir a dependência de uma única fonte de energia, promovendo um sistema mais sustentável, eficiente e resiliente frente às demandas energéticas e aos desafios climáticos (Gadêlha et al., 2022).

#### 4. Discussão

A implementação de usinas de turbinas submersas na região Norte do Brasil surge como uma alternativa promissora e inovadora para a geração de energia, especialmente frente aos desafios impostos pela dependência excessiva de grandes hidrelétricas e suas consequências socioambientais (Amauro; Botan; Conti, 2024). A análise dos benefícios e desafios dessa tecnologia evidencia não apenas uma oportunidade de diversificação da matriz energética, mas também a necessidade urgente de repensar as estratégias de desenvolvimento sustentável na Amazônia (Viana; Tavares; Lima, 2015).

As turbinas submersas, ao se alinharem às características hidrológicas dos rios amazônicos, que apresentam vazões significativas e constantes, destacam-se como uma solução tecnológica de grande potencial. Essa alternativa é particularmente atrativa, pois possibilita a implantação descentralizada, levando energia a comunidades ribeirinhas frequentemente excluídas da infraestrutura elétrica tradicional (Gadêlha, 2022). Diferentemente das grandes hidrelétricas, que dependem de barragens e alteram drasticamente os ecossistemas locais, as turbinas submersas preservam a integridade dos rios, minimizam os impactos ambientais e mantêm habitats relativamente intactos, sendo fundamentais para a conservação da biodiversidade amazônica, uma das mais ricas do planeta (Ventura Filho, 2013).

Estudos indicam que a capacidade instalada de turbinas submersas nos rios da Amazônia poderia suprir a demanda energética de pequenas comunidades e alimentar sistemas de micro-rede, integrando geração e consumo local [30]. Essa descentralização energética melhora a qualidade de vida, promove o desenvolvimento econômico e possibilita o surgimento de pequenas indústrias e serviços dependentes de eletricidade.

Além disso, a implementação dessas turbinas pode impulsionar a economia local, gerando empregos não apenas na construção e manutenção das usinas, mas também no surgimento de novos negócios decorrentes de uma fonte de energia confiável. A geração local reduz a dependência de combustíveis fósseis e os custos com importação de eletricidade, fortalecendo a segurança energética da região (Silva et al., 2023).

Embora os impactos ambientais das turbinas submersas sejam consideravelmente menores que os das hidrelétricas tradicionais, é essencial monitorar e avaliar constantemente suas implicações na fauna aquática e nas comunidades ribeirinhas. A adoção de um planejamento participativo e cuidadoso é crucial para garantir que as vozes das populações locais sejam ouvidas, promovendo uma gestão mais eficiente dos recursos naturais e ecossistemas (ANEEL, 2021).

A preservação da biodiversidade é um ponto central no debate sobre impactos socioambientais. Por operarem de forma menos invasiva, as turbinas submersas minimizam a necessidade de grandes obras civis, reduzindo a fragmentação de habitats. Contudo, é imprescindível realizar estudos de impacto ambiental (EIA) para identificar possíveis alterações na dinâmica dos ecossistemas locais, além de investir em programas de educação ambiental e capacitação das populações locais para garantir o uso responsável dessa tecnologia.

Os desafios tecnológicos, logísticos e econômicos associados às turbinas submersas não devem ser subestimados. Investimentos em pesquisa e inovação são essenciais para desenvolver turbinas adaptadas às condições específicas dos rios amazônicos, como correnteza, variações de nível e características do leito fluvial. Parcerias entre instituições de pesquisa, governo e setor privado são fundamentais para acelerar o desenvolvimento de soluções viáveis e sustentáveis (Deliza, 2021).

O apoio a políticas públicas que incentivem o uso de energias renováveis e simplifiquem a regulamentação de pequenos projetos energéticos é outro passo essencial. Esse suporte pode estimular iniciativas locais, aumentar a competitividade da energia gerada por turbinas submersas e promover maior autonomia das comunidades no acesso à eletricidade.

A crescente demanda global por fontes de energia renovável apresenta uma oportunidade única para o avanço dessa tecnologia. A pressão para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e a transição para uma economia de baixo carbono tornam as turbinas submersas um componente estratégico na matriz energética do Brasil. Incentivar

a pesquisa, o uso de tecnologias sustentáveis e os investimentos em infraestrutura nas regiões mais carentes pode promover crescimento econômico e desenvolvimento sustentável (Viana; Tavares; Lima, 2015).

A inovação tecnológica será crucial para a viabilidade e o sucesso dessa tecnologia. O desenvolvimento de materiais mais resistentes, sistemas de monitoramento avançados e soluções adaptáveis às condições climáticas e ambientais locais pode reforçar a competitividade das turbinas submersas em relação a outras fontes renováveis. Essa busca por inovação também pode fomentar o surgimento de startups e iniciativas empreendedoras, contribuindo para o fortalecimento da economia local.

Unidades de conservação, essenciais para a proteção da biodiversidade amazônica, dividem-se entre áreas de proteção integral, destinadas exclusivamente à preservação, e áreas de uso sustentável, que permitem a habitação de populações tradicionais e o uso de recursos naturais (Pizza, 2023). A perda dessas áreas traz consequências graves, como desequilíbrios sociais, econômicos e ambientais, afetando diretamente a segurança alimentar, a biodiversidade e o clima.

Por fim, o "desenvolvimento" gerado pela construção de grandes hidrelétricas muitas vezes resulta em um aquecimento temporário do mercado local, com geração de empregos e surgimento de empresas apenas durante o período de construção. Após a conclusão das obras, a economia local é impactada negativamente pela redução de empregos e pela saída dessas empresas, evidenciando a necessidade de modelos energéticos mais sustentáveis e duradouros.

## 5. Conclusões

A discussão sobre a implementação de turbinas submersas na região Norte do Brasil evidencia uma oportunidade estratégica para superar desafios significativos e alcançar benefícios substanciais. Essa tecnologia apresenta-se como uma solução energética viável e sustentável, além de impulsionar a inclusão social e econômica das comunidades ribeirinhas. A descentralização da geração de energia por meio de turbinas submersas pode transformar a dinâmica dessas comunidades, proporcionando acesso à eletricidade de forma mais acessível e eficiente, o que, por sua vez, fomenta o desenvolvimento de pequenos negócios e melhora a qualidade de vida. Ao mesmo tempo, essa abordagem reduz a dependência de fontes não renováveis de energia. O desenvolvimento sustentável desses recursos é essencial para garantir que o crescimento econômico não ocorra à custa da degradação ambiental e dos direitos das comunidades locais.

Com um planejamento estratégico, uma abordagem participativa e o contínuo incentivo à pesquisa e inovação, as turbinas submersas podem se consolidar como uma alternativa central para o desenvolvimento energético da Amazônia, promovendo a harmonia entre crescimento econômico e preservação ambiental. É crucial que as comunidades ribeirinhas sejam ativamente envolvidas no processo de implementação e gestão dessas tecnologias, para que suas necessidades e conhecimentos sejam respeitados e integrados às decisões que afetam seus modos de vida.

Ademais, a capacitação das populações locais para operar e manter essas usinas não apenas assegura a sustentabilidade dos projetos, mas também proporciona uma valiosa transferência de conhecimento. Essa capacitação fortalece a autonomia das comunidades, cultivando um senso de pertencimento e responsabilidade em relação à conservação dos recursos naturais. Paralelamente, o fortalecimento da governança local, com foco na gestão de recursos hídricos e energéticos, deve ser priorizado para garantir decisões justas e representativas.

A integração de turbinas submersas na matriz energética brasileira não é apenas uma oportunidade, mas uma necessidade para alcançar um futuro sustentável e resiliente. Sendo um país com vastos recursos hídricos, o Brasil tem a responsabilidade de explorar essas fontes de maneira inovadora e consciente. Um sistema energético diversificado e ecologicamente responsável, que respeite a biodiversidade da Amazônia, é um passo vital para assegurar que o desenvolvimento regional beneficie tanto a economia quanto as gerações futuras.

Além disso, a adoção de turbinas submersas pode servir como um modelo replicável em outras regiões do Brasil e do mundo que enfrentam desafios semelhantes de acesso à energia e desenvolvimento sustentável. À medida que a pressão global para a transição para uma economia de baixo carbono aumenta, investir em soluções como essa transcende uma estratégia energética; é uma responsabilidade ética com o meio ambiente e as comunidades mais vulneráveis.

Para que essa transição seja eficaz, é indispensável o comprometimento conjunto das esferas governamentais, do setor privado e da sociedade civil. Somente uma colaboração abrangente e um compromisso coletivo em prol da sustentabilidade permitirão transformar a matriz energética brasileira de maneira a promover tanto o bem-estar

econômico quanto a preservação ambiental. A implementação de turbinas submersas na Amazônia oferece uma oportunidade única para construir um caminho que não apenas celebre, mas também proteja a riqueza natural e cultural dessa região singular.

**Contribuições dos Autores:** Todos os autores contribuíram, de igual modo, para a elaboração do manuscrito em todas as suas etapas.

**Financiamento:** Esta pesquisa não recebeu nenhum financiamento externo.

**Conflito de Interesse:** Os autores declaram não haver conflito de interesse.

## Referências

1. AMAURO, K. L. N., et al. Energia de Maremotriz: Estudo de Caso no Maranhão. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, v. 5, n. 4, p. 1 – 7, 2024.
2. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Construção de hidrelétricas na Região Norte do País**. Apresentação em evento, 1 dez. 2021. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/comissoes-permanentes/cme/apresentacoes-em-eventos/apresentacoes-em-eventos-2021/01-12-2021-construcao-de-hidreletricas-na-regiao-norte-do-pais/ANEEL.pptx>. Acesso em: 12 nov. 2024.
3. BEZERRA, F. D. S. **Dinâmica das ocupações e a “nova” ruralidade na região Norte do Brasil**: desafios para uma agenda ampla de desenvolvimento rural. 2021. Tese (Doutorado em Programa de Pós-Graduação em Economia) - Universidade Federal de Uberlândia, 2021.
4. BUSTAMANTE, M. M. C., et al. **Tendências e impactos dos vetores de degradação e restauração da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos**. In: JOLY, C. A., et al. (Ed). 1º Diagnóstico brasileiro de biodiversidade e serviços ecossistêmicos. São Carlos, SP: Editora Cubo, 2019. p. 93-213.
5. CAVALCANTE, D. A. **Análise experimental do emprego de turbinas hidrocínéticas em baixas correntezas para geração de energia**. 2024. 58 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Naval) – Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2024.
6. CHUMA, W. A. **Geração de energia hidrelétrica através de sifão em barragens**. 2023. 61p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Pampa, Curso de Engenharia Elétrica, Alegrete, 2023.
7. DELIZA, E. E. V. **Análise de viabilidade técnica e econômica da repotenciação de Pequenas Centrais Hidrelétricas no estado de Rondônia**: estudo de caso na CGH MARTINUV. 2021. 99 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente (PGDRA), Fundação Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Porto Velho, 2021.
8. DEUS, D. D. A. **Pequenas centrais hidrelétricas na matriz elétrica da República de São Tomé e Príncipe**: o potencial da bacia hidrográfica do rio Iô Grande. 2021. Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira. 2021.
9. GADÊLHA, J. E. F. S., et al. Tipos de energias renováveis e sua importância na minimização de impactos ambientais. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 1, n. 1, p. 1-15, 2022.
10. IBRAHIM, W. I., et al. Hydrokinetic energy harnessing technologies: a review. **Energy reports**, v. 7, p. 2021-2042, 2021.
11. ILEBERI, G.R.; LI, P. Integrating Hydrokinetic Energy into Hybrid Renewable Energy System: Optimal Design and Comparative Analysis. **Energies**, v. 16, n. 8, p. 3403, 2023.
12. MACHADO, L. M. **“A beira do rio é o nosso lugar”**: os efeitos da usina hidrelétrica de estreito (MA) e a vida ribeirinha no acampamento Coragem em Palmeiras do Tocantins (TO). Dissertação (Mestrado em Estudos de Cultura e Território), Universidade Federal do Tocantins. Araguaína (TO), 2020.
13. NETO, F. L. Soluções integradas para as crises hídrica e energética no Brasil. **Parcerias Estratégicas**, v. 25, n. 50, p. 159-174, 2020.
14. NOWAKOWSKI, G. A. A. **Crítérios para análise de limites e potencialidades da sustentabilidade de fontes de energia: um estudo da cadeia produtiva das pequenas centrais hidrelétricas no Brasil**. 2015. 194 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.
15. OLIVEIRA, S. A. Sustentabilidade, economia e segurança: explorando a transição do Brasil para um futuro energético baseado em energias hidrelétrica, eólica e solar. Dissertação (mestrado em Economia) — Programa de Pós-graduação em Economia, Universidade de Brasília, 2024.
16. PEREIRA, E. D. **Energia solar térmica**. In: FRAIDENRAICH, N., et al. (Org.). *Ciência e Tecnologia Solar no Brasil: 60 anos*. 1. Ed. Porto Alegre: AGE, 2023. p. 173 – 204.
17. PIZZA, B. P., et al. **Turbina hidrocínética de pequena escala para geração de energia em rios**. 2023. 75 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2023.

18. RONCHESEL, M. M. **Avaliação dos Efeitos Ecológicos de Aproveitamentos Hidroelétricos Sobre as Comunidades de Macroinvertebrados e Peixes no Norte de Portugal (Bacia do Rio Douro)**. 2016. Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico de Bragança (Portugal), 2016.
19. SAMPAIO, K. R. A.; BATISTA, V. O atual cenário da produção de energia eólica no Brasil: uma revisão de literatura. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, p. e57710112107, 2021.
20. SANTOS, M. Q. **Morfodinâmica na confluência dos rios Solimões-Amazonas e Rio Negro e a organização sócioespacial na costa do Rebojão e costa da terra nova no período de 1952 a 2016**. 2018. 125 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018.
21. SANTOS, M. A., et al. **Empreendimentos de geração hidrelétrica na Amazônia: desmatamento em áreas de uso restrito e gestão de áreas protegidas**. 2018. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.
22. SILVA, H. N. **Usina hidrelétrica de Estreito: Zona de autossalvamento e as narrativas de moradores frente à segurança da barragem**. 2024. 142 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2024.
23. SILVA, I. L., et al. The sustainable potential of hydrokinetic turbines in the Amazon basin. **Observatório de la economía latinoamericana**, v. 21, n. 9, p. 13216-13252, 2023.
24. SILVA, S. S. F., et al. Complementaridade Hidro Eólica: Desafios e Perspectivas para o Planejamento Energético Nacional. **HOLOS**, v. 6, p. 32-53, 2015.
25. TERRIN, K. A. P.; BLANCHET, L. A. Direito de energia e sustentabilidade: uma análise dos impactos negativos das usinas hidrelétricas no Brasil. **Revista Videre**, v. 11, n. 22, p. 47-63, 2019.
26. VALENTE, L. E. R. **Caracterização do perfil da geração distribuída fotovoltaica na Região Norte do Brasil**. 2024. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Tucuruí, Tucuruí, 2024.
27. VENTURA FILHO, A. **O desafio das hidrelétricas da Região Norte**. Jornal GGN, 20 dez. 2013. Disponível em: <https://jornalggm.com.br/energia/o-desafio-das-hidreletricas-da-regiao-norte/>. Acesso em: 12 nov. 2024.
28. VIANA, M. B.; TAVARES, W. M.; LIMA, P. C. R. **Sustentabilidade e as principais fontes de energia**. In: GANEM, R. S. (Org.). Políticas setoriais e meio ambiente, 2015, p. 132-175.
29. VIEIRA, M. R. S. **Energia limpa e acessível: os desafios para a garantia de acesso à energia renovável no Amazonas**. 2022. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2022.
30. VINAGRE, M. V. A., et al. Otimização do uso de turbinas axiais em pequenas centrais hidrelétricas da Amazônia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, p. 88-98, 2016.
31. VITORIANO, J. R. **Inovação disruptiva na construção de pás em madeira para turbina hidrocínética axial em comunidades isoladas na Amazônia**. 2022. 94 f. Dissertação (Mestrado em Design) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus (AM), 2022.