

## PROPOSTA DE DESENVOLVIMENTO DE UM ROTOR HIDRÁULICO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA LOCAL NO MUNICÍPIO DE MUÇUM - RS

**MARTIN MARUYAMA**

UFSM - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA

**GUSTAVO VARGAS CURRY**

UFSM - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA

**CÁSSIO YURI OLIVEIRA DOS SANTOS**

UFSM - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA

**ANDERSON DAL MOLIN**

UFSM - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA

**SIMONE FERIGOLO VENTURINI**

UFSM - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA

### Introdução

A matriz energética brasileira possui 46,1% de fontes renováveis, com 12,4% de origem hidráulica. Embora representativa, a construção de grandes usinas implica em desmatamento e alteração de rios, tornando-se inviável em muitos contextos. Em Muçum-RS, enchentes recentes destruíram redes de energia, agravando o isolamento do município. Assim, propõe-se o desenvolvimento de um rotor hidráulico de pequena escala, capaz de operar sob condições extremas, garantindo autonomia energética local e baixo impacto ambiental.

### Problema de Pesquisa e Objetivo

O objetivo deste trabalho é propor o dimensionamento de um rotor hidráulico axial do tipo hélice, adequado às condições hidrológicas do Rio Taquari, em Muçum-RS. Busca-se oferecer uma alternativa sustentável e de baixo impacto para geração elétrica, que funcione em regime contínuo e seja capaz de suprir comunidades durante períodos críticos, reduzindo a dependência de redes convencionais e promovendo maior resiliência energética em situações de desastres naturais.

### Fundamentação Teórica

O uso de rotores axiais para microgeração hidráulica permite converter a energia de correntezas em eletricidade sem a construção de barragens, minimizando impactos ambientais. Aplicações comerciais, como as turbinas da Smart Hydro Power, demonstram a viabilidade dessa tecnologia. O presente estudo adota o roteiro de equacionamento de Henn (2019), que utiliza dados como vazão e profundidade do rio para determinar dimensões essenciais do rotor, como diâmetro, número de pás e eficiência, adaptando-os à realidade de Muçum-RS.

### Metodologia

A metodologia foi estruturada em quatro etapas. Primeiro, desenvolveu-se um script em Python com equações analíticas da literatura e dados hidrológicos locais. Em seguida, definiu-se uma matriz de configurações, variando parâmetros como diâmetro diretor e profundidade de instalação. Na terceira etapa, aplicou-se um processo iterativo de cálculo para todas as combinações possíveis. Por fim, selecionou-se a configuração mais eficiente, obtendo dimensões iniciais do rotor para futura aplicação em uma micro central hidrelétrica.

### Análise e Discussão dos Resultados

Os resultados mostraram que, a partir de dados hidrológicos reais, é possível dimensionar um rotor axial de hélice adequado ao Rio Taquari. A profundidade de instalação e o diâmetro diretor foram identificados como variáveis críticas para eficiência. O método iterativo permitiu comparar diversas combinações e escolher a mais vantajosa. Os achados indicam que o projeto pode atender à demanda de comunidades vulneráveis, alinhando baixo impacto ambiental com viabilidade técnica, em consonância com soluções já aplicadas em escala global.

### Considerações Finais

Este trabalho apresentou uma proposta inicial de dimensionamento de rotor hidráulico axial para geração elétrica local em Muçum-RS. Apesar da robustez do método, não foram considerados fatores como resistência estrutural, atrito ou materiais. Os resultados obtidos representam aproximações iniciais, mas oferecem base sólida para futuros estudos. Recomenda-se avançar com simulações numéricas, prototipagem e ensaios experimentais, de forma a validar o potencial dessa tecnologia na promoção de autonomia energética e resiliência comunitária.

### Referências

ARAÚJO, G. de S. et al., 2023. AZEVEDO, L. F.; GUIMARÃES, L., 2024. CUSTÓDIO, D. et al., 2022. HENN, É. A. L., 2019. HUFFNER, A. N.; MOG, W., 2025. LOCH, T. B., 2011. MARCUZZO, F. F. N.; PINTO, E. J. A., 2022. PEREIRA, R. H. M. et al., 2024. SMART HYDRO POWER, 2025. TEIXEIRA, R. L. B. C.; SILVA, W. A., 2021.

### Palavras Chave

Geração de energia, Micro central hidrelétrica, Metodologia de desenvolvimento

# PROPOSTA DE DESENVOLVIMENTO DE UM ROTOR HIDRÁULICO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA LOCAL NO MUNICÍPIO DE MUÇUM - RS

## 1 INTRODUÇÃO

A matriz energética brasileira é 46,1% composta por fontes renováveis, dos quais 12,4% representa somente a hidráulica (TEIXEIRA e SILVA, 2021). A geração de energia hidráulica provém das correntezas de rios e quedas d'água, porém a adesão desse tipo de projeto implica principalmente em questões ambientais como desmatamento e mudança no fluxo de rios por conta da construção de represas e usinas, o que a torna sensível e inviável para aplicação em diversas áreas (CUSTÓDIO et al., 2022). Como alternativa, a microgeração de energia por meio de micro centrais hidroelétricas (MCH) é uma forma que pequenas comunidades, como Cachoeira do Aruã, na Amazônia, podem utilizar como fonte de energia sem depender das redes de distribuição convencionais e, assim, garantir a sua autonomia local (ARAUJO et al., 2023).

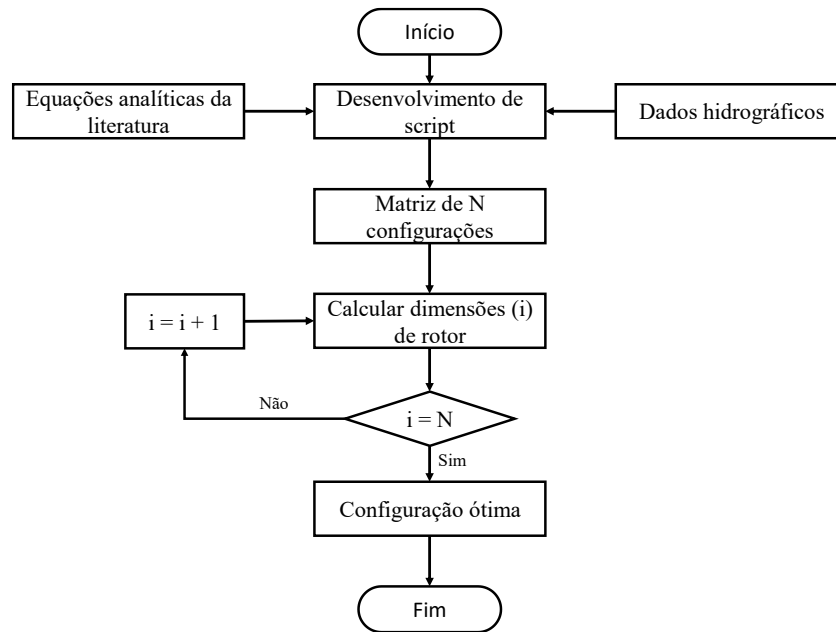
Um outro problema da dependência de distribuição de energia por pequenas comunidades é no isolamento e falta de energia durante desastres naturais, como no caso das enchentes. Em 2023 e 2024, o Rio Grande do Sul foi severamente atingido em grande parte de seu território por grandes volumes de água que resultaram nas maiores catástrofes naturais do país (HUFFNER; MOG, 2025). Durante esses períodos, o município de Muçum, no Vale do Taquari e à beira do Rio Taquari, foi um dos mais afetados com cerca de 74,5% de sua área atingida, segundo Pereira et al. (2024). Por conta dos extensos danos materiais causados e destruição da rede de distribuição de energia, o município sofreu com falta de energia elétrica o que, conseqüentemente, levou ao seu isolamento do restante do estado (AZEVEDO; GUIMARÃES, 2024). Esses acontecimentos reforçam a dependência de pequenos municípios da rede elétrica convencional e a oportunidade de aplicação de geração de energia elétrica local como recurso de emergência.

Neste trabalho, é proposto o desenvolvimento de um rotor hidráulico de pequena escala para geração de energia elétrica dimensionado com base nas características hidrológicas do Rio Taquari na estação fluviométrica da cidade de Muçum, RS. Para determinar as características iniciais do projeto de um rotor, são utilizadas equações analíticas da literatura, dados históricos hidrológicos de estudos realizados na região e ferramentas digitais para resolução das equações. O objetivo do estudo é propor uma forma de geração de energia elétrica contínua e local para o município, de baixo impacto ambiental e que possa operar sob condições extremas, como no caso de enchentes, para manter o fornecimento de energia à cidade em situações de emergência.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta o fluxograma da metodologia proposto para este trabalho, composto por 4 etapas principais. A primeira abrange o desenvolvimento de um script por meio da linguagem de programação Python, da implementação de equações analíticas da literatura e dados hidrográficos reais de estações fluviométricas. A segunda etapa corresponde à matriz de configurações, que contempla todas as combinações possíveis de instalação e dimensões primárias do rotor e onde  $N$  é a quantidade de combinações. Com isso, a terceira etapa representa o processo iterativo de cálculo onde todas as combinações são calculadas ( $i = 1, 2, 3...$ ). A última etapa representa a escolha da configuração mais eficiente e adequada para o projeto com base nos dados hidrográficos, no roteiro de equações, e nas considerações e hipóteses adotadas inicialmente. Por fim, o produto final do trabalho são as principais dimensões de um rotor hidráulico que servem como projeto e conceito iniciais para o desenvolvimento de uma MCH.

Figura 1 - Metodologia do trabalho



Fonte: autores.

## 2.1 DADOS HIDROGRÁFICOS

Os dados hidrográficos são obtidos por meio de pesquisas e estudos realizados *in situ* e que apresentam informações quantitativas e históricas sobre pontos específicos ao longo do Rio Taquari que, para o presente estudo, são relevantes para determinar as dimensões do rotor hidráulico. Loch et al. (2011) do Departamento de Recursos Hídricos da Secretaria de Estado do Meio Ambiente (DRH/SEMA) escreveram um relatório técnico sobre a Bacia Taquari-Antas e coletaram informações a respeito das características da bacia. Esse estudo apresentou informou que a vazão média do rio na altura da estação fluviométrica do município de Muçum é de, aproximadamente, 358,64 m<sup>3</sup>/s. Marcuzzo e Pinto (2022), de maneira similar, apresentaram informações sobre a altitude do município, de 240 m acima da jusante, a área molhada (área da seção transversal do rio), de 482,79 m<sup>2</sup>, e a profundidade média do rio no município, de 3,50 m.

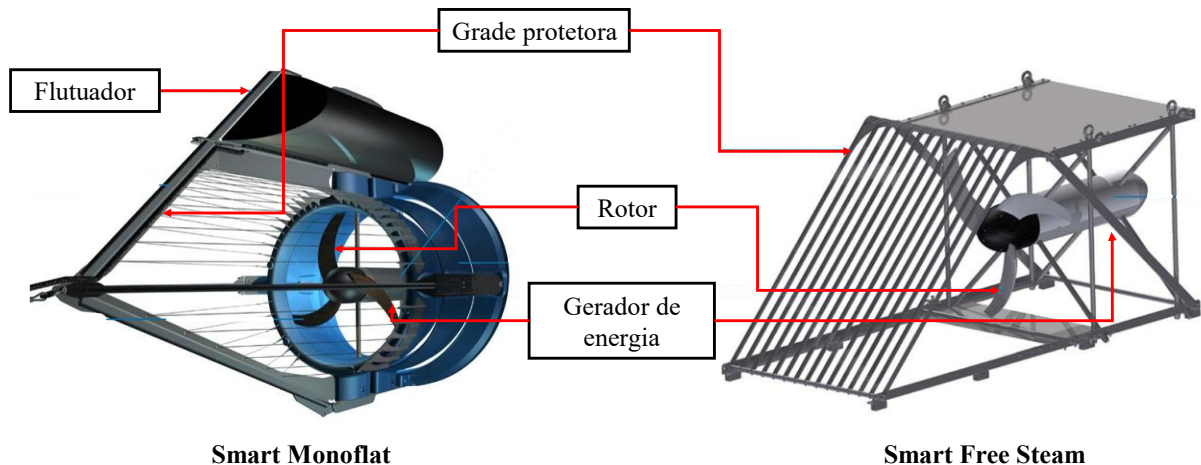
## 2.2 EQUAÇÕES ANALÍTICAS

A ideia por trás de usinas hidrelétricas e uso de fontes hidráulicas para gerar eletricidade é transformar a energia de fluido contida no fluxo de um rio ou em uma queda d'água em energia mecânica e, posteriormente, em energia elétrica. Para isso, são utilizadas as máquinas de fluido, que promovem essa transformação de energia de fluido em mecânica (turbinas) e vice-versa (bombas). No caso de turbinas (máquinas de fluido motoras), o fluido passa pelas pás e gera um movimento rotativo do eixo que, por sua vez, transforma a energia mecânica em energia elétrica (Henn, 2006).

Para determinar as dimensões de um rotor hidráulico para o município de Muçum e prever a sua performance, são utilizadas equações analíticas específicas de rotores axiais, pois diferente de outros tipos de turbinas (Kepler, Francis, Pelton...) esses podem ser instalados sem a necessidade de construção de barragens e eclusas, o que reduz significativamente os impactos ambientais na região. Como exemplo, a empresa alemã Smart Hydro Power desenvolveu as

turbinas Smart Monoflat e Smart Free Stream (Figura 2) que utilizam um rotor axial para gerar energia elétrica por meio da correnteza de rios, não requerem a construção de barragens, são de fácil instalação e podem gerar até 5 kW na velocidade máxima (SMART HYDRO POWER, 2025).

Figura 2 - Turbinas com rotores axiais comerciais



Fonte: adaptado de SMART HYDRO POWER (2025).

Baseado em aplicações comerciais já existentes, foi escolhido propor o desenvolvimento de um rotor axial do tipo hélice cujo dimensionamento e equacionamento são apresentados por Henn (2019) em seu livro Máquinas de Fluido no capítulo 13.5, que apresenta um roteiro de 30 passos para cálculo de um rotor axial. Nesse capítulo, Henn (2019) estipula os seguintes dados de projeto iniciais conhecidos e necessários para o dimensionamento: vazão que passa pela turbina, salto energético, cota do nível de jusante no local, e frequência do gerador elétrico. Com esses dados, é possível desenvolver todo o equacionamento para encontrar as principais dimensões de um rotor como o diâmetro diretor, diâmetro do eixo, diâmetros externo e interno, número de pás, comprimento, ângulos de inclinação interno e externo das pás, potência do eixo e eficiência do perfil. Além disso, como prevê-se a instalação da turbina abaixo da superfície, considera-se a profundidade de instalação como a altura de queda.

### 2.3 MATRIZ DE CONFIGURAÇÕES

A matriz de configurações corresponde à quantidade de combinações possíveis para a variação de parâmetros de projeto para estudar as melhores opções de instalação da turbina. O primeiro parâmetro variante é a profundidade de instalação, que deve ser obtida entre o valor da profundidade máxima e a profundidade mínima abaixo da superfície do rio maior ou igual ao diâmetro do rotor, de modo que ele permaneça totalmente submerso. O segundo parâmetro variante é o diâmetro diretor, ou seja, o diâmetro do canal por onde o fluido passa para as pás, que pode ter um diâmetro máximo de 1,0 m, assim como os modelos comerciais. Dessa forma, a matriz de configurações poderá conter N valores ao depender do número de variações possíveis para o projeto e do nível de discretização dos intervalos de cada variável.

De modo a automatizar o processo de cálculo, um script que contém todo o roteiro de cálculo realiza o dimensionamento para cada variação  $i$  da matriz de configurações N, sendo que o seu critério de parada para as iterações deve ser uma lista com todas as variações calculadas. Por fim, a escolha da melhor configuração é realizada baseada na maior potência de

eixo gerada para uma determinada profundidade que não supere a altura de sucção máxima do projeto.

### 3 CONCLUSÃO

Este estudo apresentou uma proposta para dimensionamento de um rotor hidráulico axial do tipo hélice para geração de energia elétrica com baixo impacto ambiental para o município de Muçum. Para atingir resultados mais próximos de uma aplicação real, foram escolhidos dados hidrológicos da estação fluviométrica do município e estudos com dados históricos.

A metodologia proposta utiliza de equações analíticas para calcular as dimensões do rotor e suas características energéticas, porém não leva em considerações aspectos como atrito com o fluido, material do equipamento, resistência mecânica das pás e outros pontos mais específicos da aplicação. Os resultados encontrados são apenas uma aproximação inicial para as dimensões de um rotor real. Isso demonstra que o projeto possui um sólido embasamento de literatura, mas sugere-se que estudos mais aprofundados que envolvam simulações numéricas, construção de protótipos em pequena escala e testes experimentais, por exemplo, sejam realizados para promover o desenvolvimento de tecnologias de geração de energia locais e independentes de redes de transmissão convencionais.

### REFERÊNCIAS

ARAÚJO, G. de S.; ALMEIDA, D. D. O.; SANTANA DA SILVA, L. J.; SANTOS, M. R. P. **Cachoeira do Aruã – um estudo de caso de gestão de uma micro central hidrelétrica em uma comunidade isolada na Amazônia.** 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.51189/conasust/19304>>. Acesso em: 19 set. 2025.

AZEVEDO, L. F.; GUIMARÃES, L. **Muçum, no RS, revive tragédia com terceira enchente sucessiva em menos de um ano: “Estamos isolados”.** O Globo, 04 maio 2024. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/brasil/noticia/2024/05/04/mucum-no-rs-revive-tragedia-com-terceira-enchente-sucessiva-em-menos-de-um-ano-estamos-isolados.ghtml>>. Acesso em: 19 set. 2025.

CUSTÓDIO, D.; LORUSSO, J.; CAVALCANTE, L. A. N.; ROBSON, F. L. **Usinas hidrelétricas e seus impactos ambientais.** Anais da Exposição Anual de Tecnologia, Educação, Cultura, Ciências e Arte do Instituto Federal de São Paulo – Câmpus Guarulhos, v. 2, 2022. Guarulhos: IFSP, Câmpus Guarulhos. ISSN 2764-8443.

HENN, É. A. L. **Máquinas de fluido.** 4. ed. Santa Maria: Editora UFSM, 2019.

HUFFNER, A. N.; MOG, W. **Uma enchente, diferentes territórios: os efeitos espaciais da enchente de maio de 2024 no Vale do Taquari, Rio Grande do Sul.** 2025. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>>. Acesso em: 19 set. 2025.

LOCH, T. B. **Departamento de Recursos Hídricos da Secretaria de Estado do Meio Ambiente – Drh/Sema.** Elaboração dos serviços de consultoria referente às fases A e B do plano de bacia do rio Taquari-Antas. Canoas, 2011.

MARCUZZO, F. F. N.; PINTO, E. J. de A. **Análise de frequência de cotas dos sistemas de alerta: Sistema de Alerta Bacia do Rio Taquari, rio Taquari, estação fluviométrica**

**Muçum, código 86510000, município atendido Muçum, RS.** Porto Alegre: CPRM, 2022. Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/22943>>. Acesso em: 01 jun. 2024.

PEREIRA, R. H. M.; HERSZENHUT, D.; CAVALCANTI, P.; FERREIRA, G.; CARVALHO, D. L.; CUNHA, A. **Uma estimativa da população atingida pelas enchentes do Rio Grande do Sul em 2024.** 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.38116/ntcgdti2>>. Acesso em: 19 set. 2025.

SMART HYDRO POWER. **Hydrokinetic In-stream Turbines: River & Canal.** Smart Hydro Power. Disponível em: <https://www.smart-hydro.de/renewable-energy-systems/hydrokinetic-turbines-river-canal/>. Acesso em: 19 set. 2025.

TEIXEIRA, R. L. B. C.; SILVA, W. A. da. **Energia de fontes renováveis na matriz energética brasileira: uma revisão sobre o panorama atual e perspectivas futuras.** Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 8, n. 20, p. 1515–1532, 2021. Disponível em: <[https://doi.org/10.21438/rbgas\(2021\)082016](https://doi.org/10.21438/rbgas(2021)082016)>. Acesso em: 19 set. 2025.