

ESTUDO DO POTENCIAL ENERGÉTICO E ECONÔMICO DA GERAÇÃO DE ENERGIA
HIDROcinÉTICA EM RIOS DO NORTE DO BRASIL CONSIDERANDO DIFERENTES
TIPOS DE TURBINAS

Davi Silva Pereira¹ (IC),
Ivan Felipe Silva dos Santos (PQ).
¹Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).

Palavras-chave: Difusores. Energia Hidrocinética. Região Norte. Sustentabilidade energética. Viabilidade econômica.

Introdução

O estudo do potencial energético e econômico da geração de energia hidrocinética em rios do Norte do Brasil surge da crescente demanda por fontes de energia renováveis e do desafio de levar eletricidade a regiões isoladas. A hidrocinética, que aproveita a energia cinética das correntes fluviais, é uma tecnologia promissora por não requerer grandes estruturas como barragens, o que reduz o impacto ambiental e os custos de implementação (ROSA, 2009).

O objetivo principal desta pesquisa é analisar a viabilidade técnica e econômica da aplicação de turbinas hidrocinéticas, com e sem difusores, em rios da região Norte do país. Para isso, foi utilizada a metodologia de Elementos de Lâmina (BEM), com aplicação de ciclos iterativos para o dimensionamento das turbinas, além da análise econômica baseada no Custo Nivelado de Energia (LCOE).

A justificativa deste estudo reside na necessidade de desenvolver soluções sustentáveis para o fornecimento de energia elétrica em áreas de difícil acesso, contribuindo para a diversificação da matriz energética brasileira e para o desenvolvimento socioeconômico dessas comunidades. O uso de difusores em turbinas hidrocinéticas pode aumentar significativamente a eficiência na geração de energia, tornando o sistema mais atrativo sob o ponto de vista técnico e financeiro.

A pesquisa foi estruturada em fases, iniciando com a seleção dos rios, seguida pela coleta de dados técnicos das turbinas e difusores. O processo incluiu cálculos de eficiência, estimativas de produção energética e avaliação econômica.

Metodologia

Inicialmente, foram selecionados dois rios da região, Itapeuá e Jamari, cujas características hidrográficas indicam grande potencial para a geração hidrocinética (Tabela 1). A escolha dos rios foi baseada em critérios como a velocidade média do fluxo e a largura do canal,

parâmetros essenciais para o dimensionamento das turbinas.

Tabela 1: Dados dos Rios Itapeuá e Jamari.

Característica dos Rios:		Itapeuá	Jamari
Velocidade média do rio	U_{∞} [m/s]	1.95	1.67
Diâmetro da Turbina	D [m]	5.00	4.00
Número de pás	B	3.00	3.00
Massa específico do fluido	ρ [kg/m ³]	1000.0 0	1000.0 0
Raio externo do rotor	R [m]	2.50	2.00

Fonte: Autoria Própria.

Em seguida, os dados da turbina hidrocinética foram obtidos, depois dos difusores incluídos no estudo para verificar seu impacto na eficiência energética da turbina. O uso desses dispositivos tem como objetivo aumentar a velocidade do fluxo de água sobre as pás, melhorando a extração de energia. Os difusores foram analisados a partir da razão entre a área de entrada e a de saída, assim como pela eficiência na concentração do fluxo dados da Tabela 2.

Tabela 2: Dados dos Difusores.

Difusor	Razão de saída(β)	Velocidade específica do difusor(γ)	Eficiência do difusor (Nd)
D1	0,54	1,83	98%
D2	1,09	1,6	45,5%
D3	0,28	1,5	83%

Fonte: autoria própria

Utilizou-se o método dos Elementos de Lâmina (BEM) para o cálculo das variáveis envolvidas no processo, incluindo o ângulo de ataque, o coeficiente de potência (C_p), e a razão de velocidade na ponta da pá (λ). O processo foi realizado em um ciclo iterativo, ajustando os parâmetros das turbinas em cada fase para maximizar a eficiência energética. Para isso, adotou-se o software

Microsoft Excel, que permitiu a resolução das equações iterativas aplicadas ao estudo e os trabalhos de Dias do Rio Vaz et al. (2014), Vaz et al. (2018) e Gbedjinou et al. (2020).

Com os parâmetros técnicos definidos, foi realizada uma análise econômica do projeto, utilizando duas métricas principais: o Custo Nivelado de Energia (LCOE), conforme Mesquita (2006) e apenas para o melhor cenário de geração de energia. O LCOE considera todos os custos envolvidos ao longo da vida útil das turbinas. Essas métricas foram fundamentais para determinar a competitividade do sistema hidrocinético com e sem difusores, em comparação com outras fontes de energia, os dados utilizados para os cálculos estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Dados Econômicos.

Tarifa média região norte	733.00	R\$/MWh
Tarifa média Diesel	2100.00	R\$/MWh
Custo unitário (Cun)	4000.00	USD/kW
Juros(i)	10.00%	%
Número de turbinas	5.00	und
Tempo	20.00	anos

Fonte: autoria própria

Resultados e discussão

Os resultados desta pesquisa foram organizados de forma a apresentar, sequencialmente, os dados obtidos durante a análise energética e econômica da geração hidrocinética nos rios Itapeuá e Jamari, com e sem o uso de difusores. Esses resultados são discutidos a seguir, destacando-se as implicações técnicas e econômicas do estudo.

O primeiro conjunto de resultados refere-se ao desempenho energético das turbinas Figura 1 e Figura 2. Os cálculos mostraram que as turbinas com difusores apresentaram uma eficiência energética significativamente maior em comparação às turbinas sem difusores. Para o rio Itapeuá, a turbina sem difusor atingiu um coeficiente de potência (C_p) de 0,45, enquanto a turbina com difusor alcançou um C_p de 0,62. No rio Jamari, os resultados foram similares, com a turbina sem difusor apresentando um C_p de 0,47, e a turbina com difusor alcançando um C_p de 0,65. Isso confirma a hipótese de que os difusores podem aumentar substancialmente a eficiência das turbinas hidrocinéticas, otimizando a geração de energia.

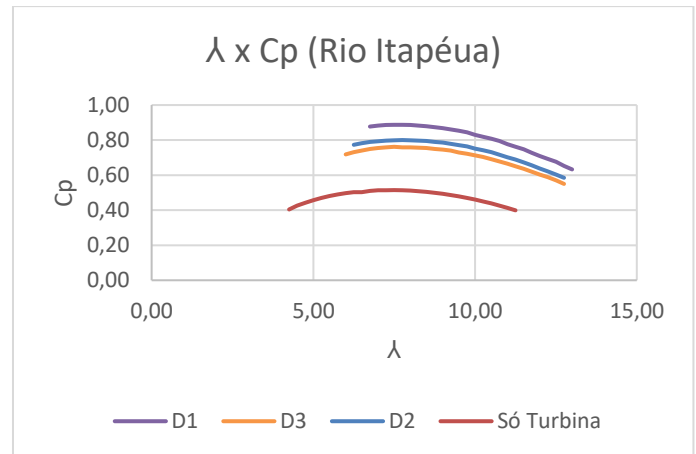


Figura 1: Curva C_p x λ para o Rio Itapeuá.

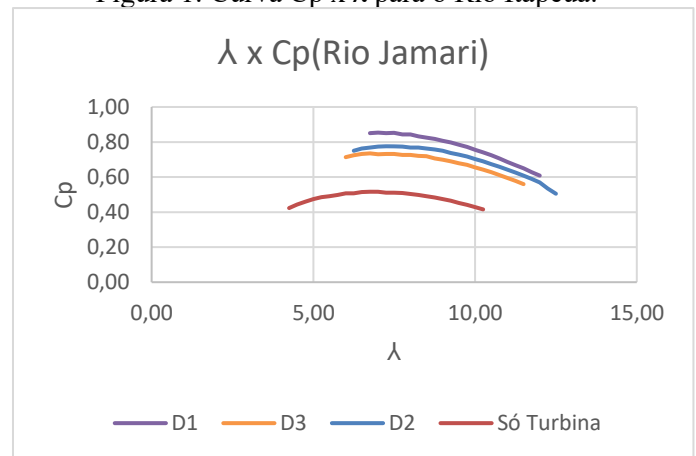


Figura 2: Curva C_p x λ para o Rio Jamari.

Além do coeficiente de potência, as curvas de produção energética também foram analisadas Figura 3 e Figura 4. O rio Jamari apresentou uma produção de 25 kWh utilizando a turbina com difusor, um aumento de 30% em comparação à produção sem o difusor, que foi de 15 kWh. No rio Itapeuá, a produção aumentou de 38 kWh (sem difusor) para 65 kWh (com difusor), reafirmando a viabilidade técnica do uso dos difusores em diferentes condições de fluxo fluvial.

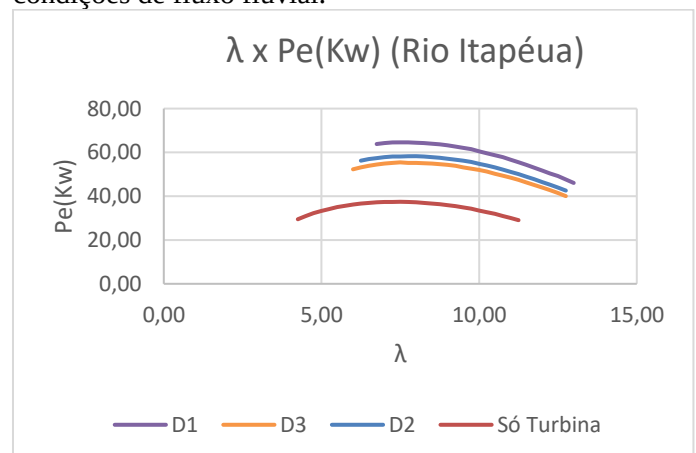


Figura 3: Curva P_e x λ para o Rio Itapeuá.

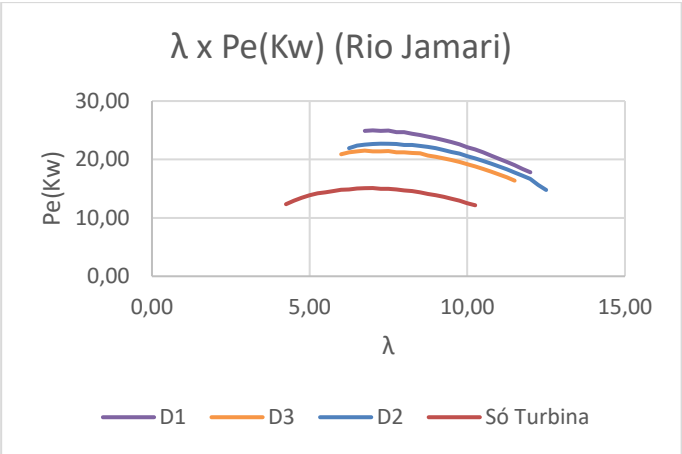


Figura 4: Curva Pe x λ para o Rio Jamari.

Em termos econômicos, a análise baseada no Custo Nivelado de Energia (LCOE) reforça a atratividade do projeto, lembrando que a análise econômica foi realizada apenas para o rio Itapeuá para sua maior geração de energia. Entre os difusores analisados, o Difusor D1 apresentou o melhor desempenho energético, gerando 64,58 kW, seguido pelo Difusor D2 com 58,25 kW e pelo Difusor D3 com 55,45 kW. A turbina sem difusor gerou a menor potência, de 37,46 kW. Em termos de investimento inicial, o Difusor D1 exigiu o maior aporte, de R\$ 7,26 milhões, enquanto o Difusor D2 necessitou de R\$ 6,55 milhões e o Difusor D3, R\$ 6,23 milhões. A turbina sem difusor teve o menor custo, de R\$ 4,21 milhões. O Custo Nivelado de Energia (LCOE) foi idêntico em todos os cenários, fixado em R\$ 928,29/MW, todos esses dados estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Viabilidade econômica

Tipo de Difusor	Potência (kWh)	Investimento (R\$*10^6)	LCOE
D1	64,58	7,26	928,29
D2	58,25	6,55	928,29
D3	55,45	6,23	928,29
Sem Difusor	37,46	4,21	928,29

Fonte: Autoria Própria.

Conclusões

Este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica e econômica da instalação de turbinas hidrocinéticas em rios da região Norte do Brasil, com e

sem o uso de difusores. Os resultados indicam que turbinas com difusores oferecem uma maior eficiência energética, especialmente em rios com velocidades de escoamento mais altas. O Difusor D1 apresentou o melhor desempenho, gerando 64,58 kWh, com um investimento inicial de R\$ 7,26 milhões. O Difusor D2 gerou 58,25 kWh com um investimento de R\$ 6,55 milhões, enquanto o Difusor D3, menos eficiente, gerou 55,45 kWh com um custo inicial de R\$ 6,23 milhões. A turbina sem difusor foi a menos eficiente, gerando 37,46 kWh, com um investimento de R\$ 4,21 milhões. Apesar dos maiores custos iniciais associados às turbinas com difusores, a compensação energética foi significativa, e o Custo Nivelado de Energia (LCOE) foi uniforme em todos os cenários, fixado em R\$ 928,29/MW. Comparando o LCOE com a tarifa de diesel (2.100 R\$/MW) e a tarifa média da região Norte (733 R\$/MW), conclui-se que, em áreas isoladas, a implementação de turbinas hidrocinéticas é economicamente viável, oferecendo uma alternativa ao uso de diesel e garantindo energia durante a maior parte do ano. A análise revelou que o uso de difusores, embora aumente o investimento inicial, pode ser justificado em regiões com alta demanda energética, enquanto, em áreas com menor necessidade de geração, a utilização de turbinas sem difusores pode reduzir os custos iniciais, sem comprometer significativamente a viabilidade econômica do projeto.

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, à Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), pela oportunidade de realizar esta pesquisa e pelo apoio institucional oferecido ao longo deste trabalho. Expresso minha gratidão à FAPEMIG pela concessão da bolsa, fundamental para o desenvolvimento desta Iniciação Científica, e pela viabilização dos recursos necessários para a execução deste projeto. Agradeço também ao meu orientador, Professor Ivan Felipe Silva dos Santos, por sua orientação, paciência e valiosas contribuições durante todas as etapas da pesquisa. Seu apoio foi essencial para o sucesso deste trabalho. Por fim, agradeço à minha família e amigos, cujo encorajamento e suporte foram fundamentais ao longo desta jornada acadêmica.

Referências

ROSA, V. H. S. Energia elétrica renovável em pequenas comunidades no Brasil: em busca de um modelo sustentável. Brasília. 2007. 440 p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento

Sustentável) -Universidade de Brasília. Disponível em: <http://icts.unb.br/jspui/handle/10482/5478>. Acesso em: 05 Mar. 2024.

DIAS DO RIO VAZ, Déborah Aline Tavares; MESQUITA, André Luiz Amarante; VAZ, Jerson Rogério Pinheiro; BLANCO, Claudio José Cavalcante; PINHO, João Tavares. An extension of the Blade Element Momentum method applied to Diffuser Augmented Wind Turbines. *Energy Conversion and Management*, v. 87, p. 1116-1123, 2014. Disponível em: 10.1016/j.enconman.2014.03.064.

VAZ D. A. T. D. R.; VAZ, J. R. P.; MESQUITA, A. L. A.; PINHO, J. T.; JUNIOR, A. C. P. B. Optimum aerodynamic design for wind turbine blade with a Rankine vortex wake, *Renewable Energy*, Elsevier, vol. 55(C),296-304 p. 2013. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/eee/renene/v55y2013icp296-304.html>. Acesso em 08 mar. 2024.

GBEDJINO, Michael Jourdain. Estudo energético do uso de difusores em turbinas hidrocínéticas usando a teoria da quantidade de movimento no elemento de pá. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Hídrica) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2020. Orientador: Prof. PhD. Ivan Felipe Silva dos Santos. Coorientador: MSc. Johnson Herlich Roslee Mensah.

Mesquita, M. 2006. Resumo sobre Métodos de análise de investimentos. MBA em gerenciamento de obras. Universidade Federal da Bahia. pp. 01-08.