

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL HIDROCINÉTICO EM UM RIO NO NORTE DO BRASIL POR MEIO DE UMA DISTRIBUIÇÃO ESTATÍSTICA DE VELOCIDADE

Washington Ricieri Santos¹(IC), Ivan Felipe Silva dos Santos¹(PQ)

¹Universidade Federal de Itajubá).

Palavras-chave: Hidrocinética. Weibull. Python. Renováveis.

Introdução

A energia elétrica é essencial para a vida moderna e, portanto, a forma como é gerada tem um grande impacto no meio ambiente e na qualidade de vida das pessoas. No Brasil, a matriz energética é predominantemente renovável, e a fonte hídrica tem um papel de destaque nessa matriz, representando 56,8% da oferta interna de energia elétrica, conforme dados divulgados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2022).

Com base no potencial de geração de energia pelas fontes hídricas, sugeriram diversos estudos relacionados a essa fonte. A energia hidrocinética é uma tecnologia que tem sido amplamente estudada como uma alternativa promissora para a geração de energia hídrica. Segundo Santos et al. (2017), essa tecnologia se baseia na utilização de energia cinética da água de rios, canais, estuários ou correntes oceânicas, em energia elétrica por meio de geradores, sendo uma forma limpa e renovável de gerar energia, com grande potencial em rios no Brasil, principalmente em sua região norte.

Como afirma Araújo (2016), tal fonte é uma excelente alternativa para as comunidades pequenas e remotas que vivem próximas a rios, como ocorre frequentemente na região Norte. Porém, vale ressaltar que a energia hidrocinética depende da velocidade da água, podendo não ser viável para regiões com baixa velocidade da água, sendo necessário avaliar o local cuidadosamente.

No âmbito desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo contribuir com o desenvolvimento dessa tecnologia, pois propõe analisar o potencial hidrocinético em rios no Norte do Brasil através de uma distribuição estatística da velocidade. Essa pesquisa é justificada pela escassez de trabalhos na área, além do fato de que esta é uma fonte de energia limpa e renovável, que possui um grande potencial de aplicação no Brasil, país com vasta riqueza em recursos hídricos.

Metodologia

O levantamento de dados das estações fluviométricas foi obtido, através do Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb) elaborado pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2023). Foram selecionadas 10 estações, sendo elas: Itapéua; Santo Antônio do Iça; São Paulo de Oliveira; Teresina; Ipiranga

Velho; Ipiranga Novo; Feijó; Manoel Urbano; Rio Branco e Tabatinga.

Após definir as estações, tornou-se necessário realizar o tratamento dos dados, fornecidos pelo HidroWeb, como realizado no trabalho de PIAZZA (2016). No qual não se utiliza os dados brutos para as análises, apenas os dados consistidos fornecidos pela estação. Importante ressaltar que, nem todos os dados receberam tratamento, assim sendo necessário utilizar os dados brutos em algumas estações.

Com o levantamento e tratamento de dados definidos, foi possível confeccionar os histogramas através da ferramenta de análise de dados do Excel, onde realizou a montagem dos histogramas com as velocidades médias registradas nas estações selecionadas.

A análise estatística foi realizada na plataforma Kaggle, reconhecida pela sua praticidade na manipulação de dados e que utiliza a linguagem de programação em Python. O código utilizado na plataforma foi escrito e concedido pela professora Dr. Marina Batalini de Macedo (MACEDO, 2023). O objetivo do script é determinar qual o modelo estatístico é o mais adequado para a série histórica provenientes pelas estações fluviais. Utilizando a velocidade média como parâmetro de análise, o algoritmo gera um histograma e, além disso, traça uma curva de tendência que aponta as estatísticas mais relevante para a série histórica da velocidade fornecida pela estação analisada.

Com a utilização do Software RStudio, que é um programa livre e integrado na liguem em R, que é uma liguem utilizada para trabalhar dados estatísticos, foi possível determinar a adequação da distribuição de Weibull para os dados obtidos. Ao utilizar o script desenvolvido e fornecido pela professora Dr. Marina Batalini de Macedo (MACEDO, 2023), o qual utiliza 3 testes, o Chi-Square, Cramé-von Mises e Anderson-Darling, para determinar a adequação da distribuição. O trabalho de Flinker et al. (2015) diz que, os valores de p -valor $< 0,05$ rejeita a hipótese H_0 , ou seja, a probabilidade estatística tenha um valor extremo ao observado. Trazendo esse estudo para a realidade do presente trabalho, podemos definir que os valores menores que os 5% de significância serão adequados para utilização da distribuição de Weibull.

Em seguida realizou-se a confecção dos gráficos do potencial teórico hidrocinético, baseou-se no trabalho

de Ruopp et al. (2014), o qual utiliza a equação (1) para construiu uma curva teórica $PxV_{méd}$, que representa o potencial de geração de energia em relação à velocidade média. Essa curva foi aplicada nos histogramas, já construídos, para identificar o potencial de geração de energia hidrocínética de cada uma das velocidades dos histogramas nas estações selecionadas.

$$P = \frac{\rho \cdot A \cdot V^3 \cdot c_p}{2} \quad (1)$$

Onde: c_p = Coeficiente de potência, P = Potência, ρ = massa específica do fluido (kg/m^3), A = Área, V = Velocidade

Em seguida cálculo a geração de energia utilizando a distribuição estatística de Weibull, tomando como base o trabalho de Raimundo et al. (2015), onde utiliza a equação (2) para calcular a geração de energia de turbina eólica, assim sendo adaptada para o presente trabalho.

$$f(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (2)$$

Onde: c = parâmetro de escala, k = parâmetro de forma e $f(V)$ = frequência de velocidade de Weibull.

Em seguida é realizada pela equação (3), a seguir, o cálculo energético das estações.

$$E = \sum_{i=1}^n f(v) \cdot P(v) \quad (3)$$

Resultados e discussão

A Figura 1 apresenta a distribuição estatística de melhor ajuste em cada uma das estações estudadas.

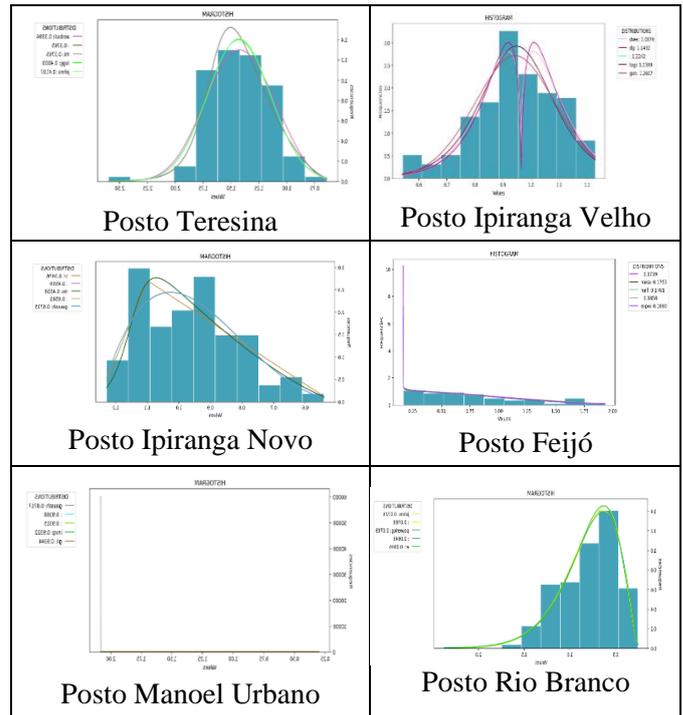
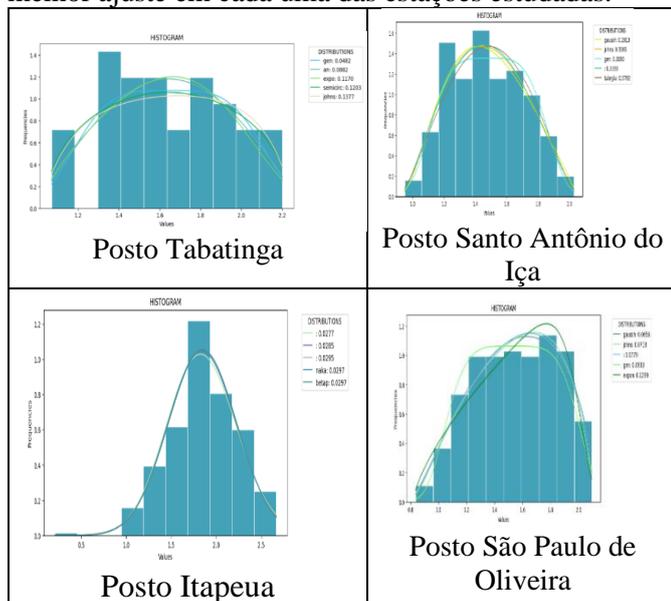


Figura 1 – Imagens dos histogramas de velocidade em cada estação e da distribuição que mais se adequa.

Durante o processo de análise dos dados gerados na plataforma Kaggle, constatou que não existe uma distribuição estatística padrão nos postos selecionados. Essa constatação inviabiliza a realização de cálculos precisos do potencial hidrocínético, ou seja, a falta de um padrão estatístico dificulta identificar uma linha de tendência clara e confiável para estimar o potencial hidrocínético das estações fluviais, contrastando com a energia eólica, em que se utiliza a distribuição de Weibull para modelar o comportamento do vento. Vale ressaltar que na estação Manoel Urbano não obteve resultados pelo fato de a estação oferecer poucos dados, apenas 57. Contudo, a adequação da distribuição de Weibull aos dados será testada por testes específicos, através do software RStudio.

Analisando a Tabela 1, que representa os p-value obtidos pelo software RStudio a seguir, é possível notar que p-valor é menor que 0,05, ou seja, menor que os 5% de confiança em 6 estações. Isso implica que os dados fornecidos se ajustam suficientemente bem à distribuição de Weibull, assim sendo possível calcular a geração de energética em uma THC pela distribuição de Weibull.

Tabela 1 – p-value

Estação	Chi-Square	Cramér-von Mises	Anderson-Darling
Tabatinga	0,662	0,747	0,753
Santo Antônio do Iça	0,004	0,0001	$2,903 \cdot 10^{-5}$

Itapeua	0,176	0,185	0,223
Teresina	0,026	0,105	0,027
São Paulo de Oliveira	0,003	0,001	0,0005
Rio Branco	$1,329 \cdot 10^{-5}$	$1,372 \cdot 10^{-7}$	$2,337 \cdot 10^{-9}$
Manoel Urbano	$2,420 \cdot 10^{-14}$	$1,174 \cdot 10^{-8}$	$1,456 \cdot 10^{-11}$
Ipiranga Velho	0,555	0,741	0,792
Ipiranga Novo	0,260	0,501	0,543
Feijó	0,06	0,018	0,002

E por fim utilizou-se da equação (3) para calcular a quantidade de energia gerada nas estações, expressa em MWh/ano, em seguida, foi calculada a energia total fornecida por cada estação e realizou-se o cálculo da energia gerada partir da distribuição de Weibull, assim sendo possível comparar os dois modelos de cálculo, onde seus valores estão representados pela Tabela 2.

Tabela 2 – Energia totais das estações selecionadas

Estação	Energia total (MWh/ano)	Energia total Weibull (MWh/ano)	Desvio médio entre os resultados (%)
Tabatinga	179,44	155,00	13,62
Santo Antônio do Iça	127,19	108,75	14,50
Itapeua	250,96	221,64	11,18
Teresina	119,77	103,99	13,18
São Paulo de Oliveira	159,82	127,15	20,44
Rio Branco	25,00	16,73	33,08
Manoel Urbano	55,92	36,50	34,73
Ipiranga Velho	33,98	20,17	40,64
Ipiranga Novo	32,90	22,52	31,55
Feijó	39,01	22,46	42,43

Ao se analisar a Tabela 2, podemos observar a quantidade total de energia gerada pela turbina hidrocinética para todas as velocidades ao longo do ano. O local que apresenta a maior geração de energia total é a estação de Itapeua com 250,96 MWh/ano quando calculado pela equação da potência e 221,64 MWh/ano baseado na distribuição de Weibull. Esse fato deve

ocorrer pelo fato de atingir altas velocidades, 2,66 m/se e pela sua grande profundidade, podendo atingir até 46,67 m.

Chama a atenção a diferença de valores obtidos pelos métodos utilizados, onde os obtidos pela distribuição de Weibull tende a serem inferiores aos estimados pela equação da potência. Vale ressaltar que o a média dos desvios médios é de 25,58 e o desvio padrão dos desvios médios é de 12,14, ou seja, não temos uma variação significativa ao longo das estações. Isso sugere que a distribuição de Weibull ofereça uma representação mais conservadora da geração de energia, levando em consideração as condições ambientais e de operação da THC.

Conclusões

Os resultados para a análise de uma distribuição estatística padrão para as turbinas hidrocinéticas através da velocidade dos rios não foram satisfatórios, porém foi possível analisar que a distribuição de Weibull se adequa em 6 das 10 estações selecionadas, assim sendo possível calcular a energia através da energia e comparar com a energia calculada de forma empírica.

Os resultados da comparação das energias calculadas notou-se que a energia calculada pela distribuição de Weibull tende a ser menor que a calculada de forma empírica, podendo citar a estação de Itapeua, que é a estação com a maior geração energética e a diferença pode ser notada pelo seu baixo desvio padrão de 11,68%.

Dessa forma, o presente trabalho pode ajudar no cálculo energético através da distribuição de Weibull e trabalhos futuros podem avaliar se Weibull pode se adequar usando um número maior de estações.

Agradecimentos

Em primeiro momento agradeço a contribuição e apoio da Fundação Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) por meio do fornecimento de bolsa de Iniciação Científica. Agradeço também o meu orientador professor Dr. Ivan Felipe pela disponibilidade, paciência e todo suporte. E por fim agradecer a professora Dra. Marina Batalini pelo suporte nas análises estatísticas.

Referências

A. RUOPP; A. RUPRECHT; RIEDELBAUCH, S.; ARNAUD, G; HAMAD, I. Development of a hydro kinetic river turbine with simulation and operational measurement results in comparison. **Iop Conference Series: Earth and Environmental Science**, [S.L.], v. 22, n. 6, p. 062002, 1 mar. 2014. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/22/6/062002>.

ANA. Agência Nacional das Águas. Sistema de informação de Recursos Hídricos. HIDROWEB. Disponível em <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>. Acesso em 12 dez. 2022

ARAÚJO, Marcos Aurélio. **Prospecção de parques hidrocínéticos**: comparação entre projetos preliminares nos rios iguaçu e paraná. 2016. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Iguazu, 2016.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. (org.). **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**: regiões hidrográficas brasileiras. Brasília: Ana, 2015. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/regioeshidrograficas2014.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2023.

BRAISL. Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia (org.). **Balanco energético nacional**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2022.

FINKLER, Nicolás Reinaldo *et al.* ANÁLISE DE FUNÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADES NA DETERMINAÇÃO DE VAZÃO MÍNIMA SAZONAL. In: XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2015, Brasília. **Anais [...]**. Brasília: Abrh, 2015. v. 11, p. 1-8. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/315715176_Analise_de_funcoes_de_distribuicao_de_probabilidades_na_determinacao_de_vazao_minima_sazonal. Acesso em: 15 ago. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativa da população 2020**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

MACEDO, M. B. get distributions from list ce0db4. Código para determinação da distribuição estatística mais adequada. Disponibilizado para os autores pela plataforma Kaggle, 2023.

PIAZZA, Gustavo Antonio; TORRES, Edson; MOSER, Paolo; GOTARDO, Rafael; KAUFMANN, Vander; PINHEIRO, Adilson. Análise Espacial e Temporal dos Dados de Precipitação das Estações de Entorno da Bacia do Ribeirão Concórdia, Lontras (SC) Visando Sua Inserção no Contexto de Mudanças Climáticas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 31, n. 41, p. 580-592, dez. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786312314b20150087>.

SANTOS, Ivan Felipe Silva dos *et al.* Prospecção o Potencial Hidrocínético em Trechos Fluviais Via Modelagem Numérica. **Revista Brasileira de Energia**, Itajubá, v. 23, n. 1, p. 87-96, 1° trim. 2017. Trimestral.

RAIMUNDO, Danielle Rodrigues *et al.* Estudo de um projeto para geração de energia eólica no Brasil: viabilidade econômica e emissões evitadas. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, [S.L.], v. 4, n. 4, p. 65-75, 1 dez. 2015. Universidade Federal do Paraná. <http://dx.doi.org/10.5380/rber.v4i4.44156>.