



A MODELAGEM MATEMÁTICA-COMPUTACIONAL POTENCIALIZANDO A GESTÃO ENERGÉTICA

MATHEMATICAL-COMPUTATIONAL MODELING POWERING ENERGY MANAGEMENT

Heictor Alves de Oliveira Costa¹

Universidade Federal do Pará – UFPA Campus Belém / heictor.costa@itec.ufpa.br

Denis Carlos Lima Costa²

Instituto Federal do Pará – IFPA Campus Ananindeua / denis.costa@ifpa.edu.br

David Daniel Lira de Santana³

Instituto Federal do Pará – IFPA Campus Ananindeua / davidsantana1113@ gmail.com

Fernando José Aguirre Ramos da Silva⁴

Instituto Federal do Pará – IFPA Campus Ananindeua / aguirrefernando.ifpa@gmail.com

Huan Ferreira Brasil Pinheiro⁵

Instituto Federal do Pará – IFPA Campus Ananindeua / huanbrasil@gmail.com

Área Temática 02:

ESTUDOS DE LINGUAGEM NO ENSINO-APRENDIZAGEM DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA - MATEMÁTICA COMPUTACIONAL

Modalidade: Artigo completo

1. Introdução

As várias formas de energia que utilizamos são fundamentais ao aprimoramento de uma sociedade ecologicamente industrializada e como menor índice de desigualdade, pois a economia mundial depende cada vez mais de uma infra-estrutura energética robusta e ecologicamente correta.

As principais fontes de energia são divididas em duas classes: as convencionais (carvão, petróleo, hidrelétrica, nuclear, gás natural) e as emergentes (solar, eólica, biomassa, etc). Esse trabalho está orientado à classe emergente, em especial à geração eólica de energia elétrica.

Em países como o Brasil, a crescente capacidade eólica é impulsionada, principalmente, por incentivos a fontes renováveis de energia, proporcionando maior estabilidade ao despacho elétrico nacional (González et al., 2017).

Para Vargas et al (2019), O mundo está passando por uma crescente transição energética. Em vista disso, no período compreendido entre os dias 31 de outubro e 12 de novembro, de 2021, no *Scottish Event Campus* (SEC), em Glasgow, na Escócia, foi realizada a Conferência das Nações Unidas sobre Mudança Climática, a COP26. Nesse evento, Alemanha, China, Índia, Estados Unidos, Brasil e Canadá, reuniram-se a fim de mitigar suas dependências de combustíveis fósseis, distanciando-se do programa de hidrocarbonetos e estabelecendo um projeto de energia renovável (UNECE, 2021).

Conforme a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2021), estimulada pelas relevantes mudanças climáticas e a demanda pela redução da emissão dos gases e de outros poluentes, a geração de energia eólica transformou-se em uma das matrizes renováveis que mais prosperam em nosso planeta.

Como proposta principal da composição Matemática-Computacional, desse artigo, será apresentado o Algoritmo Genético (AG), como ferramenta de otimização em modelos matemáticos que representam o comportamento não-linear e multicritério da Potência Elétrica em Aerogeradores.

O AG consiste em um algoritmo de busca por soluções globais apresentado por John Holland e David Goldeberg, que visa replicar o processo de evolucionismo biológico (Goldeberg, 1989). O AG cria uma população de soluções possíveis e realiza os cruzamentos necessários formulando gerações de indivíduos melhores até que o critério de parada seja atendido.

Este método também realiza mudanças aleatórias nos indivíduos, processo denominado mutação, sendo muito importante para garantir o aspecto aleatório na busca de soluções. Essa mutação auxilia o algoritmo a evitar que as soluções converjam para um ponto ótimo local, preservando a diversidade da população.

2. Metodologia

2.1 Modelagem Matemática

De acordo com Costa D. C. L. et al (2021), a Sistematização Matemática está condicionada aos termos como equações, modelos e simulações. Nesse artigo, o modelo utilizado foi uma função algébrica, não-linear, com múltiplas variáveis de controle.

Para Costa et al (2016), essa a função representa o Sistema de 14 barras, de distribuição de energia elétrica, transformada para Aerogerador. As variáveis de controle do sistema abordado neste estudo são a Tensão Elétrica (V) e a Corrente Elétrica (I). A Potência Elétrica (P) é a energia total necessária para abastecer o sistema de 14 barras. Ela é uma função de V e I , ou seja, $P(V, I)$, conforme mostrado na Equação 1.

$$\sum_{i=1}^n [a + b \cdot P_{xi} + c \cdot (P_{xi})^2] \quad (1)$$

Em que a , b e c são os coeficientes, P é a potência de cada barra x na iteração i , sendo a última um número inteiro entre 0 e 14. Seguindo ainda os parâmetros desenvolvidos por Costa et al (2016), os coeficientes e os intervalos são definidos conforme os dados a seguir: $a = -2239$, $b = 21,02$, $c = -0,009$ e $10 \leq P_{total} \leq 150$. Consequentemente, pode-se definir o valor da Potência mínima $P_{min} = 10$ e da Potência máxima $P_{max} = 150$.

A Equação 1 foi usada como a Função Objetivo neste trabalho de otimização, pois ela possui excelente flexibilidade, permitindo calcular os valores independentes de cada barra função de V e I . Essa flexibilidade pode ser avaliada na Equação (2).

$$P(V, I) = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dt} \cdot \frac{dq}{dt} = V \cdot I = \frac{V^2}{R} \quad (2)$$

Em que w é a energia, t é o tempo e R é a Resistência Elétrica. A Resistência Elétrica é a porção real da impedância, ou seja, $R = \text{Re } Z$, como mostrado na Equação (3).

$$Z = R + jX \quad (3)$$

Sendo Z a impedância em ohms, j é a unidade imaginária e X o valor da reatância em ohms. Consequentemente, é possível obter-se o resultado exibido na Equação 4.

$$\sum_{i=1}^n [a + b \cdot (V \cdot I)_{xi} + c \cdot (V \cdot I)_{xi}^2] \quad (4)$$

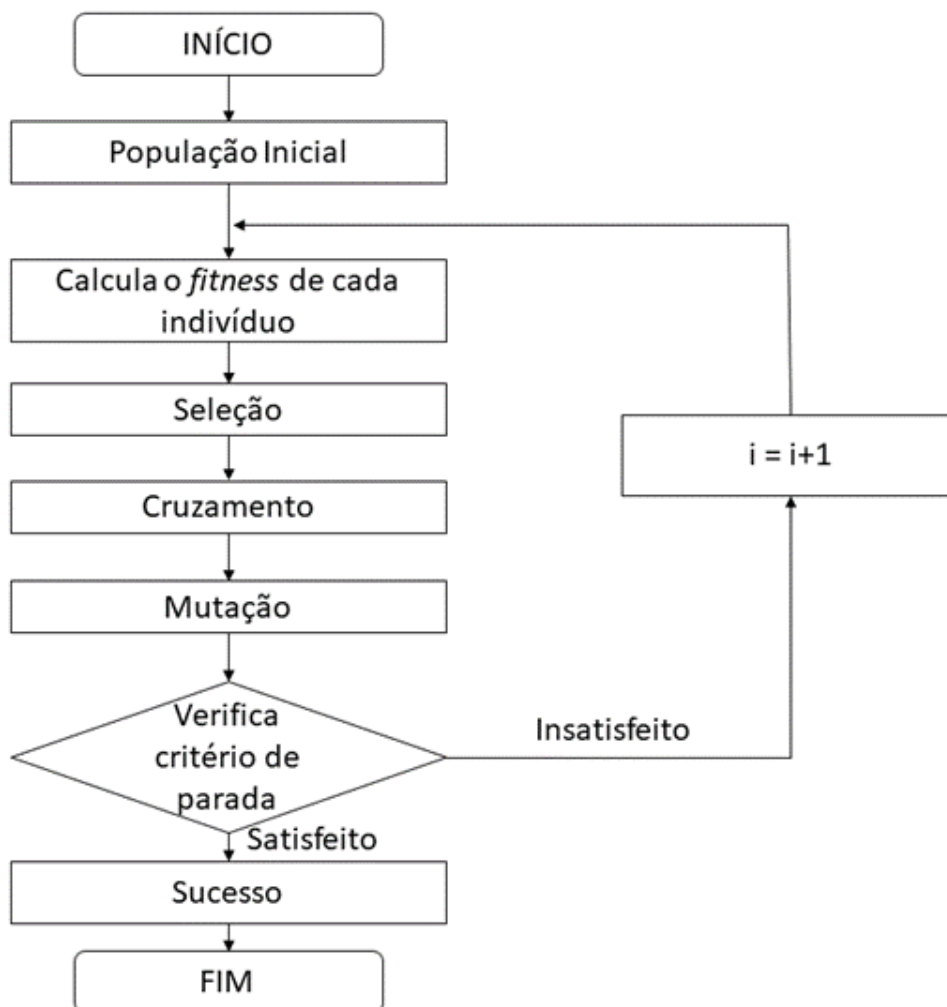
Em que V é a Tensão Elétrica em cada barramento e I é Corrente Elétrica em cada barramento do sistema elétrico. Esta modificação é extremamente importante, pois permite a conexão e a conversão entre os dois modelos: Matemático e Computacional.

2.2 Modelagem Computacional

Esse artigo utiliza o modelo computacional apresentado por Costa H. A. O. et al (2021a).

Esta modelagem foi implementada em MATLAB, uma das principais linguagens de programação científica, pois fundamenta-se no processamento paralelo, garantindo, dessa forma, uma eficiência superior no tratamento dos algoritmos. Essa estratégia aplicada viabiliza uma análise individual das variáveis envolvidas no modelo matemático, maximizando a eficiência do AG e potencializando a qualidade da solução (Costa H. A. O. et al, 2021b). A Figura 1 representa o fluxograma da execução do Algoritmo Genético.

Figura 1: Funcionamento do Algoritmo Genético



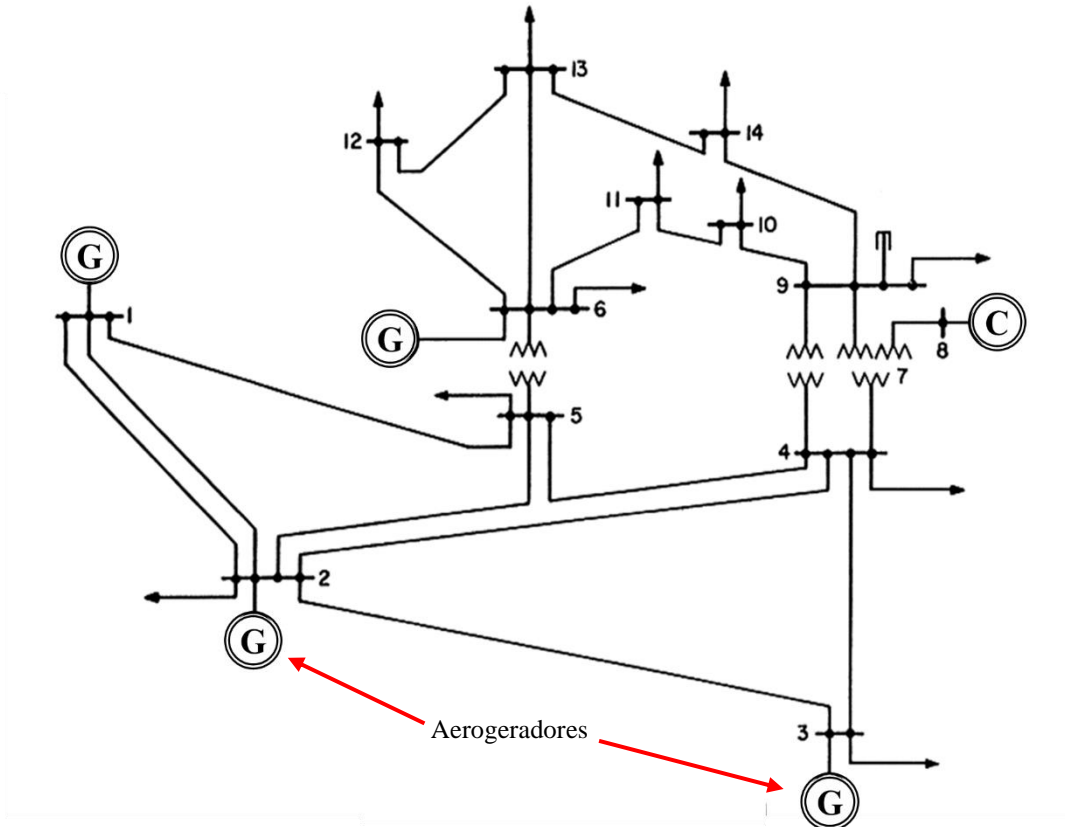
Fonte: Costa H. A. O. et al, 2021b.

A função *fitness*, ou função de avaliação, no AG é definida na Equação 4. Ela avalia a minimização de V e I em todas as barras do sistema elétrico estudado.

3. Resultados e Discussões

Os resultados apresentados estão vinculados ao estudo uma rede elétrica de 14 barras do IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*). A Figura 2, mostra a conexão entre esse sistema e os respectivos aerogeradores.

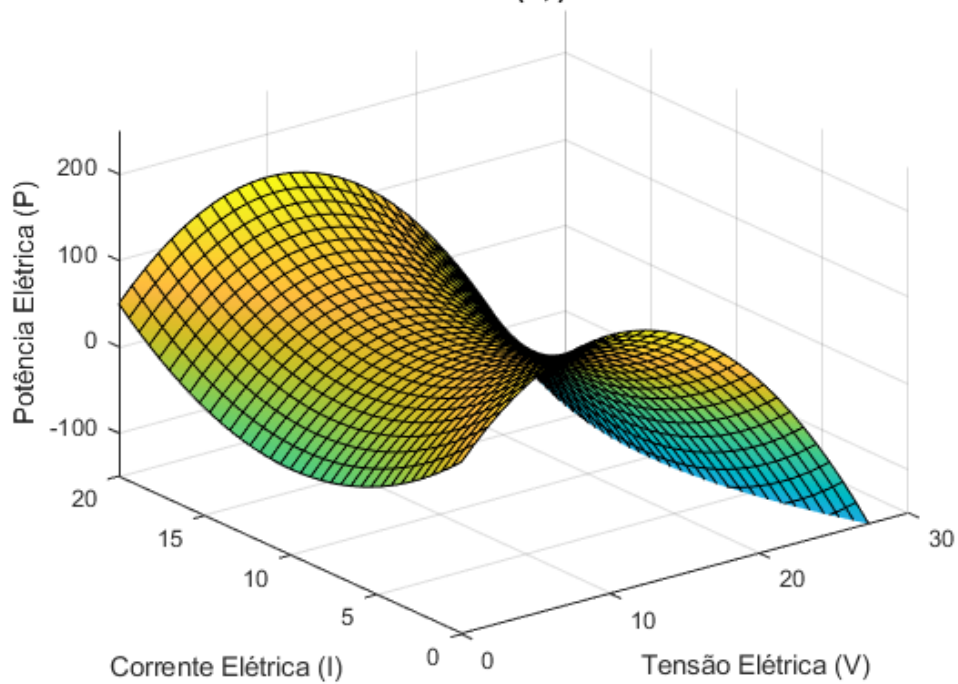
Figura 2: Sistema Elétrico de 14 barras do IEEE



Fonte: Adaptado de Costa H. A. O. et al, 2021a.

Observando-se o gráfico da Função Potência Elétrica, em múltiplas perspectivas, pode-se perceber a disposição geométrica dos valores ótimos para as variáveis de controle V e I .

Figura 3: Função $P(V, I)$ em perspectiva 1
 $P = f(V, I)$



Fonte: Autores.

Figura 4: Função $P(V, I)$ em perspectiva 2

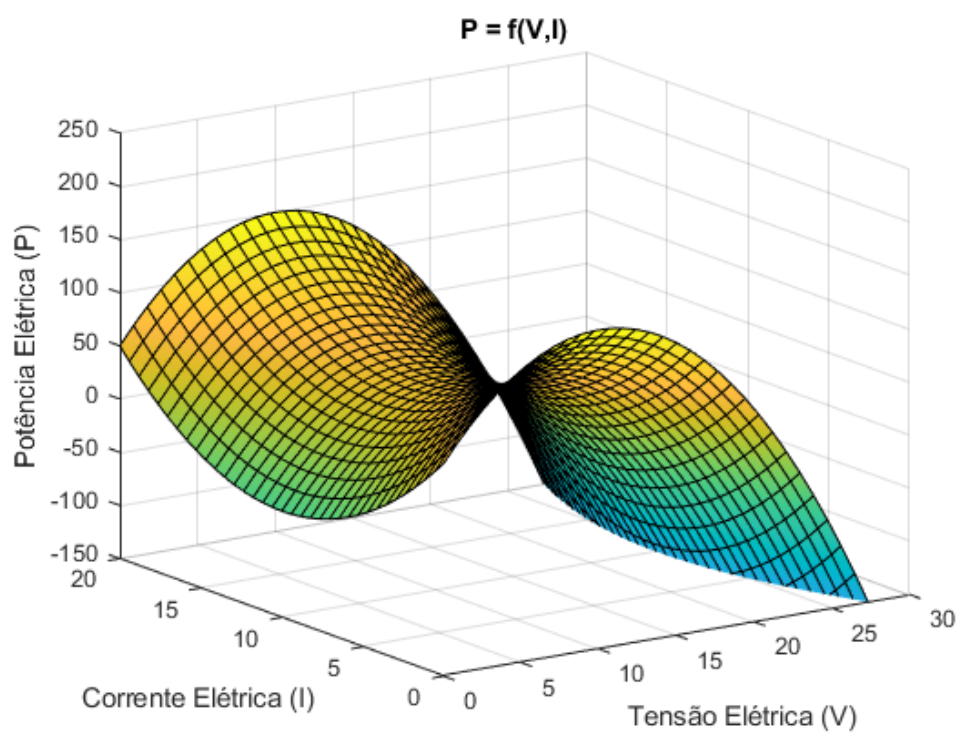


Figura 5: Função $P(V, I)$ em perspectiva 3

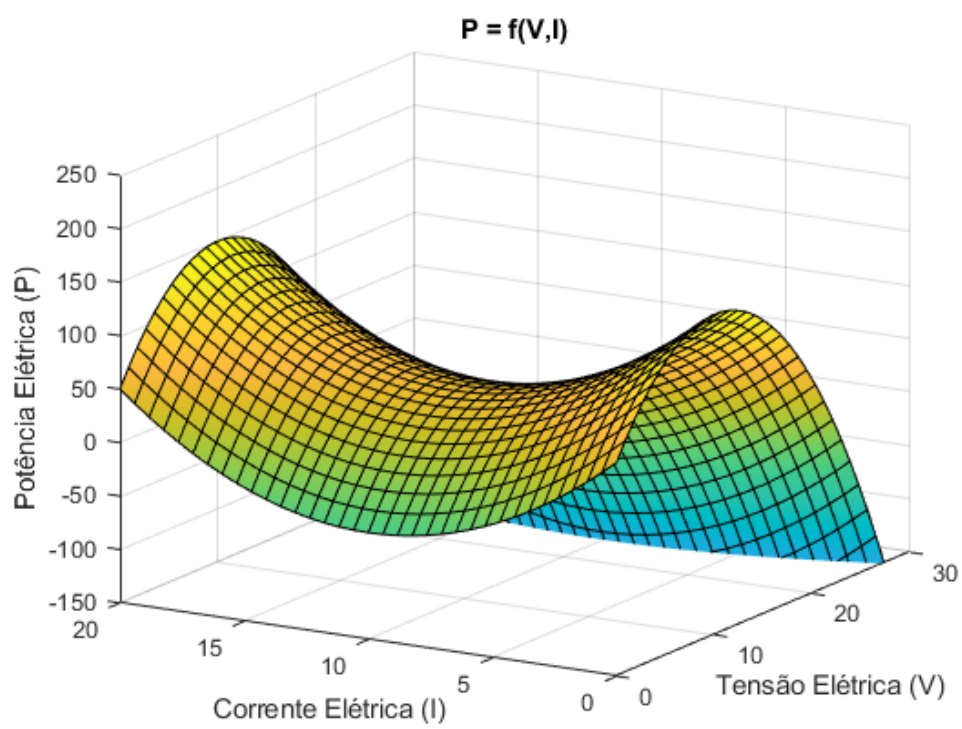
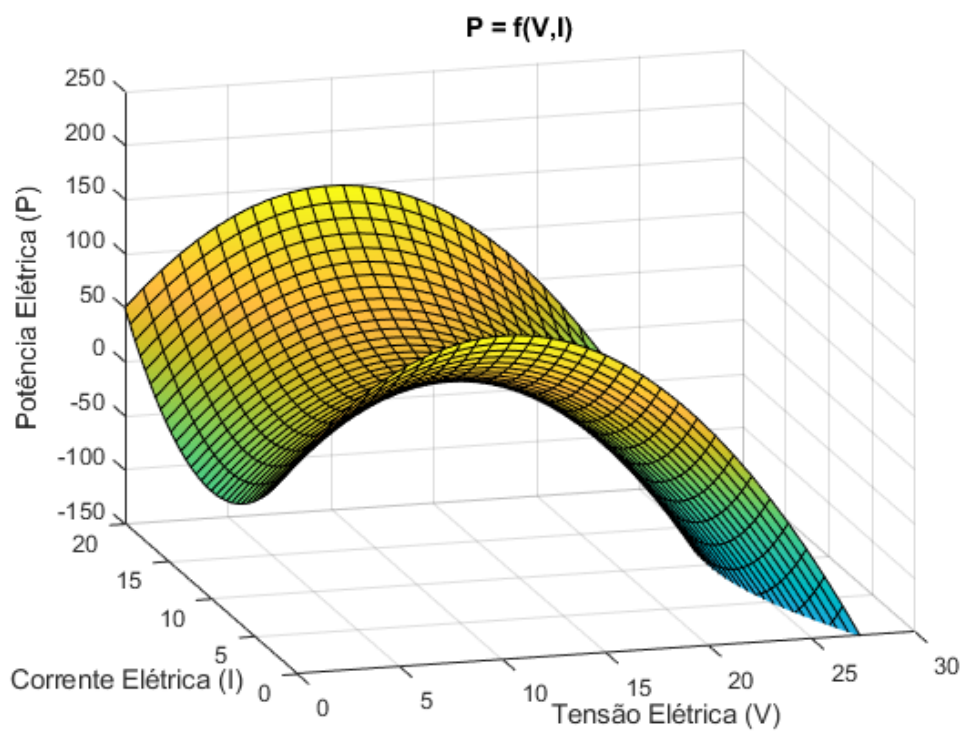
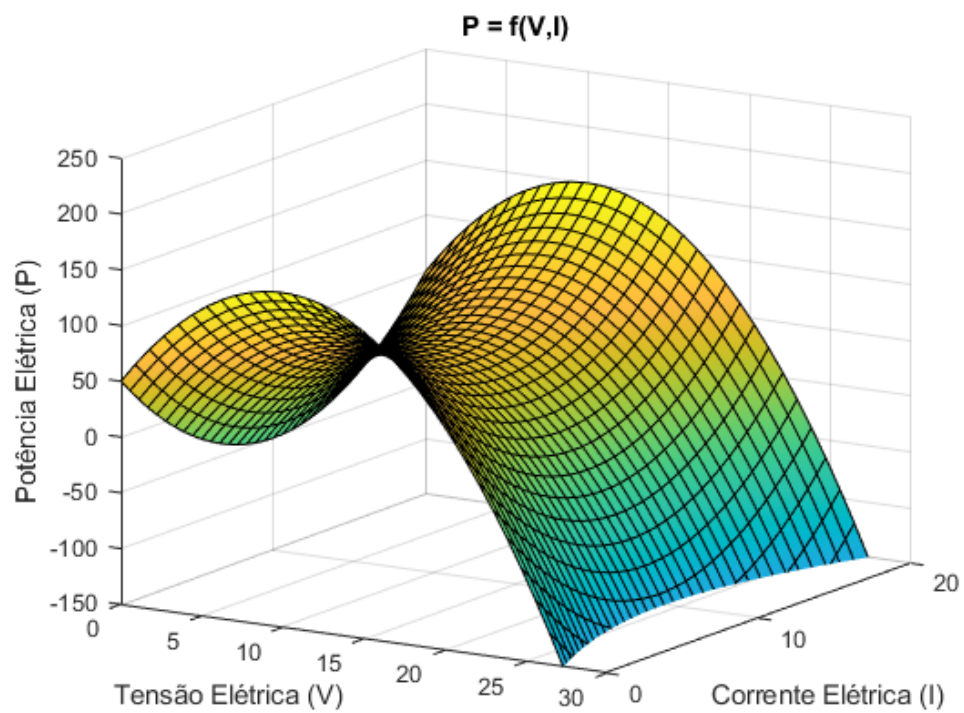


Figura 6: Função $P(V, I)$ em perspectiva 4



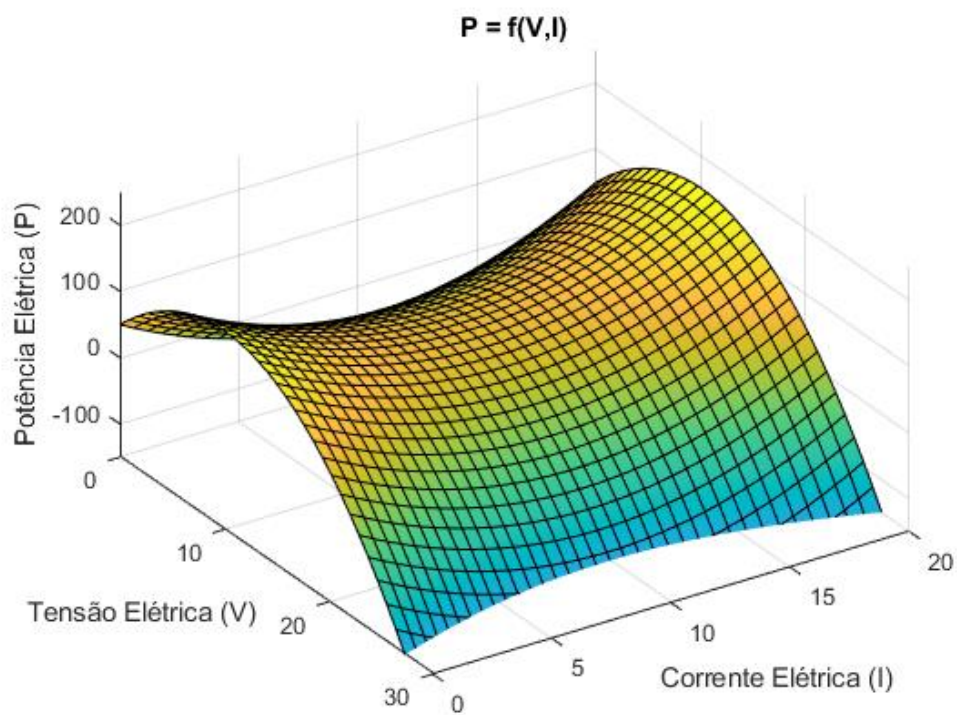
Fonte: Autores.

Figura 7: Função $P(V, I)$ em perspectiva 5



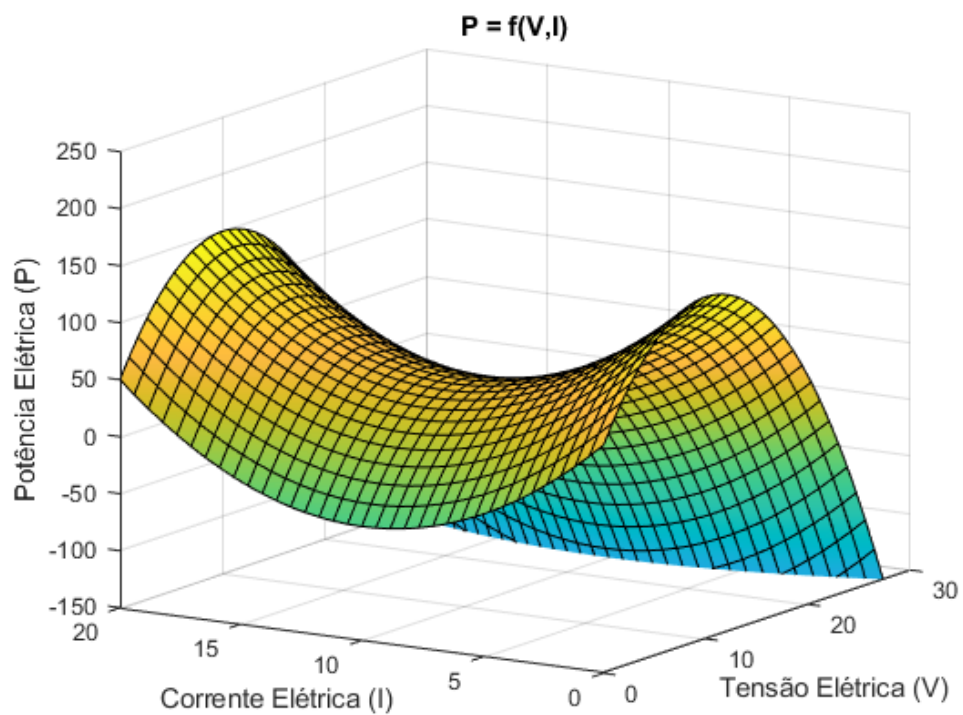
Fonte: Autores.

Figura 8: Função $P(V, I)$ em perspectiva 6



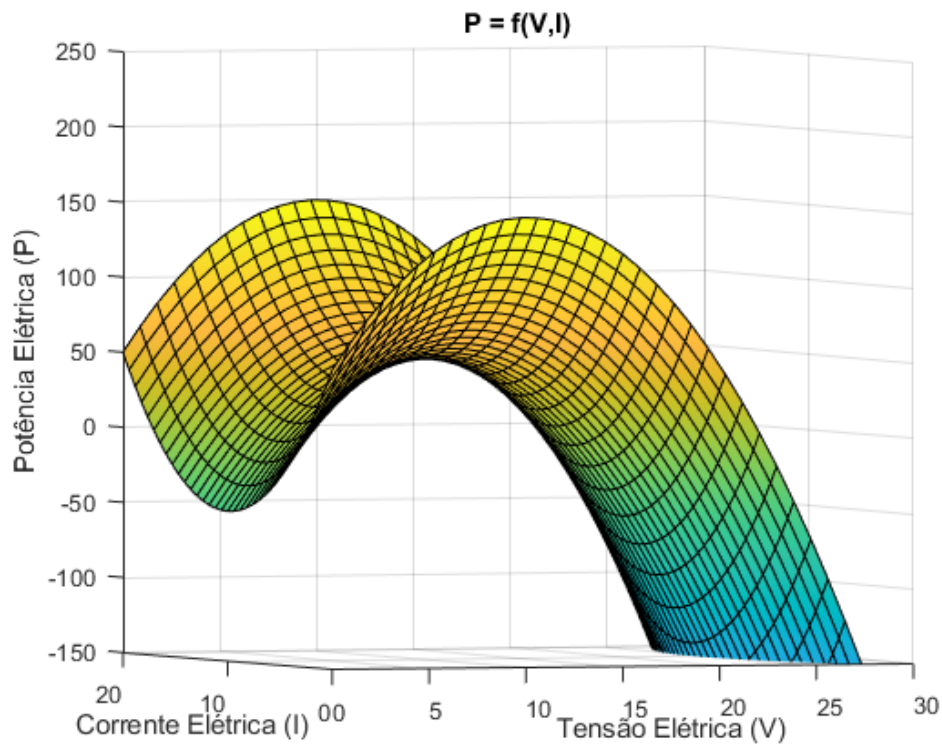
Fonte: Autores.

Figura 9: Função $P(V, I)$ em perspectiva 7



Fonte: Autores.

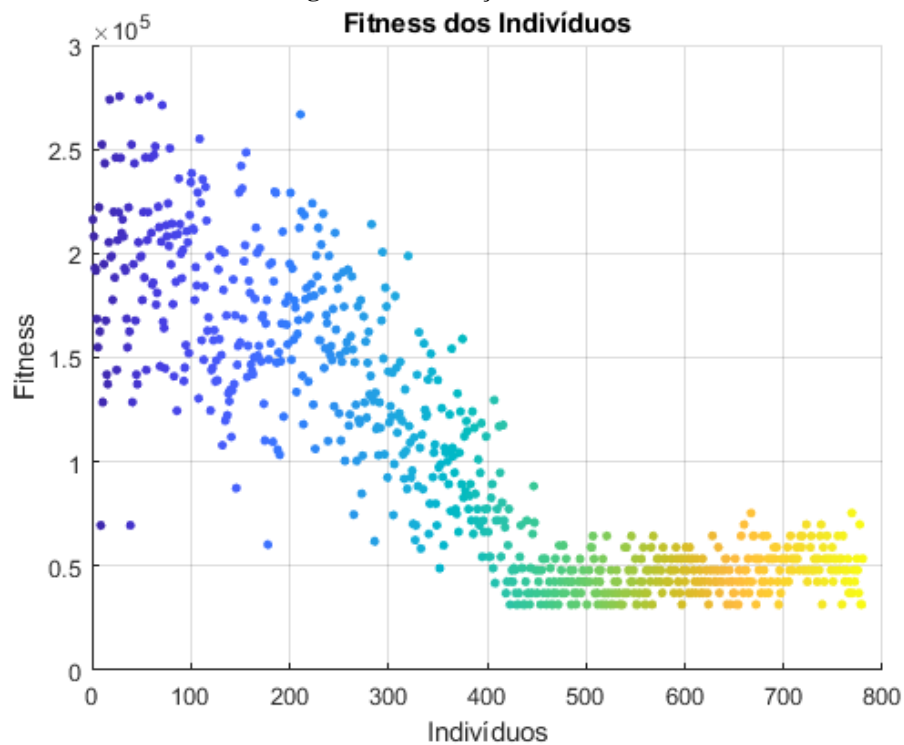
Figura 10: Função $P(V, I)$ em perspectiva 8



Fonte: Autores.

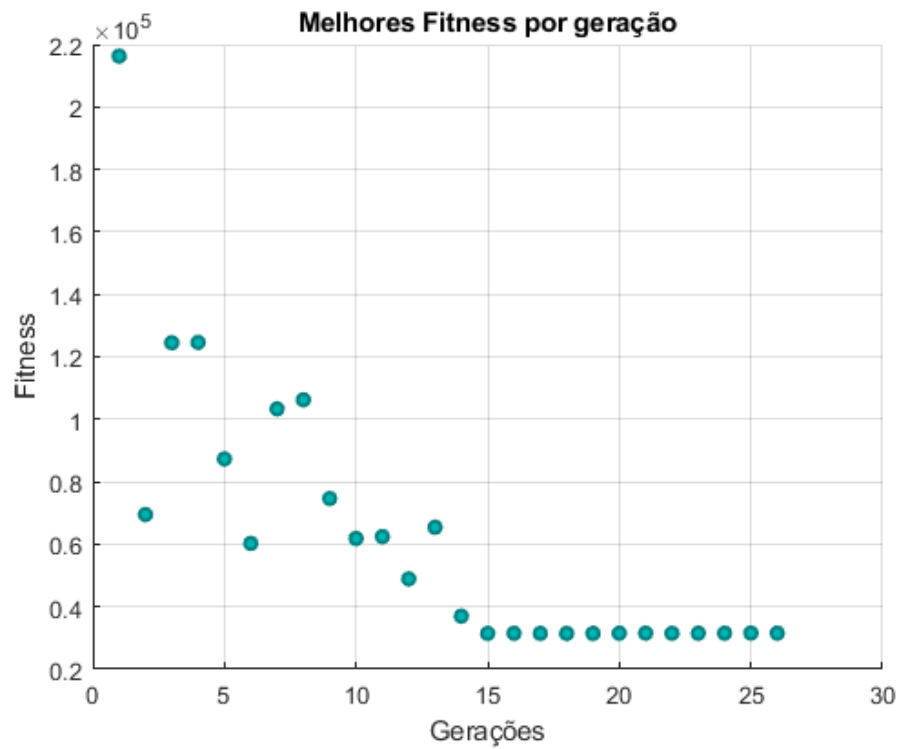
As Figuras 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 representam o comportamento do modelo matemático do fenômeno estudado, enquanto que as Figuras 11, 12, 13 e 14 representam o comportamento computacional desse fenômeno, avaliado pelo Algoritmo Genético.

Figura 11: Avaliação dos indivíduos



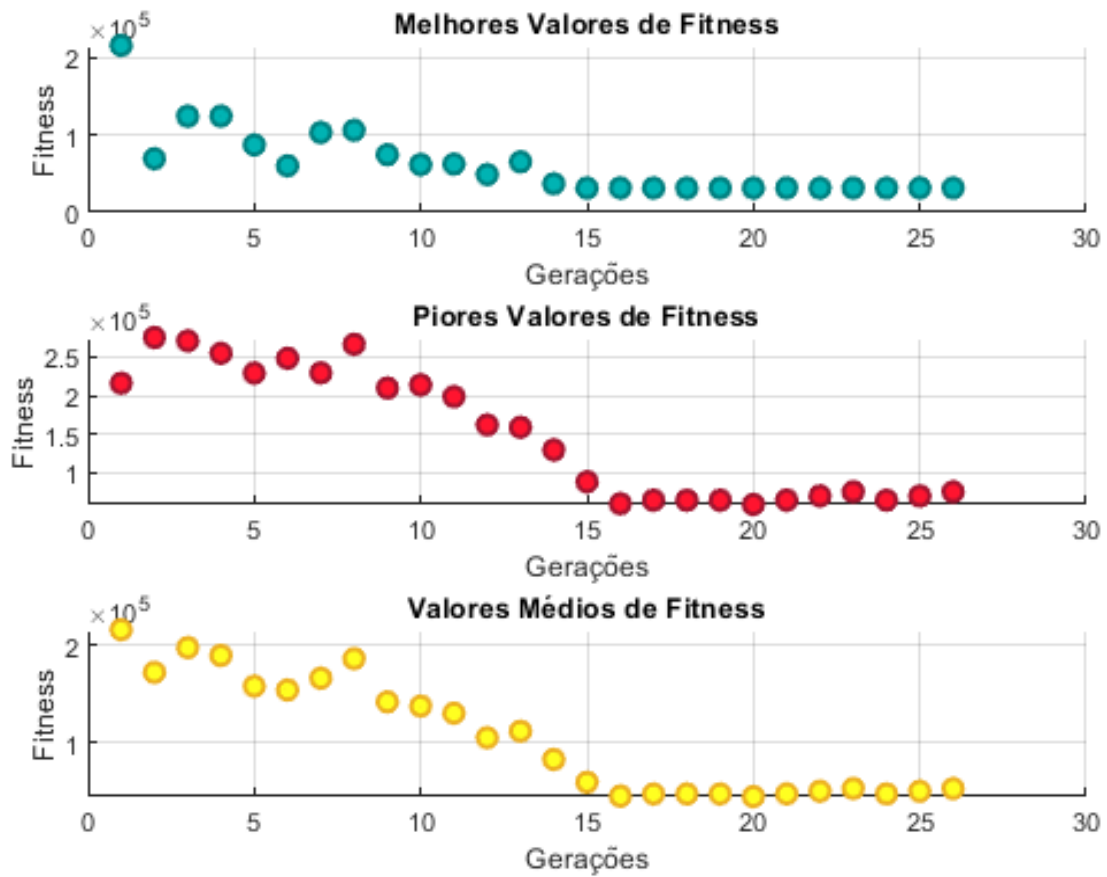
Fonte: Autores.

Figura 12: Melhores indivíduos por geração



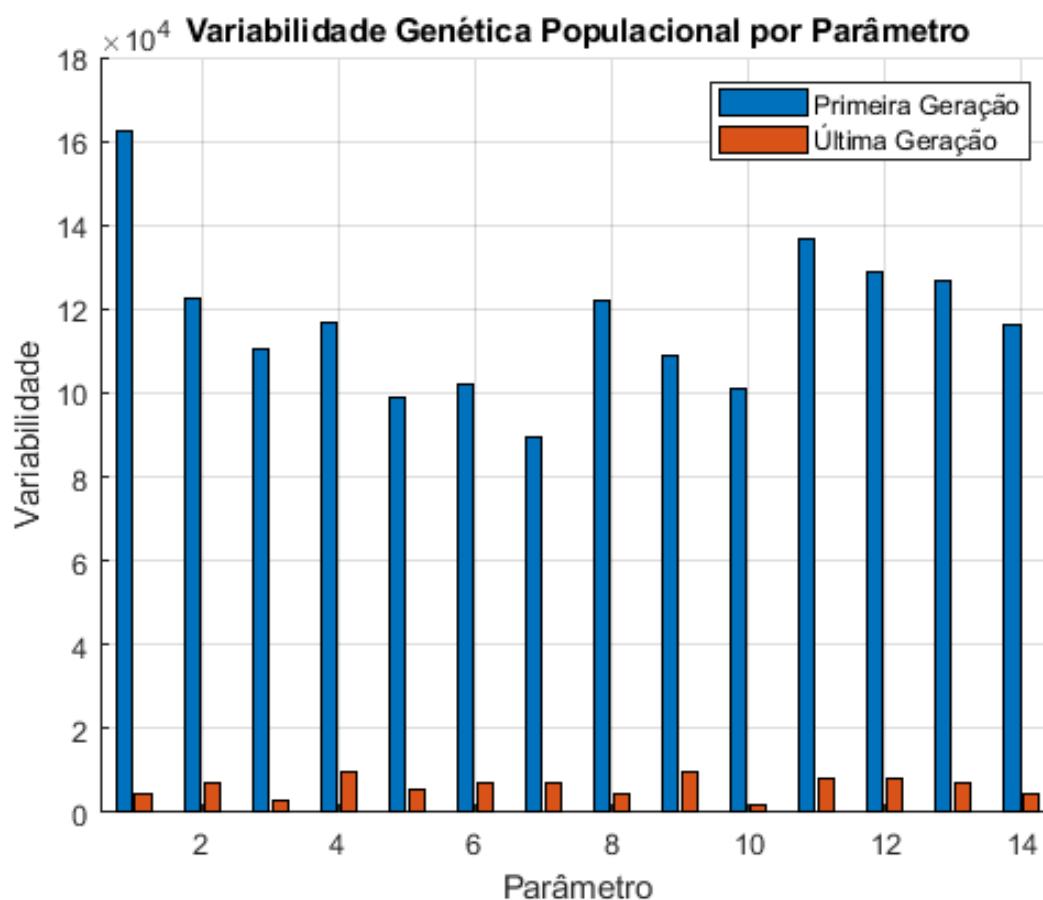
Fonte: Autores.

Figura 13: Valores da Função de Avaliação



Fonte: Autores.

Figura 14: Representação da Variabilidade genética



Fonte: Autores.

De acordo com a resolução do Modelo Matemático-Computacional, aplicado nessa pesquisa, observa-se que os valores de V e I , que maximizam a Função da Potência Elétrica $P(V, I)$, foram devidamente calculados pela execução do Algoritmo Genético.

Os resultados, médios, obtidos mediante o método Matemático-Computacional, para essa função são precisos e robustos, uma vez que satisfazem as condições do sistema elétrico. Os valores ótimos da Tensão elétrica, Corrente Elétrica e Potência Elétrica estão dispostos a seguir:

$$V = 14.7986 \text{ p.u}$$

$$I = 13.0000 \text{ p.u}$$

$$P(V, I) = 35.9734 \text{ p.u}$$

Sendo **p.u.** a medida *por unidade*.

Esses valores ratificam as condições operacionais do sistema elétrico, garantindo uma operação segura, pois a restrição $10 \leq P_{total} \leq 150$ foi respeitada na execução do modelo Matemático-Computacional.

4. Considerações Finais

A preocupante elevação da temperatura média do nosso planeta nos motiva a pesquisar maneiras para reverter, ou pelos menos, mitigar esse aquecimento. A recente COP26, realizada em outubro e novembro de 2021, em Glasgow, na Escócia, trouxe um debate que não pode ser esquecido em momento algum.

O II Seminário Internacional de Linguagens, Culturas, Tecnologias e Inclusão – II SILICTI, ofereceu essa oportunidade para discussões que correlacionam Ciência e Tecnologia aos fenômenos do ecossistema. Esse trabalho, beneficiou-se dessa oportunidade para apresentar a importância da Modelagem Matemática-Computacional na melhoria da geração limpa de energia elétrica.

A pesquisa expôs um processo fundamentado em Ciências e Matemática capaz de otimizar um sistema elétrico a partir de aerogeradores, ou seja, geração de energia elétrica eólica.

O Algoritmo Genético faz parte de um capítulo da Computação Bioinspirada extremamente útil em calcular os valores ótimos de funções com múltiplas variáveis de sistemas multicritérios.

O modelo foi implementado em linguagem MATLAB de computação, uma das mais eficientes linguagens de programação científica.

Os resultados obtidos estão em conformidade com as condições operacionais do sistema elétrico eólico, garantindo, desta forma, um despacho elétrico seguro.

Como futuras pesquisas, estima-se aplicar estratégias da Computação Evolucionárias em sistemas elétricos baseados em células fotovoltaicas.

5. Referências

BRASIL. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029** / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE. 2019.

Costa, D. C. L.; Nunes, M. V.A.; Vieira, J. P.A. & Bezerra, U. H. **Decision tree-based security dispatch application in integrated electric power and natural-gas networks**. Electric Power Systems Research 141 (2016) 442–449. 2016.

COSTA, D. C. L.; COSTA, H. A. de O.; NEVES, L. P. **Métodos Matemáticos Aplicados nas Engenharias via Sistemas Computacionais**. 2nd ed. SINEPEM-IFPA. 2019.

COSTA, D. C. L.; COSTA, H. A. de O.; SILVA, H. C. M. da. SILVA, S. T. T. da. **Matemática Computacional Aplicada à Ciência e Tecnologia**. 1st ed. Belém-PA, SINEPEM-IFPA. 2021.

Costa, H. A. de O., Costa, D. C. L., Meneses, L. A. de. **Interdisciplinarity Applied to the Optimized Dispatch of Integrated Electricity and Natural Gas Networks using the Genetic Algorithm**. Research, Society and Development, v. 10, n. 2, p. e42110212641, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i2.12641. 2021a.

COSTA, H. A. de O.; GOMES, L. L.; COSTA, D. C. L. **Genetic algorithm and particle swarm applied in electric system optimization**. Research, Society and Development, [S. l.], v. 10, n. 10, p. e166101018871. DOI: 10.33448/rsd-v10i10.18871. 2021b.

COSTA, D. C. L.; MENESES, L. A. de; LIMA, M. L. V. de; COSTA, H. A. de O.; REIS, A. C. F.; PINHEIRO, H. F. B.; COSTA, E. F. da; SILVA, A. R. dos S. da; REIS, A. C. F.; RAIOL, F. M.; SANTOS, R. C. P. dos. **Thermoelectric generation with reduced pollutants made possible by bio-inspired computing**. Research, Society and Development, [S. l.], v. 11, n. 1, p. e7611124568. DOI: 10.33448/rsd-v11i1.24568. 2022.

EPE. **Empresa de Pesquisa Energética**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcednergia/matriz-energetica-e-eletrica>. 2021.

GOLDEBERG, D. **Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning**. Addison-Wesley Professional. 423 p, 1989.

GONZÁLEZ, M.O.A.; GONÇALVES, J.S.; VASCONCELOS, R.M. **Sustainable development: Case study in the implementation of renewable energy in Brazil**. Journal Cleaner Production – Elsevier. 2017.

UNECE. **United Nations Economic Commission for Europe - Extractive Industries Transition to Sustainable Systems**. Disponível em: https://unece.org/sites/default/files/2021-05/Extractive%20Industries%20Regional%20PB_Final.pdf. 2021.

VARGAS, S. A.; ESTEVES, G. R. T.; MAÇAIRA, P. M.; BASTOS, B. Q.; OLIVEIRA, F. L. C.; SOUZA, R. C. **Wind Power Generation: A Review and a Research Agenda**. Journal Cleaner Production – Elsevier. 2019.