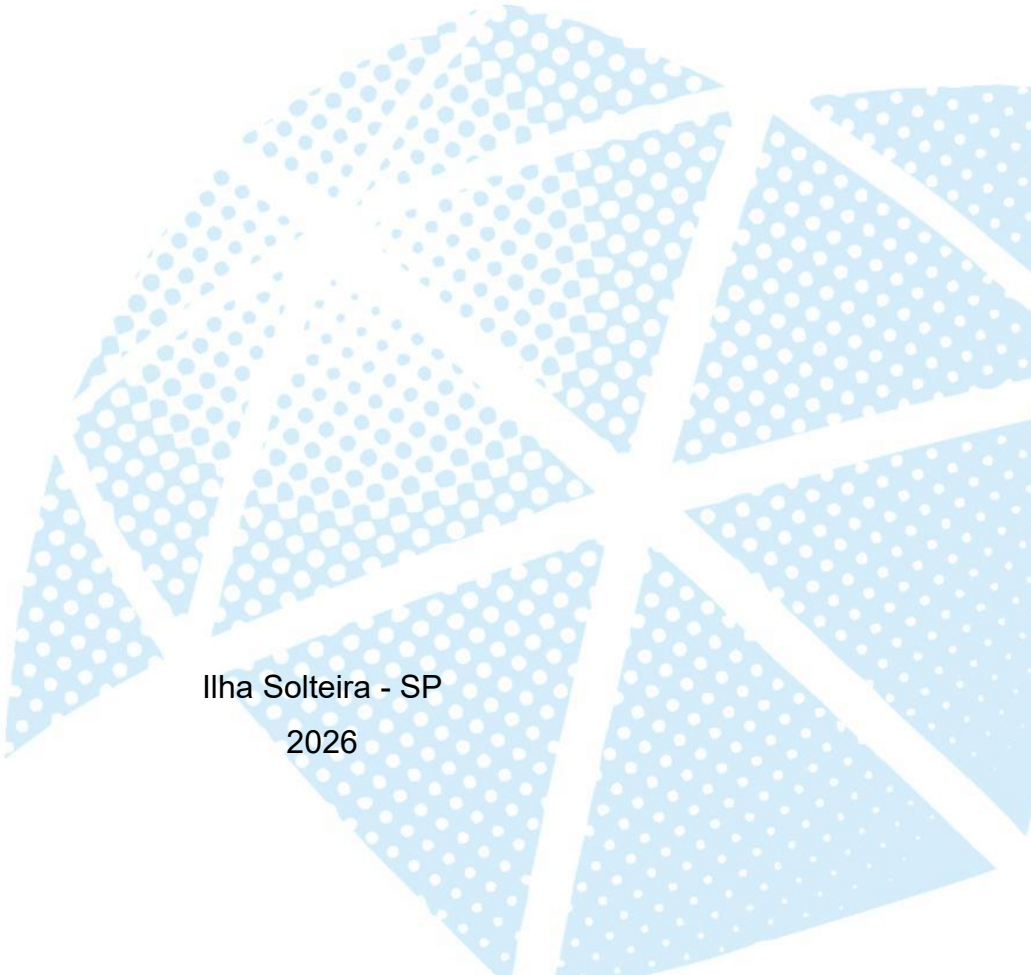
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

VITOR CORDEIRO NOGUEIRA DA SILVA

INDICADORES DE IMPACTOS PARA FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL



Ilha Solteira - SP
2026

VITOR CORDEIRO NOGUEIRA DA SILVA

INDICADORES DE IMPACTOS PARA FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, para obtenção do título de Grau acadêmico Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Engenharia e Tecnologia

Orientador(a): Profª. Drª. Luzenira Alves Brasileiro

Ilha Solteira - SP

2026

S586i

Silva, Vitor Cordeiro Nogueira da
Indicadores de impactos para fontes de energia renovável / Vitor Cordeiro Nogueira da Silva. -- Ilha Solteira, 2026
57 f. : tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira
Orientadora: Luzenira Alves Brasileiro

1. Recursos energéticos. 2. Energia Fontes alternativas. 3. Conservação de energia. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp.
Dados fornecidos pelo autor(a).

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Esta pesquisa apresenta elevado impacto científico, técnico e socioambiental ao integrar o modelo matemático da Serventia Energética Renovável (SER) à Matriz 3D, oferecendo uma ferramenta inovadora para fundamentar decisões no planejamento de combustíveis limpos e na transição energética.

No âmbito econômico e técnico, o trabalho orienta a alocação eficiente de capital em fontes de alta viabilidade regional, evitando investimentos em tecnologias inadequadas às características locais. Sob a perspectiva do desenvolvimento sustentável e social, alinha-se às metas de descarbonização e neutralidade climática, enquanto fomenta a capacitação técnica contínua, a proteção à saúde ocupacional e o fortalecimento socioeconômico da comunidade.

A inserção local, regional e nacional consolida-se através do estudo aplicado a Ilha Solteira (SP), gerando um diagnóstico replicável para o Noroeste Paulista e outros municípios do Sistema Interligado Nacional (SIN). Por fim, seu potencial de internacionalização manifesta-se ao alinhar o planejamento municipal às diretrizes globais de sustentabilidade, permitindo que a metodologia seja adaptada a diferentes cenários internacionais de matrizes renováveis.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This research delivers significant scientific, technical, and socio-environmental impact by integrating the Renewable Energy Facility (SER) mathematical model with the 3D Matrix, providing an innovative tool to inform decision-making regarding clean fuel planning and the energy transition.

From economic and technical standpoints, the study guides the efficient allocation of capital toward energy sources with high regional viability, preventing investment in technologies unsuited to local conditions. Regarding sustainable and social development, it aligns with decarbonization and climate neutrality goals while fostering continuous technical training, occupational health protection, and the socioeconomic strengthening of the community.

Its local, regional, and national relevance is established through a case study in Ilha Solteira (SP), yielding a diagnostic framework that can be replicated across the Northwest São Paulo region and other municipalities within the National

Interconnected System (SIN). Finally, its potential for internationalization is evident in how it aligns municipal planning with global sustainability guidelines, allowing the methodology to be adapted to diverse international renewable energy scenarios.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno: **VITOR CORDEIRO NOGUEIRA DA SILVA**

Título: **INDICADORES DE IMPACTOS PARA FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Civil, junto ao Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Ilha Solteira

COMISSÃO EXAMINADORA

Profª Drª Luzenira Alves Brasileiro

(Orientadora)

Prof Dr. Rodrigo Andraus Bispo

(Examinador)

Prof. Dr. Sérgio Augusto Mello da Silva

(Examinador)

Ilha Solteira

02/09/2026

À minha família, naturalmente.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, por sustentar meus passos, renovar minhas forças a cada desafio e permitir que eu alcance este momento tão significativo.

À minha família, por ser meu porto seguro. Em especial aos meus pais, pela dedicação silenciosa, pelas orações e por sacrificarem tanto para que eu pudesse construir este caminho. O amor de vocês é a base de tudo o que sou e conquisto.

À minha noiva, Isabela Cézero, pela presença constante que ilumina meus dias. Obrigado pelo incentivo incondicional, pela paciência nos momentos de ausência e por dividir comigo cada angústia e vitória nesta jornada. Sua maturidade e companheirismo tornaram essa caminhada muito mais leve e cheia de sentido.

À Universidade Estadual Paulista (UNESP - FEIS), pela excelência do ensino e pela estrutura oferecida ao longo de toda a graduação em Engenharia Civil. Minha gratidão aos programas de auxílio e bolsas acadêmicas, os quais ajudaram imensamente para conclusão desta etapa.

À minha orientadora, Profa. Dra. Luzenira Alves Brasileiro. Expresso meu mais sincero respeito e admiração por sua mentoria exemplar. Sua sabedoria, rigor acadêmico e generosidade ao partilhar conhecimento foram fundamentais não apenas para o direcionamento desta pesquisa, mas para minha formação como profissional e pesquisador.

Aos irmãos que a graduação me deu, meus amigos do grupo Engenharilha. Obrigado pela parceria nas madrugadas de estudo, pelo apoio nos momentos difíceis e por tornarem a vida universitária inesquecível.

Ao corpo docente da instituição, pelos ensinamentos transmitidos e pela dedicação à formação de profissionais conscientes e capacitados.

Aos professores componentes da banca examinadora, pela disponibilidade, pelo olhar atento e pelas contribuições indispensáveis para o aprimoramento deste trabalho.

Por fim, a todos que, de perto ou de longe, torceram por mim e contribuíram de alguma forma para a concretização deste sonho.

"Porque sou eu que conheço os planos que tenho para vocês, diz o Senhor, planos de fazê-los prosperar e não de causar dano, planos de dar a vocês esperança e um futuro."

Jeremias 29:11

RESUMO

A transição para uma matriz de baixo carbono exige ferramentas robustas de planejamento que considerem a complexidade técnica, econômica e socioambiental das fontes renováveis. Este trabalho apresenta um estudo de caso focado no município de Ilha Solteira (SP), com o objetivo de avaliar a viabilidade de diferentes fontes energéticas para a produção de combustíveis limpos. A metodologia consistiu na aplicação do modelo matemático da Serventia Energética Renovável (SER) integrado à modelagem visual da Matriz 3D, permitindo uma análise multidimensional e comparativa das energias solar fotovoltaica, hídrica, eólica, geotérmica e maremotriz. Os resultados apontaram a energia solar fotovoltaica como a alternativa mais viável para a região, atingindo o índice máximo de SER = 2,4, impulsionada pela excelente irradiação local e aceitação social. A energia hídrica consolidou-se como uma fonte madura (SER = 2,0), porém limitada por restrições de expansão física. Em contrapartida, a fonte eólica (SER = 0,4), geotérmica (SER = -0,4) e maremotriz (SER = -0,6) mostraram-se inviáveis devido a severas limitações geográficas e climáticas no interior paulista. Conclui-se que a combinação do modelo SER com a Matriz 3D constitui uma ferramenta científica e gerencial altamente eficiente, fornecendo subsídios práticos para engenheiros e gestores públicos na otimização de tomadas de decisão e no desenvolvimento regional de combustíveis limpos.

Palavras-chave: Energia; Fontes Renováveis; Transição Energética; Serventia Energética Renovável (SER); Matriz 3D; Energia Hidráulica; Energia Solar; Energia Eólica; Energia Maremotriz; Energia Geotérmica e Combustíveis Limpos.

ABSTRACT

The transition to a low-carbon energy mix requires robust planning tools that account for the technical, economic, and socio-environmental complexities of renewable sources. This study presents a case study focused on the municipality of Ilha Solteira (São Paulo state), aiming to evaluate the viability of various energy sources for clean fuel production. The methodology involved applying the Renewable Energy Utility (SER) mathematical model integrated with 3D Matrix visual modeling, enabling a multidimensional, comparative analysis of solar photovoltaic, hydroelectric, wind, geothermal, and tidal energy sources. Results identified solar photovoltaic energy as the most viable alternative for the region, achieving the maximum SER index of 2.4, driven by excellent local solar irradiance and high social acceptance. Hydroelectric power proved to be a mature source (SER = 2.0) but was constrained by physical expansion limitations. Conversely, wind (SER = 0.4), geothermal (SER = -0.4), and tidal (SER = -0.6) energy sources were found to be unfeasible due to severe geographical and climatic limitations in the interior of São Paulo state. The study concludes that combining the SER model with the 3D Matrix creates a highly efficient scientific and managerial tool, providing practical insights for engineers and public officials to optimize decision-making and foster the regional development of clean fuels.

Keywords: Energy; Renewable Sources; Energy Transition; Renewable Energy Asset (SER); 3D Matrix; Hydropower; Solar Energy; Wind Energy; Tidal Energy; Geothermal Energy and Clean Fuels.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática do arranjo matricial multicritério para avaliação de impactos. 37

Figura 2 – Matriz tridimensional de indicadores de impacto para a fonte de energia hídrica em Ilha Solteira (SP). 39

Figura 3 – Matriz tridimensional de indicadores de impacto para a fonte de energia solar em Ilha Solteira (SP). 41

Figura 4 – Matriz tridimensional de indicadores de impacto para a fonte de energia eólica em Ilha Solteira (SP). 44

Figura 5 – Matriz tridimensional de indicadores de impacto para a fonte de energia maremotriz em Ilha Solteira (SP). 47

Figura 6 – Matriz tridimensional de indicadores de impacto para a fonte de energia geotérmica em Ilha Solteira (SP). 50

Figura 7 – Painel comparativo das matrizes de indicadores de impacto para as fontes de energia renovável em Ilha Solteira (SP). 53

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Comparação dos atributos físicos e operacionais das matrizes energética renováveis. 23

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SAF	Combustível Sustentável de Aviação
LCOE	Custo nivelado da Energia
CAPEX	Despesas de Capital
ROI	Retorno sobre o Investimento
OPEX	Despesas Operacionais
EH	Energia Hidráulica
ES	Energia Solar
EE	Energia Eólica
EM	Energia Maremotriz
EG	Energia Geotérmica
SIN	Sistema Interligado Nacional
AT	Análise Técnica
AE	Análise Econômica
AA	Análise Ambiental
AS	Análise Social
ADS	Análise de Saúde
IT1	Infraestrutura
IT2	Mão de Obra Especializada
IT3	Tecnologia
IT4	Demanda
IE1	Custo
IE2	Tarifa
IE3	Geração de Emprego
IE4	Desenvolvimento Econômico
IA1	Poluição do Ar
IA2	Poluição da Água
IA3	Poluição do Solo
IA4	Degradação da Fauna e Flora
IS1	Empregos
IS2	Satisfação
IS3	Capacitação Técnica
IS4	Evolução Social

IDS1	Doenças Oculares
IDS2	Doenças Auditivas
IDS3	Estresse Visual
IDS4	Fadiga

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO 18
2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA 19
3 OBJETIVOS 20
3.1 OBJETIVO GERAL 20
3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO 20
4 REVISÃO DE LITERATURA 21
4.1 ENERGIA RENOVÁVEL 21
4.1.1 Energia Hidráulica (EH) 21
4.1.2 Energia Solar (ES) 21
4.1.3 Energia Eólica (EE) 22
4.1.4 Energia Maremotriz (EM) 22
4.1.5 Energia Geotérmica (EG) 22
4.2 COMBUSTÍVEL LIMPO 24
4.3 IMPACTOS DA ENERGIA RENOVÁVEL PARA PRODUÇÃO DE COMBUSTÍVEIS LIMPOS 25
4.3.1 Técnico (AT) 25
4.3.2 Econômico (AE) 25
4.3.3 Ambiental (AA) 26
4.3.4 Social (AS) 27
4.3.5 Saúde (ADS) 27
5 MATERIAL E MÉTODO 29
5.1 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS 29
5.1.1 Infraestrutura (IT1) 29
5.1.2 Mão de obra (IT2) 30
5.1.3 Tecnologia (IT3) 30
5.1.4 Demanda (IT4) 30
5.1.5 Custo (IE1) 30
5.1.6 Tarifa (IE2) 31
5.1.7 Geração de Empregos (IE3) 31
5.1.8 Desenvolvimento Econômico (IE4) 31
5.1.9 Poluição do Ar (IA1) 32
5.1.10 Poluição do Água (IA2) 32

5.1.11 Poluição do Solo (IA3) 32
5.1.12 Degradação da Fauna e Flora (IA4) 33
5.1.13 Empregos (IS1) 33
5.1.14 Satisfação (IS2) 33
5.1.15 Capacitação Técnica (IS3) 34
5.1.16 Evolução Social (IS4) 34
5.1.17 Doenças Oculares (IDS1) 34
5.1.18 Doenças Auditivas (IDS2) 35
5.1.19 Estresse Visual (IDS3) 35
5.1.20 Fadiga (IDS4) 35
5.2 ATRIBUIÇÃO DOS VALORES DE PONDERAÇÃO 36
5.3 DETERMINAÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA 37
6 RESULTADOS 38
6.1 ANÁLISE DA MATRIZ ENERGÉTICA DE FONTE HÍDRICA 38
6.2 ANÁLISE DA MATRIZ ENERGÉTICA DE FONTE SOLAR 41
6.3 ANÁLISE DA MATRIZ ENERGÉTICA DE FONTE EÓLICA 43
6.4 ANÁLISE DA MATRIZ ENERGÉTICA DE FONTE MAREMOTRIZ 46
6.5 ANÁLISE DA MATRIZ ENERGÉTICA DE FONTE GEOTÉRMICA 49
6.6 PAINEL COMPARATIVO DAS MATRIZES DE INDICADORES DE IMPACTO 52
7 CONCLUSÃO 54
REFERÊNCIAS 55

1 INTRODUÇÃO

“Fontes de energia renováveis são caracterízadas pela constante regeneração natura. Diferente dos recursos finitos, essas fontes são naturalmente reabastecidos, como sol, vento, chuva, marés e energia geotérmica, garantindo um recurso que não se esgota com o passar do tempo” (MEDEIROS, 2021).

Embora toda forma de energia tenha origem natural, a distinção entre fontes renováveis e não renováveis reside na escala temporal de sua regeneração e na complexidade dos processos de transformação necessários para o consumo humano.

“Fontes de energia não renovável são recursos finitos encontrados na natureza que não possuem uma regeneração em uma escala de tempo cronológico. Por esse motivo, o esgotamento se tona uma consequência direta da exploração sem limites” (GUITARRARA, 2024).

A predominância das fontes não renováveis na matriz mundial é sustentada por fatores como o custo-benefício, rede de distribuição já consolidada e o avançado conhecimento técnico, desempenhando um papel central na geração de energia elétrica, combustíveis e aquecimento térmico (EPE,2024). Complementando essa visão, algumas destas fontes, de acordo com Moreira (2024), são:

- **Petróleo:** É um composto de hidrocarboneto e decomposição de vegetais e animais. Mesmo emitindo alta quantidade de poluentes na atmosfera, segue sendo a principal matéria-prima para produção de gasolina, diesel, querosene, plásticos, solventes e materiais asfálticos.
- **Carvão:** Sendo a segunda fonte de energia não renovável mais usada no mundo e uma das mais antigas, com uma composição formada de soterramento, compactação e elevação de temperatura. O carvão é considerado não renovável pela sua escassez, exemplo disso é o Brasil possuindo apenas 0,1% deste recurso.
- **Gás Natural:** Uma fonte de energia presente no dia a dia, pois dela vem o gás de cozinha. Composta por uma junção de hidrocarbonetos metano, etano, propano e butano, que normalmente estão presentes em áreas onde se tem petróleo.
- **Energia Nuclear:** Feita por meio de processo de fissão nuclear de átomos de urânio que quando se juntam liberam uma grande quantidade de energia, sendo assim, usada para vários fins.

2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

As fontes de energia não renováveis tem sua importância histórica e vantagens operacionais, entretanto, sua utilização prolongada apresenta consequências preocupantes para sociedade. Segundo Guitarrara (2024) e Moreira (2024), os problemas centrais envolvem:

- **Esgotamento de Recursos:** A redução das reservas naturais eleva os custos, afetando diretamente a economia global.
- **Dependência Geopolítica:** A necessidade de importação desses recursos geram brechas de vulnerabilidade geopolíticas, ficando à mercê das variações de mercado, consequentemente causando problemas na economia e segurança do países.
- **Impactos Ambientais:** A queima de combustiveis fósseis e o manejo inadequado de elementos radioativos provocam sérios impactos ambientais. Tendo como principal impacto a poluição atmosférica.
- **Contribuição para o Aquecimento Global:** A queima de combustíveis fósseis libera dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera, contribuindo para o aquecimento global e as mudanças climáticas.
- **Saúde Humana:** O aumento de doenças respiratórias como asma e bronquite está diretamente ligado aos índices de poluição urbana gerada por essas fontes.
- **Acidentes e Riscos:** A possibilidade de acidentes em usinas, embora baixa, representa um risco de impacto socioambiental catastrófico, como o ocorrido em Chernobyl em 1986.

Segundo MCTI (2023), o Relatório Síntese sobre mudança do clima do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC, apresenta dados revelando um aumento na temperatura global de 1,1°C em relação ao período da Revolução Industrial na qual ficou marcada pela emissão de gases poluentes na atmosfera em função do uso de combustíveis fósseis.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho busca como objetivo a realização de uma ponderação multidimensional para fontes de energia renováveis.

3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Avaliar seus impactos sob as dimensões técnica, econômica, ambiental, social e de saúde, com finalidade de avaliar sua serventia energética na produção de combustíveis limpos.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 ENERGIA RENOVÁVEL

“As fontes de energia que pertencem a este grupo são consideradas inesgotáveis, pois suas quantidades se renovam constantemente ao serem usadas” (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, s.d.).

Fatores como estiagens (secas) e ausência de ventos, fazem com que seja feita uma análise completa para a instalação ideal, de forma que venha a mitigar a variação na geração de combustível.

As fontes renováveis vêm se consolidando no mercado global, enfatizando o aspecto de energia limpa, por emitirem menos gases de efeito estufa (GEE) que as fontes não renováveis, como as fósseis. Cada uma apresenta características técnicas e mecânicas específicas, cujos atributos físicos e operacionais estão sintetizados na Tabela 1.

4.1.1 Energia Hidráulica (EH)

Conhecida também como energia hídrica/hidrelétrica, um dos pilares da infraestrutura global, fundamenta-se no ciclo hidrológico para represamento e condução de volumes de água.

A conversão ocorre pela transformação de energia potencial gravitacional da água acumulada em energia cinética, a qual rotaciona as pás de turbinas acopladas a geradores eletromagnéticos na casa de força, elevando a voltagem em subestações para transmissão a longas distâncias.

4.1.2 Energia Solar (ES)

Reconhecida como uma das principais fontes renováveis utilizadas pela população. A energia solar fotovoltaica converte diretamente a energia radiante dos fótons em corrente elétrica contínua.

O efeito fotovoltaico identificado por Becquerel em 1839 teve sua fundamentação teórica elaborada por Einstein em 1905, onde a absorção de radiação

com energia superior ao hiato de banda do silício promove a transição de elétrons para a banda de condução.

4.1.3 Energia Eólica (EE)

A energia eólica é gerada pela conversão de energia cinética do vento em energia mecânica e, por fim, em energia elétrica. Esse processor ocorre por meio de aerogeradores, que entra em operação quando o vento entra em contato com as pás coletoras, iniciando um movimento de rotação, que é transferido para o rotor ao qual transfere a energia mecânica para um gerador que converte essa energia em eletricidade.

4.1.4 Energia Maremotriz (EM)

A energia maremotriz explora as oscilações do nível do mar provocadas pelas forças gravitacionais dos corpos celestes. O aproveitamento ocorre por meio de barragens estuarinas que utilizam a energia potencial do desnivelamento da água ou por turbinas subaquáticas de corrente de maré que capturam diretamente a energia cinética dos fluxos marítimos.

4.1.5 Energia Geotérmica (EG)

A energia geotérmica extrai a energia térmica armazenada na crosta terrestre, decorrente do calor primordial do planeta e da desintegração de elementos radioativos no manto e núcleo.

A captação envolve a perfuração de poços de profundidades variáveis para extrair fluidos ou vapor de alta temperatura que acionam turbinas ligadas a geradores.

Tabela 1 – Comparação dos atributos físicos e operacionais das matrizes energética renováveis.

Atributos Técnico	Energia Hidráulica	Energia Solar	Energia Eólica	Energia Geotérmica	Energia Maremotriz
Origem do Recurso	Ciclo Hidrológico e Gravidade	Radiação Eletromagnética Solar	Convecção Atmosférica Global	Calor do Núcleo e Manto Terrestre	Atração gravitacional Lua-Sol
Tecnologia de Conversão	Turbinas Francis, Kaplan e Pelton	Painéis de Silício	Aerogeradores de eixo horizontal	Vapor seco, Vapor Flash e Ciclo Binário	Barragens, Lagoas e Turbinas Submersas
Maturidade Comercial	Consolidada internacionalmente	Avançada em rápida expansão	Avançada com cadeia madura	Avançada em regiões vulcânicas	Experimental a Piloto em nichos

Fonte: Produção do próprio autor, com base em ABSOLAR (2025), Brasil (EPE, 2024), IRENA (2024) e Medeiros (2021).

4.2 COMBUSTÍVEL LIMPO

A busca pela neutralidade climática exige a substituição de combustíveis fósseis em setores onde a eletrificação direta por baterias de íons-lítio apresenta severas limitações de viabilidade técnica devido a requisitos extremos de autonomia e peso, como no transporte aéreo, navegação marítimas e em processos industriais.

Os combustíveis limpos surgem como alternativa estratégica indispensável para viabilizar essa descarbonização profunda. O hidrogênio verde (H_2V) desempenha a função de vetor energético primário e bloco de construção essencial na síntese desses novos combustíveis produzido por meio da eletrólise da água. Esse processo no qual a corrente elétrica proveniente de fontes renováveis alimenta eletrolisadores, quebra as moléculas de água em hidrogênio gasoso e oxigênio puro, sem qualquer emissão de gases poluentes. Conforme explica Diniz (2025), O hidrogênio verde, em contexto brasileiro, pode ser obtido a partir da reforma do etanol. Esse método baseia-se na conversão do etanol, proveniente de fontes renováveis como a cana-de-açúcar em hidrogênio, utilizando mecanismos térmicos ou eletroquímicos.

No Brasil, a transição para combustíveis limpos é impulsionada por marcos regulatórios como a Lei do Combustível do Futuro (Lei n° 14.993/2024), que introduz metas de redução de emissões para o setor aéreo nacional por meio do uso de SAF e eleva as misturas obrigatórias de etanol na gasolina (E-30) e de biodiesel no óleo diesel comercial. Segundo o Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (BRASIL, 2023), na cerimônia de assinatura do projeto, o presidente Lula afirma que não há outra saída para o mundo que não seja pela produção de combustíveis limpos: “Essa produção de biocombustível, essa transição energética que o mundo tanto clama, é uma oportunidade *sui generis* para este país”, diz o presidente, para quem o Brasil pode se tornar, para os combustíveis renováveis, o que hoje o Oriente Médio é para o petróleo.

4.3 IMPACTOS DA ENERGIA RENOVÁVEL PARA PRODUÇÃO DE COMBUSTÍVEIS LIMPOS

A transição para fontes limpas, envolve uma reestruturação profunda que impacta a economia, a infraestrutura e a relação humana com a natureza. Embora esse processo consiga mitigar os grandes danos ambientais provocados pelos combustíveis fósseis, ele ainda traz impactos locais menores que não podem ser ignorados (RIBAS, 2024). Dentre esses impactos, podemos observar:

4.3.1 Técnico (AT)

A transição energética exige uma análise integrada de infraestrutura, tecnologia, mão de obra e demanda para cada fonte renovável. A hidráulica e a geotérmica são tecnologias maduras que oferecem energia de base estável e despachável para atender à demanda contínua, mas exigem infraestrutura pesada (barragens e perfurações profundas) e mão de obra altamente especializada em engenharia civil e geologia.

Em contraste, as fontes solar e eólica expandem-se rapidamente devido à alta modularidade e menor custo inicial, gerando empregos em larga escala para técnicos de instalação e manutenção, contudo, por serem intermitentes, desafiam a estabilidade da rede elétrica com flutuações bruscas de geração.

A energia maremotriz enfrenta o ambiente marinho hostil com altos custos de infraestrutura e demanda profissionais raros em engenharia naval, estando ainda em estágio de desenvolvimento para fornecer energia previsível, porém cíclica (BRASIL/EPE, 2021; CCK AUTOMAÇÃO, 2023; SOUZA, 2024).

4.3.2 Econômico (AE)

A viabilidade da transição energética repousa sobre uma complexa equação econômica que envolve investimentos e retornos setoriais. As fontes solar e eólica apresentam hoje o menor custo nivelado de energia (LCOE), o que pressiona as tarifas de energia para baixo no longo prazo, além de liderarem a geração de empregos de base (instalação e comércio) e impulsionarem o desenvolvimento econômico regional em áreas antes improdutivas, como o semiárido brasileiro.

Por outro lado, a energia hidráulica exige um altíssimo custo de capital inicial (CAPEX) com longo prazo de amortização, mas suas tarifas são extremamente competitivas após a depreciação dos ativos, atuando como um motor de desenvolvimento industrial devido à estabilidade que oferece à matriz nacional.

A energia geotérmica, embora restrita geograficamente, exige altos investimentos em perfuração, mas garante tarifas estáveis sem volatilidade de combustíveis, gerando empregos de alta remuneração e atraindo indústrias eletrointensivas para o seu entorno.

Por fim, a tecnologia maremotriz ainda enfrenta custos proibitivos de implantação que encareceriam as tarifas se aplicada comercialmente hoje, mantendo sua geração de empregos concentrada em pesquisa e nichos de engenharia naval, com potencial de desenvolvimento econômico futuro voltado para as economias costeiras (BRASIL, 2022; IRENA, 2024).

4.3.3 Ambiental (AA)

A pegada ecológica das fontes renováveis varia drasticamente dependendo da dinâmica de sua operação e implantação. As energias solar e eólica apresentam impacto nulo na poluição do ar e da água durante a geração, mas a eólica pode causar poluição sonora e degradação da fauna voadora (colisões de aves e morcegos), enquanto os grandes parques solares exigem supressão vegetal que degrada a flora local e altera a biologia do solo.

Em contraste, a energia hidráulica não polui o ar, mas provoca severa degradação da fauna e flora aquática e terrestre devido ao alagamento de grandes áreas, alterando a qualidade e o fluxo da água e fragmentando ecossistemas nativos.

Na energia geotérmica exige mitigação rigorosa contra a poluição do ar e do solo por meio do controle de gases sulfurosos e fluidos geotérmicos tóxicos que emergem na perfuração, embora possua uma das menores demandas por uso de solo e mínima degradação da flora superficial.

A tecnologia maremotriz não gera poluição do ar ou do solo, mas seus impactos concentram-se na poluição da água por turbidez e na degradação da fauna e flora marinhas, uma vez que as barreiras físicas alteram as correntes costeiras, o movimento de sedimentos e as rotas de migração de espécies locais (BRASIL, 2023; MOREIRA, 2024).

4.3.4 Social (AS)

A dinâmica social das fontes renováveis remodela profundamente as realidades das comunidades brasileiras de acolhimento. As energias solar e eólica impulsionam uma visível evolução social no interior e no Nordeste do país via arrendamento de terras e atração de investimentos, além de demandarem capacitação técnica local através de cursos de formação operatória; contudo, o emprego pós-obra despenca drasticamente após a montagem dos parques, e a satisfação comunitária sofre desgastes gerados pela poluição sonora dos aerogeradores e conflitos pelo uso da terra.

Em contrapartida, os grandes projetos da matriz hidráulica historicamente registram baixos índices de satisfação inicial devido aos severos impactos sociais decorrentes do reassentamento forçado de populações ribeirinhas e indígenas; porém, essas obras deixam como contrapartida um legado de infraestrutura urbana, arrecadação de royalties municipais e uma densa capacitação técnica em engenharia pesada que reverbera no mercado de trabalho regional a longo prazo.

A energia geotérmica (focada no Brasil no aproveitamento de aquíferos térmicos) apresenta alta aceitação e estabilidade, mantendo o emprego pós-obra fixo em complexos turísticos e industriais que exigem qualificação técnica contínua.

O potencial de energia maremotriz no litoral brasileiro tenciona a satisfação de comunidades pesqueiras tradicionais devido à interferência nas áreas de captura costeira, demandando um modelo de planejamento que promova a evolução social desses grupos e introduza uma capacitação técnica inédita voltada à manutenção mecânica subaquática e à economia azul (SIMAS, 2012)

4.3.5 Saúde (ADS)

Os impactos das matrizes energéticas na saúde humana envolvem riscos ocupacionais e ambientais específicos durante as fases de instalação e operação de cada tecnologia. As fontes solar e eólica apresentam os maiores desafios relacionados ao estresse visual e à fadiga mental; o reflexo difuso de grandes arranjos fotovoltaicos induz à fadiga ocular e a dores de cabeça crônicas em operadores e populações vizinhas, enquanto o ruído aerodinâmico de baixa frequência e o

infrassom emitidos pelas pás dos aerogeradores disparam distúrbios do sono, fadiga crônica e o agravamento de doenças auditivas nas comunidades de entorno.

A geração hidráulica concentra seus riscos na fadiga física extrema e na ocorrência de doenças oculares decorrentes da alta exposição à radiação solar refletida nos espelhos d'água durante as atividades de manutenção fluvial e segurança de barragens.

Nas centrais geotérmica, o principal risco à saúde advém da exposição crônica a gases do subsolo (como o sulfeto de hidrogênio), que em baixas concentrações causa severa irritação nas mucosas e doenças oculares (como conjuntivite química), além de fadiga olfativa e dores de cabeça nos trabalhadores técnicos.

A tecnologia maremotriz expõe o corpo técnico e as comunidades pesqueiras locais a elevados níveis de ruído subaquático e mecânico nas salas de turbinas, predispondo os operadores a doenças auditivas, além de impor uma rotina operacional sob condições marítimas adversas que eleva o estresse visual e a fadiga física pelo esforço de fixação ocular em ambientes de alta oscilação e baixa luminosidade (GUITARRARA, 2024; MOREIRA, 2024; RIBAS, 2024).

5 MATERIAL E MÉTODO

O arcabouço metodológico deste estudo baseia-se no desenvolvimento de um modelo matemático integrado denominado Serventia Energética Renovável (SER). Estruturado a partir de uma sólida revisão documental da literatura sobre fontes de energia, este modelo foi projetado para quantificar e comparar a sustentabilidade multidimensional de tecnologias renováveis em âmbito municipal ou regional.

Na prática, a consolidação desses dados ocorre por meio da Equação 6 (SER), o método matemático desenvolvido especificamente para mensurar, ponderar e correlacionar todas as variáveis envolvidas. Por fim, para facilitar a interpretação e a análise visual desse ecossistema de indicadores interconectados, o modelo utiliza uma Matriz 3D, que atua como a representação gráfica ideal para a ponderação e comparação dos parâmetros avaliados.

5.1 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS

O modelo de avaliação desagrega-se em cinco dimensões analíticas fundamentais: Técnica (AT), Econômica (AE), Ambiental (AA), Social (AS) e de Saúde (ADS). Cada uma dessas dimensões é composta por quatro indicadores de impacto, abrangendo tanto aspectos qualitativos quanto quantitativos, o que resulta em um total de vinte parâmetros.

5.1.1 Infraestrutura (IT1)

A análise integrada do modelo considerou variáveis críticas divididas em duas vertentes essenciais: a disponibilidade de recursos naturais e a infraestrutura instalada. No tocante aos recursos climáticos e geográficos, foram avaliados fatores como a irradiância para captação de luz solar, a velocidade média do vento, o fluxo hidrológico dos rios, a variação das marés e o potencial geotérmico aferido por poços de fluido em altas temperaturas. Paralelamente, no âmbito estrutural, quantificou-se a capacidade de escoamento por meio da rede de transmissão de energia, além das instalações básicas de uso público necessárias para o suporte operacional das tecnologias.

5.1.2 Mão de obra (IT2)

No tocante à dimensão sociotécnica, o modelo avaliou a disponibilidade e a qualificação da mão de obra local, levando em consideração o nível de domínio técnico exigido para a operação e manutenção de cada tecnologia energética. Essa análise é fundamental para mensurar a maturidade operacional da região, identificando se há necessidade de programas de treinamento específicos ou se a localidade já dispõe de capital humano capacitado para absorver as demandas de instalação e gerenciamento dos novos sistemas renováveis

5.1.3 Tecnologia (IT3)

No âmbito tecnológico, o modelo avaliou o grau de maturidade e a aplicabilidade de cada matriz energética, priorizando sistemas que apresentem tecnologias consolidadas, maduras e confiáveis. Esse parâmetro é essencial para mitigar os riscos operacionais em nível municipal, garantindo que as soluções propostas possuam ampla validação de mercado, estabilidade na geração de energia e facilidade de substituição de componentes ou assistência técnica.

5.1.4 Demanda (IT4)

Na vertente mercadológica, o modelo incorporou a avaliação do balanço entre a oferta e a demanda energética local ou nacional, estabelecendo-a como o vetor de atratividade que viabiliza a implantação de novos empreendimentos de geração de energia elétrica. Esse indicador é crucial para o planejamento regional, pois garante que a inserção de uma nova usina esteja rigorosamente alinhada a um consumo real ou projetado, mitigando riscos de ociosidade do sistema e assegurando o retorno econômico dos investimentos aplicados.

5.1.5 Custo (IE1)

Na dimensão econômica, o modelo realiza uma análise rigorosa da viabilidade financeira de cada matriz energética. São avaliados o aporte de capital requerido para o investimento inicial (CAPEX) e as projeções dos custos operacionais e de

manutenção (OPEX). Adicionalmente, o modelo pondera o Retorno sobre o Investimento (ROI) dentro de um horizonte temporal viável, avaliando a capacidade de o empreendimento gerar receita líquida suficiente para assegurar sua autossuficiência econômica e garantir a atratividade do projeto frente aos preços de mercado da tecnologia em questão.

5.1.6 Tarifa (IE2)

O parâmetro voltado à estrutura tarifária analisa o potencial de eficiência econômica de cada fonte, considerando o custo nivelado de produção de energia. O modelo pondera se a matriz energética possui atratividade suficiente para se destacar em leilões de energia competitivos, garantindo contratos de longo prazo. A inclusão deste critério justifica-se pelo impacto direto no bolso do cidadão, uma vez que a escolha de tecnologias com alto desempenho e custos de produção decrescentes promove uma pressão de baixa nas tarifas repassadas à sociedade.

5.1.7 Geração de Empregos (IE3)

O indicador voltado à empregabilidade mensura o impacto socioeconômico local a partir do volume de postos de trabalho gerados por cada matriz energética. O modelo pondera a capacidade da tecnologia de ativar cadeias produtivas locais, desencadeando um efeito multiplicador de empregos diretos e indiretos diferenciando a alta demanda de mão de obra de curto prazo, na etapa de obras, da estabilidade ocupacional de longo prazo exigida para a sustentabilidade operacional do sistema energético.

5.1.8 Desenvolvimento Econômico (IE4)

O indicador direcionado ao desenvolvimento econômico mensura o impacto macroestrutural da inserção da nova matriz energética. O modelo pondera se o projeto funciona como um catalisador de externalidades positivas, capaz de diversificar a economia da região e criar uma base sólida para a expansão socioeconômica de longo prazo. Essa variável justifica-se pela necessidade de garantir que o ativo energético

não seja apenas uma infraestrutura isolada, mas um agente transformador da dinâmica comercial e industrial do município.

5.1.9 Poluição do Ar (IA1)

Na dimensão ambiental, voltado à qualidade do ar, avalia a intensidade das emissões atmosféricas associadas a cada fonte energética. Esse parâmetro quantifica a taxa de emissão de gases de efeito estufa (GEE) e poluentes locais (como óxidos de nitrogênio, dióxido de enxofre e material particulado), mapeando o impacto gerado tanto pelas atividades da fase de construção e instalação das usinas quanto pelo processo contínuo de queima ou conversão energética durante a fase de operação.

5.1.10 Poluição do Água (IA2)

O modelo avalia o potencial de degradação qualitativa dos recursos hídricos associado a cada matriz energética. Esse parâmetro examina o risco de contaminação por substâncias químicas ou rejeitos operacionais, mensurando tanto os impactos diretos, como o descarte inadequado de efluentes nos corpos d'água, quanto os indiretos, decorrentes do escoamento superficial e da lixiviação de compostos químicos no solo que possam atingir o lençol freático durante o ciclo de vida do projeto.

5.1.11 Poluição do Solo (IA3)

Sob a ótica da preservação terrestre, o modelo avalia o potencial de degradação e poluição do solo decorrente da implantação e operação de cada tecnologia energética. Esse parâmetro analisa se o projeto causa interferências crônicas ou sistêmicas na integridade edáfica da região, quantificando os riscos de contaminação química por vazamento de fluidos, o descarte inadequado de resíduos sólidos e o potencial de alteração permanente das propriedades físicas e biológicas do solo local.

5.1.12 Degradação da Fauna e Flora (IA4)

Em desrespeito ao equilíbrio dos ecossistemas locais, o modelo quantificou o nível de pressão ecológica e os riscos de supressão vegetal decorrentes da implantação de cada matriz. Investigaram-se os vetores de perturbação biótica específicos de cada fonte de energia, mapeando desde o comprometimento da flora por zonas de radiação térmica (como o efeito calor em plantas nas proximidades de espelhos solares) até os impactos sobre a fauna selvagem, incluindo o risco de colisão de avifauna e morcegos em aerogeradores e o consequente bloqueio de rotas de migração animal causado pela fragmentação de habitats.

5.1.13 Empregos (IS1)

A partir de uma abordagem voltada ao desenvolvimento humano, examinou-se a sustentabilidade social dos postos de trabalho para além da conclusão do projeto físico. O modelo incorporou uma análise crítica sobre o fenômeno da desmobilização de pessoal (pós-obra), avaliando o impacto do desemprego súbito na dinâmica das famílias locais. Esse indicador pontua positivamente os projetos que apresentam planos estruturados para contornar a recessão de empregos, promovendo a capacitação contínua da comunidade e a transição ordenada dos trabalhadores para a manutenção dos sistemas ou para outros setores da economia regional.

5.1.14 Satisfação (IS2)

Através do alinhamento com as expectativas da comunidade, examinou-se o impacto psicossocial e o índice de satisfação coletiva gerado pela introdução da nova matriz energética na região. O modelo pondera como a população local absorve as transformações no seu entorno, avaliando o equilíbrio entre os benefícios socioeconômicos prometidos e os ônus gerados pelo remanejamento compulsório de moradores. A inclusão deste indicador visa mitigar conflitos territoriais, priorizando soluções que respeitem a coesão social e assegurem a qualidade de vida tanto dos novos trabalhadores quanto dos residentes afetados diretamente pelo projeto.

5.1.15 Capacitação Técnica (IS3)

Guiado pelo conceito de sustentabilidade do conhecimento regional, o modelo mensurou o potencial de retenção de competências gerado a partir do transbordamento de conhecimento da tecnologia implantada. Esse parâmetro avalia se o projeto deixa como legado de longo prazo a formação de capital intelectual altamente qualificado na localidade. A análise investiga a capacidade de o empreendimento certificar e elevar de forma permanente a proficiência técnica da mão de obra local, permitindo que os trabalhadores permaneçam inseridos no mercado de alta tecnologia mesmo após a conclusão das fases iniciais da usina.

5.1.16 Evolução Social (IS4)

Tomando como diretriz o avanço estrutural da qualidade de vida, examinou-se o papel do arranjo tecnológico como vetor de transformação positiva e perene na dinâmica da sociedade civil. O modelo mensura se a usina funciona como uma plataforma indutora de inovação social e empoderamento populacional, reduzindo assimetrias regionais crônicas. A inclusão deste critério justifica-se pela necessidade de assegurar uma transição energética que, além de tecnicamente eficiente, colabore de forma sustentável para pacificar disputas por recursos, qualificar os cidadãos e modernizar o tecido social como um todo.

5.1.17 Doenças Oculares (IDS1)

Com base nos preceitos da saúde ocupacional e da medicina preventiva, o modelo quantificou os riscos de desenvolvimento de patologias oftálmicas decorrentes da exposição aos fatores ambientais de cada fonte. O parâmetro analisa rigorosamente os impactos causados pelo efeito estroboscópico (flicker) e pela alta refletividade de superfícies (ofuscamento), que podem induzir desde a fadiga visual crônica até danos severos na retina. Adicionalmente, avalia-se o potencial de toxicidade atmosférica por emissões de gases e material particulado, mapeando os agentes agressores capazes de desencadear processos inflamatórios ou lesões na córnea de trabalhadores e comunidades vizinhas.

5.1.18 Doenças Auditivas (IDS2)

Em consonância com as normas de ergonomia e conforto ambiental, o modelo avaliou a intensidade da poluição acústica gerada nas etapas de construção e operação de cada matriz energética. A análise categoriza a pressão sonora em diferentes espectros, com atenção especial à propagação de ruídos aerodinâmicos e mecânicos de baixa frequência (infrassons). O objetivo é mensurar o potencial da tecnologia em desencadear não apenas quadros de Perda Auditiva Induzida por Ruído (PAIR), mas também distúrbios extra-auditivos em trabalhadores e comunidades lindeiras, tais como insônia crônica, episódios severos de cefaleia e elevação dos níveis de estresse fisiológico.

5.1.19 Estresse Visual (IDS3)

À luz dos critérios de engenharia de fatores humanos e ergonomia cognitiva, o modelo avaliou o potencial de indução ao estresse fotópico causado pelo desenho operacional de cada usina. O indicador quantifica a severidade do efeito estroboscópico (oscilação lumínica conhecida como flicker) e os episódios de ofuscamento por reflexão especular em superfícies espelhadas ou metálicas. Esses vetores são monitorados por serem gatilhos neurológicos que provocam a fadiga astenópica (desconforto visual agudo), desencadeando cefaleias, irritabilidade e queda no rendimento operacional dos trabalhadores.

5.1.20 Fadiga (IDS4)

Sob a perspectiva da confiabilidade humana e da prevenção de acidentes, o modelo investigou o potencial de exaustão psicofisiológica gerado pela rotina operacional de cada tecnologia. O parâmetro avalia a exposição crônica a estressores como o ofuscamento visual e a sobrecarga por monitoramento prolongado de interfaces de telas (IHM). Esses fatores são quantificados devido ao seu papel como indutores diretos de fadiga mental e diminuição da prontidão cognitiva, cenários que elevam criticamente a probabilidade de erros humanos, lapsos de atenção e falhas operacionais em sistemas complexos.

5.2 ATRIBUIÇÃO DOS VALORES DE PONDERAÇÃO

Para cada indicador apresentado, atribui-se uma pontuação baseada em escala tri-estatal discreta de impacto regionalizado, obtidos pela configuração da matriz, ao qual se quantifica da seguinte forma:

- **Valor (+1):** Conformidade de sustentabilidade ou vantagem ativa demonstrada pela fonte na região;
- **Valor (0):** Impacto considerado neutro, insignificante ou passível de mitigação simplificada;
- **Valor (-1):** Impacto altamente adverso, barreira física incontornável ou grave violação de salvaguardas.

As pontuações consolidadas para cada uma das cinco analises: Análise Técnica (AT), Análise Econômica (AE), Análise Ambiental (AA), Análise Social (AS) e Análise de Saúde (ADS), são obtidas por meio do somatório simples de seus respectivos subindicadores: Infraestrutura (IT1), Mão de Obra (IT2), Tecnologia (IT3), Demanda (IT4), Custo (IE1), Tarifa (IE2), Geração de Emprego (IE3), Desenvolvimento (IE4), Poluição do Ar (IA1), Poluição da Água (IA2), Poluição do Solo (IA3), Degradação da Fauna e Flora (IA4), Empregos (IS1), Satisfação (IS2), Capacitação Técnica (IS3), Evolução Social (IS4), Doenças Oculares (IDS1), Doenças Auditivas (IDS2), Estresse Visual (IDS3) e Fadiga (IDS4), conforme expressa a parametrização linear:

$$AT = IT1 + IT2 + IT3 + IT4 \quad (1)$$

$$AE = IE1 + IE2 + IE3 + IE4 \quad (2)$$

$$AA = IA1 + IA2 + IA3 + IA4 \quad (3)$$

$$AS = IS1 + IS2 + IS3 + IS4 \quad (4)$$

$$ADS = IDS1 + IDS2 + IDS3 + IDS4 \quad (5)$$

O cálculo do índice final da Serventia Energética Renovável (SER) é obtido a partir da aplicação da Equação 6, que distribui um peso uniforme e isonômico de 20% (fator de 0,2) para cada dimensão analítica consolidada.

$$SER = 0{,}2AT + 0{,}2AE + 0{,}2AA + 0{,}2AS + 0{,}2ADS \quad (6)$$

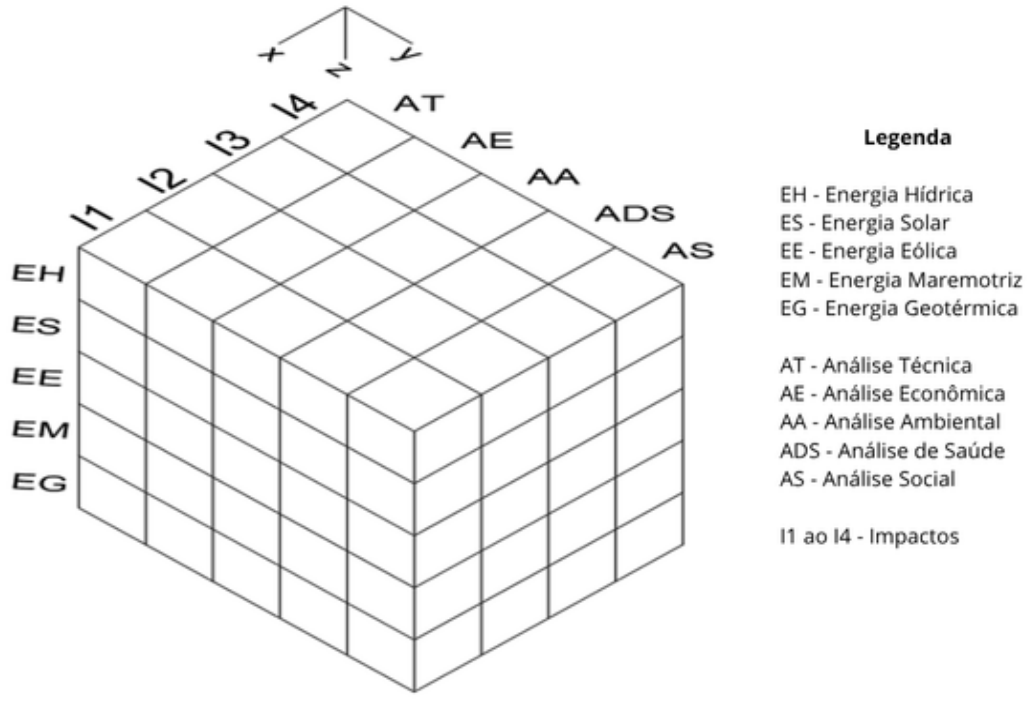
O índice resultante varia teoricamente em um intervalo contínuo entre -4 (inadequação multidimensional absoluta) e +4 (perfeita serventia energética sustentável), oferecendo um indicador quantitativo para consolidar a ponderação e nortear um possível planejamento energético.

5.3 DETERMINAÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA

A representação gráfica dos resultados é realizada por meio de uma Matriz Tridimensional (Matriz 3D), conforme ilustrado na Figura 1. Cada fonte energética renovável (EH, ES, EE, EM e EG) constitui uma camada horizontal sobreposta da matriz, permitindo a fragmentação por camadas energéticas, onde as coordenadas do plano cartesiano correspondem aos cruzamentos dos vinte indicadores avaliados (distribuídos entre I1 a I4 e as dimensões AT, AE, AA, ADS e AS).

O preenchimento visual adota o código cromático de semáforo (+1 verde, 0 amarelo e -1 vermelho), permitindo que engenheiros e planejadores ambientais identifiquem, por meio de inspeção visual simples, os principais gargalos e pontos fortes de cada matriz em estudo.

Figura 1 – Representação esquemática do arranjo matricial multicritério para avaliação de impactos.



Fonte: Produção do próprio autor.

6 RESULTADOS

Apresentam-se, neste capítulo, os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia descrita anteriormente, tendo como base o estudo de caso realizado no município de Ilha Solteira (SP). A análise fundamenta-se na consolidação dos indicadores de impacto técnico, econômico, ambiental, social e de saúde, contextualizados de acordo com as especificidades socioeconômicas e o potencial de disponibilidade de recursos energéticos da referida região para a produção de combustíveis limpos.

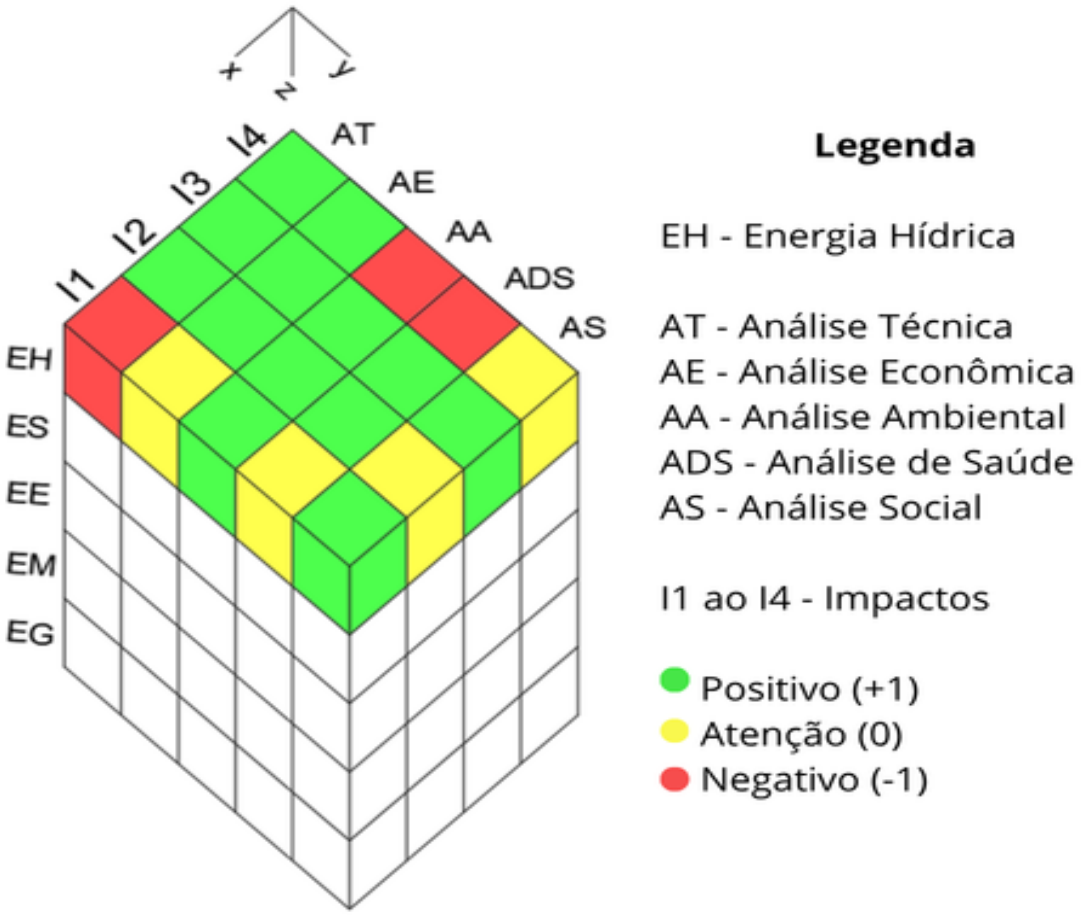
Para a estruturação dos resultados, os dados locais e regionais foram processados em duas etapas principais: primeiramente, a tabulação dos parâmetros brutos associados a cada matriz energética avaliada para o município e, sequencialmente, a aplicação dos valores de ponderação atribuídos a cada indicador de impacto. Essa abordagem permitiu não apenas quantificar o desempenho isolado de cada fonte renovável no cenário de Ilha Solteira, mas também avaliar comparativamente qual alternativa oferece o melhor equilíbrio sob a ótica da sustentabilidade integral aplicada à realidade local.

Nas seções subsequentes, são detalhadas as matrizes de impacto resultantes, acompanhadas de uma discussão crítica que confronta os achados quantitativos com a literatura científica vigente, evidenciando as potencialidades, os desafios locais e as limitações de cada vetor energético analisado

6.1 ANÁLISE DA MATRIZ ENERGÉTICA DE FONTE HÍDRICA

A primeira matriz analisada corresponde à fonte hídrica (EH), vetor energético de extrema relevância e consolidação histórica no município de Ilha Solteira, dada a presença da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira no Rio Paraná. A modelagem tridimensional para essa fonte reflete as particularidades de uma tecnologia madura, de alta capacidade de geração, mas que carrega consigo marcas profundas no ordenamento socioambiental regional

Figura 2 – Matriz tridimensional de indicadores de impacto para a fonte de energia hídrica em Ilha Solteira (SP).



Fonte: Produção do próprio autor.

Abaixo, apresenta-se a decomposição analítica e matemática de cada eixo de impacto que compõe a matriz para a fonte hídrica:

- **Análise Técnica**

$$AT = -1 + 1 + 1 + 1 \rightarrow AT = 2 \quad (7)$$

A infraestrutura de transmissão e distribuição local é consolidada pela UHE local, com elevada maturidade operacional e demanda firme. Contudo, a saturação hidrológica do rio Paraná e as restrições ambientais da bacia impedem a expansão física de novos reservatórios ou ampliação de potência local.

- **Análise Econômica**

$$AE = 0 + 1 + 1 + 1 \rightarrow AE = 3 \quad (8)$$

Custos de manutenção baixos, tarifa elétrica competitiva, geração estável de empregos em O&M local, com CAPEX de novas expansões civis bloqueado na região.

- **Análise Ambiental**

$$AA = 1 + 1 + 1 - 1 \rightarrow AA = 2 \quad (9)$$

Emissões operacionais de carbono baixas pelo reservatório já estabilizado há décadas, com impacto negativo remanescente focado na fragmentação física contínua do habitat aquático que impede a migração natural de peixes no rio Paraná.

- **Análise de Saúde**

$$ADS = 0 + 1 + 1 - 1 \rightarrow ADS = 1 \quad (10)$$

Ausência de emissão de poeiras, poluentes do ar ou ruído perceptível para as residências urbanas de Ilha Solteira, com moderado risco de fadiga por operação contínua de turnos.

- **Análise Social**

$$AS = 1 + 0 + 1 + 0 \rightarrow AS = 2 \quad (11)$$

Nível de satisfação neutro a moderado; a comunidade local desenvolveu forte identificação econômica com a usina, embora persista na história regional a memória dos impactos demográficos e alagamentos produtivos das décadas de 1960 e 1970.

- **Cálculo do índice SER**

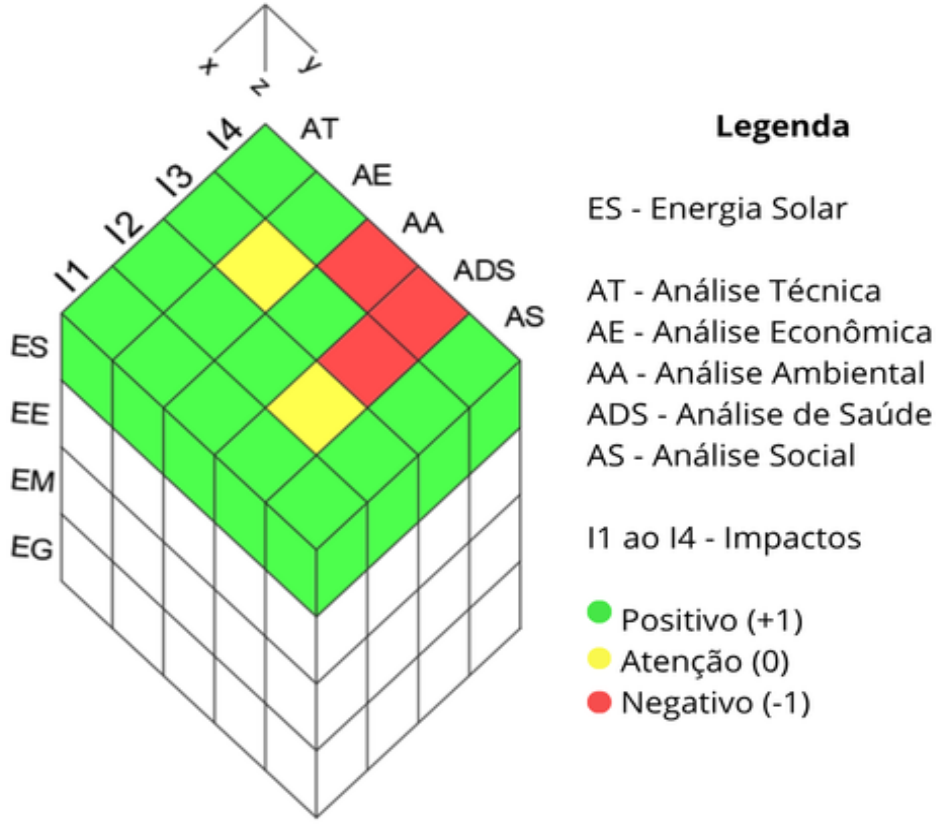
$$SER_{EH} = 0{,}2 * 2 + 0{,}2 * 3 + 0{,}2 * 2 + 0{,}2 * 1 + 0{,}2 * 2 \rightarrow SER_{EH} = 2{,}0 \quad (12)$$

O resultado igual a 2,0 indica que a fonte hídrica em Ilha Solteira se posiciona em um nível de sustentabilidade moderado. Esse valor reflete um cenário onde a maturidade e a alta pontuação nos âmbitos técnico e econômico atuam como forças compensatórias frente aos severos passivos e limitações identificados nos eixos ambiental e de saúde local.

6.2 ANÁLISE DA MATRIZ ENERGÉTICA DE FONTE SOLAR

A segunda matriz analisada corresponde à fonte solar fotovoltaica, um vetor energético em franca expansão no Noroeste Paulista e que encontra no município de Ilha Solteira condições climáticas excepcionais devido aos elevados índices de irradiação solar global diária. Diferente da fonte hídrica, a energia solar destaca-se por sua modularidade e potencial de geração distribuída.

Figura 3 – Matriz tridimensional de indicadores de impacto para a fonte de energia solar em Ilha Solteira (SP).



Fonte: Produção do próprio autor.

Abaixo, apresenta-se a decomposição analítica e matemática de cada eixo de impacto que compõe a matriz para a fonte solar:

- **Análise Técnica**

$$AT = 1 + 1 + 1 + 1 \rightarrow AT = 4 \quad (13)$$

Desempenho técnico máximo na região. A alta previsibilidade da irradiação solar local e a facilidade de acoplamento modular a sistemas de conversão (como eletrolisadores para hidrogênio verde) garantem pontuação verde integral em todos os indicadores de eficiência operacional e disponibilidade de recurso físico.

- **Análise Econômica**

$$AE = 1 + 1 + 0 + 1 \rightarrow AE = 3 \quad (14)$$

CAPEX de módulos solares em queda contínua no mercado internacional, ROI estimado curto para a região, embora a fabricação de componentes de alta tecnologia não seja local, mitigando o indicador IE3 para neutralidade.

- **Análise Ambiental**

$$AA = 1 + 1 + 1 - 1 \rightarrow AA = 2 \quad (15)$$

Geração limpa e livre de resíduos gasosos, sem consumo ou risco de contaminação hídrica nos reservatórios locais, apresentando como único impacto adverso a necessidade de supressão localizada de vegetação rasteira nativa para usinas instaladas em solo.

- **Análise de Saúde**

$$ADS = 1 + 0 - 1 - 1 \rightarrow ADS = -1 \quad (16)$$

Potencial de estresse visual e fadiga decorrentes do ofuscamento causado por grandes arranjos fotovoltaicos sobre rodovias próximas de acesso ao município, exigindo mitigação de cortinas verdes e barreiras vegetais arbóreas de barramento de luz.

- **Análise Social**

$$AS = 1 + 1 + 1 + 1 \rightarrow AS = 4 \quad (17)$$

Ampla aceitação social, geração distribuída que reduz tarifas públicas locais de energia, e fomento à capacitação profissional permanente através de programas técnicos no SENAI local e UNESP.

- **Cálculo do índice SER**

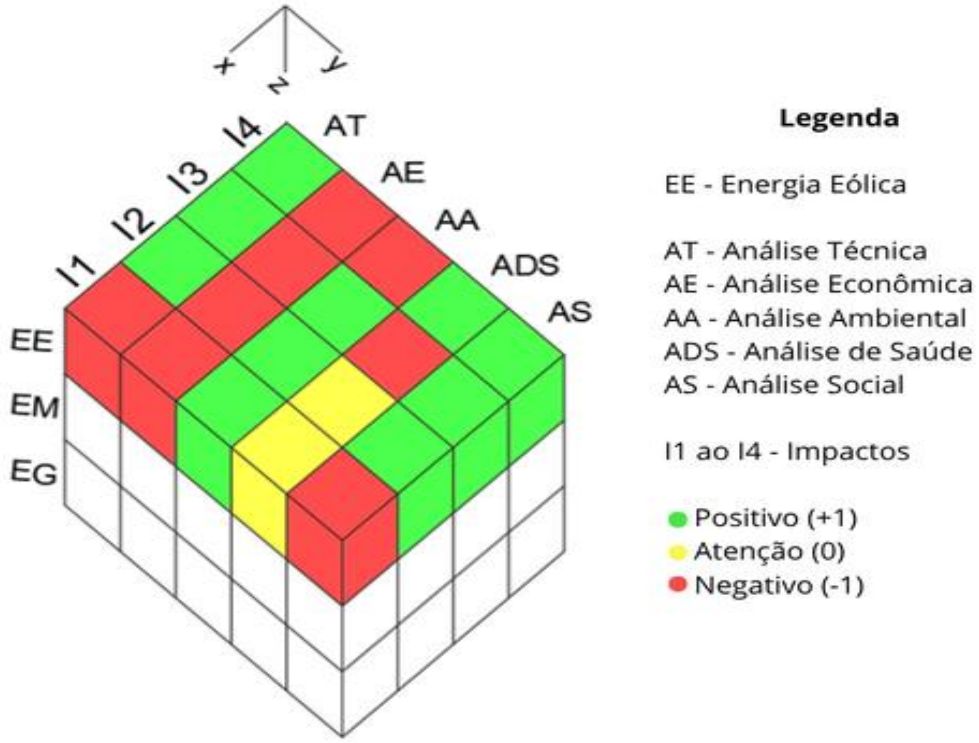
$$SER_{ES} = 0{,}2 * 4 + 0{,}2 * 3 + 0{,}2 * 2 + 0{,}2 * (-1) + 0{,}2 * 4 \rightarrow SER_{ES} = 2{,}4 \quad (18)$$

O resultado igual a 2,4 posiciona a fonte solar em um patamar de sustentabilidade superior ao da fonte hídrica. Esse índice consolida o vetor fotovoltaico como uma alternativa altamente viável para Ilha Solteira, demonstrando que a forte aceitação social, o baixo impacto ambiental na operação e a excelência técnica regional compensam e superam numericamente os severos gargalos de saúde ocupacional.

6.3 ANÁLISE DA MATRIZ ENERGÉTICA DE FONTE EÓLICA

A terceira matriz analisada corresponde à fonte eólica, um vetor energético que apresenta um dos maiores crescimentos na matriz elétrica brasileira, predominantemente focado nas regiões litorâneas e no Nordeste do país. Contudo, a aplicação e modelagem desse recurso para o município de Ilha Solteira (SP) demandam considerações específicas quanto ao regime de ventos do interior paulista, a topografia local e a viabilidade técnica de sua integração contínua para a produção industrial de combustíveis limpos.

Figura 4 – Matriz tridimensional de indicadores de impacto para a fonte de energia eólica em Ilha Solteira (SP).



Fonte: Produção do próprio autor.

Abaixo, apresenta-se a decomposição analítica e matemática de cada eixo de impacto que compõe a matriz para a fonte eólica:

- **Análise Técnica**

$$AT = -1 + 1 + 1 + 1 \rightarrow AT = 2 \quad (19)$$

A fonte apresenta limitações severas de desempenho técnico na região. A baixa constância e velocidade média anual dos ventos locais, que frequentemente não atingem a velocidade mínima de partida ideal dos grandes aerogeradores. Isso gera flutuações excessivas na entrega de potência e exige acoplamento complexo à rede ou sistemas robustos de estabilização elétrica.

- **Análise Econômica**

$$AE = -1 - 1 - 1 - 1 \rightarrow AE = -4 \quad (20)$$

O balanço econômico é pressionado negativamente pelo alto custo de capital inicial (CAPEX) associado à logística de transporte de pás e torres de grande porte até o interior de São Paulo. Somado ao baixo fator de capacidade decorrente do regime de ventos local, o tempo de retorno financeiro (Payback) é prolongado, reduzindo a atratividade econômica comparativa do projeto.

- **Análise Ambiental**

$$AA = 1 + 1 + 1 - 1 \rightarrow AA = 2 \quad (21)$$

No âmbito operacional, a fonte é extremamente limpa, apresentando balanço muito positivo em termos de pegada de carbono e consumo nulo de recursos hídricos. No entanto, o bloco vermelho manifesta-se pelo risco real de colisão de aves e morcegos com as pás em rotação, além da fragmentação de habitats gerada pelas vias de acesso necessárias para a instalação das torres.

- **Análise de Saúde**

$$ADS = 0 + 0 + 1 - 1 \rightarrow ADS = 0 \quad (22)$$

O eixo de saúde humana é uma zona crítica de impacto negativo. O indicador devido ao alerta para doenças auditivas associadas ao ruído aerodinâmico contínuo e infrassons de baixa frequência gerados pelo movimento das pás. Além de estresse visual causado pelo efeito estroboscópico, ou sombra intermitente das pás sobre áreas habitadas e em fadiga física e estresse térmico severo das equipes técnicas em serviços de manutenção em grande altura.

- **Análise Social**

$$AS = -1 + 1 + 1 + 1 \rightarrow AS = 2 \quad (23)$$

A recepção social da tecnologia é amplamente favorável em Ilha Solteira devido ao forte apelo estético-ecológico associado à modernidade e à sustentabilidade. Contudo, as preocupações comunitárias locais quanto à ocupação e desvalorização imobiliária de áreas rurais vizinhas aos parques eólicos devido ao ruído e impacto visual de longo alcance.

- **Cálculo do índice SER**

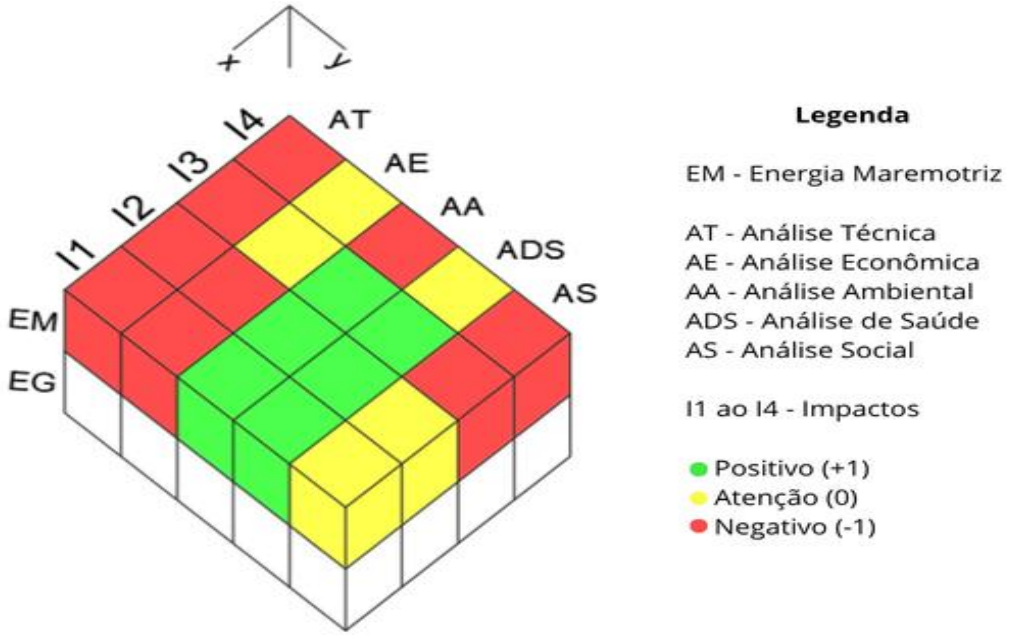
$$SER_{EE} = 0{,}2 * 2 + 0{,}2 * (-4) + 0{,}2 * 2 + 0{,}2 * 0 + 0{,}2 * 2 \rightarrow SER_{EE} = 0{,}4 \quad (24)$$

O resultado igual a 0,4. Esse índice demonstra numericamente que, embora a eólica seja um vetor ambientalmente limpo e socialmente aceito, os severos gargalos de viabilidade técnica (baixa velocidade do vento local), os altos custos de implantação regional e os impactos críticos sobre a saúde ocupacional inviabilizam sua escolha como fonte principal para a cadeia produtiva de combustíveis limpos no município.

6.4 ANÁLISE DA MATRIZ ENERGÉTICA DE FONTE MAREMOTRIZ

A quarta matriz analisada corresponde à fonte maremotriz, tecnologia que converte a energia cinética e potencial das marés oceânicas em eletricidade. Embora represente um vetor renovável com projetos em desenvolvimento em zonas costeiras globais, a inserção e modelagem desse recurso para o município de Ilha Solteira (SP) assumem um caráter essencialmente hipotético e de controle metodológico, dado que a localidade está situada no interior do continente sul-americano, a centenas de quilômetros da linha de costa.

Figura 5 – Matriz tridimensional de indicadores de impacto para a fonte de energia maremotriz em Ilha Solteira (SP).



Fonte: Produção do próprio autor.

Abaixo, apresenta-se a decomposição analítica e matemática de cada eixo de impacto que compõe a matriz para a fonte maremotriz:

- **Análise Técnica**

$$AT = -1 - 1 - 1 - 1 \rightarrow AT = -4 \quad (25)$$

Restrição técnica absoluta na região (matriz integralmente vermelha). A total ausência de recurso físico e geográfico (marés oceânicas) no interior do estado de São Paulo inviabiliza completamente a instalação de qualquer infraestrutura de captação. A eficiência operacional e a maturidade tecnológica local são nulas para este vetor, impossibilitando seu acoplamento prático com sistemas de conversão energética no município.

- **Análise Econômica**

$$AE = -1 - 1 + 0 + 0 \rightarrow AE = -2 \quad (26)$$

O balanço econômico apresenta forte teor desfavorável e crítico. Como não há viabilidade física para projetos locais, os custos de capital (CAPEX) para a transposição tecnológica e a infraestrutura logística de transporte de componentes especializados até o interior paulista tornam-se proibitivos.

- **Análise Ambiental**

$$AA = 1 + 1 + 1 - 1 \rightarrow AA = 2 \quad (27)$$

No âmbito ambiental, o vetor mantém um desempenho predominantemente positivo na escala regional. Por não haver implantação física ou alteração nos ecossistemas terrestres e fluviais de Ilha Solteira, a matriz registra preservação biológica em relação a essa tecnologia, apresentando balanço favorável com ausência de degradação da fauna, flora ou emissões diretas de poluentes ao longo do ciclo analisado.

- **Análise de Saúde**

$$ADS = 1 + 1 + 1 + 0 \rightarrow ADS = 3 \quad (28)$$

O eixo de saúde humana apresenta excelente desempenho no cenário simulado. Dada a inexistência de usinas operacionais e o afastamento geográfico de quaisquer impactos severos típicos das instalações mecânicas pesadas (como ruídos de baixa frequência ou riscos biológicos nas águas fluviais), a fonte garante que os índices de estresse visual, fadiga ocupacional e incidência de doenças na população local permaneçam protegidos e estáveis.

- **Análise Social**

$$AS = +0 + 0 - 1 - 1 \rightarrow AS = -2 \quad (29)$$

O eixo social manifesta-se de forma crítica e restritiva. A inserção puramente teórica de uma fonte marinha em uma comunidade fortemente identificada com a

matriz hidrelétrica fluvial gera falta de engajamento popular e nenhuma perspectiva real de geração de empregos locais ou fixação de mão de obra na microrregião, resultando em uma percepção de inadequação socioeconômica e cultural para os habitantes locais.

- **Cálculo do índice SER**

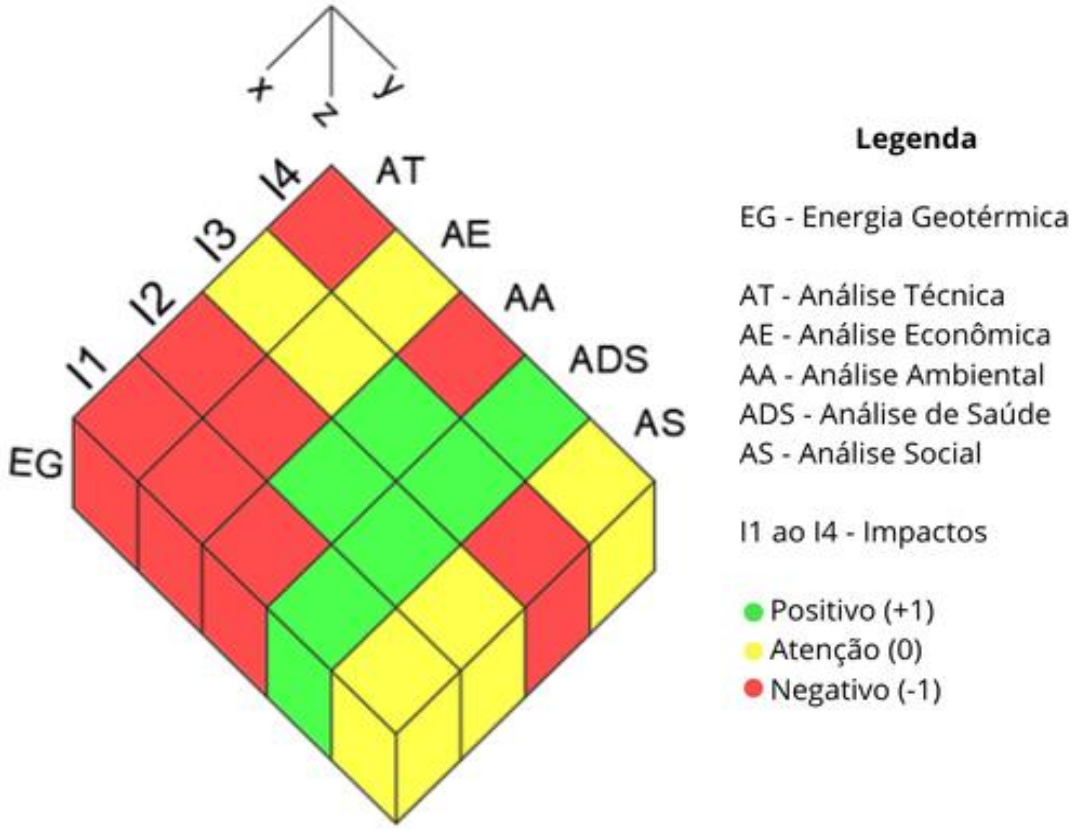
$$SER_{EM} = 0{,}2 * (-4) + 0{,}2 * (-2) + 0{,}2 * 2 + 0{,}2 * 3 + 0{,}2 * (-2) \rightarrow SER_{EM} = -0{,}6 \quad (30)$$

O resultado igual a -0,6 posiciona a fonte maremotriz em uma faixa de sustentabilidade negativa. Esse índice demonstra numericamente que, mesmo contando com excelentes indicadores isolados de saúde humana e estabilidade ambiental, o colapso estrutural nos eixos técnico, econômico e social, devido à barreira geográfica continental anula os benefícios teóricos da fonte, descartando formalmente a energia maremotriz como alternativa para a cadeia de combustíveis limpos de Ilha Solteira.

6.5 ANÁLISE DA MATRIZ ENERGÉTICA DE FONTE GEOTÉRMICA

A quinta matriz analisada corresponde à fonte geotérmica, vetor que aproveita o calor proveniente do interior da Terra para a geração de eletricidade ou calor direto. No contexto do município de Ilha Solteira (SP), situado sobre o Aquífero Guarani e na Bacia Sedimentar do Paraná, o potencial geotérmico limita-se estritamente a sistemas de baixa entalpia (águas termais). A ausência de anomalias tectônicas ou atividade vulcânica recente na plataforma continental brasileira impõe severas barreiras geológicas para a geração de energia elétrica em larga escala, o que se reflete diretamente no mapeamento de seus indicadores.

Figura 6 – Matriz tridimensional de indicadores de impacto para a fonte de energia geotérmica em Ilha Solteira (SP).



Fonte: Produção do próprio autor.

Abaixo, apresenta-se a decomposição analítica e matemática de cada eixo de impacto que compõe a matriz para a fonte geotérmica:

- **Análise Técnica**

$$AT = -1 - 1 + 0 - 1 \rightarrow AT = -3 \quad (31)$$

A fonte apresenta severas limitações de desempenho técnico na região. A indisponibilidade de gradiente geotérmico de alta temperatura no subsolo local prejudica drasticamente a eficiência operacional e o aproveitamento do recurso físico para fins elétricos, resultando em um balanço crítico na maior parte dos indicadores técnicos de acoplamento e viabilidade de engenharia.

- **Análise Econômica**

$$AE = -1 - 1 + 0 + 0 \rightarrow AE = -2 \quad (32)$$

O eixo econômico manifesta-se de forma desfavorável. Devido à profundidade necessária para a sondagem e aos altos custos de perfuração em rocha (CAPEX), associados à ausência de uma cadeia de suprimentos local especializada para essa tecnologia, a atratividade econômica para investimentos privados ou financiamentos públicos na região é severamente penalizada.

- **Análise Ambiental**

$$AA = -1 + 1 + 1 - 1 \rightarrow AA = 0 \quad (33)$$

O balanço ambiental consolidou-se em patamar de neutralidade absoluta. Esse resultado reflete um cenário de equilíbrio cromático na matriz, onde os benefícios operacionais de uma planta de emissão gasosa reduzida e ciclo fechado são diretamente contrapostos e anulados pelos riscos ecológicos potenciais de longo prazo, como o monitoramento rigoroso contra a contaminação de lençóis freáticos e o gerenciamento de resíduos de perfuração.

- **Análise de Saúde**

$$ADS = 1 + 1 + 1 + 1 \rightarrow ADS = 4 \quad (34)$$

Desempenho máximo e integralmente favorável no eixo de saúde humana (matriz completamente verde). Por não possuir plantas de alta pressão operando na região e devido ao isolamento natural das estruturas subterrâneas, a tecnologia zera quaisquer riscos de poluição sonora, estresse visual urbano ou fadiga ocupacional direta na comunidade local, despontando como o vetor mais seguro para a integridade física da população regional.

- **Análise Social**

$$AS = +0 + 0 - 1 + 0 \rightarrow AS = -1 \quad (35)$$

O impacto social apresenta um leve declínio para o campo negativo. A falta de familiaridade histórica, a ausência de debate público e a inexistência de programas de capacitação ou geração de empregos locais voltados à geotermia geram um cenário de baixa aceitação e ligeira desconfiança por parte da comunidade em relação à inserção dessa tecnologia no município.

- **Cálculo do índice SER**

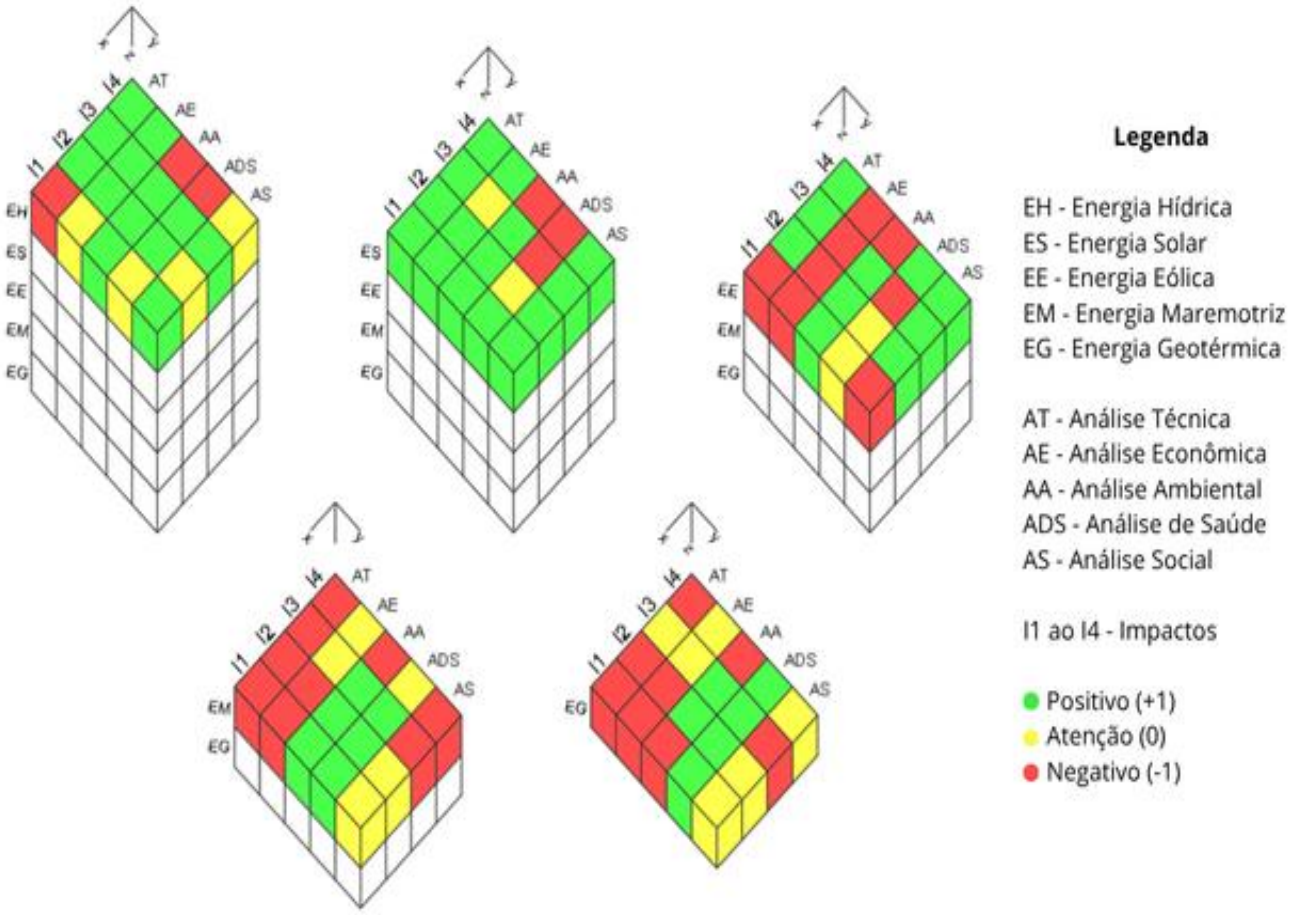
$$SER_{EG} = 0{,}2 * (-3) + 0{,}2 * (-2) + 0{,}2 * 0 + 0{,}2 * 4 + 0{,}2 * (-1) \rightarrow SER_{EG} = -0{,}4 \quad (36)$$

O resultado igual a -0,4 posiciona a fonte geotérmica em uma faixa de sustentabilidade negativa. Este índice consolida matematicamente que, apesar de a geotermia oferecer um padrão de excelência incomparável no eixo de saúde humana, as barreiras intransponíveis de viabilidade técnica e o alto déficit econômico regional impedem que esse vetor se configure como uma alternativa sustentável ou prática para a matriz de combustíveis limpos de Ilha Solteira.

6.6 PAINEL COMPARATIVO DAS MATRIZES DE INDICADORES DE IMPACTO

Para consolidar a compreensão integrada desse cenário, a Figura 7 reúne o painel comparativo global das matrizes de impacto geradas para o município de Ilha Solteira. Após a análise individualizada de cada fonte, esse arranjo tridimensional possibilita a sobreposição das camadas e a correlação visual direta entre os indicadores em seus respectivos níveis de criticidade, oferecendo uma síntese final e comparativa do comportamento de cada alternativa energética estudada.

Figura 7 – Painel comparativo das matrizes de indicadores de impacto para as fontes de energia renovável em Ilha Solteira (SP).



Fonte: Produção do próprio autor.

7 CONCLUSÃO

O presente estudo cumpriu com êxito seu objetivo geral de realizar uma ponderação multidimensional para as fontes de energia renováveis no município de Ilha Solteira (SP), associando a modelagem quantitativa do modelo matemático da Serventia Energética Renovável (SER) à representação gráfica tridimensional em Matriz 3D. Em atendimento aos objetivos específicos, os impactos de cada matriz foram avaliados de forma integrada sob as dimensões técnica, econômica, ambiental, social e de saúde, permitindo pontuar a serventia energética de cada fonte na produção de combustíveis limpos para o contexto local.

A avaliação dos impactos nessas cinco dimensões revelou que a energia solar fotovoltaica se consagrou como a matriz de maior serventia energética para o município, impulsionada pelo elevado potencial de irradiação solar no Noroeste Paulista, alta aceitação social e facilidade de capacitação técnica; em contrapartida, a energia hídrica, apesar da maturidade e competitividade associadas à UHE de Ilha Solteira, teve seu desempenho limitado pela saturação hídrica e passivos socioambientais, enquanto as fontes eólica, geotérmica e maremotriz apresentaram baixos índices de serventia por limitações do regime de ventos e restrições geológicas e geográficas no interior paulista.

Conclui-se, portanto, que a integração entre o modelo SER e a Matriz 3D provou ser uma ferramenta metodológica eficiente, robusta e confiável para nortear o planejamento energético. Como contribuição prática, este trabalho entrega subsídios consolidados para que engenheiros, gestores públicos e planejadores ambientais identifiquem gargalos operacionais e tomem decisões assertivas no desenvolvimento da cadeia de combustíveis limpos e na promoção da transição energética regional.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Leilões**. Brasília, DF: GOV.BR. Disponível em: https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/leiloes. Acesso em: 10 jun. 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Tarifas**. Brasília, DF: ANEEL. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/tarifas. Acesso em: 10 jun. 2026.

AGOSTINHO, Ângelo A.; THOMAZ, Luiz C.; GOMES, Luis C. A ictiofauna do rio Paraná: efeitos de barragens na diversidade e migração de peixes. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 55, n. Spe, p. 35-43, 1998. Disponível em: https://www.scielo.br/j/sa/a/P7D4R4T6yP7V8R8kX4wR5pX/?lang=pt. Acesso em: 10 jun. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ABSOLAR). **Home Page**. São Paulo: ABSOLAR, 2025. Disponível em: https://absolar.org.br/. Acesso em: 10 jun. 2026.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Avaliação Ambiental Integrada**. Rio de Janeiro: EPE, 2023. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/avaliacao-ambiental-integrada. Acesso em: 10 jun. 2026.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Fontes de Energia**. ABCDEnergia. Rio de Janeiro: EPE. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia. Acesso em: 2 jun. 2026.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Metodologia de Análise Econômico-Financeira de Projetos de Geração de Energia**. Rio de Janeiro: EPE, 2022. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/metodologia-analise-economica. Acesso em: 10 jun. 2026.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Otimização Tecno-Econômica da Penetração de Energias Renováveis**. Rio de Janeiro: EPE/GIZ, 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-727/IESS_GIZ_EPE_Insumos_Tecnicos_AET_Produto_3.pdf. Acesso em: 10 jun. 2026.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2031**. Brasília, DF: MME/EPE, 2022. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2031. Acesso em: 10 jun. 2026.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2035**. Rio de Janeiro: EPE, 2024. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-pde. Acesso em: 10 jun. 2026.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). **Licenciamento Ambiental**: Guias e Manuais de Procedimentos. Brasília, DF: IBAMA, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/laf. Acesso em: 10 jun. 2026.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). **Mudança do Clima 2023**: Relatório Síntese. Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima – IPCC. Brasília, DF: MCTI, 2023. 182 p. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/ciencia_do_clima/painel_intergovernamental_sobre_mudanca_do_clima.html. Acesso em: 10 jun. 2026.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. **Combustível do Futuro eleva padrões de energia limpa e descarbonização**. Gov.br, 14 set. 2023. Disponível em: https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/2023/setembro/combustivel-do-futuro-eleva-padroes-de-energia-limpa-e-descarbonizacao. Acesso em: 7 jun. 2026.

CCK AUTOMAÇÃO. **Desafios na Integração de Energias Renováveis em Sistemas Industriais**. São Paulo: CCK, 2023. Disponível em: https://cckautomacao.com.br/desafios-na-integracao-de-energias-renovaveis-em-sistemas-industriais/. Acesso em: 10 jun. 2026.

CTG BRASIL. **UHE Ilha Solteira – A Usina Hidrelétrica Ilha Solteira**. [S. l.: s. n.]. Disponível em: https://www.ctgbr.com.br/unidade/uhe-ilha-solteira/. Acesso em: 10 jun. 2026.

CTG BRASIL vai testar solar com baterias em usina hidrelétrica. **Eixos**, 2024. Disponível em: https://eixos.com.br/transicao-energetica/ctg-brasil-vai-testar-solar-com-baterias-em-usina-hidreletrica/. Acesso em: 10 jun. 2026.

DINIZ, Raphael. **Hidrogênio verde**: o combustível limpo que pode transformar a mobilidade. TN Petróleo, 25 set. 2025. Disponível em: https://tnpetroleo.com.br/artigo/hidrogenio-verde-o-combustivel-limpo-que-pode-transformar-a-mobilidade-raphael-diniz/. Acesso em: 7 jun. 2026.

ELETROMEMÓRIA. **História da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira**. São Paulo: FFLCH/USP. Disponível em: http://www.eletromemoria.fflch.usp.br/site_ilha/texto.htm. Acesso em: 10 jun. 2026.

EUROPEAN COMMISSION. **Science for Environment Policy**. Brussels: Directorate-General for Environment, 2026. Disponível em: https://environment.ec.europa.eu/research-and-innovation/science-environment-policy_en. Acesso em: 10 jun. 2026.

GUITARRARA, Paloma. **Energia elétrica**. Brasil Escola, UOL. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/fisica/energia-1.htm. Acesso em: 27 set. 2025.

GUITARRARA, Paloma. **Fontes não renováveis de energia**. Brasil Escola, UOL, 2024. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/geografia/fontes-naorenovaveis-energia.htm. Acesso em: 10 jun. 2026.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Renewable Power Generation Costs in 2023**. Abu Dhabi: IRENA, 2024. Disponível em: https://www.irena.org/Publications/2024/Sep/Renewable-power-generation-costs-in-2023. Acesso em: 10 jun. 2026.

MEDEIROS, Rozélia. **Energia Renovável**. Governo do Estado de São Paulo. São Paulo, 3 dez. 2021. Disponível em: https://semil.sp.gov.br/educacaoambiental/prateleira-ambiental/energia-renovavel. Acesso em: 10 jun. 2026.

MOREIRA, Thalles. **Efeito Estufa**: Fontes de Energia não Renováveis e seus Impactos. eCycle, 2024. Disponível em: https://www.ecycle.com.br/fontes-de-energia-nao-renovaveis/. Acesso em: 10 jun. 2026.

RIBAS, Raphaela. **Desmatamento, poluição sonora, insônia**: energias renováveis também têm efeitos colaterais. Gazeta do Povo, Curitiba, 2024. Disponível em: https://www.gazetadopovo.com.br/energia/desmatamento-poluicao-sonora-insonia-energias-renovaveis-tambem-tem-efeitos-colaterais/. Acesso em: 9 jun. 2026.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL (SENAI). **Home Page**. São Paulo: SENAI, 2025. Disponível em: https://www.sp.senai.br/. Acesso em: 10 jun. 2026.

SILVA, Luciana Maria da; PEREIRA, José Roberto. Transição energética e desenvolvimento sustentável: um estudo sobre os impactos socioeconômicos das energias renováveis no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 61, n. 2, e258902, 2023. Disponível em: https://www.scielo.br/j/resr/. Acesso em: 10 jun. 2026.

SIMAS, Moana Salustiano. **Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável no Brasil**. 2012. Dissertação (Mestrado em Energia) – Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-26032013-102541/pt-br.php. Acesso em: 10 jun. 2026.

SOUZA, B. E. M. **O impacto da geração intermitente no Sistema Interligado Nacional**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Grupo Ser Educacional, Recife, 2024. Disponível em: https://repositorio.sereducacional.com/PesquisaObra.aspx?ObraId=89653. Acesso em: 10 jun. 2026.

TECHTARGET. **Social analysis**. [S. l.]: TechTarget. Disponível em: https://www.techtarget.com/searchbusinessanalytics/definition/social-analysis. Acesso em: 10 jun. 2026.