Revista COOPEX (ISSN:2177-5052)

Os paradigmas com a exergia das energias renováveis: solar, eólica, hidroelétrica e biomassa

The paradigms with the exergy of renewable energies: solar, wind, hydroelectric and biomass

***José Jefferson da Silva Nascimento*[1]**
***Jose Jefferson da Silva Nascimento Filho*[2]**
***Laila Caroline Duarte Nascimento*[3]**
***Rubilene Agra da Silva*[4]**
***Maria das Graças Ouriques Ramos*[5]**
***Flávio Franklin Ferreira de Almeida*[6]**

Resumo: A razão para o uso de fontes de energias tem sido uma das preocupações no cenário atual em todo o mundo. Nesse sentido, vários são os motivos para a implementação desse tipo de energia, os recursos naturais renováveis são o foco de inúmeras pesquisas, devido as questões com o meio ambiente. Para isso, o referido trabalho procurou efetuar um embate das energias renováveis e os paradigmas com a exergia como principal objetivo, baseado em revisões bibliográficas. Na metodologia foi utilizado o método PRISMA que caracteriza uma revisão. Os estudos abordaram questões climáticas e os demais impactos ambientais. Ao longo de mais de cinco décadas, os eventos de conferências e debates de alertas sobre a crise ambiental para evitar um colapso no planeta, foram ganhando importância fundamental.

Palavras-chave: Crise climática, impactos ambientais, energias renováveis, exergia.

ABSTRACT: The reason for using energy sources has been one of the concerns in the current scenario around the world. In this sense, there are several reasons for implementing this type of energy, renewable natural resources are the focus of countless research, due to environmental issues. To this end, the aforementioned work sought to confront renewable energies and paradigms with exergy as the main objective, based on bibliographical reviews. The PRISMA method was used in the methodology, which characterizes a review. The studies addressed climate issues and other environmental impacts. Over more than five decades, conference events and debates to warn about the environmental crisis to avoid a collapse on the planet have gained fundamental importance.

Keywords: Climate crisis, environmental impacts, renewable energy, exergy.

DOI: https://doi.org/10.61223/ coopex.v14i5.496

[1] Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba. Atualmente é PROFESSOR TITULAR da Universidade Federal de Campina Grande e também docente e orientador de Doutorado no Programa de pós graduação em Engenharia de Processos. E-mail: jose.jefferson@professor.ufcg.edu.br https://orcid.org/0000-0002-2620-6491
[2] Médico, formado pela Famene-Joao Pessoa. E-mail: jefferson_20_2009@hotmail.com.
[3] Estudante do 9º Período de Medicina da Faculdade de Medicina de Olinda –FMO. E-mail: laila.duarte01@hotmail.com
[4]Graduada em administração pela UNIPÊ e mestra em Sistemas Agroindustriais pela Universidade Federal de Campina Grande. E-mail: rubileneagra@hotmail.com.
[5]Graduada em Licenciatura Plena Em Geografia, pela Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, Especialista em Geologia de Jazidas, pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB e Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA. Atualmente é Professora Mestre-D-DE do Curso de Licenciatura plena em Geografia da UEPB. https://orcid.org/0000-0002-3007-9851
[6]Mestre em Economia da Empresa pela Universidade Federal da Paraíba-UFPB (2004). Graduado em Ciências Econômicas - (2001). Mestrando em Sistemas Agroindustriais pela Universidade Federal de Campina Grande. (em andamento). Professor titular do Centro Universitário de Patos-UNIFIP e da Faculdade Católica da Paraíba. Membro do Grupo de pesquisa: "Agrocomputação" da UFCG, membro do Grupo de pesquisa "Abelhas no Semiárido", e do Grupo de pesquisa: "Grupo Verde de Agroecologia e Abelhas", ambos da Universidade Federal de Campina Grande -UFCG.

INTRODUÇÃO

A busca pelo desenvolvimento sustentável é um dos grandes desafios enfrentados atualmente pela sociedade, já que problemas como o aquecimento global e as mudanças climáticas estão cada vez mais presentes no cotidiano dos indivíduos. Nesse contexto, o desenvolvimento de tecnologias voltadas para a geração de energia limpa vem ganhando espaço nas últimas décadas, se tornando uma alternativa para a utilização dos combustíveis fósseis, cuja extração e uso causam grandes impactos ambientais (MARQUES *et. al,* 2022). Nesse caso, o carvão mineral, petróleo e gás natural (combustíveis fósseis) são considerados como fontes de energias não-renováveis. Isso porque a sua utilização é finita, ou seja, em algum momento, irá se esgotar na natureza. Por outro lado, as chamadas energias renováveis utilizam de recursos que se renovam na natureza de forma natural como a luz solar, ar, água, entre outros (ARAÚJO *et. al,* 2022). Com isso, é importante destacar a energia solar, eólica, hidrelétrica e biomassa como sendo as mais investidas mundialmente, se tornando uma alternativa sustentável para a geração de energia.

O uso de combustíveis fósseis iniciados há décadas, juntamente com o desmatamento, as queimadas, o acúmulo na atmosfera de gases poluentes, particularmente de CO2, são os responsáveis pela crise climática e uma série de outras ações provocadas pela espécie humana e que estão causando descontrole no andamento natural do planeta, segundo inúmeros estudos publicados.

A Terra sempre passou por mudanças em todas as suas eras geológicas, períodos e épocas, porém, num ritmo natural. Diferentemente, do que está acontecendo nas últimas décadas, pois, grandes conferências ambientais sobre o meio ambiente são históricas e ajudam a consolidar a compreensão sobre as causas e consequências da crise climática.

Um projeto que surgiu na segunda metade do século XX, de um grupo de cientistas do chamado Clube de Roma, mas publicado somente no ano de 1972, com o relatório intitulado Limits to Growth pelo Relatório de Brundtland. A década de 1960 é apontada por muitos como a pioneira em assuntos ambientalistas. Após essa publicação, a preocupação com as agressões ao meio ambiente levou os países a repensarem suas

legislações e a então promover leis ambientais que buscassem minimizar tais agressões (HASWANI, 2008).

A primeira grande conferência sobre o clima aconteceu na década de 1970, a Conferência de Estocolmo em 1972, liderada pela Organização das Nações Unidas (ONU, 1972), desenvolveu-se sobre o primeiro balanço do impacto humano global sobre o meio ambiente (...), como enfrentar o desafio de preservar e melhorar o meio ambiente humano (EL-DEI, TORRES e ANGELO, 2022). A Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) reuniu-se pela primeira vez em outubro de 1984 e publicou o documento chamado de "Nosso Futuro Comum", também conhecido como Relatório Brundtland, em junho de 1987, na cidade de Genebra (UN, 1987).

Em junho de 1992, na cidade do Rio de Janeiro, a ação internacional convergiu para a proteção do meio ambiente com a realização da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (UN, 1992a). A CNUMAD é mais conhecida como "Rio 92", referência à cidade que a abrigou, e também como "Cúpula da Terra" (...). O Protocolo de Kyoto, elaborado na cidade de Kyoto no Japão (UN, 1997), entrou em vigor no dia 16 de fevereiro de 2005, logo após o atendimento às condições que exigiam a ratificação (EL-DEI, TORRES e ANGELO, 2022). No Protocolo de Kyoto em 1997, conseguir um futuro de energia sustentável é o grande desafio do século XXI.

Em 2002, a Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável - CMDS (UN, 2002), realizada entre 26 de agosto e 4 de setembro, na cidade de Johanesburgo /África do Sul, contando com 22 mil participantes de 160 países para fazer um balanço das conquistas, desafios e das novas questões surgidas desde a Cúpula da Terra de 1992. Foi uma reunião de "implementação", concebida para transformar as metas, promessas e compromissos da Agenda 21 em ações concretas e tangíveis. Também foi denominada de "Rio+10", uma vez que marcou os 10 anos da última grande conferência ambiental da ONU, a Cúpula da Terra ou Rio-92 (SEQUINEL, 2002; ONU, 2021; OP.CIT, EL-DEI, TORRES e ANGELO, 2022).

Vinte anos após a "Cúpula da Terra", de 1992 no Rio de Janeiro, realizou-se a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, também no Rio de Janeiro, em 2012 (conhecida como Rio + 20), (UNDP, 2021). A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável até 2030", incluiu uma declaração com 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e 169 metas. O Acordo de Paris é um tratado internacional

sobre mudança climática adotado por 196 Partes na COP 21 em Paris, em 12 de dezembro de 2015 (EL-DEI, TORRES e ANGELO, 2022).

Todos os eventos para discussões sobre o clima da Terra o presidente das Nações Unidas, Guterres Hate speech disse "A questão das alterações climáticas é a questão mais premente dos nossos tempos. Poder-se-á mesmo dizer que vivemos num momento decisivo para a espécie humana. Desde a mudança dos padrões climáticos, que ameaçam a produção de alimentos, até à subida do nível das águas do mar, que aumentam o risco de inundações catastróficas, os impactos das alterações climáticas têm uma escala sem precedentes. Sem uma ação drástica e urgente, será cada vez mais difícil para o ser humano adaptar-se aos efeitos devastadores do aquecimento global" (ONU, 2019).

Diante de todos esses acontecimentos, pensar em alternativas viáveis de sustentabilidade torna-se ações evidentemente necessárias, a exemplo de energias renováveis, as chamadas energias limpas. "A agenda de adaptação de cidades brasileiras à crise climática ainda é incipiente porque compete com outras questões urgentes em áreas como saúde e educação", afirma Gabriela Marques Di Giulio, da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo (FSP-USP).

Muito tem sido feito e discutido em relação aos impactos ambientais associados à geração e utilização de energia. Sendo assim, a análise exergética se apresenta como uma ferramenta capaz de apontar ganhos e perdas de eficiência de maneira quantitativa (Rosen et al, 2007), capaz de conciliar aspectos econômicos, ambientais e a real eficiência de um processo (Dincer et al, 2000).

Tais questões permeiam o cotidiano dos cidadãos em suas escolhas relacionadas ao uso direto de energia elétrica e em outros itens relacionados à sua sobrevivência, como alimentos e itens de cesta básica.

Dincer (2000) define "análise exergética" como um método que utiliza a primeira e a segunda leis da termodinâmica, permitindo a obtenção de sistemas mais eficientes através da redução de suas irreversibilidades. O Brasil é líder mundial no uso de fontes convencionais de energia renovável, tais como a energia hidrelétrica. Entretanto, em relação às fontes de energias renováveis não convencionais, ainda deve aprimorar três questões críticas: 1) regulamentar o quadro legal; 2) melhorar o planejamento de energia em longo prazo levando em consideração questões sociais, econômicas e climáticas; 3) as instituições atuais que apoiam as fontes de energias renováveis não convencionais devem

ser atualizadas, assim como agências energéticas mais específicas, devem ser criadas. Deve-se pensar nessas fontes como uma oportunidade estratégica para depender menos do combustível fóssil e das grandes usinas hidrelétricas, descentralizar o setor de energia elétrica, usar o enorme potencial de energia solar, eólica e da biomassa disponível no país e criar uma indústria respeitadora do meio ambiente (de Melo et al., 2018).

A energia hidrelétrica ainda é a maior fonte do setor de geração de eletricidade brasileiro. Mesmo que o uso deste recurso seja vantajoso em termos de emissões de gases de efeito estufa, as severas secas dos últimos anos expuseram a enorme dependência do país em relação à hidroeletricidade. O sistema de fornecimento elétrico do Brasil mostrou-se vulnerável à falta de eletricidade e exigiu uma revisão significativa para enfrentar seus desafios.

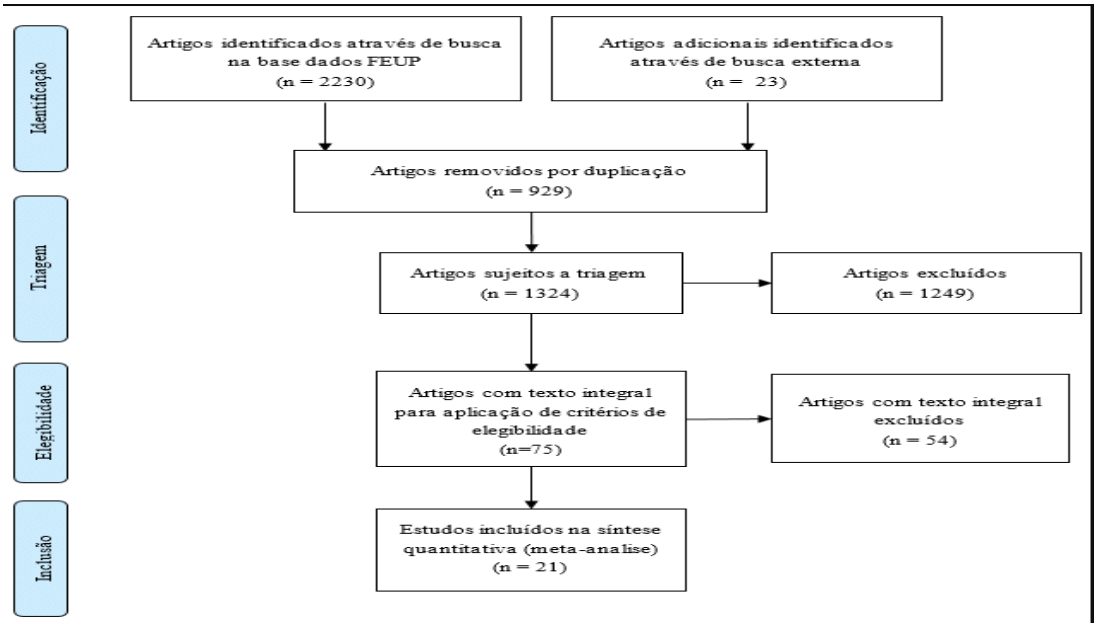
Com o fim de complementar esse estudo em seus êxitos, a pesquisa em questão objetivou efetuar um embate das energias renováveis e os paradigmas com a exergia baseados em revisões sistemáticas; discutir os conceitos da relação entre energia e exergia e fornecer orientação teórica para a eficiência energética e exergética.

METODOLOGIA

Para a elaboração deste artigo foi realizado um levantamento bibliográfico acerca das energias renováveis, sendo delimitadas as energias hidrelétrica, eólica, solar e biomassa. A partir disso, foi realizado uma breve conceituação sobre o que são e como são realizados seus processos de funcionamento e geração de energia. Somado a isso, foi introduzida a sua adoção no território brasileiro, citando quais, dentre elas, são as fontes de energia mais utilizadas.

Foi utilizado o método PRISMA que caracteriza uma revisão bibliográfica de natureza sistemática, o mesmo relata revisões sistemáticas e meta-análises (www.edisciplinas.usp.b/ Moher et al., 2009), como critério para seleção da leitura dos artigos baseados nas discussões por meio de uma análise do material investigado envolvendo práticas sustentáveis de energias renováveis (Figura 1).

Figura 1: Fluxograma do método PRISMA



Fonte: http://www.edisciplinas.usp.br/ > Artigos > científicos

Com o objetivo de avaliar algumas pesquisas e práticas sugeridas pelos autores visando os paradigmas de energia e exergia, bem como as aplicações envolvendo as fontes de energia renováveis eólica, solar, hidrelétrica e biomassa. Os artigos selecionados sobre fontes de energias renováveis e exergia, foram encontrados em diferentes bases de dados científicos, a exemplo da Scientific Electronic Library Online (SciELO), Google Acadêmico e Web of Science, nas línguas portuguesa e inglesa.

ENERGIAS RENOVÁVEIS

Energias Renováveis ou Sustentáveis

Em um cenário em que as mudanças climáticas e o aumento térmico terrestre causados pelo efeito estufa estão cada vez maiores, a adoção de fontes renováveis para a geração de energia faz parte de uma importante estratégia climática para a redução de emissões do CO2 na atmosfera. Em pesquisas realizadas em 2022 a partir de fontes de energia totalmente renovável, foram discutidas a grande viabilidade da utilização e implementação desses sistemas em termos técnicos e econômicos. Tendo isso em vista, planejamentos foram realizados para garantir a segurança e estabilidade dos sistemas energéticos visando o seu pleno funcionamento, impactando na redução da emissão dos gases de efeito estufa, perdas e reduções na produção de energia (ØSTERGAARD,2022).

Em todo o planeta estima-se que 60% da oferta de energia primária é oriunda do carvão e do petróleo, sendo que 47% de energia elétrica produzida depende destes dois combustíveis. A produção de energia de fontes limpas e renováveis é de interesse mundial em termos de sustentabilidade, além disso, para a produção dessa energia limpa, deve-se analisar a viabilidade econômica para a sua geração. Isso acaba provocando grandes impactos ambientais na biodiversidade local e também sociais devido as grandes áreas alagadas (TERRA E COELHO (2005).

Na natureza existem dois tipos de fontes de energia que são denominadas de renováveis e não-renováveis. As fontes de energia renováveis são aquelas que utilizam recursos que se regeneram na natureza, como a energia solar, eólica, hidrelétrica, biomassa e entre outras. as fontes de energia não-renováveis são as que utilizam recursos que se esgotam na natureza, como o uso de combustíveis fósseis (carvão mineral, gás natural e petróleo), é importante enfatizar que o uso intenso destas geram grandes impactos para o meio ambiente (Marques et al., 2022).

Energias renováveis: definições e perspectivas no Brasil

A produção energética brasileira é bastante abrangente, sendo considerada uma das mais renováveis do mundo, possibilitando a existência de um conjunto diversificado capaz de suprir a demanda do país (ENGIE, 2020). Seu clima e relevo se mostram favoráveis a implementação de fontes de energias renováveis, garantindo o fornecimento e distribuição necessários às demandas populacionais, reduzindo a dependência por fontes não-renováveis (SOUZA et.al, 2020). Nesse contexto, a utilização de matrizes energéticas renováveis está crescendo cada vez mais já que, de acordo com o Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional (2022), 48,4% da geração total de energia no Brasil é proveniente de energias renováveis. A energia gerada a partir de hidrelétricas é a fonte renovável mais utilizada no país, sendo responsável por 65,2% da produção (EPE, 2021). Nela, o recurso principal para a geração de energia é a água dos rios, que são utilizadas para mover as turbinas das usinas, convertendo a energia potencial gerada em energia mecânica usada para gerar energia elétrica (SOUSA, 2023). Além disso, a tecnologia utilizada para a produção em hidrelétricas - dentre as energias renováveis - é a de custo mais baixo (FAPESP, 2010).

Seguindo a energia hidrelétrica, a biomassa se encontra como sendo a segunda fonte de energia renovável mais utilizada no Brasil, totalizando 9,1% da produção renovável (EPE, 2021). A geração de energia através da biomassa se dá a partir da queima de materiais orgânicos - não incluindo combustíveis fósseis - que podem ocorrer com base em dois tipos de processos, sendo eles o termoquímico - como combustão - e o bioquímico - como fermentação (SOUSA, 2023). A produção desse tipo de energia vem crescendo devido a capacidade existente e instalada atualmente, especialmente no setor industrial, graças ao consumo da cana de açúcar para a geração de etanol.

A terceira matriz energética renovável mais utilizada em território brasileiro é a eólica, responsável por 8,8% da produção (EPE, 2021). As regiões sul e nordeste se destacam na capacidade produtiva desse tipo de energia por possuírem uma rota intensa de ventos profusos (BEZERRA, 2021). Nesses casos, através de aerogeradores, as hélices, que são conectadas a eles, se movimentam de acordo com a quantidade de movimento das massas de ar presentes naquele local, transformando esse deslocamento em energia elétrica. Porém, para a instalação dessa tecnologia, é preciso levar em consideração as condições climáticas, a intensidade dos ventos e sua ligação com os sistemas de eletricidade do local (CEMIG, 2012). Por fim, tem-se a energia solar. Apesar de ser uma fonte infinita, ofertada de forma abundante e ter a capacidade de suprir a

demanda energética mundial, a energia solar é a fonte de energia renovável menos utilizada e difundida na produção de energia do país (DUNLAP, 2015). Segundo EPE (2021), apenas 1,7% da geração de energia é proveniente de fontes solares que, para produzirem energia elétrica, são utilizados módulos ou painéis fotovoltaicos que convertem a irradiação solar em eletricidade (VILLALVA, 2015). Entretanto, apesar dos meios alternativos de geração de energia de forma mais limpa, como citados acima, existem pontos negativos e dificuldades enfrentadas para sua implementação, sejam elas naturais, políticas ou econômicas.

Apesar de possui o maior potencial hidrelétrico no mundo, de acordo com a Eletrobrás (2015), o território brasileiro tem sofrido com longos e recorrentes períodos de seca que afetam diretamente na produção de energia através das hidrelétricas, acarretando na diminuição de sua produção e o aumento do preço da energia no bolso do consumidor final (FAPESP, 2010). Somado a isso, o licenciamento para a construção de uma hidrelétrica se mostra como um problema complexo, uma vez que é necessária a autorização e planejamento de diversos órgão, já que ocorrerá uma mudança no ecossistema, afetando a fauna e flora do local de sua instalação (ERSAN; IRMAK, 2023).

A Energia pode ser transferida por meio de calor e por meio de trabalho. Chamamos de 1ª Lei da Termodinâmica o princípio da *conservação de energia* aplicada à termodinâmica, o que torna possível prever o comportamento de um sistema gasoso ao sofrer uma transformação termodinâmica (www.sofisica.com.br).

Um sistema não pode criar ou consumir energia, mas apenas armazená-la ou transferi-la ao meio onde se encontra, como trabalho, ou ambas as situações simultaneamente, então, ao receber uma quantidade **Q** de calor, esta poderá realizar um trabalho τ e aumentar a energia interna do sistema **ΔU**, ou seja, expressando matematicamente:

$$Q = \tau + \Delta U$$

Para Sérgio Colle, do Laboratório de Engenharia de Processos e Tecnologia de Energia (Lepten), da UFSC, o Brasil é o único país com as condições naturais necessárias para o desenvolvimento de alternativas renováveis, como as energias solar, eólica e a biomassa (FAPESP, 2023).

Principais tipos de energias renováveis: eólica, solar, hidroelétrica e biomassa.

Energia eólica:

Uma fonte de energia renovável que já é explorada há vários séculos, contudo, nas últimas duas décadas, vem experimentando notável crescimento para a geração de eletricidade. Trata-se de uma das fontes cuja utilização cresce mais rapidamente em escala global, em parte porque os custos associados estão reduzidos (SHI et al., 2014).

É uma fonte de energia renovável que já é explorada há vários séculos, contudo, nas últimas duas décadas, vem experimentando notável crescimento para a geração de eletricidade. Trata-se de uma das fontes cuja utilização cresce mais rapidamente em escala global, em parte porque os custos associados estão reduzindo (SHI et al., 2014).

A energia eólica foi responsável por 17,8% da eletricidade gerada no mundo a partir de fontes renováveis em 2018 e nesse mesmo ano, a geração mundial de eletricidade foi de aproximadamente 26.672 TWh, dos quais 25,6% foram provenientes de fontes renováveis. Com efeito, a energia eólica foi responsável por aproximadamente 4,6% da geração de eletricidade no mundo em 2018 (IEA, 2019).

Energia solar:

A energia solar, assim como seu nome remete, se utiliza dos raios solares para gerar energia. Esse processo é feito através de painéis fotovoltaicos que absorvem a incidência solar, tranformando-a em energia (OLIVEIRA, 2023). Em resumo, a energia solar é a energia proveniente da luz e do calor do Sol, sendo uma fonte alternativa e sustentável que pode ser utilizada tanto para geração de eletricidade (pelos sistemas de energia solar fotovoltaica e heliotérmica) quanto para aquecimento de água (com os aquecedores de energia solar térmica).

Energia solar é uma fonte alternativa, renovável e sustentável de energia que provém da radiação eletromagnética (luz e calor) emanada diariamente pelo sol. Essa

energia pode ser utilizada por diferentes tecnologias, como aquecedores solares, painéis fotovoltaicos e usinas heliotérmicas (ou termossolares).

Hoje em dia, o conceito de energia solar é comumente associado à geração limpa de eletricidade pelos painéis de energia fotovoltaica (painéis fotovoltaicos), que transformam a luz do Sol diretamente em energia elétrica.

Energia Hidroelétrica:

A energia hidrelétrica é aquela que é gerada ao transformar a força da água em energia elétrica. Para aproveitar tal força, são construídas grandes infraestruturas hidráulicas capazes de extrair o máximo potencial desse recurso renovável, livre de emissões e que se origina na própria área. (de Melo et al., 2018).

Biomassa:

A biomassa apresenta-se como uma fonte de energia renovável que vem ganhando interesse devido às tentativas de redução no uso de combustíveis fósseis e a possibilidade de obtenção de vetores energéticos em diversas formas aplicáveis, como combustíveis líquidos ou gasosos, calor e eletricidade (DERMIRBAS; BALAT; BALAT, 2009).

A biomassa já se constitui numa importante fonte energética em diversos países. Contudo, seu uso tradicional está associado a um consumo não sustentável e baixas eficiências de conversão (DERMIRBAS; BALAT; BALAT, 2009).

Para Lora; Andrade, 2009; apud. Fonseca Filho (2013), o uso moderno da biomassa dependerá da viabilidade técnica e econômica dos novos processos de conversão e da superação das barreiras tecnológicas dos processos tradicionais, uma vez que não há ainda tecnologias comerciais de alta confiabilidade disponíveis para geração em pequena escala e que apresentem baixos custos de investimento.

Conceitos básicos de Exergia e seus paradigmas

O conceito de exergia visa a utilização mais efetiva dos recursos energéticos. De acordo com Tsatsaronis (1993), a análise exergética nos fornece um meio de avaliar a quantidade de energia não aproveitada em relação com a energia fornecida ou transformada na planta total e no componente analisado; uma medida de qualidade de energia, a partir do ponto de vista termodinâmico; uma variável para definir as eficiências para sistemas energéticos.

Para análise de exergia, é muito importante selecionar os parâmetros adequados do ambiente (estado do ambiente). Estes parâmetros referem-se à pressão de referência e temperatura de referência, como também à composição do ar fornecido para a combustão, pois para que o maior trabalho possa ser obtido do sistema é necessário que os dois sistemas não estejam em equilíbrio, e adquiram este o equilíbrio termodinâmico através de sua interação. Esta energia pode apresentar diferentes formas e características.

Entende-se como qualidade, a capacidade de uma forma de energia para causar mudanças, o que depende da maneira de armazenamento (KOTAS, 1985). As perdas do processo ocorrem pela irreversibilidade, assim como, pela exergia desperdiçada.

Sondermann (2013), concluiu que as maiores destruições de exergia ocorrem em componentes que possuem reações químicas envolvidas, isso ocorre pois há muito desequilíbrio, sendo, esses processos, reações irreversíveis, justificando assim a quantidade de destruição nesta região.

Também observou que, em locais onde a diferença de temperatura entre o fluido quente e o fluido frio são menores, a destruição de exergia também é menor, pois quanto maior a diferença de temperatura maior a destruição. A realização de uma análise energética é necessária para se obter um controle eficiente dos equipamentos. Para se realizar uma análise deve-se considerar todo o calor gerado e todas as perdas presentes no sistema (BAZZO, 1995).

A análise exergética demonstra-se de suma importância para a verificação, localização e magnitude das causas de irreversibilidades e perdas exergéticas de cada componente do sistema, servindo de base para a otimização do sistema. Além de identificar, isoladamente, a eficiência exergética de cada componente do sistema,

possibilitando, se necessário, realizar melhorias em componentes específicos ou no sistema completo.

De acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica, todo processo real, devido à sua natureza irreversível, provoca um aumento de entropia no sistema global, indicando que uma mudança ocorreu de uma forma de energia mais organizada para uma menos organizada e, portanto, uma diminuição no potencial do sistema para realizar trabalho. As irreversibilidades dos processos reais são associadas principalmente ao fenômeno de dissipação de trabalho em energia interna do sistema e gradientes finitos de pressão, temperatura e potencial químico.

Segundo Dincer e Rosen, com base na Segunda Lei da Termodinâmica, a exergia é definida como o trabalho máximo que pode ser extraído de uma determinada forma de energia, considerando os parâmetros ambientais como um estado de referência. É também uma medida da qualidade da energia.

A exergia de uma substância é composta por exergia física, que é medido pela sua diferença de temperatura e pressão no ambiente de referência, e pela exergia química, que é medido pela diferença de concentração de seus componentes químicos em relação à sua forma encontrada no ambiente de referência

A Figura 2 detalha as equações utilizadas para a elaboração do balanço de exergia considerando os pressupostos:

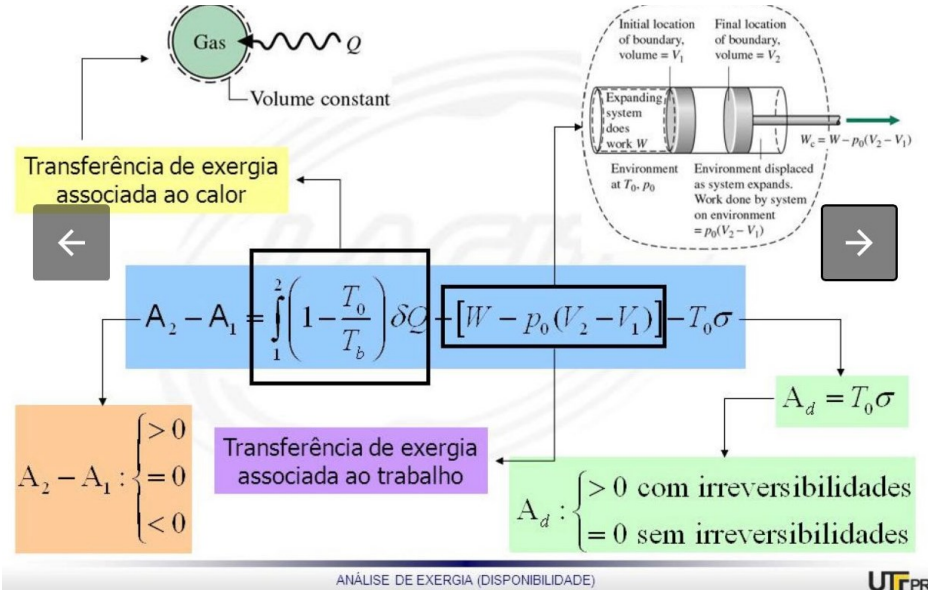
Figura 02 – Equações usadas para o desenvolvimento dos balanços de exergia

Descrição	Equação	
Balanço de Massa	$\sum \dot{m}_{in} = \sum \dot{m}_{out}$,	(1)
Balanço de Energia	$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_{out} h_{out} - \sum \dot{m}_{in} h_{in}$,	(2)
Balanço de Exergia	$\dot{E}_{in} + \dot{E}^{Q} = \dot{E}_{out} + \dot{W}_{x} + \dot{I}$,	(3)
Fluxo de exergia relacionada à transferência de massa	$\dot{E} = \dot{E}_{ph} + \dot{E}_{o}$,	(4)
Exergia física específica de sólidos e líquidos	$\varepsilon_{ph} = (h - T_0 s) - (h_0 - T_0 s_0)$,	(5)
Exergia física específica dos gases ideais	$\varepsilon_{ph} = c(T - T_0) - T_0 \left(c \ln \frac{T}{T_0} - R \ln \frac{P}{P_0} \right)$,	(6)
Exergia física específica de misturas de gases ideais	$(\varepsilon_{ph})_M = (T - T_0) \sum_{i=1}^{n} x_i \tilde{c}_i^{\varepsilon} + \tilde{R} T_0 \ln \frac{P}{P_0}$,	(7)
Eficiência energética ou exergética	$\varepsilon f = \frac{\sum \dot{E}_{usefulout}}{\sum \dot{E}_{in}}$,	(8)

Fonte: KOTAS (1995)

O volume de controle não se move em relação ao sistema de coordenadas; O estado da substância em cada ponto do volume de controle não varia com o tempo; Os fluxos de massa em cada área distinta da superfície de controle não variam com o tempo. Tanto a taxa de calor e do trabalho que passa pela superfície de controle permanecem constantes; e as variações da energia cinética e potencial foram negligenciadas. Na Figura 03, logo abaixo será abordada uma análise da exergia discorrendo sobre sua disponibilidade.

Figura 03 – Gráfico da análise da exergia (disponibilidade)



Fonte: MORAN (2017)

A Figura 03 revela que embora a quantidade de energia em (a) (b) e (c) sejam a mesma, a combinação inicial de (a) possui um Valor Econômico bem maior e mais útil. O potencial Inicial é gradativamente destruído, devido à natureza irreversível do processo, pois exergia é entendida como o potencial de uso de um sistema.

Pois a exergia é o maior trabalho teórico possível de ser obtido quando um ambiente de referência de exergia interage com o sistema de interesse e permite-se que eles atinjam o ponto de equilíbrio.

É importante destacar também que, em um sistema onde uma quantidade fixa de matéria está selada e não há interação com o ambiente pois também encontra-se em equilíbrio nas condições t0 e p0, e em repouso em relação ao ambiente. Neste estado sistema e ambiente possuem energia, mas o valor da exergia é zero.

Este processo está associada a temperatura, pois entropia é a desorganização do sistema, é o quanto está afastado em termos de qualidade de energia. Quando se usa mais energia do que o necessário, está ocorrendo desperdício.

Perspectivas de matrizes energéticas no Brasil

O Brasil apresenta uma matriz energética predominantemente renovável com a dominância da energia hidrelétrica, entretanto, ainda é escasso na exploração de outras fontes renováveis, tais como solar e eólica (EPE, 2021). O território brasileiro possui características favoráveis para aplicação do uso de fontes renováveis de produção de energia, principalmente quando se refere às energias solar e eólica, em que a região nordeste é referência quando se trata dessas fontes de energia (EPE, 2021; Silva et al., 2019).

A energia solar é a que mais se viabiliza aos mecanismos existentes no Brasil em função de sua aplicabilidade mesmo em locais isolados, devido ao imenso potencial energético dessa fonte, encontrado em todo território e quanto a redução dos impactos ambientais, em comparação com as outras fontes de energia (www.inicepg.univap.br). Com o sucessivo crescimento nos projetos de energia limpa no Brasil, é possível que, até 2030, cerca de 50% da matriz energética brasileira seja renovável. Somente em 2022, a capacidade de geração aumentou 8,2 GW, ficando atrás apenas de 2016, que teve um aumento de 9,5 GW.

Segundo o Plano Decenal de Energia 2030, o crescimento médio de consumo de energia no Brasil será de 2,9% ao ano, ao passo que a oferta de energia será de 3% ao ano, até 2030 no cenário de referência.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos estudos em artigos científicos selecionados, foi possível embasar essa pesquisa de cunho bibliográfico de natureza sistemática, utilizando o método PRISMA, o mesmo relata revisões sistemáticas e meta-análises para esse tipo de estudo. Ficou evidente a preocupação de pesquisadores e estudiosos sobre a crise ambiental.

O uso de energias sustentáveis como um dos eixos para evitar um colapso no funcionamento natural do planeta se torna cada vez mais inadiável. Sendo assim, ficou perceptível a importância do estudo que relaciona a eficiência exergética com as energias renováveis, pois a abordagem da exergia nesse contexto foi importante e significativa, e evidentemente provoca a entender que cuidar do meio ambiente é dever de todos: estudiosos, pesquisadores, governos e população.

Além disso, todas as formas de energia limpa, por mais que não emitam poluentes na atmosfera, causam alterações no meio ambiente aos quais são inseridos. Além disso, ficou evidente que outra dificuldade enfrentada para essa implementação das energias sustentáveis é o alto custo inicial dos geradores eólicos e a falta de profissionais qualificados, o que impacta na resolução de problemas relacionados à eficiência energética do sistema.

Desse modo, é possível observar que a principal dificuldade em comum encontrada na implementação das energias renováveis é a falta de investimento e alto custo dos equipamentos devido a necessidade de uma tecnologia avançada.

A forma de energias renováveis é um dos passos que o mundo está caminhando para reverter a situação atual da crise climática. E não é, apenas, parar de desmatar, mas reflorestar, diminuir a emissão de gases para o efeito estufa e usar energias limpas. O Brasil é líder em energias renováveis, começando pela energia hidroelétrica, a principal fonte de energia do país, seguida pela eólica, solar e biomassa.

A tomada de decisões urgentes, precisas e essenciais visando atenuar ou mesmo minimizar o já desgastado sistema, são ações imprescindíveis, de forma a implementar as irreversibilidades que não são contabilizadas quando o estudo é puramente energético, sem a adição de exergia, eis ai o paradigma, portanto está associado a diferença entre a energia e exergia, enquanto na primeira não se considera as perdas de qualidade da mesma durante um processo de balanço energético, na segunda se considera diminuição da qualidade devido as irreversibilidades, por isto em todo estudo de processos indistruiais e do corpo humano, deve-se realizar um balanço exegético para se poder contabilizar a destruição de exergia, ou seja, a quantidade de energia que foi perdida e não pode ser utilizada .

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, R; SOUSA, F; VANDERLEY, P; EPETES, S; GOMES, L; FERREIRA, F. Fontes de energias renováveis: pesquisas, tendências e perspectivas sobre as práticas sustentáveis. Research, Society and Development, v. 11, n. 11, 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). Balanço energético nacional: relatório síntese 2021: ano base 2020. Rio de Janeiro, 2021. 106p. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/ publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-588/ EPE_S%C3%ADntese_2021_PT.pdf. Acesso em: 17 outubro 2023.

BAZZO, Edson. Geração de vapor. 2 ed. Florianópolis: UFSC, 1995.

BEZERRA, A. M.; QUEIROZ, J. L; COUTINHO, D. A. O impacto ambiental dos combustíveis fósseis e dos biocombustíveis: as concepções de estudantes do ensino médio sobre o tema. Revista Brasileira de Educação Ambiental, v. 13, n. 3, 2018.

DERMIRBAS, M. F., BALAT, M., BALAT, H. Potencial contribution of biomass to the sustainable energy development. Energy Conversion and Management, v. 50, p. 1746 - 1760, 2009.

SAMUELSON, Pamela. Academic Author Objections to the Google Book Search Settlement. **J. on Telecomm. & High Tech. L.**, v. 8, p. 491, 2010.

Development. Google Book Search. Massachusetts: Elsevier 2007

WANG, Jiangxue et al. Acute toxicity and biodistribution of different sized titanium dioxide particles in mice after oral administration. **Toxicology letters**, v. 168, n. 2, p. 176-185, 2007.

Di Giulio. Disponível em: https://revistafapesp.fapesp.br/a-forca-das-renovaveis/. FAPESP/BIBLIOTECA VIRTUAL. 2023.

Cherubin, Maurício Roberto, João Luís Nunes Carvalho, Carlos Eduardo Pellegrino Cerri, Luiz Augusto Horta Nogueira, Glaucia Mendes Souza e Heitor Cantarella. 2021. "Efeitos do uso e manejo da terra na bioenergia sustentável derivada da cana-de-açúcar" *Terra* 10, no. 1: 72. https://doi.org/10.3390/land10010072

DINCER, Ibrahim; ROSEN, Marc A. **Exergy: energy, environment and sustainable development**. Newnes, 2012.

EL-DEI, Soraya Giovanetti; TORRES, Brena Maroja e ANGELO, Gabriel Fernandes (Orgs). Instrumentos legais ambientais e Agenda 2030 [livro eletrônico]. 1. ed. -- Recife, PE: Universidade Federal Rural de Pernambuco: Grupo Gestão Ambiental em Pernambuco – Gampe, 2022. ISBN 978-65-86547-51-1.

ERSAN, M; IRMAK, E. Governor Control Systems in Hydroelectric Power Plants: Overview, Challenges, and Recommendations. 11th IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SMART GRID. June 04-07, Paris, France, 2023.

FERREIRA, L. C. *et al* (org.). Dimensões Humanas das Mudanças Climáticas no Sul Global. Curitiba: Editora CRV, São Paulo: FAPESP, 2020.

FONSECA FILHO, Valdi Freire da. Ciclo combinado com gaseificação integrada de biomassa – análise de penalidade exergética de emissão de CO2. Universidade Estadual Paulista/Guaratinguetá. 2013.

GONG, M. AND WALL, G. On Exergy and Sustainable Development − Part 2: Indicators and and concepts. Exergy, an International Journal, 2001, 1(4), 217-233.

HASWANI, M. A comunicação do Estado democrático de direito na mobilização para a sustentabilidade. Disponível em: < http://www.abrapcorp.org.br/anais2008/gt6_furlan.pdf. Acesso em 02/out/2023.

http://.inicepg.univap.br XVI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação. Acesso em: 04/out./23.

http://edisciplinas.uso.br > resource > view. Acesso em: 04/out./2023.

http://www.sofisica.com.br/conteudos/Termologia/Termodinamica/1leidatermodinamica.php/ Acesso em: 02/out./2023.

IEA (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY). Global Energy & CO2 Status Report. Global Energy & CO2 Status Report, n. March, p. 1–29, 2019.

KOTAS T. J. The exergy method of thermal plant analysis. Krieger, Melbourne, FL, 1995.

KOTAS, Tadeusz Jozef. The Exergy of Thermal Plant Analysis. London: Butterworths, 1985.

LORA, E. S., ANDRADE, R. V. Biomass as energy source in Brazil. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 13, p. 777-788, 2009.

Metallurgical Process, 1st Ed. New York: Hemisphere Publishing Corporation.

methods. Exergy, an International Journal, 2001, 1(4), 217-233.

ROSEN, Marc A. Can exergy help us understand and address environmental concerns?. **Exergy, an International Journal**, v. 2, n. 4, p. 214-217, 2002.

MARQUES, W; SANTOS, A; ALVES, E; ROLLIM, J; PINTO, M. O sol nasce para todos:sustentabilidade mediante telhas fotovoltaicas de concreto. Revista de Engenharia e Tecnologia, v.14, n. 1, 2022.

Matriz energética brasileira: fique por dentro de sua evolução ao longo dos anos. 2021. Disponível em: <https://www.alemdaenergia.engie.com.br/matriz-energetica-brasileira>. Acesso em 30 de setembro de 2023.

SOUSA, Maickson Eduardo Fernandes de. Fontes energéticas disponíveis para autogeração de energia elétrica na mineração: vantagens e desvantagens. 2023.

MITROVIC, Dejan. et al. Exergy and Exergoeconomic Analysis of a Steam Boiler. Nis: Thermal Science, 2018.

Moran, M.J., Shapiro, H.N., 2000, Fundamentals of Engineering Thermodynamics, John

MORAN, Michel J. & SHAPIRO, Howard N. Princípios de termodinâmica para engenharia. 4ª edição. LTC

OLIVEIRA, J. Energia Solar Fotovoltaica. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação. São Paulo, v.9.n.03. mar. 2023.

ONU – Organização das Nações Unidas. A ONU e o meio ambiente.2020X Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/91223-onu-e-o-meio-ambiente Acesso em: 01/out./2023.

ØSTERGAARD, R. M; JOHANNSEN, N; DUIC, H. Sustainable development of energy, water and environmental systems and smart energy systems. Int. J. Sustain. Energy Plan. Manag. 2022.

Research, Society and Development, v. 11, n. 11, e468111133893, 2022 (CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409 | DOI: http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i11.33893.

SEQUINEL, M.C.M. Cúpula mundial sobre desenvolvimento sustentável - Joanesburgo: entre o sonho e o possível. 2002. Disponível em: http://www.ipardes.gov.br/biblioteca/docs/bol_24_6e.pdf. Acesso em 01/out./2023.

SHI, W. et al. Feasibility study of offshore wind turbine substructures for southwest offshore wind farm project in Korea. Renewable Energy, v. 74, p. 406–413, 2014.

SILVA, G. F., SILVA, D. P., SILVA, I. P., SILVA, M. S., BERY, C. C. S., FRANÇA, F. R. M. Energias alternativas: tecnologias sustentáveis para o nordeste brasileiro (1st ed.). Associação Acadêmica de Propriedade Intelectual–API. 2019.

SONDERMANN, Carina Nogueira. Simulação e Análise de uma Planta de Cogeração Real Utilizando o Simulador de Processos IPSE-PRO. Rio de Janeiro: UFRJ, 2013.

SOUSA, M. Fontes energéticas disponíveis para autogeração de energia elétrica na mineração: vantagens e desvantagens. Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental. Ouro Preto, 2023.

TERRA, Lygia; COELHO, Marcos de Amorim. Geografia Geral e Geografia do Brasil: o espaço natural e socioeconômico: Volume único. 1 ed. São Paulo: Moderna, 2005.

TSATSARONIS, Georgeg. Thermoeconomic Analysis and Optimization of Energy System. Inglaterra: Prog. Energy Combustion Science, 1993.

UN. United Nations. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. 1987. Disponível em: http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm Acesso em: 01/out./2023.

Valves with Backpressure Turbogenerators, 2p, 2006.

VILLALVA, M. G. Energia Solar Fotovoltaica – conceitos e aplicações. 2015.

YUNUS A. ÇENGEL & MICHAEL A. Boles. Termodinâmica. Bookman. São Paulo, 2013.