



Latin American Journal of Energy Research – Lajer (2023) v. 10, n. 2, pp. 53–62
<https://doi.org/10.21712/lajer.2023.v10.n2.p53-62>

Potencial de complementaridade e geração de energia através da biomassa de resíduos agrícolas no Piauí

Potential for complementarity and energy generation through biomass from agricultural residues in Piauí

Thiago Felipe Nascimento de Brito^{1,*}, Bartolomeu Ferreira dos Santos Junior², Aryfrance Rocha Almeida³

¹ Aluno do Programa de Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Piauí – UFPI, campus Petrônio Portela, PI, Brasil

^{2,3} Professor do Programa de Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Piauí – UFPI, campus Petrônio Portela, PI, Brasil

*Autor para correspondência, E-mail: thiagofbrito99@hotmail.com

Received: 16 August 2023 | Accepted: 25 October 2023 | Published online: 28 December 2023

Resumo: A matriz energética brasileira é predominantemente sustentada pela geração hidrelétrica, evidenciando uma dependência considerável nessa fonte, enquanto a matriz energética do Piauí está gradualmente se tornando dependente da energia eólica. No entanto, urge a necessidade de promover a diversificação da matriz energética em âmbito nacional, abrangendo distintas regiões do país. Nesse contexto, a exploração da biomassa como fonte energética emerge como uma estratégia valiosa para ampliar as vias de produção de energia. O estado do Piauí se destaca como uma região com um vasto potencial em diversas formas de geração de energia, com especial destaque para a utilização da biomassa de resíduos agrícolas. Essa alternativa inclui o aproveitamento do bagaço da cana-de-açúcar, a casca do arroz, a casca do babaçu, a casca do coco-da-baía e a vinhaça, os quais, devido às suas diferentes sazonalidades, apresentam potencial de contribuição significativa para a geração de energia elétrica no estado ao longo do ano.

Palavras chave: Resíduos agrícolas, Biomassa, Geração de energia, Piauí, Diversificação.

Abstract: The Brazilian energy matrix is predominantly supported by hydroelectric generation, showing considerable dependence on this source, while Piauí's energy matrix is gradually becoming dependent on wind energy. However, there is an urgent need to promote the diversification of the energy matrix at a national level, covering different regions of the country. In this context, the exploration of biomass as an energy source emerges as a valuable strategy to expand energy production pathways. The state of Piauí stands out as a region with vast potential in various forms of energy generation, with special emphasis on the use of biomass from agricultural waste. This alternative includes the use of sugarcane bagasse, rice husks, babassu husks, coconut husks and vinasse, which, due to their different seasonalities, have the potential for significant contribution for the generation of electricity in the state throughout the year.

Keywords: Agricultural waste, Biomass, Energy generation, Piauí, Diversification.

1 Introdução

Nas últimas décadas, a busca e o desenvolvimento por fontes de energia renováveis foi impulsionada no mundo, devido à preocupação constante com as mudanças climáticas devido a dependência de combustíveis fósseis no cenário mundial. Nesse contexto, o Brasil se comprometeu com a Convenção das Nações Unidas para Combates às Mudanças Climáticas, estabelecendo uma meta de reduzir suas emissões de gases de efeito estufa (GEE) em 38% até 2030, tomando como referência o nível de 2005. Para alcançar esse objetivo, o país planeja implementar uma série de medidas, políticas e normativas, visando aumentar a participação de bioenergia na matriz energética, expandir a produção de eletricidade a partir de fontes

renováveis como biomassa, energia solar e eólica, além de reduzir o desmatamento e as emissões provenientes do setor agropecuário (APNE, 2020).

Além disso, é essencial em um sistema elétrico complexo como o brasileiro, a integração entre os diversos tipos de fontes, para manter a estabilidade e a confiabilidade do abastecimento de energia. A interconexão entre diferentes tipos de fontes torna-se necessária para suprir as dificuldades encontradas devido a sazonalidade das fontes renováveis, que podem afetar a geração de energia. Portanto, a diversificação da matriz energética e a integração de várias fontes permitem equilibrar essa variação, garantindo um suprimento contínuo de energia. Diante disso, a geração de energia através da biomassa torna-se uma excelente possibilidade de mitigar impactos ambientais e complementar a matriz energética brasileira.

Diante desse cenário, o estado do Piauí localizado na região nordeste, apresenta características que o destacam como a grande riqueza de recursos naturais e uma vasta biodiversidade, combinadas com o grande desenvolvimento em atividades relacionadas a agricultura e a pecuária, conforme registrado pelo Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Apesar disso, apresenta pouca influência na matriz energética piauiense uma vez que a maior parte da capacidade instalada no estado provém de outras fontes. De acordo com o banco de dados do Sistema de Informações de Geração da (ANEEL), o Piauí se destaca pela geração de fontes como: hidráulica, eólica, solar, termo, bagaço de cana e óleo diesel, onde 77% corresponde a geração através de energia eólica, 17% energia solar, 5% energia hidráulica, e termelétricas, bagaço de cana e óleo diesel representam 1%.

2 Energia de biomassa

A biomassa é caracterizada como a matéria vegetal resultante da fotossíntese, abrangendo desde resíduos florestais e agrícolas até a matéria orgânica presente nos resíduos domésticos municipais. A energia derivada da biomassa é obtida por meio do processo fotossintético, o qual utiliza energia solar, conferindo-lhe o status de fonte de energia renovável. Quando não aproveitada pelo ser humano, essa energia retorna ao meio ambiente através de processos naturais de decomposição e digestão. Adicionalmente, a biomassa é classificada como renovável, visto que seu ciclo pode ser mantido por meio do manejo adequado de culturas e resíduos, como reflorestamento e replantio (Lora e Salomon, 2004).

A utilização energética da biomassa disponível foi fundamental para o progresso humano, evoluindo ao longo do tempo em paralelo com o avanço da sociedade. Desde a coleta de lenha para cocção, proteção e aquecimento até as modernas práticas das civilizações contemporâneas, como a conversão e uso de biocombustíveis para geração de calor, força motriz e eletricidade (Tolmasquim, 2016), a energia química armazenada na biomassa é convertida em energia cinética, térmica ou mecânica.

Diversas pesquisas em âmbito nacional e regional têm buscado avaliar o potencial existente no Brasil. Em nível estadual, estudos como a tese de doutorado sobre o aproveitamento energético de fontes de biomassa na região nordeste do Brasil (Júnior, 2014) destacam várias fontes com potencial. Considerando o potencial de produção de resíduos de diferentes culturas, o Poder Calorífico Inferior (PCI) médio de cada fonte e os dados do IBGE, destaca-se o potencial de biomassa de origem agrícola, incluindo soja, bagaço de cana-de-açúcar, vinhaça, arroz, coco-da-baía, babaçu e mamona.

Para avaliar o potencial da biomassa de origem agrícola com dados atualizados, foi realizado um levantamento no site do IBGE, coletando o histórico de produção de diversas culturas no estado do Piauí, com informações atualizadas até 2021. Foram obtidos dados das culturas identificadas com potencial na pesquisa, como coco-da-baía, babaçu, cana-de-açúcar e arroz (IBGE, 2021). Algumas outras culturas, como amendoim, mamona, milho e soja, também são mencionadas. Entretanto, devido à baixa colheita de amendoim e mamona nos últimos anos, não serão considerados seus potenciais. Quanto à soja e ao milho, apesar de apresentarem alta colheita e produção no estado, serão excluídos devido à sua importância alimentar.

2.1 Arroz

A cultura do arroz desempenha um papel fundamental no cenário agrícola do estado do Piauí, e um dos principais requisitos para seu cultivo é a disponibilidade de água, um critério prontamente atendido pelo estado, que se destaca pela presença de diversas reservas hídricas. No ano de 2021, a produção de arroz atingiu a marca de 97.188 toneladas, demonstrando resiliência mesmo diante de colheitas menos abundantes em anos anteriores. Esta cultura revela-se como uma opção altamente promissora para a geração de energia, uma vez que já existem modelos bem-sucedidos no país que aproveitam a casca do arroz.

Nota-se que a colheita obteve montantes maiores nos anos de 2009 e 2011, no entanto, os outros anos estão com valores próximos ao de 2021. Fatores como crise hídricas e períodos de chuva com volume menores podem afetar diretamente a produção.

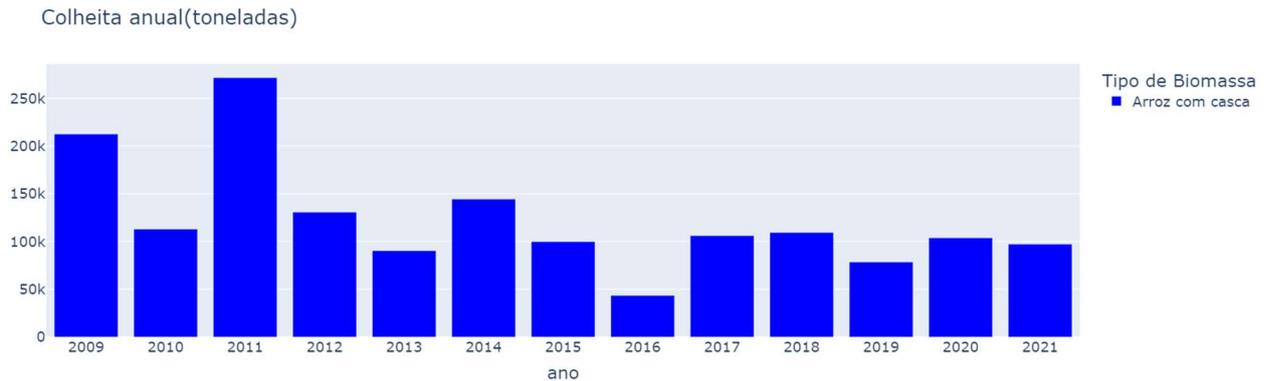


Figura 1. Colheita anual de arroz em toneladas no estado do Piauí.

O cultivo do arroz apresenta uma distribuição concentrada nas áreas sudoeste e norte do estado do Piauí. Os percentuais de colheita referentes ao ano de 2021 são distribuídos da seguinte forma: região norte com 35,29%, centro-norte com 18,49%, sudoeste com 45,66% e sudeste com 0,56% da colheita total. Essa dispersão geográfica abre oportunidades para a implementação de usinas de geração de energia, fazendo uso da casca de arroz, em diversas cidades da região.

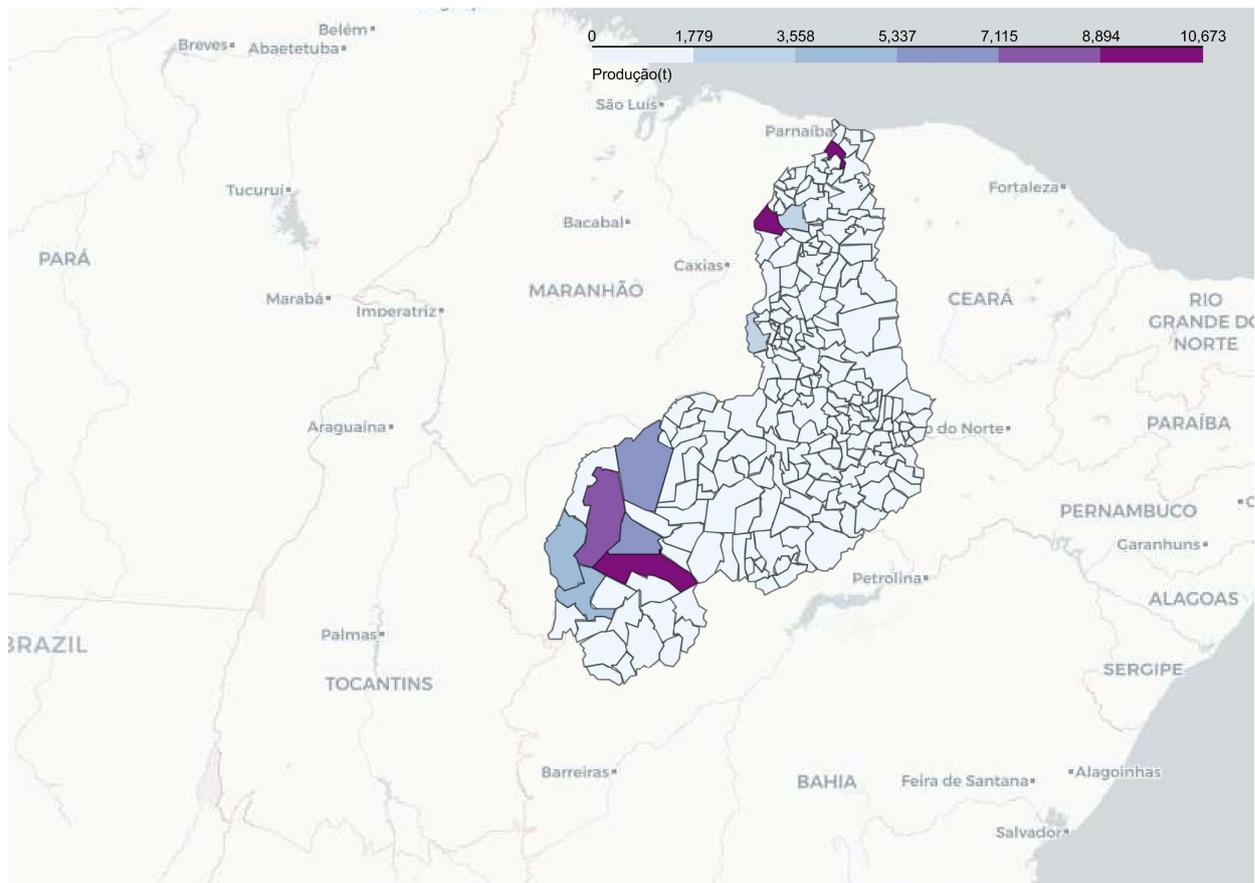


Figura 2. Colheita de arroz em toneladas no estado do Piauí em 2021.

Com base na Figura 2, podemos observar a produção de arroz em diferentes localidades. Destacam-se as cidades de Buriti dos Lopes, com uma produção de 10.673 toneladas, seguida por Miguel Alves, com 8.916 toneladas e Bom Jesus, com 8.945 toneladas. Outras cidades como Baixa Grande do Ribeiro, Currais, Gilbués e Uruçuí também contribuem significativamente para a produção de arroz no estado.

2.2 Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar se destaca como uma cultura proeminente no cenário agrícola do Piauí, demandando uma quantidade considerável de água para seu cultivo. Seu encaixe harmonioso nas condições tropicais do Brasil e da região proporciona um ambiente propício para seu florescimento. Informações coletadas apontam que a produção de cana-de-açúcar no estado atingiu a marca de 1.110.157 toneladas em 2021, testemunhando um crescimento constante ao longo dos anos.

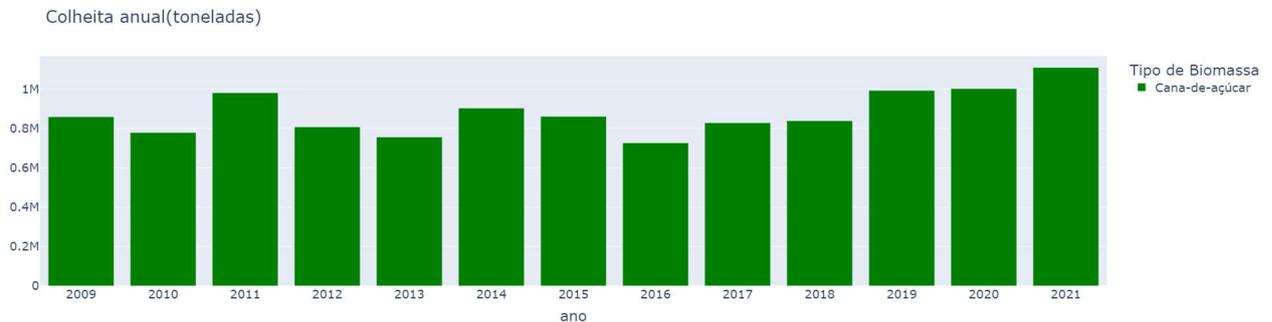


Figura 3. Colheita anual de cana-de-açúcar em toneladas no estado do Piauí.

A colheita é predominantemente concentrada na região centro-norte do Piauí, abrangendo aproximadamente 80,30% da colheita anual, enquanto as regiões norte, sudoeste e sudeste contribuem com proporções de 13,84%, 2,60% e 0,26%, respectivamente. As cidades com maior contribuição na colheita estão situadas em proximidade geográfica, o que facilita o potencial transporte dos resíduos visando o aproveitamento.

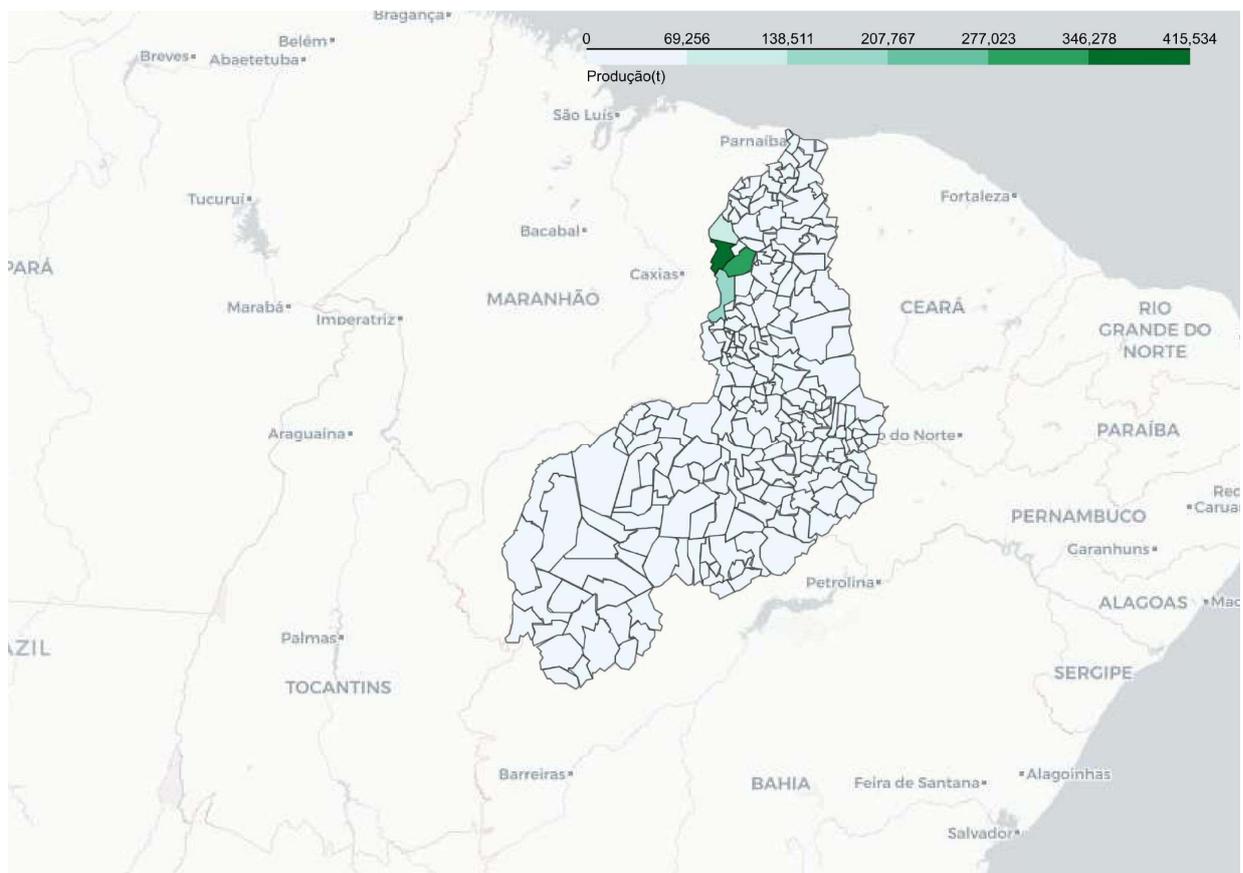


Figura 4. Colheita de cana-de-açúcar em toneladas no estado do Piauí em 2021.

A cana-de-açúcar oferece diversas aplicações no contexto da geração de energia, utilizando-se o bagaço resultante da moagem, a vinhaça e o biocombustível etanol. Essas fontes são empregadas tanto em âmbito nacional quanto estadual para a produção de energia. Conforme registros da ANEEL, somente uma usina no estado se utiliza da biomassa como fonte de geração de energia. Localizada na cidade de União, a

usina Comvap emprega o bagaço da cana para a cogeração de energia (ANEEL, 2022). Essa concentração de utilização reflete-se na distribuição da colheita, notadamente nas cidades próximas a União, como José de Freitas, Miguel Alves, Teresina e a própria União.

2.3 Coco-da-baía

O coco-da-baía é uma cultura que prevalece na região nordeste do Brasil, sendo especialmente adequada para climas tropicais. Seu cultivo e colheita estão estreitamente ligados à prática da agricultura familiar, sendo comumente realizada manualmente, com o auxílio de ferramentas para removê-los das árvores. Segundo os registros levantados, o estado do Piauí testemunhou a colheita de um total de 6.976.000 cocos.



Figura 5. Colheita anual de coco-da-baía em toneladas no estado do Piauí.

Conforme indicado na Figura 5, observa-se uma diminuição na quantidade colhida ao longo dos anos, embora ainda permaneçam valores notáveis. Além disso, nos últimos três anos, essa tendência aparenta ter se estabilizado. Em relação à distribuição da colheita de coco-da-baía em 2021, destaca-se uma abordagem distinta das culturas anteriormente abordadas. Neste caso, a colheita demonstra uma distribuição ampla entre várias regiões, com a região norte, centro-norte, sudoeste e sudeste representando respectivamente 22,68%, 29,60%, 23,61% e 24,11% do total. Adicionalmente, é possível observar concentrações mais elevadas nas proximidades de centros comerciais significativos e em cidades densamente povoadas do estado, como Floriano, Luís Correia, Parnaíba, Picos e Teresina.

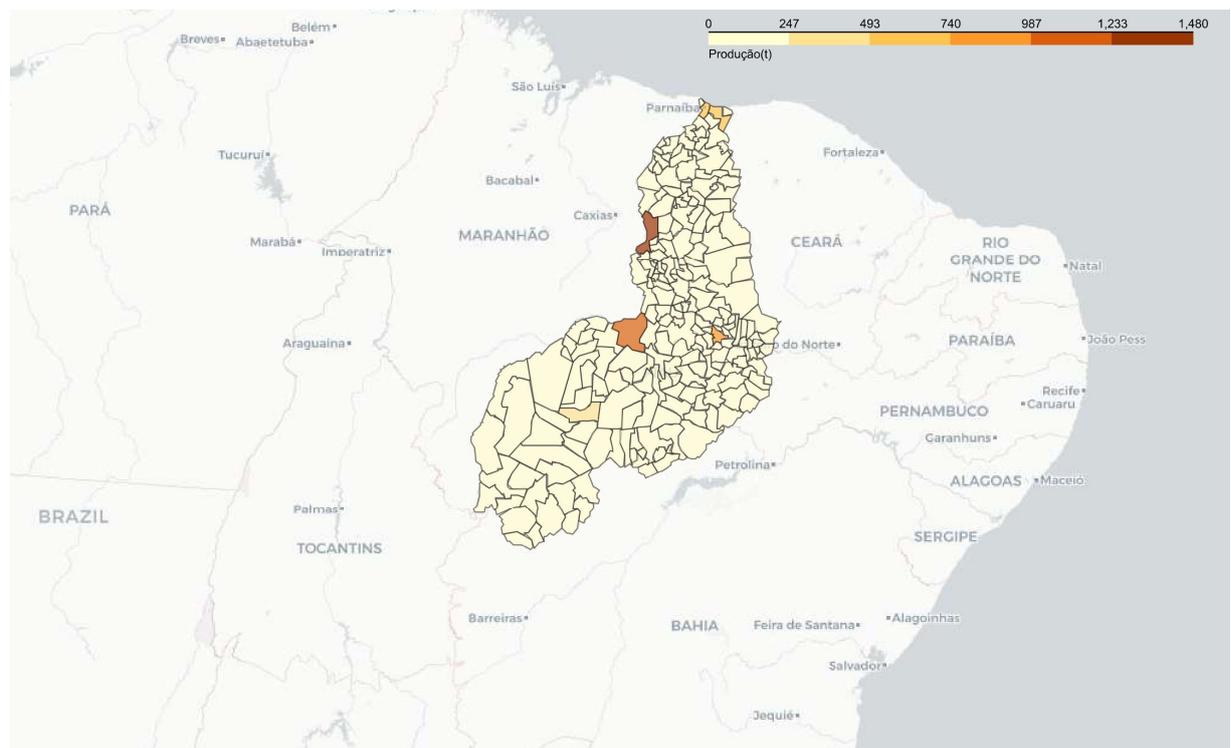


Figura 6. Colheita de coco-da-baía em toneladas no estado do Piauí em 2021.

2.3 Coco babaçu

A atividade econômica relacionada ao babaçu desempenha um papel significativo na vida da população piauiense, sendo similar à extração do coco-da-baía. A coleta do babaçu está frequentemente associada à agricultura familiar e é realizada manualmente. As amêndoas extraídas possuem variadas aplicações, abrangendo setores como medicina, cosméticos e outros. No entanto, os resíduos resultantes, como o caroço, a fibra e a casca, também têm potencial para a produção de energia.

Embora não tenhamos acesso aos dados exatos das quantidades de extração de amêndoas do babaçu nas últimas décadas, essa atividade perdura ao longo do tempo e é uma fonte de renda vital para diversas comunidades na região. Portanto, a consideração dos resíduos do babaçu se justifica pela longa tradição da atividade.

A extração das amêndoas concentra-se principalmente nas regiões norte e centro-norte, que em conjunto respondem por 96% da colheita de 2021. A região de Teresina contribuiu com cerca de 23,15% desse total. Além disso, uma série de outras cidades teve uma participação significativa nos resultados, como Barras, Campo Largo do Piauí, Esperantina, Luzilândia, Miguel Alves, Nossa Senhora dos Remédios, São João do Arraial e União. Durante o ano de 2021, foi possível extrair um total de 2.743 toneladas de amêndoas.

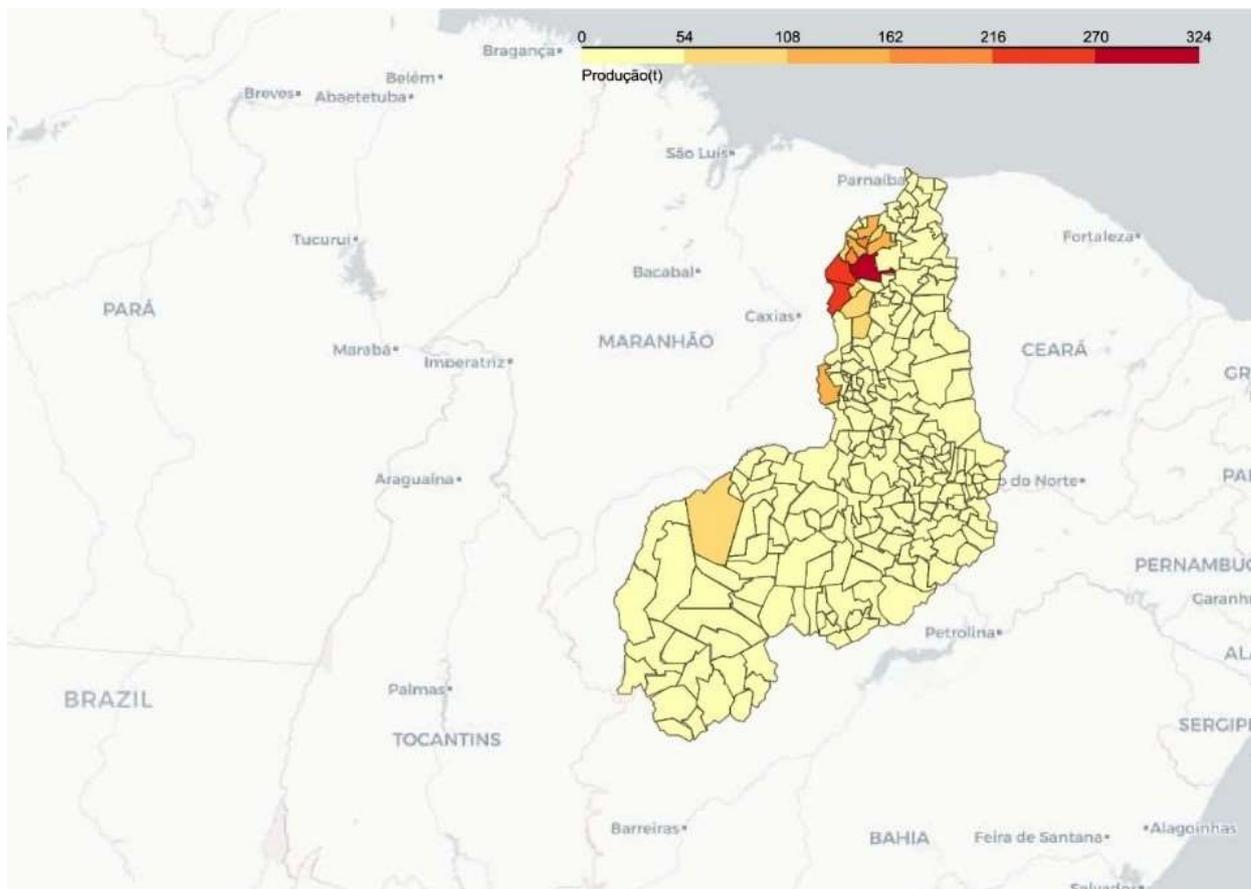


Figura 7. Colheita de coco babaçu em toneladas no estado do Piauí em 2021.

3 Resultados e discussões

Após analisar e discutir as diferentes fontes de biomassa e seu potencial energético, é necessário considerar alguns parâmetros estabelecidos na tese de doutorado "Potencial do Aproveitamento Energético de Fontes de Biomassa na Região Nordeste do Brasil" (Júnior, 2014). Esses parâmetros incluem o poder calorífico, e a proporção de resíduos e outros componentes.

A cana-de-açúcar oferece diversas possibilidades de geração de energia, aproveitando o bagaço, a vinhaça e o etanol. No caso do bagaço da cana-de-açúcar, estima-se que uma tonelada de cana com 50% de umidade possa gerar 0,28 toneladas com um Poder Calorífico Inferior (PCI) de 2.130 kcal/kg. Quanto ao etanol, cerca de 50% da colheita é destinada à sua produção, gerando 85 litros por tonelada com um PCI de

6.300 kcal/kg e densidade de 809 kg/m³. Para cada metro cúbico de álcool produzido, espera-se a geração média de 12 m³ de vinhaça, correspondendo a aproximadamente 91 kWh/m³ de vinhaça (Júnior, 2014).

No contexto do babaçu, a composição é composta por 93% de casca e 7% de amêndoa. Embora os dados fornecidos se refiram apenas à amêndoa, é necessário calcular proporcionalmente a quantidade de casca produzida. Para cerca de 2.743 toneladas de amêndoa de babaçu, isso equivale a aproximadamente 39.186 toneladas de casca. A amêndoa possui um PCI de 9.049 Kcal/kg, enquanto a casca apresenta um PCI de 4.300 Kcal/kg (Júnior, 2014).

No caso dos resíduos de arroz, estima-se que correspondam a 30% de toda a colheita, possuindo um PCI de 3.384 Kcal/kg (Júnior, 2014).

Diferentemente das outras culturas, as informações sobre o coco-da-baía são apresentadas em unidades. Com base em um peso médio de 2 Kg por coco, a polpa e a água representam 13,5% e 22,6% da massa total, respectivamente. Além disso, 64% da massa do coco é composta pela casca, com um PCI de 5.447,4 Kcal/kg. O óleo extraído da polpa corresponde a 8% da massa total e possui um PCI de 8.993 Kcal/kg (Júnior, 2014).

Dessa forma, utilizando o fator de conversão de 860 kcal para 1 kWh, é possível determinar o potencial teórico de geração de energia dos diferentes elementos apresentados (Júnior, 2014).

Tabela 1. Valores de geração anual de biomassa.

Biomassa	Produção (t)	Geração (GWh)
Casca do arroz	29.156	114,720
Casca babaçu	36.443	182,204
Bagaço da cana-de-açúcar	310.844	769,503
Casca coco-da-baía	8.924	56,520
Etanol	38.170	279,601
Biomassa	Produção (m³)	Geração (GWh)
Vinhaça	566.180	51,522

É importante ressaltar que os valores encontrados podem não refletir diretamente o potencial real de geração de energia elétrica dessas fontes. Fatores como o tempo de colheita das safras, perdas no processo de deslocamento e a eficiência das caldeiras, motores e turbinas que realizam a conversão não foram levados em consideração no desenvolvimento do potencial teórico. Apesar disso, nota-se que os derivados da cana apresentam um grande potencial no estado, com o bagaço da cana se destacando entre as fontes, devido à grande quantidade produzida durante a moagem. A casca do arroz é uma fonte bastante utilizada no cenário nacional, com estruturas e modelos já implementados que poderiam também ser utilizados no estado do Piauí. Culturas típicas da região nordeste, como o coco-da-baía e o coco babaçu, representam um grande potencial não aproveitado. No atual cenário, quando não descartados, possuem como principal aplicação a produção de carvão.

Diante disso, o sistema elétrico nacional é dependente de um fornecimento contínuo e confiável para o fornecimento dos diversos consumidores residenciais e industriais. Durante o ano, a demanda de energia varia nas diversas regiões do país devido a fatores como condições climáticas, alterações no padrão de consumo e atividades industriais específicas (Luz, 2018). Nesse contexto, a análise da variação sazonal na geração de energia elétrica por biomassa desempenha um papel crucial na busca por soluções sustentáveis e eficientes de geração de energia ao longo do ano.

Dessa forma, torna-se inviável e pouco sustentável depender exclusivamente de uma única fonte de biomassa como principal meio de geração de eletricidade. A diversificação das fontes de biomassa, considerando sua sazonalidade, é fundamental para garantir a estabilidade do sistema elétrico ao longo do ano. Isso implica em aproveitar a disponibilidade sazonal de diferentes biomassas, como o arroz, cana-de-açúcar, coco-da-baía e o coco babaçu, para obter a maior eficiência possível.

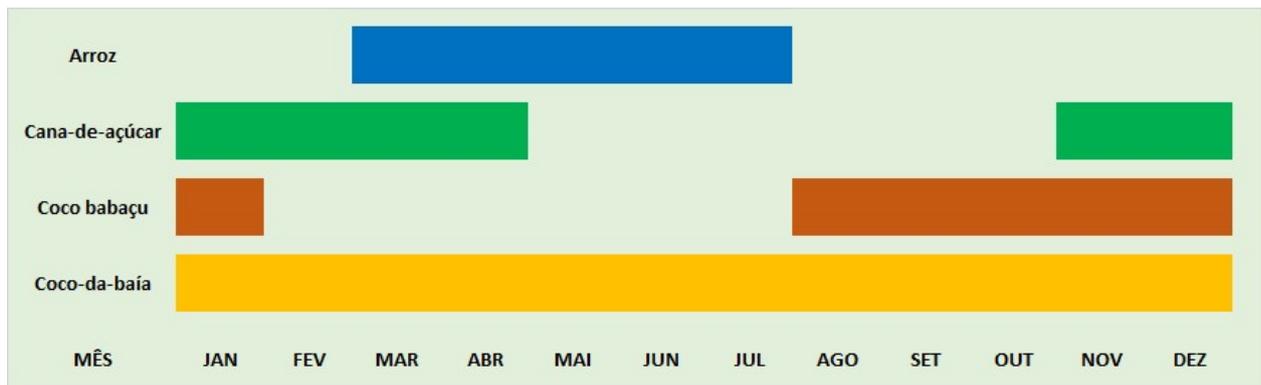


Figura 8. Calendário de colheita no estado do Piauí. Fonte: Adaptado de Castro et al. (2020), CONAB (2023) e EMBRAPA (2021).

A cultura do arroz possui como período de colheita na região Nordeste a época entre março e julho conforme o calendário de colheita da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Durante esse período, a disponibilidade de resíduos de arroz, como a palha e a casca, é maior, o que possibilita o aproveitamento desses resíduos. A cana-de-açúcar se caracteriza na região nordeste pelo período de colheita entre os meses de novembro e abril (CONAB, 2023). Já o coco babaçu, possui como destaque a sua colheita com maiores volumes na época entre agosto e janeiro (Castro et al., 2020). Por fim, o coco-da-baía se diferencia pela colheita do fruto ocorrendo durante o ano todo (EMBRAPA, 2021). Com isso, conseguimos elaborar um calendário anual na disponibilidade de biomassa durante o ano no estado do Piauí, conforme apresentado na figura 8.

É possível observar que ao longo de todo o ano, as fontes de biomassa mencionadas apresentam disponibilidade, o que oferece uma oportunidade para abranger a geração de energia elétrica ao longo do ano inteiro. No entanto, o potencial de geração de energia varia consideravelmente entre as diversas fontes de biomassa devido à quantidade de resíduos gerados por cada uma delas. Os dados apresentados na Tabela 1 evidenciam claramente que a cana-de-açúcar desponta como a fonte com maior potencial no estado, graças ao seu extenso cultivo e à capacidade de aproveitamento de seus resíduos. É importante ressaltar que, atualmente, a única usina que utiliza biomassa para a geração de energia no estado é a Comvap Olho D'água, localizada em União, que emprega a cana-de-açúcar como sua fonte primária (ANEEL, 2022). Esse destaque no potencial energético do estado está intrinsecamente ligado à disponibilidade e ao aproveitamento eficiente dos resíduos provenientes da cana-de-açúcar. Isso reforça a necessidade de investimentos direcionados e da utilização otimizada desses resíduos para impulsionar a geração de energia renovável no estado.

No entanto, devido à sua natureza sazonal, o potencial da cana-de-açúcar não consegue suprir completamente as necessidades do sistema elétrico do Piauí e do país como um todo. Ademais, o uso do etanol como fonte energética encontra limitações, uma vez que seu custo elevado de combustível (Tolmasquim, 2016) restringe sua aplicação em motores e geradores para a produção de energia elétrica. Diante disso, os resíduos provenientes do babaçu e do arroz conseguem cobrir o restante do período do ano, embora com um potencial energético inferior comparado àquele da cana-de-açúcar. Em contrapartida, o coco-da-baía tem a capacidade de complementar a geração de energia ao longo de todas as estações do ano, oferecendo uma maior estabilidade por meio da utilização de biomassa.



Figura 8. Potencial mensal de geração de energia elétrica através da biomassa.

Assim como a cana-de-açúcar representa um potencial significativo devido à sua relevância tanto na alimentação quanto na geração de energia, o desenvolvimento de novas usinas que empreguem diferentes

tipos de biomassa, ou até mesmo sua implementação em regiões com potencial de cultivo, poderia promover o crescimento dessas culturas e, conseqüentemente, expandir a capacidade de geração de energia renovável.

Conforme observado na figura 8, o suprimento de energia não seria constante durante o ano, com uma redução brusca no período de maio a outubro, período em que não possui colheita de cana-de-açúcar no estado. Porém, para garantir um suprimento constante e estável de energia elétrica, é essencial considerar a importância de complementar a geração de energia a partir da biomassa com outras fontes de energia já presentes na região. A matriz energética do estado do Piauí é dominada por fontes renováveis intermitentes, incluindo energia eólica, hidráulica e solar, que contribuem significativamente, representando aproximadamente 99% da geração total de energia (ANEEL, 2022).

Com base nos registros de geração de energia fornecidos pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) referentes ao ano de 2022 (ONS, 2022), combinados com os valores teóricos retratados na Figura 8, foi possível elaborar uma curva mensal de produção de energia para o estado. A análise desta curva revela que o aumento na produção energética proveniente da biomassa é comparativamente mais modesto em relação à geração real de fontes como a energia eólica no estado. Durante os meses de julho a outubro, observa-se um pico na geração eólica, atribuível ao aumento na velocidade do vento nesse período. Já a geração hidráulica experimenta um aumento notável entre novembro e janeiro. Entretanto, a capacidade instalada para a geração hidráulica é inferior à capacidade instalada para a geração eólica, resultando em valores de produção hidráulica menores quando comparados aos eólicos. No caso da energia solar, verifica-se um pico de produção durante o segundo semestre, notavelmente similar ao pico de geração da energia eólica. Ambas as fontes apresentam um incremento significativo na produção durante esse período.

Nesse contexto, a biomassa desempenha uma função crucial, uma vez que tem o potencial de complementar a geração proveniente de fontes solares e eólicas, incentivando e ampliando suas capacidades. A geração de energia via biomassa atinge seu ápice no cenário proposto durante o período de menor produção anual, compreendido entre os meses de novembro a abril.

Diante desse panorama, a utilização da energia proveniente da biomassa, fazendo uso de resíduos como o bagaço de cana-de-açúcar, a casca de arroz e o coco-da-baía, emerge como uma estratégia altamente eficaz para complementar as fontes de energia solar e eólica no estado do Piauí. Isso evidencia a capacidade de contribuição da biomassa como um elemento essencial na promoção de uma matriz energética mais diversificada e sustentável.

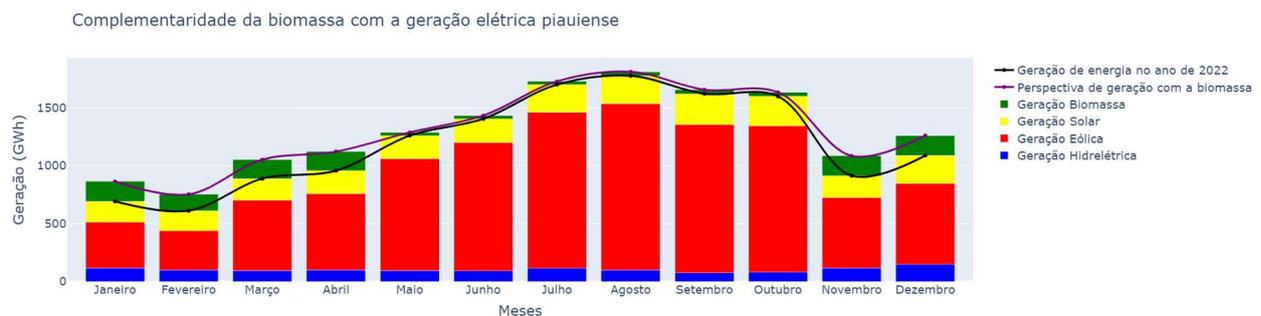


Figura 9. Geração de energia mensal no Piauí com o incremento do potencial de biomassa.

4 Conclusões

A avaliação do potencial de geração de energia por meio da biomassa é uma tarefa complexa devido à influência de diversas variáveis. Fatores como a disponibilidade de resíduos, a eficiência de motores, geradores, turbinas, caldeiras e outros componentes de usinas de biomassa podem variar e afetar o real potencial dessa fonte. No cenário específico do estado do Piauí, uma ampla gama de resíduos agrícolas oferece oportunidades para a geração de energia, conforme abordado anteriormente. Culturas como arroz, cana-de-açúcar, coco babaçu e coco-da-baía apresentam potencial significativo para contribuir com a geração energética. Além disso, outras culturas como soja, milho, mamona e amendoim também possuem possibilidades de aplicação nesse contexto, cada uma trazendo suas particularidades e desafios.

Um desafio enfrentado pelas fontes de energia renovável é a sazonalidade na geração, caracterizada por períodos de alta e baixa produção de energia. A biomassa não está isenta dessa sazonalidade, porém, a possibilidade de utilizar diferentes tipos de biomassas com padrões sazonais distintos oferece a oportunidade de complementar a produção ao longo do ano, conforme discutido previamente.

No estado do Piauí, a viabilidade da geração anual de energia a partir de resíduos agrícolas é evidente, com destaque para o aproveitamento do bagaço da cana-de-açúcar, a casca do arroz, a casca do babaçu, a casca do coco-da-baía e a vinhaça. O período de maior geração se concentra entre novembro e abril, principalmente devido ao potencial expressivo da cana-de-açúcar. Ao compararmos essa curva anual de geração com a demanda do estado, torna-se evidente uma relação de complementaridade entre as diversas biomassas provenientes de resíduos agrícolas.

Por fim, o aproveitamento da biomassa é uma possibilidade crucial na diversificação da matriz energética do Piauí, proporcionando uma contribuição valiosa para a sustentabilidade e a confiabilidade do suprimento de energia no estado. A integração harmoniosa de diferentes fontes renováveis, incluindo a biomassa, representa um passo essencial em direção a um futuro energético mais resiliente e ecologicamente equilibrado.

Referências bibliográficas

- ANEEL (2022) ‘SIGA - Sistema de Informações de Geração da ANEEL’. <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/siga-sistema-de-informacoes-de-geracao-da-aneel> (acesso 28 Dezembro 2022).
- BRASIL, MMA (2018) *Biomassa para energia no Nordeste: Atualidades e perspectivas, Programa da Nações Unidas para o Desenvolvimento*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente.
- Castro, GC, Campelo, JEG, Santos, GM, Sarmento, JLR, Carvalho, MDF e Carvalho, CMRG (2020) ‘Aproveitamento integral do coco babaçu como estratégia de educação e desenvolvimento social sustentável’, *Extensão em Foco*, v. 21, pp. 156-164. <https://revistas.ufpr.br/extensao/article/view/69803> (acesso 17 maio 2023).
- CONAB (2023) ‘Calendário Agrícola: Plantio e Colheita’. www.conab.gov.br/institucional/publicacoes/outras-publicacoes/item/15406-calendario-agricola-plantio-e-colheita (acesso 17 maio 2023).
- EMBRAPA (2021) ‘Sistema de cultivo do coco: Colheita’. www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/coco/producao/sistema-de-cultivo/colheita (acesso 17 maio 2023).
- IBGE (2021) ‘Censo Agropecuário’. www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuario.html?=&t=resultados (acesso 28 novembro 2022).
- Júnior, CDL (2014), *Potencial do aproveitamento energético de fontes de biomassa na região nordeste do Brasil*. Tese de doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Universidade Federal de Pernambuco.
- Lora, EES e Salomon, KR (2004) ‘Análise comparativa da utilização da biomassa com tecnologias convencionais de geração aplicando a eficiência ecológica’, In *Proceedings of the 5th Encontro de Energia no Meio Rural*, [online]. http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022004000100009&lng=en&nrm=iso (acesso 05 maio 2023).
- Luz, TJD (2018), *Metodologias e tecnologias para a integração de energias renováveis no sistema elétrico Brasileiro*. Tese de doutorado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Universidade de Coimbra.
- ONS (2022) ‘Geracao de Energia’. www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/geracao_energia.aspx (acesso 14 junho 2023).
- Tolmasquim, MT (2016) *Energia Termelétrica: Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear*. Rio de Janeiro: EPE. www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/livro-sobre-energia-termeletrica-gas-natural-biomassa-carvao-nuclear (acesso 22 maio 2023).