

USO DA BIOMASSA NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Matheus Fernandes de Medeiros¹, Luciana Angélica da Silva Nunes²

Resumo: Os combustíveis fósseis têm sido os principais fornecedores de energia no mundo, sendo o setor elétrico um grande consumidor destes. Contudo, devido às preocupações ambientais e de saúde, a pesquisa sobre fontes de energia mais limpas e renováveis, como a biomassa, está em ascensão. A biomassa é definida como qualquer matéria orgânica que pode ser convertida em energia térmica, elétrica ou mecânica. Desta forma, o presente trabalho se propõe a realizar uma revisão bibliográfica sobre a geração de energia elétrica, tendo como ênfase a utilização de biomassa.

Palavras-chave: fontes renováveis; biomassa; energia elétrica; sustentabilidade energética.

1. INTRODUÇÃO

O uso de combustíveis fósseis, como carvão mineral e petróleo, representou um marco na história da humanidade, impulsionando a Revolução Industrial a qual promoveu largo desenvolvimento econômico [1]. Esses recursos desempenharam um papel crucial em diversas aplicações, desde a propulsão de veículos e operação de máquinas até a produção de calor e eletricidade [2]. Nesta direção, a exploração desses combustíveis e desenvolvimento de novas tecnologias no mundo para lidar com eles teve um enorme crescimento.

Contudo, devido à sua alta emissão de poluentes e à finitude desses recursos, a utilização de combustíveis fósseis tornou-se um problema ambiental e uma preocupação global. Em resposta a essa situação, os países iniciaram a busca por fontes de energia para garantir o desenvolvimento sustentável e atender às necessidades das gerações presentes e futuras. Isso está alinhado com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em particular com a meta "Energia acessível e limpa" que busca assegurar até 2030 o acesso confiável, sustentável, moderno e acessível à energia para todos [3].

O uso da biomassa surge como uma alternativa viável para reduzir a dependência de combustíveis poluentes, tanto do ponto de vista energético quanto elétrico. Conforme apontado por [4], ela tem a capacidade de substituir ou complementar os combustíveis fósseis em aplicações termelétricas, com uma perda de eficiência aceitável. Suas principais vantagens incluem a significativa redução das emissões de gases de efeito estufa. Além disso, a geração de energia a partir da biomassa envolve uma variedade de tecnologias, todas elas incluindo a conversão da biomassa em um produto intermediário antes de ser utilizado na produção de energia elétrica [4]. Essas práticas não apenas contribuem para a redução das emissões de poluentes, mas também fortalecem a segurança energética do país, mitigando os riscos de escassez de energia.

O Brasil se destaca como um exemplo a ser seguido no uso de energias renováveis, especialmente no setor elétrico, devido à sua abundância de recursos renováveis disponíveis [5]. Além do aproveitamento da biomassa a partir de resíduos da produção agrícola, como a cana-de-açúcar, o país também faz uso de resíduos sólidos urbanos, como o lixo, seja por meio da incineração ou da captura dos gases resultantes de sua decomposição [6]. Essa abordagem diversificada reflete o compromisso do Brasil com fontes de energia mais limpas e sustentáveis.

O presente trabalho tem como principal propósito conduzir uma pesquisa bibliográfica sobre as fontes de energia, com um foco especial na importância e no processo de geração de eletricidade a partir da biomassa no Brasil. Para alcançar esse objetivo, foram estudados trabalhos relevantes, como os trabalhos de Mortoza, Borges, Gómes e seus colaboradores [4, 5 e 6], os quais tiveram uma grande valia para as observações que aqui constam.

2. FONTES DE ENERGIA E MATRIZ ELÉTRICA

As principais fontes de energia em escala mundial ainda dependem amplamente de combustíveis fósseis, como petróleo, carvão mineral e gás natural. Essas fontes são não apenas poluentes, mas também

¹ Graduando do Curso Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia – UFRSA

² Professora orientadora (lucangelica@ufersa.edu.br)

finitas, e países que possuem abundância delas continuam a aumentar sua exploração [7]. Assim, é fundamental considerar a importância que elas tiveram e continuam a ter no desenvolvimento da sociedade como um todo, sem, contudo, esquecer a degradação ambiental promovida por essa produção, devida especialmente às graves emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) a ela associada. Neste ponto reside a necessidade de se equilibrar as necessidades energéticas da sociedade com a responsabilidade de cuidar do meio ambiente [8].

Além disso, estudos indicam que essas fontes podem eventualmente se esgotar em médio prazo [1], motivando a comunidade científica a concentrar esforços na busca por fontes de energia eficientes e sustentáveis [4]. Como resposta, as fontes de energia renovável estão ganhando terreno em várias partes do mundo. Isso inclui o uso de biocombustíveis, energia eólica e solar, uma vez que oferecem benefícios significativos para o meio ambiente e melhoram a segurança energética dos países ao diversificar sua matriz energética. Outra vantagem é a geração de empregos, sejam eles diretos ou indiretos, favorecendo principalmente o desenvolvimento regional [6].

Entende-se por matriz energética como o conjunto de todos os tipos de fontes de energia utilizadas para atender diversas demandas, como por exemplo, para mover transportes, preparar comidas e gerar eletricidade [9]. A matriz energética mundial se baseia principalmente em fontes não renováveis, conforme se observa no Gráfico 1(a), o qual foi elaborado com dados de 2020. Por outro lado, o Gráfico 1(b) ao mostrar os dados nacionais para o mesmo período, indicam que apesar do percentual de energia não renovável ainda ser superior ao que é produzida por fontes renováveis, a diferença entre esses valores é muito menor, fazendo que com possam ser equiparadas.

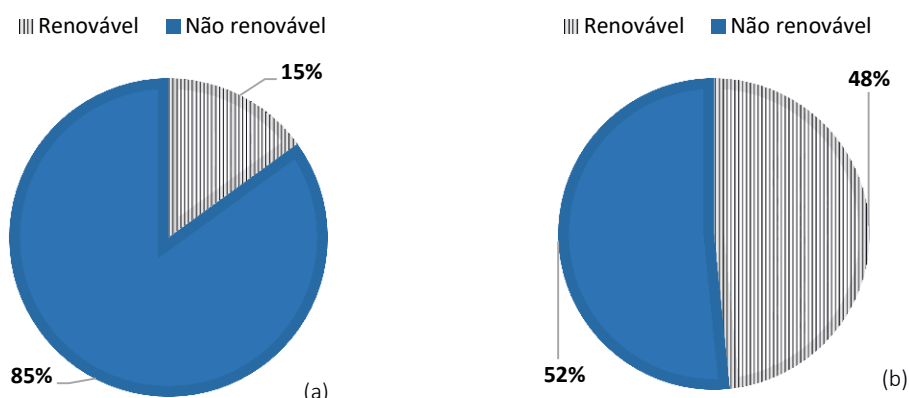


Gráfico 1: Matriz energética mundial (a) e brasileira (b) de 2020. Adaptado de [9]

Diferente da matriz energética, a matriz elétrica é formada somente pelo conjunto de fontes utilizadas para a geração de energia elétrica. Pode-se ver a proporção de energia não renovável e renovável dentro da matriz mundial, para o ano de 2020, a partir do Gráfico 2(a). Da mesma forma que a matriz energética mundial, a elétrica também é muito poluente, com as fontes não renováveis fornecendo a maior parte da energia. Já no Brasil, a eletricidade é obtida principalmente a partir das renováveis, de acordo com o Gráfico 2(b).

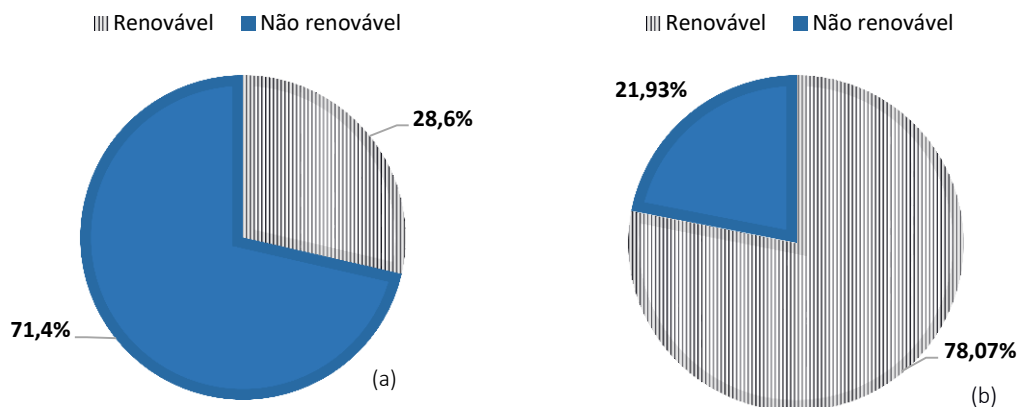


Gráfico 2: Matriz elétrica mundial de 2020 (a) e brasileira de 2021(b). Adaptado de [9 e 10]

Com base no interesse em analisar fontes de energia renovável, o Gráfico 3 nos fornece como se dá a contribuição na geração mundial de energia elétrica.

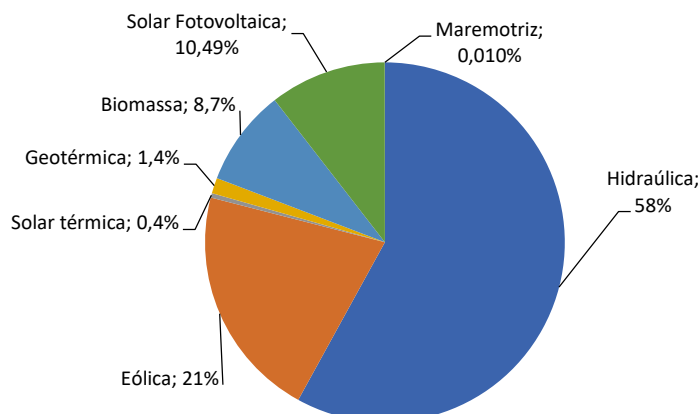


Gráfico 3: Matriz elétrica mundial de fontes renováveis, ano 2020. Adaptado de [9]

Verifica-se que a fonte hidráulica é a principal fornecedora de eletricidade em muitos países. A água, em seu percurso natural, já possui certo potencial energético, mas seu represamento em usinas hidrelétricas, principalmente, amplifica significativamente esse potencial. Como resultado, ocorre uma geração substancial de energia elétrica, aproveitando um recurso natural que está amplamente disponível em muitos países.

Em segundo e terceiro lugar, temos a energia eólica e a energia solar fotovoltaica, respectivamente. Ambas são fontes inesgotáveis, consideradas limpas e ainda possuem um enorme potencial de exploração. Essas tecnologias transformam vento e luz solar em eletricidade de forma sustentável, contribuindo para a diversificação da matriz energética e reduzindo a dependência de fontes não renováveis.

Já a biomassa, desempenha um papel importante não apenas na geração de eletricidade, mas também no reaproveitamento de materiais que, de outra forma, poderiam ser descartados de maneira inadequada, tornando-se uma fonte valiosa tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico.

Não se pode deixar de destacar também a existência de outras fontes de contribuição, mesmo que sua expressividade seja menor na composição da matriz elétrica. Essa diversificação na matriz energética desempenha um papel fundamental na garantia de um suprimento confiável de energia, na redução das emissões de gases de efeito estufa e na promoção da sustentabilidade global.

Para mudar esse cenário, várias políticas públicas e incentivos têm sido implementados em níveis nacionais e internacionais. Um exemplo é a inclusão dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU [3]. O Objetivo 7 dos ODS trata sobre fornecimento de energia limpa e acessível a todos, estabelecendo metas para o ano de 2030. Uma dessas metas é o aumento significativo da participação das energias renováveis na matriz energética global, incluindo fontes de energia elétrica. Essas políticas e metas refletem o reconhecimento crescente da necessidade de promover fontes de energia limpa e sustentável em todo o mundo. Embora desafios ainda persistam, o progresso está sendo feito na direção certa, visando um futuro mais verde e saudável para todos.

Destacando-se entre as fontes renováveis, a energia hídrica é a protagonista, contribuindo com 72,7% do total das fontes renováveis brasileiras em 2021, como pode ser visto no Gráfico 4.

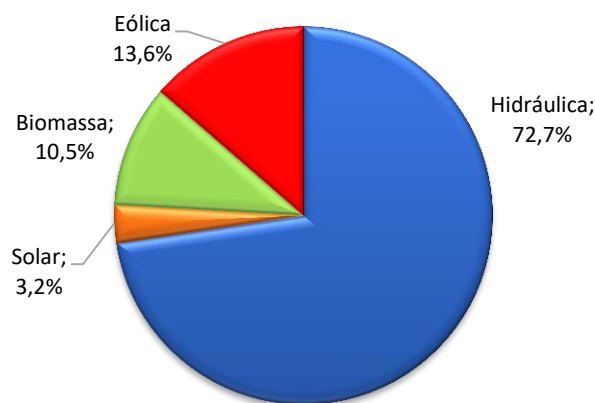


Gráfico 4: Matriz elétrica brasileira de fontes renováveis, ano 2021. Adaptado de [10]

Além disso, quando consideramos todas as fontes (tanto renováveis quanto não renováveis), a energia hídrica isoladamente corresponde a 56,8% da geração total de energia elétrica [10]. Isso se deve em grande parte à abundância de rios no país, que favorece a geração hidráulica [8]. Vale mencionar que essas porcentagens incluem a energia importada da usina de Itaipu, uma hidrelétrica binacional que abastece tanto o Brasil quanto o Paraguai [10]. No entanto, é importante destacar que crises hídricas podem reduzir os níveis dos reservatórios, impactando a capacidade de geração.

Desse modo, a matriz elétrica brasileira apresenta significativo avanço em direção à sustentabilidade, com as fontes renováveis representando impressionantes 78,07% da energia gerada [10]. Essa conquista é de grande importância para o Brasil, pois seu consumo de energia poluente é inferior ao de muitos outros países, resultando em emissões per capita de Gases de Efeito Estufa (GEE) significativamente menores [9].

Assim, é imperativo que o Brasil continue investindo e se comprometendo com fontes de energia sustentável. Isso requer um planejamento energético nacional que promova a capacitação tecnológica, a gestão eficiente e a inovação em relação à distribuição de energia em todo o país.

3. BIOMASSA

A biomassa é uma boa fonte de energia, sendo utilizada principalmente na geração de biocombustíveis e eletricidade. Diversas tecnologias são empregadas para transformar a biomassa de seu estado natural em uma fonte de energia utilizável. A cana-de-açúcar e seus resíduos são uma das principais fontes de biomassa com enorme potencial no Brasil, o maior produtor mundial dessa cultura, o que confere ao país um grande potencial na geração desse tipo de energia [11]. Seu uso como fonte de energia apresenta vantagens significativas, uma vez que é uma fonte menos poluente em comparação com combustíveis fósseis. A fim de fornecer melhores parâmetros sobre a temática, será explorado com mais detalhes o uso da biomassa na geração de energia elétrica, destacando seus benefícios e aplicações.

3.1. Biomassa como fonte de energia

É importante ressaltar que a geração de calor a partir da biomassa é uma prática ancestral, remontando aos primórdios da humanidade, quando a madeira, um tipo de biomassa, era utilizada para produzir fogo, luz e calor [4]. Sua utilização como fonte energética é considerada uma das mais promissoras formas de gerar energia, especialmente quando se almeja um futuro sustentável [12]. Esta abordagem envolve o uso de insumos provenientes da natureza ou de processos não poluentes, funcionando, essencialmente, como uma forma de reaproveitamento da matéria.

Comparada a outras formas de geração de energia, a biomassa oferece notáveis benefícios tanto ambientais quanto econômicos. Ela pode ser empregada para a produção de energia elétrica, combustível e calor. As outras duas formas de energia derivadas da biomassa, ou seja, a produção de energia elétrica e combustível são mais recentes em termos de adoção, porém, têm conquistado espaço significativo no cenário energético mundial, sobretudo na matriz energética brasileira. Esse avanço considerável ocorreu a partir da década de 90, impulsionado pelo desenvolvimento tecnológico global e pela crescente preocupação com o esgotamento dos combustíveis fósseis e as questões ambientais, com vistas ao estabelecimento de um modelo de desenvolvimento sustentável.

Essa forma de geração de energia passou a ser mais difundida no Brasil após a criação, em abril de 2002, e incentivo do PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas), que tinha como

finalidade o aumento da participação de fontes renováveis no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN). Até o ano de 2009, através desse programa, 21 usinas de biomassa estavam em operação e/ou processo de construção no Brasil – abrangendo as regiões nordeste, centro-oeste, sul e sudeste do país – gerando novos empregos e reduzindo a emissão de CO₂ na atmosfera. Não só a biomassa, mas também as energias eólicas e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's) foram incentivadas nesse programa, evidenciando assim a preocupação do país com a redução do uso de combustíveis fósseis, garantindo também uma maior diversificação no abastecimento de energia elétrica [13].

Os países com maior potencial para geração de energia através da biomassa são os que apresentam um grande setor agrícola, visto que esse é o principal fornecedor de matéria prima, tanto para os biocombustíveis como também para produção elétrica. Vale salientar que tanto no Brasil como no mundo, várias das usinas com essa geração são construídas nas próprias indústrias que detém a matéria prima da biomassa [6]. Essas empresas constroem uma usina, onde já aproveitam o material que seria descartado de sua produção (bagaço de cana, casca de arroz, restos de madeira, entre outros) para alimentá-la. Dessa forma, muitas vezes elas já se tornam capazes de produzir 100% da energia para alimentar a própria unidade, além de exportarem o excedente para o Sistema Interligado Nacional (SIN), segundo [14], mandando assim energia limpa para a rede. Percebe-se então que é dado a esses resíduos um destino bastante vantajoso, trazendo benefícios tanto para as indústrias de produção, como também para a matriz elétrica do país.

É importante ressaltar que no Brasil, a eletricidade gerada através da biomassa se trata de uma fonte complementar às hidrelétricas, tendo em vista que a produção dessa energia ocorre principalmente no período em que os reservatórios estão em um nível mais baixo [14], trazendo assim uma maior segurança para o abastecimento elétrico do país.

3.2. Biomassa na geração de energia elétrica

O consumo de energia elétrica no mundo tem crescido ano após ano, pois se percebe que a tendência que vigora atualmente é do surgimento de novas tecnologias voltadas principalmente para a parte elétrica e eletrônica, como por exemplo, os carros elétricos. Ou seja, os países estão sempre buscando o desenvolvimento tecnológico, e para isso há a utilização de eletricidade. Assim, o consumo de energia elétrica é um dos principais indicadores de desenvolvimento econômico de um país [1]. Consequentemente ao aumento do uso, isso faz com que a geração de energia também tenha que aumentar para poder acompanhar o mercado.

Principalmente nos países com um potencial elevado para esse tipo de geração, a produção através da biomassa pode estar contribuindo cada vez mais com a redução da utilização de energia não renovável, não somente a nível nacional, mas também mundialmente (em menor escala). Isso porque as principais matérias primas utilizadas para geração de eletricidade vêm recebendo investimentos na busca do desenvolvimento de tecnologias que possam absorver da melhor forma a energia que esses materiais oferecem, como por exemplo, a formação dos briquetes, que segundo [12], servem para aumentar a densidade energética do material, e assim melhorar a eficiência do processo.

A forma de geração de energia elétrica a partir da biomassa utiliza majoritariamente o mesmo funcionamento das termelétricas, ou seja, funciona através da termoeletricidade [12], substituindo apenas os combustíveis fósseis (petróleo, gás natural ou carvão mineral) pelo material da biomassa – bagaço de cana, por exemplo. Durante o processo ocorre a queima da matéria prima na caldeira, que aquece a água e o seu vapor move as turbinas – gerando energia mecânica. Essas turbinas estão conectadas aos geradores, onde por fim ocorre a conversão em energia elétrica. Além do bagaço e palha da cana, pode ser utilizado também para alimentar as caldeiras: a lenha, capim-elefante, lixos sólidos e líquidos, palha do milho, entre outros. Na Figura 1 é mostrado esse processo, com um esquema resumido, além de também indicar outros produtos obtidos tendo a cana de açúcar como biomassa.



Figura 1: Funcionamento de uma usina à biomassa. [15]

São diversos os processos de conversão energética da biomassa, obtendo como resultados calor, eletricidade e combustíveis. Porém aqui serão destacadas apenas as rotas para produção de energia elétrica, ou seja, as tecnologias utilizadas para a obtenção desse procedimento.

Segundo o que é afirmado em [6], apenas uma tecnologia para geração de energia elétrica a partir da biomassa é tanto disponível comercialmente como viável do ponto de vista econômico (dependendo do contexto de cada local), e trata-se dos sistemas baseados em ciclos a vapor, que utilizam usualmente combustíveis sólidos. Porém, outras rotas tecnológicas também são empregadas, dos quais será apresentado o sistema baseado em turbinas a gás.

3.2.1. Sistemas baseados em ciclos a vapor

Trata-se do sistema mais empregado na geração, que se baseia na queima da biomassa para produzir calor, e esse é utilizado na geração de vapor. A biomassa é mais utilizada nesse processo em sua forma sólida, podendo ser diretamente sob a forma extraída (sem adequações prévias) ou realizando mudanças nas suas características, como o aumento da densidade e/ou diminuição da umidade, por exemplo, os briquetes e os carvões [6]. No entanto, o combustível pode ser empregado também em sua forma líquida, como o caso da lixívia negra, subproduto derivado do processo de obtenção da celulose na produção de papel [6 e 4]. Seguindo o processo, o vapor é direcionado para as turbinas e essas acionam os geradores elétricos.

Há ainda outra forma para geração de eletricidade a partir do ciclo a vapor, que é adicionar biomassa (a depender do seu porte energético) para ser queimada nas termelétricas já existentes juntamente com combustíveis fósseis, sendo os chamados sistemas *co-firing*. O seu objetivo é reduzir a emissão de gases poluentes, como o óxido de enxofre e o dióxido de carbono [6].

Os sistemas baseados em ciclos a vapor, apesar de serem os mais utilizados, apresentam também aspectos negativos, sendo eles a baixa capacidade de geração e a baixa eficiência energética. A primeira está relacionada com a baixa densidade energética da biomassa, que é consumida rapidamente, sendo necessária a reposição. Ou seja, para que se tenha a geração de uma potência elevada, é preciso que seja utilizada e processada uma grande quantidade de biomassa. Isso faz com que se tenha uma elevação nos custos, tanto devido ao aumento do material para consumo, como também a logística desse. Já a baixa eficiência, além de estar relacionada também com a densidade do combustível, se deve a sua alta umidade e ao baixo poder calorífico, ou seja, a quantidade de energia que ele pode oferecer.

3.2.2. Sistemas baseados na gaseificação da biomassa e emprego de turbina a gás

No início da sua utilização, em meados do século XIX, os sistemas a gaseificação se baseavam na utilização do carvão mineral, carvão vegetal e outros materiais. Porém no começo do século XXI, devido a questões ambientais relacionadas ao uso do carvão mineral nas termelétricas e a necessidade de tornar a matriz energética global mais diversificada, a biomassa tem sido impulsionada ao seu uso definitivo para gaseificação [4]. A tecnologia que apresenta o maior rendimento térmico e eficiência nas termelétricas é a dos ciclos combinados. No entanto, para que combustíveis sólidos possam ser utilizados com essa tecnologia, é necessário que eles sejam previamente gaseificados para então ocorrer à queima do gás no sistema de turbinas a gás. Quando ocorre essa união entre o ciclo combinado e a gaseificação da

biomassa, o sistema é conhecido como BIG-CC (Biomass Integrated Gasification to Combined Cycles), que além do aumento de eficiência, resulta também em uma redução nos custos de geração [6 e 16].

O ciclo combinado reúne em um só sistema o ciclo Brayton (turbina a gás) e o ciclo de Rankine (vapor). O primeiro é responsável por receber a entrada de ar (oxigênio) pressurizado e fazê-lo entrar em contato com o gás, que ocorre no combustor da máquina, gerando assim a queima do combustível – aumentando substancialmente a temperatura e pressão do gás resultante. Dessa forma o gás é expandido e direcionado para as turbinas, que estão conectadas aos geradores, produzindo assim a energia elétrica. Após o gás passar por esse processo, ele é ainda direcionado para a caldeira do ciclo Rankine, causando o aquecimento e vaporização da água, e gerando também eletricidade através do sistema baseado em ciclos a vapor [12]. Os combustíveis com grande potencial para a gaseificação no Brasil são a cana-de-açúcar e a madeira.

3.3. Aumento da geração na matriz nacional

A partir de dados obtidos dos anos de 2010 e 2021, construiu-se a Tabela 1, onde consta o comparativo entre a porcentagem de geração das fontes de energia elétrica no Brasil, com o objetivo de constatar o aumento que se teve na geração via biomassa, em comparação com outras fontes. Percebe-se que, no período em questão, a biomassa foi a fonte que apresentou o terceiro maior aumento de geração, ficando atrás somente da eólica e gás natural. Isso mostra que ela é uma fonte valorizada no país e que vem recebendo investimentos e gerando bons resultados. Enquanto isso, algumas fontes não renováveis, assim como as hidráulicas, tiveram uma redução em sua produção – devido a questões ambientais, bem como a escassez de recursos hídricos que vem atingindo o país.

Tabela 1: Comparativo entre a matriz elétrica brasileira de 2010 e 2021. Adaptado de [10 e 17]

Fontes	2010	2021
Hidráulica	74%	56,8%
Eólica	0,4%	10,6%
Biomassa	4,7%	8,2%
Solar	-	2,47%
Gás natural	6,8%	12,8%
Derivados do petróleo	3,6%	3,0%
Carvão e derivados	1,3%	3,9%
Nuclear	2,7%	2,2%

Seguindo a mesma proporção do aumento, atualmente, em 2023, a biomassa já está correspondendo a pôr volta de 8,55% da matriz elétrica, ou seja, uma diferença de 3,85% se comparado com o ano de 2010, comprovando que essa fonte segue em expansão. É importante mencionar que essa porcentagem do ano de 2023 foi retirada do site SIGA/ANEEL, onde os dados são atualizados constantemente conforme as mudanças no setor; e que se utilizou como último ano de estudo na Tabela 1 o ano de 2021 por, no início desse trabalho haver relatório consolidado da situação [18].

As usinas movidas à biomassa estão gerando uma potência de aproximadamente 16,7GW, dividida entre os diversos tipos de matéria prima e correspondendo a um total de 633 empreendimentos em operação, onde desses, 423 utilizam o bagaço de cana-de-açúcar, 75 usam resíduos florestais, 26 o Biogás de resíduos urbanos, entre diversos outros tipos de combustíveis utilizados em menor escala [18]. Isso demonstra a importância desse tipo de geração de energia, que trabalha com resíduos reaproveitados e dá uma melhor destinação para eles, onde além da produção em si da eletricidade, ainda traz contribuições do ponto de vista ambiental e social (levando em conta a questão do lixo reaproveitado, por exemplo). Caso não houvesse esse reaproveitamento, esses combustíveis poderiam ter uma destinação errada e com isso ocasionar diversos problemas.

Fazendo um balanço mais específico, por região, foi elaborada a Tabela 2 e observou-se que algumas regiões possuem um número de empreendimentos bem mais elevados do que outras. Porém, essa quantidade em alguns casos não corresponde a uma geração de eletricidade maior.

Tabela 2: Empreendimentos por região e respectivas potências geradas. Adaptado de [18]

Regiões	Nº de empreendimentos	Potência gerada (GW)
Nordeste	69	1,78
Norte	33	3,29
Centro oeste	98	3,88
Sudeste	327	9,34
Sul	106	1,95

Conforme se percebe, o destaque é a região sudeste com 327 usinas, onde o Estado com maior parte delas é o de São Paulo, que conta com um total de 236 empreendimentos, atingindo uma potência gerada de aproximadamente 6,89GW. Isso se dá pelo fato de o Estado ser o maior produtor sucroalcooleiro do país, contribuindo sozinho com cerca de 50% da safra nacional da cana-de-açúcar [19]. Na safra de 2022/2023, divulgada pela CONAB, a área cultivada nesta região foi de 5127,1 mil hectares, sendo a soma da área das outras regiões juntas um total de 3161,9 mil hectares [19]. Portanto, como esse cultivo é a principal biomassa para geração de energia elétrica no Brasil, fica claro o porquê a região sudeste apresenta a maior geração do país, levando em conta também que grande parte desses empreendimentos estão instalados nos próprios locais onde os resíduos são disponibilizados.

Dos 69 empreendimentos existentes no Nordeste, apenas 2 estão localizados no Estado do Rio Grande do Norte, com a geração de 61MW, sendo ambos movidos a bagaço cana-de-açúcar. Porém, o Estado conta com um total de 34 usinas termelétricas movidas a combustíveis fósseis [18]. Vale salientar que as energias eólicas e solar estão em uma crescente há alguns anos na região, muito devido às características serem favoráveis às mesmas. No entanto, com o número de termelétricas existentes, seria interessante que fosse investido mais em usinas movidas a biomassa, para minimizar até mesmo os impactos gerados pelos combustíveis fósseis, bem como para que o lixo sólido urbano fosse reaproveitado.

3.4. Consumo de energia elétrica pelas indústrias e autoprodução

Durante o ano de 2021, de acordo com [9], o Brasil gerou entre empresas públicas e autoprodutores um total de 656,1TWh de energia elétrica, sendo o setor auto produtivo – levando em conta todas as fontes – responsável por 17,4% desse montante, atingindo uma geração de 114TWh. Desse valor, 65,9TWh não foram injetados na rede, sendo consumido no próprio local de produção. A biomassa corresponde com grande parte dessa geração, visto que, a energia gerada a partir dela é em grande parte produzida nas próprias indústrias que a-consumirão, ou seja, caracterizando a autoprodução, podendo ser citado como exemplo as usinas de açúcar e álcool, e as indústrias de celulose [6].

O setor que mais tem consumido energia elétrica no país é o industrial, que no ano de 2021, conforme pode ser observado no Gráfico 5, consumiu 37,4% da eletricidade gerada. Esse que também vem se destacando com relação à questão da autoprodução, pois se trata de uma forma das indústrias suprirem seu próprio consumo de eletricidade com segurança. Isso também demonstra o desenvolvimento econômico que vem tendo as grandes empresas. Além desses benefícios, ainda se tem a redução nos custos com energia elétrica e a possibilidade da utilização de materiais derivados de processos da própria empresa, os subprodutos – no caso da geração à biomassa –, como combustível para a geração de energia elétrica [4].

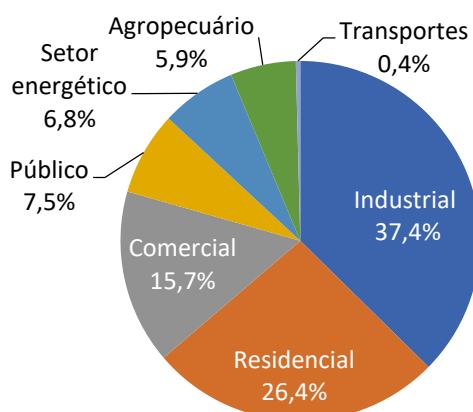


Gráfico 5: Participação setorial no consumo de eletricidade em 2021.

Adaptado de [10]

Um dos fatos importantes para a decisão das indústrias de em qual fonte de energia elétrica investir (para a autoprodução), é a questão do custo para a geração. Como pode ser observado no Gráfico 6, é possível perceber que no ano de 2009 – dados mais atualizados encontrados – o custo da eletricidade por MWh a partir da biomassa da cana-de-açúcar era o menor entre as principais fontes geradoras, o que trouxe uma grande vantagem competitiva para o combustível, embora naquela época ele fosse empregado em menor escala.

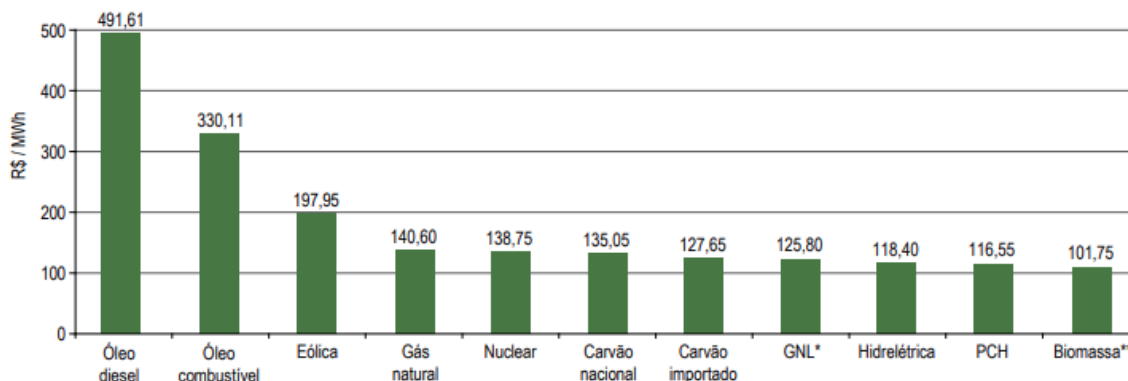


Gráfico 6: Custos da geração de energia elétrica no Brasil em 2009. [20]

(*) Gás natural liquefeito

(**) Bagaço de cana

3.5. Desafios para ampliação da geração elétrica via biomassa

Apesar das vantagens apresentadas no uso da biomassa para geração de eletricidade, essa fonte possui também diversas barreiras que dificultam a sua expansão. Algumas sendo próprias dos insumos e dos processos que lhes envolve, e outras ligadas a fatores mais externos. Independente da biomassa utilizada, características como a alta umidade, a baixa densidade e o seu baixo poder calorífico, imprimem a ela pontos negativos, ou seja, desvantagens para a sua utilização [6]. Além desses, os fatores citados a seguir são os principais limitadores com relação à aplicação da biomassa:

a) Barreiras econômicas e financeiras: projetos de geração elétrica a partir da biomassa requerem um alto custo para implantação, que a depender da escala do empreendimento, pode se tornar um empecilho para os investidores devido à quantidade de energia que será produzida. Soma-se a isso o alto investimento inicial, o custo elevado da biomassa em si e os gastos com transporte dos insumos (a depender do local de instalação do empreendimento). Esses fatores fazem com que a maior parte dos projetos sejam aplicados nas próprias indústrias detentoras dos insumos, onde a finalidade da empresa é a produção de outros produtos, e a geração a biomassa entra como uma forma de suprir necessidades elétricas da mesma, se tornando positiva a sua implementação [6 e 16].

b) A produção de eletricidade precisa ser sustentável: levando-se em conta que o principal motivo para o uso da biomassa ser a questão ambiental, todo o processo envolvido desde o plantio e colheita dos insumos até a geração da energia elétrica deve assegurar os benefícios ambientais. Porém, não somente isso, a sustentabilidade econômica e social também precisa ser respeitada e levada em conta [6].

c) Imaturidade das tecnologias: as tecnologias existentes atualmente apresentam baixa eficiência na que se refere à conversão da energia presente na biomassa em energia elétrica, ou seja, caso contrário poderia se ter um melhor aproveitamento dos insumos e assim tornar o processo mais eficiente [6].

d) Barreiras políticas e institucionais: há alguns anos atrás esse era um dos grandes problemas para a expansão da biomassa, visto que os principais fornecedores de eletricidade faziam parte do poder público ou pertenciam a grandes corporações. Estas que sempre buscavam formas de impor dificuldades para que os pequenos produtores pudessem adentrar no mercado de fornecimento de energia, principalmente porque elas tinham suas bases firmadas nos sistemas convencionais, que tinham um fornecimento de energia bem maior do que a biomassa e outras fontes renováveis, deixando-lhes assim de lado. Porém, a partir da Lei da Presidência da República nº 10.438 de 26 de abril de 2002 [21], isso começou a mudar. Além de outras coisas, essa Lei criou o PROINFA, programa que incentivou a implantação de algumas fontes renováveis, buscando uma maior participação de empreendimentos de Produtores Independentes Autônomos no fornecimento de eletricidade para o SIN [16].

4. CONCLUSÃO

Em resumo, este trabalho apresentou uma visão da utilização da biomassa como fonte de energia elétrica no Brasil e sua comparação com o cenário energético global. Embora diversas tecnologias tenham sido empregadas para aproveitar a biomassa na geração de eletricidade, sua operação essencialmente assemelha-se à de termelétricas, com a principal diferença sendo o combustível utilizado. A análise da matriz energética revelou que o Brasil utiliza a biomassa com maior frequência, embora fontes não renováveis ainda dominem a geração global de energia. No entanto, à medida que as energias renováveis ganham destaque, gradualmente está se reduzindo a dependência de combustíveis fósseis, com a perspectiva de mitigar as emissões de gases poluentes.

No âmbito nacional, foi identificado que as regiões com maior geração de eletricidade a partir da biomassa estão concentradas nas áreas de produção significativa de cana-de-açúcar, com o estado de São Paulo liderando essa iniciativa. Aspectos como o aumento de sua produção ao longo de alguns anos foram analisados, e assim percebeu-se que ela é uma fonte que teve boa expansão em um período de onze anos (2010 a 2021), e se comparado desse último ano até os dias atuais do ano de 2023, nota-se também um aumento, porém em uma escala bem menor do que o que vem ocorrendo entre as fontes eólicas e solar fotovoltaica. No entanto, é preciso que se espere o final do ano para que se tenha uma noção mais ampla desses aumentos.

Foi ainda enfatizada a importância da geração de energia por meio da biomassa para o planeta. Essa abordagem desempenha um papel fundamental na redução dos problemas ambientais, na melhoria da saúde da população e na promoção de inclusão social. Além disso, a capacidade de implantar essa fonte em locais isolados tem o potencial de melhorar significativamente a qualidade de vida das pessoas que residem nessas regiões.

Assim, dadas às várias vantagens que essa fonte de energia oferece e considerando a posição estratégica do Brasil para a geração de energia por biomassa, é fundamental que o governo aumente os esforços de incentivo à sua expansão e pesquisa. Isso deve incluir um foco especial no desenvolvimento de tecnologias que aperfeiçoem a eficiência na utilização do calor gerado pelos insumos, sempre mantendo o respeito pelo meio ambiente como motivação central para a adoção dessa abordagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FINKLER, Alessandro *et al.* Relação do crescimento econômico e consumo de energia elétrica. **Salão do conhecimento: ciência alimentando o Brasil**, Ijuí, 2016. Disponível em: <file:///C:/Users/User/Downloads/7237-Texto%20do%20artigo-31271-1-10-20160923.pdf>. Acesso em: 14 set. 2023.
- [2] ALMEIDA, E. V.; MARTINS, N. F. S. A revolução industrial e a indústria 4.0. **Congresso Nacional de Iniciação Científica: SEMESP**, Jaguariúna, ed. 18, 2018. Disponível em: <https://conic-semesp.org.br/anais/files/2018/trabalho-1000000129.pdf>. Acesso em: 14 set. 2023.
- [3] LIMA, Amanda *et al.* Glossário de termos do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7: assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos. 2018. Disponível em: <file:///C:/Users/User/Downloads/aad5e389ce22282e4f531c29bc2ae1a728d9fde2a15a1ea4228071eba696187f.pdf>. Acesso em: 15 set. 2023.
- [4] PRETO, E.V.; MORTOZA, G.L. **Geração de energia elétrica utilizando biomassa**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2010. Disponível em: <https://bdm.unb.br/bitstream/10483/1381/1/2010_ElioPreto_GladsonMortoza.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2023.
- [5] BORGES, A.C.P. *et al.* Energias renováveis: uma contextualização da biomassa como fonte de energia. **REDE**, Fortaleza, v. 10, n. 2, p. 23-36, jul./dez. 2016. DOI: 10.22411/rede2016.1002.02. Disponível em: <file:///C:/Users/User/Downloads/239-1-910-2-10-20170306.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2023.
- [6] CORTEZ, L.A.B.; LORA, E.E.S.; GÓMEZ, E.O. **Biomassa para energia**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2008. ISBN 978-85-268-0783-9.
- [7] GANI, Azmat. Fossil fuel energy and environmental performance in an extended STIRPAT model. **Elsevier: Journal of Cleaner Production**, Mascate, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126526. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621007460?fr=RR-2&ref=pdf_download&rr=811f00aedd3b00c9>. Acesso em: 28 set. 2023.
- [8] LAVEZZO, C. A. L. Fontes de energia. Amparo, 2016. Disponível em: <https://portal.unisepe.com.br/unifia/wp-content/uploads/sites/10001/2018/06/012_fontes_energia.pdf>. Acesso em: 15 set. 2023.

- [9] MATRIZ ENERGÉTICA e elétrica. **EPE**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcednergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 03 fev. 2023.
- [10] BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2022: ano base 2021. **EPE**, Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>>. Acesso em: 03 fev. 2023.
- [11] BRASIL é o principal produtor de cana-de-açúcar do mundo. **G1**, 2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/agronegocios/agro-a-industria-riqueza-do-brasil/noticia/2021/07/16/brasil-e-o-principal-produtor-de-cana-de-acucar-do-mundo.ghtml>>. Acesso em: 05 abr. 2023.
- [12] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Papel da biomassa na expansão da geração de energia elétrica**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-457/Biomassa%20e%20Expans%C3%A3o%20de%20Energia.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2023.
- [13] PROINFA – PROGRAMA DE INCENTIVO ÀS FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA ELÉTRICA. **The world bank**, Jan. 2009. Disponível em: <https://ppp.worldbank.org/public-private-partnership/sites/ppp.worldbank.org/files/documents/PROINFA-ANEXO1-InstitucionalMME_0.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2023.
- [14] NACHILUK, Katia; RAMOS, Rejane C. Geração de Bioenergia de Biomassa da Cana-de-açúcar nas Usinas Signatárias ao Protocolo Agroambiental Paulista, Safra 2015/2016. **Instituto de economia agrícola: análises e indicadores do agronegócio**, São Paulo, v. 12, n. 4, 2017. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/ftpiea/AIA/AIA-19-2017.pdf>>. Acesso em: 6 abr. 2023.
- [15] MATTEDE, Henrique. Fontes de energia renováveis – Quais são e como funcionam! **Mundo da elétrica**, c2014. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/fontes-de-energia-renovaveis-quais-sao-como-funcionam/>>. Acesso em: 06 mar. 2023.
- [16] TOLMASQUIM, M.T. **Fontes renováveis de energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. Bibliografia: p. 1-86. ISBN 85-71936-095-3.
- [17] BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2011: ano base 2010. **EPE**, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-132/topico-104/Relat%C3%B3rio%20Final%202011.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2023.
- [18] SISTEMA de informações de geração da ANEEL SIGA. **ANEEL**, 2023. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoibjNjc4OGYyYjYtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVhYjYtNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOiJr9>>. Acesso em: 12 set. 2023.
- [19] CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, Brasília, DF, v. 10, n. 4 abril 2023.
- [20] ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Atlas de energia elétrica do Brasil, Brasília, ed. 3, 2008. ISBN 978-85-87491-10-7. Disponível em: <https://www.fisica.net/energia/atlas_de_energia_eletrica_do_brasul_3a-ed.pdf>. Acesso em: 6 abr. 2023.
- [21] BRASIL. Lei Nº 10.438, de 26 de abril de 2002. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 2, 26 abr. 2002. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2002/lei-10438-26-abril-2002-456860-publicacaooriginal-1-pl.html>>. Acesso em: 11 out. 2023.