

Análise do potencial brasileiro para a geração de eletricidade a partir das fontes de energia solar fotovoltaica e o biogás no contexto da geração distribuída

Analysis of the Brazilian potential for electricity generation from photovoltaic solar energy sources and biogas in the context of distributed generation

Análisis del potencial brasileño de generación de electricidad a partir de fuentes de energía solar fotovoltaica y biogás en el contexto de la generación distribuida

Recebido: 29/05/2022 | Revisado: 09/06/2022 | Aceito: 12/06/2022 | Publicado: 24/06/2022

Cintia Sabrina Weirich

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4880-7685>
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil
E-mail: cintiasabrinaw@gmail.com

Samuel Nelson Melegari de Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3581-902X>
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil
E-mail: ssouza@unioeste.br

Carlos Eduardo Camargo Nogueira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3886-9118>
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil
E-mail: cec1@yahoo.com.br

Willian Cezar Nadaleti

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4727-4127>
Universidade Federal de Pelotas, Brasil
E-mail: williancezarnadaletti@gmail.com

Resumo

Este estudo teve como objetivo apresentar o cenário atual das fontes de energia solar e do biogás no Brasil, analisando o potencial dessas fontes para a geração de energia elétrica conectada à rede, na chamada geração distribuída. Esse tema é relevante especialmente porque, a partir de 2012, com a Resolução Normativa 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), inseriu-se no mercado a possibilidade de geração de créditos de energia, que são injetados na rede da concessionária e, posteriormente, compensados pelo consumidor. Com o aumento da geração distribuída, está prevista uma alteração da resolução normativa, acarretando a necessidade de maiores cálculos de viabilidade econômica dos empreendimentos. A ANEEL propôs cinco alternativas possíveis para alteração da compensação dos créditos gerados, onde as alternativas 4 e 5 inviabilizariam os investimentos em geração distribuída. Já o Anteprojeto de Lei nº 2, de 2019, projeta um cenário menos pessimista para o futuro da geração distribuída, que não inviabilizará os investimentos e continuará mantendo o mercado em expansão.

Palavras-chave: Energia solar; Energia fotovoltaica; Biogás; Geração distribuída; REN 482.

Abstract

This study aimed to present the current scenario of solar energy and biogas sources in Brazil, analyzing the potential of these sources for the generation of electric energy connected to the grid, in the so-called distributed generation. This topic is relevant, especially because, as of 2012, with the Normative Resolution 482 of the *Agência Nacional de Energia Elétrica* (ANEEL) - National Electric Energy Agency -, the possibility of generating energy credits was introduced in the market, which is injected into the utility's grid and, subsequently, compensated by the consumer. With the increase in distributed generation, a change in the normative resolution is foreseen, resulting in the need for greater calculations of the economic viability of the undertakings. ANEEL proposed five possible alternatives for changing the compensation of generated credits, where alternatives 4 and 5 would make investments in distributed generation unfeasible. Draft Bill No. 2 of 2019, on the other hand, brings a less pessimistic scenario for the future of distributed generation, which will not make investments unfeasible and will continue to keep the market expanding.

Keywords: Solar energy; Photovoltaic energy; Biogas; Distributed generation; REN 482.

Resumen

Este estudio tuvo como objetivo presentar el escenario actual de las fuentes de energía solar y el biogás en Brasil, analizando el potencial de estas fuentes para la generación de electricidad conectada a la red, en la llamada generación

distribuida. Este tema es relevante especialmente porque, a partir de 2012, con la Resolución Normativa 482 de la *Agência Nacional de Energia Elétrica* (ANEEL) - Agencia Nacional de Energía Eléctrica -, se insertó en el mercado la posibilidad de generar créditos de energía, que son inyectados en la red de la concesionaria y, posteriormente, compensados por el consumidor. Con el aumento de la generación distribuida, se prevé una alteración en la resolución normativa, lo que se traduce en la necesidad de mayores cálculos de viabilidad económica de las empresas. ANEEL propuso cinco posibles alternativas para cambiar la compensación de los créditos generados, donde las alternativas 4 y 5 harían inviables las inversiones en generación distribuida. El Proyecto de Ley n° 2 de 2019, en cambio, trae un escenario menos pesimista para el futuro de la generación distribuida, que no hará inviables las inversiones y seguirá manteniendo el mercado en expansión.

Palabras clave: Energía solar; Energía fotovoltaica; Biogás; Generación distribuida; REN 482.

1. Introdução

Nos últimos anos, a utilização de recursos naturais renováveis tem aumentado no Brasil e no mundo devido à preocupação com a natureza e com o meio ambiente, o qual tem sido muito explorado desde a revolução industrial, período no qual o desenvolvimento tecnológico e industrial exigiu fontes de energia em larga escala. As fontes mais utilizadas para tal processo são: o gás natural, o carvão mineral e o petróleo, que são os combustíveis fósseis encontrados na natureza, sendo, porém, esgotáveis e que levam milhares de anos para serem produzidos por meio da decomposição da matéria orgânica. Assim, a queima desses combustíveis para a geração de energia gera inúmeros problemas a curto e longo prazo, pois libera toneladas de dióxido de carbono na atmosfera, levando ao aquecimento global, ao efeito estufa, a poluição do ar, e a degradação dos ecossistemas, dentre outras consequências (Tolmasquim, 2016).

Com a necessidade de se reduzir esses problemas e melhorar a qualidade de vida no planeta, muitos estudos e aplicações acerca das fontes alternativas de energia estão sendo desenvolvidos. Dentre essas fontes, pode-se citar: a força dos ventos e das marés, a intensidade dos raios solares, a utilização de biomassa e a fonte hídrica (Nascimento & Alves, 2016).

No Brasil, a fonte limpa mais utilizada para a geração de energia é a hídrica, ou seja, por meio das usinas hidrelétricas. Segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica [ANEEL] (2019), a energia hidrelétrica corresponde a 63,96% do total produzido no país; logo depois está a fóssil (combustíveis fósseis), correspondendo a 15,95%; e, em seguida, estão a eólica, com 8,9%; a biomassa, com 8,78%; a solar, com 1,24%; e a nuclear, com 1,17%.

Segundo Bondarik, Pilatti e Horst (2018), com o aumento da demanda de energia elétrica e com as estiagens que ocorreram no país, reduzindo o volume de água nos reservatórios, percebeu-se o quanto o Brasil é dependente da fonte hídrica, e isto mostra a necessidade de diversificar as fontes utilizadas, já que o país possui várias outras em abundância ainda pouco exploradas.

Visto que o Brasil é um país tropical e possui um grande potencial de energia solar durante todo o ano, sendo esta uma fonte limpa e inesgotável, a energia solar é uma boa alternativa em todas as regiões do Brasil. De acordo com o Plano Nacional de Energia 2030, do Ministério de Minas e Energia [MME] (2007), os tipos mais utilizados são a solar térmica, para aquecimento de água, secagem ou aquecimento industrial, e a solar fotovoltaica, em sistemas isolados ou conectados à rede (Melo et al., 2018).

Visando à redução da emissão dos gases de efeito estufa e da exploração dos recursos naturais, a energia produzida a partir da biomassa também é uma fonte de alto potencial energético. Segundo o Balanço Energético Nacional [BEN] (2020), a biomassa consiste em matéria orgânica de origem animal ou vegetal, e pode ser originada de produtos ou subprodutos da biomassa energética florestal, resíduos de atividades agrícolas e da produção animal e dos rejeitos urbanos. O tratamento desses resíduos é feito por meio da digestão anaeróbia, dentro dos biodigestores, que reduzem a poluição e geram o biofertilizante e o biogás, o qual pode ser utilizado para geração de energia elétrica (Avaci et al., 2013).

Devido ao constante aumento da demanda por fontes renováveis de energia, que podem ser utilizadas conectadas à rede das concessionárias, na chamada geração distribuída ou em sistemas isolados, há a necessidade de um maior conhecimento técnico e econômico sobre os projetos nessa área. No Brasil, esse tipo de comercialização de energia ainda é muito recente e há a necessidade de aprofundar as pesquisas nesse setor, principalmente no que diz respeito ao custo e tempo de retorno dos investimentos.

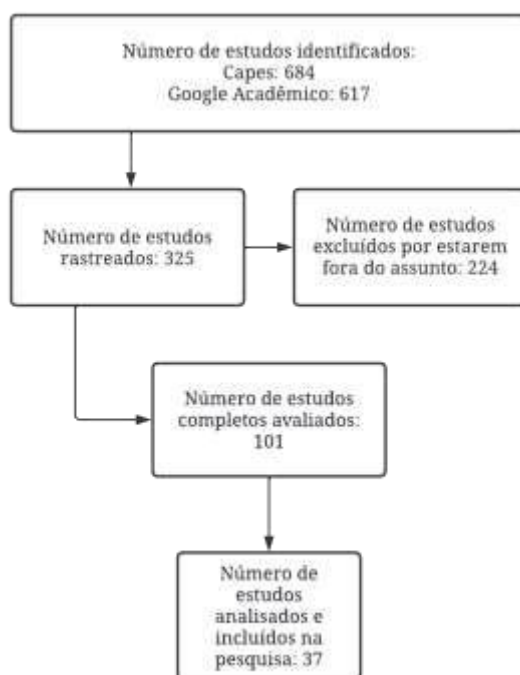
Portanto, analisando as seis alternativas, concluiu-se que a alternativa 4 pode inviabilizar o mercado da Geração Distribuída (GD) no Brasil, visto que os investimentos não serão tão atrativos tendo em vista o elevado tempo de retorno do investimento. A alternativa 5 inviabiliza totalmente o crescimento da GD no Brasil, já que os investimentos não retornarão lucro dentro da vida útil dos sistemas – alguns podem gerar um prejuízo maior que o investimento inicial.

2. Metodologia

A metodologia utilizada para este trabalho foi de revisão narrativa descritiva, em que as pesquisas são baseadas em materiais publicados sobre a literatura atual do assunto proposto, e podem abranger um número elevado de assuntos relacionados, não necessitam aprofundar o escopo ou fazer análise de dados coletados, e a seleção das informações pode ficar sujeita à interpretação dos autores (Grant & Booth, 2009).

As plataformas utilizadas para a pesquisa foram os Periódicos CAPES e Google Acadêmico, com buscas por palavras chave, como: energia solar, energia solar fotovoltaica, biogás, energias renováveis, geração distribuída, ANEEL, geração de eletricidade, REN 482, em inglês e português. A pesquisa foi realizada entre 2019 e 2021, por isso foram utilizados artigos publicados de 2010 até o ano de 2021, dessa forma a pesquisa foi baseada em publicações mais recentes sobre o assunto. É possível visualizar na Figura 1 a quantidade de estudos relevantes encontrados.

Figura 1. Fluxograma de seleção de estudos.



Fonte: Autores.

Também foram realizadas pesquisas em documentos de agências reguladoras e institutos de pesquisas do governo, notas técnicas de centros de pesquisas local, livros e sites de empresas relacionados ao tema, e dissertações publicadas pelo Programa Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, local onde a pesquisa foi realizada, garantindo assim a credibilidade do estudo. Na Tabela 1 há um resumo dos principais trabalhos utilizados para essa pesquisa.

Tabela 1. Resumo dos principais estudos avaliados, selecionados por meio de ferramenta de busca entre 2010 e 2021.

Autor	Título	Base de dados	Publicação
Alvarenga A. C., <i>et al</i> (2014)	Energia solar fotovoltaica: uma aplicação na irrigação da agricultura familiar	Capes	Sinergia
Avaci A. B., <i>et al</i> (2013)	Avaliação econômico-financeira da microgeração de energia elétrica proveniente de biogás da suinocultura	Capes	R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental
Azevedo R. M. (2016)	Impactos operacionais da complementariedade de fontes de geração solar fotovoltaica e a biogás em sistemas de distribuição.	Google Acadêmico	UFSM
Balfour J., <i>et al</i> (2016)	Introdução ao projeto de sistemas fotovoltaicos	Livro físico	LTC
Bondarik R., <i>et al</i> (2018)	Uma visão geral sobre o potencial de geração de energias renováveis no Brasil	Capes	Interciência
Calza, L. F., <i>et al</i> (2015)	Avaliação dos custos de implantação de biodigestores e da energia produzida pelo biogás	Google Acadêmico	Engenharia Agrícola
Centro Internacional de Energias Renováveis (2020)	Panorama do Biogás no Brasil em 2019	Google	CIBIOGAS
Garcez, C. A. G. (2017a)	What do we know about the study of distributed generation policies and regulations in the Americas? A systematic review of literature	Capes	Elsevier
Garcez, C. A. G. (2017b)	Distributed electricity generation in Brazil: An analysis of policy context, design and impact	Capes	Elsevier
Gonçalves, W. J. (2018)	Geração Distribuída: conhecimento das normativas regulatórias	Capes	Argamassa
Fachagentur Nachhaltende Rohstoffe (2010)	Guia prático do biogás: geração e utilização	Google	FNR
Karlsson, T., <i>et al</i> (2014)	Manual básico de biogás	Google Acadêmico	Univates
Moreno, M. A. P., <i>et al</i> (2019)	Biomass as Renewable Energy: Worldwide Research Trends	Capes	Sustainability
Raboni, M., <i>et al</i> (2014)	Production and use of biogas in Europe: a survey of current status and perspectives	Capes	Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science
Tolmasquim, M. T. (2016)	Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica	Google Acadêmico	EPE
Villalva, M. G. (2015)	Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações	Livro físico	Erica
Zanetti G. N. (2014)	A resolução normativa nº 482/2012 da ANEEL: possibilidades e entraves para a microgeração distribuída	Capes	Revista Brasileira de Energia Solar

Fonte: Autores.

Para o melhor entendimento, o artigo foi dividido em três itens principais com algumas subdivisões sobre energia solar e fotovoltaica, biogás, o potencial brasileiro para geração de energia a partir destas fontes, e sobre a legislação brasileira que impacta diretamente na viabilidade dos investimentos.

3. A Energia Solar

O sol é uma estrela que emite luz e é essencial para a vida no planeta, principalmente para os seres vivos, para as condições meteorológicas e para a economia. Pode-se afirmar que ele é responsável de forma direta ou indireta por todas as outras formas de energia disponíveis (Nascimento & Alves, 2016).

Na economia, a incidência dos raios solares é utilizada como fonte de energia térmica, como, por exemplo, para aquecimento e secagem nas agroindústrias, em residências como aquecedores de água e para a geração de eletricidade em usinas solares térmicas (Villalva, 2015). A irradiação solar também pode ser utilizada como forma de geração de energia. Para isso, é necessário fazer uso de painéis fotovoltaicos, os quais são feitos de um material semicondutor chamado silício, que, por sua vez, é composto de elétrons. A movimentação dos elétrons ocorre pela transferência de energia dos fótons, proveniente da luz solar, e essa movimentação faz surgir uma corrente elétrica (Universidade Federal do Paraná [UFPR], n.d.).

Ainda, de acordo com Davies, Frisso e Brandão (2018), o Brasil apresenta bons índices de irradiação solar para produção de energia. Para as regiões com menor irradiação, o valor fica em torno de 1642 kWh/m² ao ano, já na Alemanha – um dos países mais desenvolvidos da Europa nesse assunto – nas áreas de maior incidência solar esse valor fica em torno de 1300 kWh/m² ao ano. Portanto, fica claro o potencial de energia solar fotovoltaica no Brasil, um setor que já está sendo aquecido pelas regulamentações que favorecem a inserção da geração distribuída no mercado, mas que ainda depende de maior incentivo governamental para se consolidar.

3.1 A Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é a eletricidade produzida diretamente por meio da irradiação solar, incidente sobre um material semicondutor (Dassi et al., 2015). Um material semicondutor não possui as características de um condutor e nem de um material isolante, e suas propriedades podem ser alteradas pela adição de impurezas. No caso da célula fotovoltaica, ela é composta pela junção de duas camadas de material semicondutor, uma do tipo P e outra do tipo N (Alvarenga, Ferreira & Fortes, 2014).

A camada do tipo N possui mais elétrons do que a camada do tipo P, e quando há incidência da luz solar sobre a célula fotovoltaica, os elétrons se movimentam da camada N para a camada P, produzindo uma corrente elétrica (Machado & Miranda, 2014; Villalva, 2015).

O material semicondutor mais utilizado na indústria eletrônica e para a produção das células fotovoltaicas é o silício, o qual é extraído das pedras de quartzo. Com a aplicação das tecnologias adequadas, ele pode ser utilizado na produção dos painéis monocristalinos, policristalinos ou de silício amorfo (Villalva, 2015).

Segundo Villalva (2015), os painéis monocristalinos são feitos a partir do lingote de silício puro, que são fatiados e submetidos a processos químicos, e possuem as características mais ordenadas. De acordo com Tolmasquim (2014), a eficiência é maior que os demais painéis, em torno de 18%, porém o custo de produção é maior.

Os painéis policristalinos são feitos a partir do lingote de silício, formado por pequenos cristais, apresentando a estrutura mais heterogênea, o que resulta em menor eficiência, em torno de 15%, porém o custo de fabricação é menor e compensa a redução da eficiência (Villalva, 2015).

Os painéis de silício amorfo são produzidos por meio da deposição de finas camadas de silício e outros materiais sobre uma superfície, e para sua produção são utilizadas menores quantidades de material semicondutor. Todavia, apresentam algumas desvantagens, como a degradação mais acelerada, quando comparados com os cristalinos; e a baixa eficiência, em torno de 9% (Niedzialkoski, 2013).

Os painéis mais utilizados atualmente são os policristalinos, em razão da relação custo x eficiência. Em um sistema, os painéis são conectados em série ou em paralelo e funcionam como o gerador do sistema. Eles são conectados com um inversor de frequência e com a rede de energia local ou, no caso dos sistemas isolados, a um conjunto de baterias.

Atualmente, os custos de instalação de um sistema fotovoltaico ainda são altos se comparados a outras fontes de energia e a outros países onde a energia solar fotovoltaica já está consolidada, como na Alemanha. Todavia, deve-se levar em conta algumas vantagens da instalação desse sistema, tais como: a redução de impactos ambientais e de emissões de gases de efeito estufa, o baixo custo de manutenção, menos falhas de energia, e maior eficiência em altitudes elevadas, pois recebem maior radiação solar (Balfour, Shaw & Nash, 2016).

3.2 O Potencial da Fonte de Energia Solar no Brasil

O Brasil, considerado um país tropical ou subtropical, e parte do sertão nordestino como semiárido, está situado entre os trópicos de câncer e de capricórnio, e quase todo seu território está abaixo da linha do Equador. Além disso, para medir o potencial do recurso solar em uma localidade, deve-se levar em conta as condições meteorológicas, astronômicas e a concentração de gases na atmosfera (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais [INPE], 2017).

O clima no Brasil é muito variado, em virtude da extensão territorial, dos diferentes tipos de relevo e das influências das massas de ar. As diferenças sazonais no tempo e clima, a suspensão dos gases aerossóis na atmosfera, que são os gases emitidos principalmente pelas queimadas, poluição industrial, são os principais fatores que influenciam na irradiação solar.

As temperaturas médias anuais no Brasil ficam entre 18° e 29°, com os maiores valores registrados na região Nordeste, no mês de dezembro, acima de 33°C, e os menores no Sul, chegando aos 8°C nas regiões de serra.

O INPE (2017) traz um levantamento de mais de 17 anos de dados de satélites e estudos sobre a irradiação solar e o potencial no Brasil, e mostra que a irradiação direta normal no Brasil é alta para a aplicação da energia solar fotovoltaica em praticamente toda a extensão do território. Essa irradiação é medida de acordo com a média anual, a irradiação difusa e a fotossinteticamente ativa. Os dados destacam para o alto nível de irradiação solar no Brasil e a sua baixa variabilidade.

Os valores de radiação solar que incidem na superfície terrestre são obtidos por meio do modelo BRASIL-SR, que foi desenvolvido na Alemanha e posteriormente adaptado para o Brasil. O modelo utiliza dados meteorológicos e imagens de satélites, utilização do método de transferência radiativa de “dois-fluxos” e cálculo das componentes da irradiação solar incidente na superfície em Wh/m² (INPE, 2017). A Figura 2 traz os valores médios anuais de irradiação solar por regiões do Brasil:

Figura 2. Níveis de irradiação solar por regiões do Brasil.



Fonte: INPE (2017).

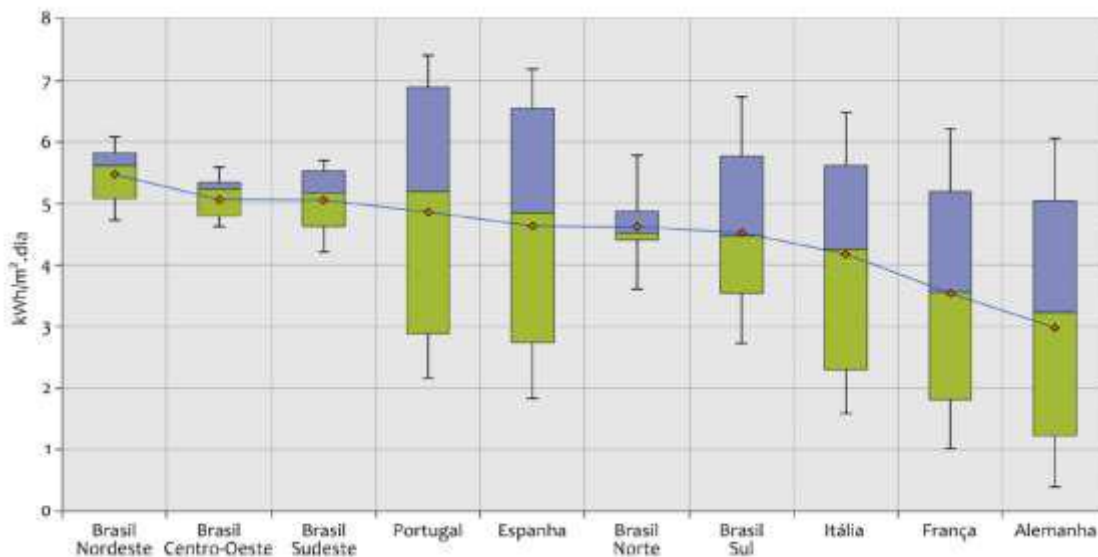
A região Nordeste apresenta os melhores resultados, com valor médio diário de irradiação global horizontal de 5,49 kWh/m² e a irradiação direta normal de 5,05 kWh/m². As regiões Sudeste e Centro Oeste apresentam valores próximos de irradiação global horizontal de 5,07 kWh/m² e a irradiação no plano inclinado ficou em 5,26 kWh/m² e 5,20 kWh/m² respectivamente. Já a região Sul apresenta valor médio diário de irradiação global horizontal de 4,53 kWh/m² e irradiação direta normal de 4,20 kWh/m². E a região Norte possui o valor de irradiação global horizontal médio de 4,64 kWh/m² e a irradiação direta normal de 3,26 kWh/m².

A região Norte e a região Sul apresentam valores menores pelas características climáticas da região. Percebe-se que essas regiões apresentam índices menores por possuírem maior variabilidade climática durante as estações do ano e maior índice pluviométrico, diminuindo a irradiação solar média ao longo do ano.

É possível fazer uma comparação dos níveis de irradiação solar das regiões do Brasil com países europeus, como Alemanha, Itália, França, Portugal, onde as tecnologias para obtenção de energia elétrica por meio da irradiação solar já estão bem consolidadas no mercado.

A Figura 3 traz um comparativo da variação da irradiação global horizontal média mensal entre as regiões do Brasil e alguns países europeus, em formato de *box-plot*.

Figura 3. Comparativo das médias mensais de irradiação solar global horizontal para as cinco regiões brasileiras e alguns países europeus.



Fonte: INPE (2017).

As caixas representam 50% dos valores; as linhas verticais, os valores máximos e mínimos; e os losangos, as médias. Com base na Figura 2 é possível perceber que o Brasil possui níveis elevados de irradiação solar e a variação mensal muito baixa, sendo este um fator muito importante para a utilização como fonte de energia.

Ao se comparar a região Nordeste com Portugal e Espanha, conclui-se que a variabilidade mensal é muito menor na primeira. A região Sul do Brasil, que apresenta maiores variações climáticas no decorrer das estações do ano, possui maior variabilidade na irradiação solar, sendo bastante similar às características da Itália, França e Alemanha, o que não é um ponto negativo, pois a Alemanha é um dos países com o maior número de instalações de sistemas fotovoltaicos para a geração de energia elétrica.

4. O Biogás

Devido ao constante crescimento da cadeia produtiva do setor agropecuário brasileiro, a preocupação sobre os impactos ambientais causados por essas atividades também aumentou, como, por exemplo, as emissões de gás metano provocadas pelos animais e a poluição dos solos e das águas pelo depósito indevido dos resíduos (Kerkhoff et al., 2015).

Dessa forma, medidas devem ser tomadas e tecnologias empregadas para minimizar os efeitos dessa crescente demanda. Assim, o emprego de biodigestores se torna uma importante ferramenta, que por meio da digestão anaeróbia dos rejeitos, a qual é feita pelas bactérias na ausência de gás carbônico, transforma o rejeito em biogás e biofertilizante (Calza et al., 2015).

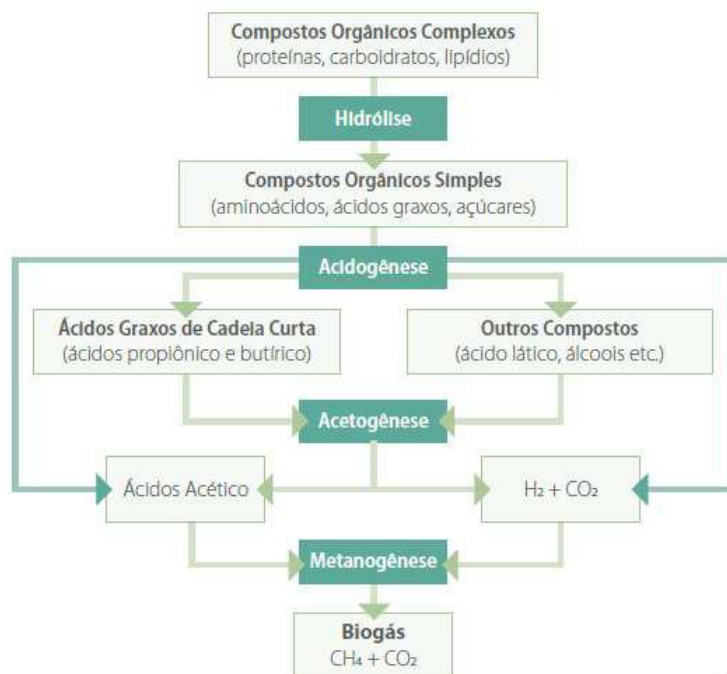
O biometano produzido a partir do tratamento de rejeitos agropecuários pode ser utilizado como fonte de energia, que pode ser aplicada dentro das propriedades rurais como fonte de energia para ligação de máquinas; como biocombustível em automóveis; e pode ser convertido em energia elétrica e utilizado na geração distribuída, reduzindo custos com energia elétrica (Moreno et al., 2019; Parque Tecnológico de Itaipu [PTI], n.d.).

4.1 A Origem do Biogás

O biogás é originado a partir de um processo biológico que ocorre naturalmente na natureza, por meio da decomposição de resíduos orgânicos em um meio anaeróbico, ou seja, na ausência de oxigênio. Esse processo ocorre no rúmen de alguns animais, em pântanos, esterqueiras, fundo de lagos, entre outros (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe [FNR], 2010).

O resultado da decomposição da matéria orgânica consiste em uma mistura de gases composta por metano (50% a 75%) e dióxido de carbono (25% a 50%). Também pode conter pequenas quantidades de outros gases, como hidrogênio, sulfeto de hidrogênio, amônia, e alguns metais pesados, que variam muito em consequência do tipo de substrato empregado no biodigestor, da técnica de fermentação e da característica de construção da usina (FNR, 2010). Na Figura 4, é possível visualizar cada etapa do processo da digestão anaeróbia até a formação do biogás:

Figura 4. Etapas da digestão anaeróbia em um biodigestor.



Fonte: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial [SENAI] (2016).

No biodigestor a matéria orgânica utilizada passa por alguns processos até chegar no produto final, o biogás. O primeiro estágio corresponde a hidrólise, onde os compostos orgânicos complexos, como proteínas, carboidratos, lipídios, são transformados por meio de bactérias que provocam reações bioquímicas, em compostos orgânicos simples, que são os aminoácidos, ácidos graxos, açúcares.

Na acidogênese, que corresponde ao segundo estágio, as bactérias fermentativas acidogênicas transformam os compostos simples em ácidos graxos de cadeia curta em outros compostos, como ácido láctico e álcoois, que dependem da concentração de hidrogênio intermediário (Karlsson et al., 2014).

No terceiro estágio, ocorre a acetogênese, em que as bactérias acetogênicas convertem os compostos formados em ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono, que são os precursores para a formação futura do biogás. Nesse estágio, é de suma importância que as bactérias acetogênicas estejam associadas as arqueas metanogênicas, para que a concentração de hidrogênio não fique elevada e iniba a metanogênese (FNR, 2010; SENAI, 2016).

No último estágio, que corresponde a metanogênese, as bactérias, chamadas arqueas metanogênicas, convertem os

produtos formados anteriormente em metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), vapor d'água e outros gases. Desses componentes o mais importante é o metano, pois representa a parte utilizada como combustível do biogás (FNR, 2010; SENAI, 2016).

O rendimento do metano é influenciado principalmente pelas características do substrato empregado, pelos teores de gordura, proteínas e carboidratos, bem como pela temperatura de fermentação, o nível de carga do reator, e por outras condições do meio, como valor do pH; disponibilidade de nutrientes; e concentração de substâncias inibidoras, como ácidos graxos voláteis, oxigênio, nitrogênio amoniacal, metais pesados e sulfeto de hidrogênio (H_2S) (FNR, 2010). A concentração de sulfeto de hidrogênio é de extrema importância na qualidade do biogás, pois podem inibir o processo de digestão e acarretam corrosões nos equipamentos das usinas. Na Tabela 2, pode-se ter uma visão geral da composição do biogás:

Tabela 2. Composição do biogás.

Componente	Concentração
Metano (CH_4)	50% a 75% em vol.
Dióxido de carbono (CO_2)	25% a 45% em vol.
Água (H_2O)	2% a 7% em vol. (20-40C)
Sulfeto de hidrogênio (H_2S)	20 - 20.000 ppm
Nitrogênio (N_2)	< 2% em vol.
Oxigênio (O_2)	< 2% em vol.
Hidrogênio (H_2)	<1% em vol.

Fonte: Adaptado de FNR (2010).

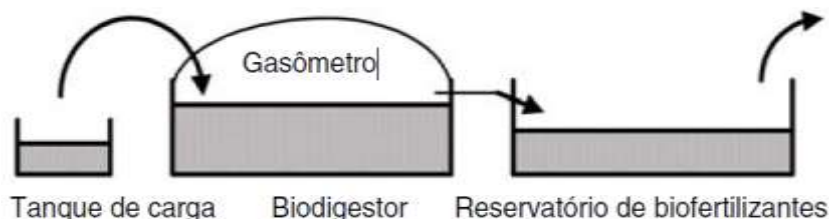
4.2 Técnicas para a Implantação de Biodigestores e Conversão em Energia Elétrica

Para a construção de usinas de biogás, existem várias combinações possíveis, entre tecnologias e equipamentos, que devem ser escolhidas de acordo com a localidade, o tipo de substrato que será utilizado e a frequência de alimentação do biodigestor.

As técnicas mais utilizadas para a alimentação são de fluxo descontínuo e contínuo. No descontínuo, ou também conhecido por batelada, o material adicionado no biodigestor é transformado de uma só vez, não havendo retirada nem adição de material até o fim do processo, o que faz com que a produção de biogás diminua com o tempo. Somente quando o material foi digerido é que se retira do reator para inserção de uma nova quantidade de substrato (Karlsson et al., 2014). Neste tipo de sistema, é interessante o enchimento de mais biodigestores em intervalos entre si, também chamado de bateria de reservatórios, para que a produção do biogás seja constante (FNR, 2010).

Já a técnica de fluxo contínuo é caracterizada pela alimentação contínua do biodigestor, a matéria orgânica pode ser inserida várias vezes ao dia (FNR, 2010). Portanto, o biodigestor sempre estará cheio, com produção constante de biogás, o que o torna mais interessante, principalmente para a produção de energia a partir do gás gerado. A Figura 5 traz um esquema genérico da estrutura desse sistema:

Figura 5. Estrutura do sistema pela técnica do fluxo contínuo.



Fonte: FNR (2010).

Após a transformação da matéria orgânica em biogás, o gás é convertido em energia elétrica. Nesse processo, é empregado um motor gerador, que transforma a energia química presente no biogás em energia mecânica por meio da combustão que ocorre no motor, que então é convertida em energia elétrica com o auxílio do gerador. As três principais tecnologias disponíveis no mercado para essa conversão são as turbinas a gás, os motores de combustão interna e as microturbinas.

4.3 O Potencial do Biogás no Brasil

Sabe-se que o Brasil é um país com a economia baseada na agropecuária, que consiste principalmente na produção de sementes, como o milho e a soja, e na pecuária, com forte produção de suínos, bovinos e aves. Toda essa produção gera resíduos que causam inúmeros impactos ambientais, como a poluição de rios e dos solos, emissão de gases do efeito estufa, causados pelo incorreto depósito ou armazenamento dos resíduos.

Hoje em dia, já é possível transformar o resíduo, que também é chamado de um passivo ambiental, em um ativo, com a produção do biogás, convertendo em energia térmica ou elétrica, que pode se tornar fonte de renda para muitas famílias e empresas. Além disso, o digestato gerado após o tratamento da matéria orgânica pode ser utilizado para a fertilização do solo, já que é um excelente biofertilizante.

De acordo com o SENAI (2016), o Brasil possui cerca de 1 bilhão de aves, mais de 211 milhões de bovinos e 38 milhões de suínos, que geram uma quantidade significativa de dejetos, em torno de 1,1 milhão de toneladas diariamente, considerando apenas os animais que são criados em confinamento parcial ou total, o que facilita o recolhimento dos dejetos.

A produção de bovinos efetiva no Brasil, em 2016, foi de 218,23 milhões de cabeças, com a liderança da região Centro-Oeste, com 34,4% do total nacional, em que o estado do Mato Grosso possui o maior plantel, com mais de 25 a 31 milhões de cabeças de gado. Na região Sul do Brasil, a maior produção está no estado do Rio Grande do Sul, com mais de 13 a 19 milhões de cabeças.

Ainda com foco na pecuária brasileira, e segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE] (2016), o país tem alta produção de suínos, com destaque para a região Sul do Brasil, onde os estados do Paraná e Santa Catarina lideram a produção.

Ainda segundo dados do IBGE (2016), a avicultura também é bastante expressiva na região Sul, onde o Paraná lidera com mais de 200 até 350 milhões de cabeças de frango, que mantém o Brasil como o maior exportador mundial de frango, com destino principalmente a Arábia Saudita, China e Japão.

Também é significativa a produção de laticínios. A região Sul do Brasil respondeu, em 2016, por 37% do total nacional, mantendo a liderança, com foco na região Oeste do Paraná, correspondendo a mais de 100 a 255 milhões de litros de leite ao ano.

Na região Sul do Brasil, segundo o Centro Internacional de Energias Renováveis [CIBIOGÁS] (2020), a maioria das plantas de biogás utiliza resíduos da suinocultura para a geração de energia, o que corresponde a 46%. Já a utilização dos resíduos de feccularia corresponde a 27%; a codigestão – que utiliza mais de um tipo de substrato – a 13%; os resíduos da bovinocultura a 10%; e de abatedouros a 1% (Martinez et al., 2019). Mais especificamente no Paraná, a utilização de resíduos da suinocultura nas usinas de biogás corresponde a 27% (CIBIOGÁS, 2020).

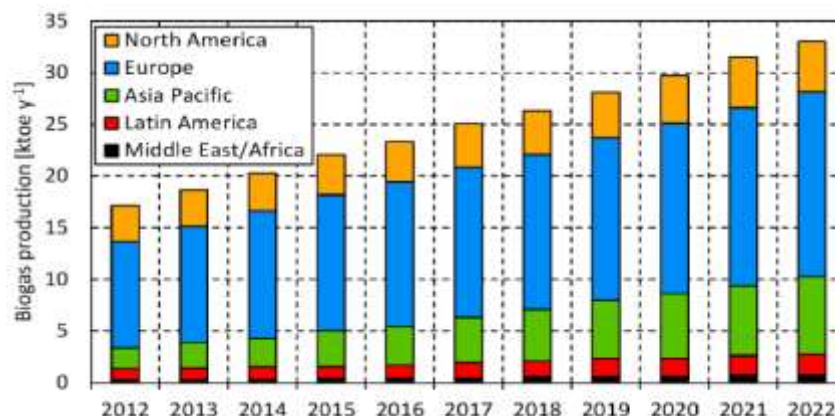
Segundo dados do CIBIOGÁS (2020), o Brasil conta com 521 plantas de biogás em operação, sendo que 408 são de pequeno porte, que utilizam menos de 500.000 Nm³ de rejeitos ao ano. Dessas, 416 plantas utilizam resíduos da agropecuária, 62 usinas utilizam resíduos industriais e 43 plantas produzem biogás a partir de resíduos sólidos urbanos e de estações de tratamento de esgoto.

Considerando todo esse potencial disponível no Brasil, é possível, a partir de políticas públicas favoráveis, incentivos e boas taxas de financiamento, aumentar o número de usinas de biogás e tornar esse passivo ambiental em fonte de renda e modelo de utilização dos recursos para a produção sustentável de energia.

Raboni e Urbini (2014) apresentaram o número de plantas de biogás para alguns países da União Européia, destacando que esses países possuem papel de liderança mundial na produção de biogás, com ênfase para a Alemanha, que possui o maior número de plantas instaladas e a maior produção de biogás.

A Figura 6 mostra a produção mundial de biogás desde 2012 e uma tendência até 2022:

Figura 6. Produção mundial de biogás por continente.

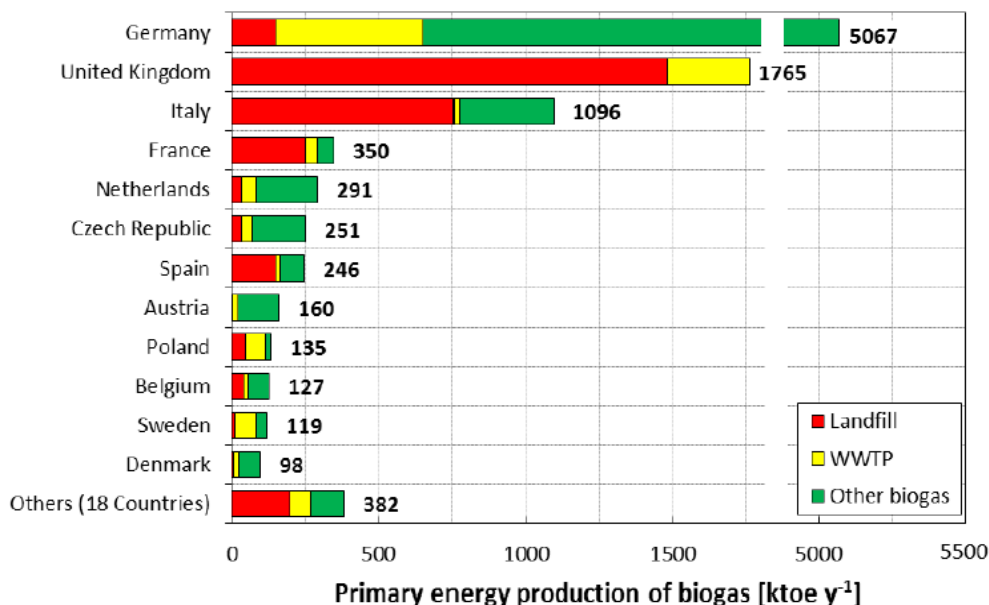


Fonte: Raboni e Urbini (2014).

É possível perceber que a América Latina, onde se enquadra o Brasil, possui as menores contribuições, já a União Européia é dominante na geração de biogás. Isso se deve, principalmente, às políticas de incentivos para utilização das fontes alternativas de energia, com forte estímulo para a geração de biogás de aterros sanitários e resíduos agrícolas, que promoveram a reciclagem e recuperação desses resíduos, tornando-os fonte de renda e restringindo a deposição de rejeitos de forma descontrolada no meio ambiente.

A Figura 7, na sequência, mostra a quantidade de plantas de geração de biogás por países da União Européia e por fonte utilizada. Em vermelho são as plantas que produzem biogás com resíduos de aterros sanitários; em amarelo, biogás proveniente de estações de tratamento de água residuais municipais e industriais; e, em verde, plantas de digestão anaeróbia que são alimentadas por diferentes tipos de matéria orgânica, como dejetos animais, resíduos agrícolas e florestais, resíduos de alimentos, entre outros.

Figura 7. Produção de energia a partir do biogás por países da União Europeia e por fonte utilizada.



Fonte: Raboni e Urbini (2014).

5. A Geração Distribuída

A geração distribuída foi um grande avanço na história da energia elétrica no Brasil, pois permitiu, a partir de 2012, que qualquer consumidor final tivesse a oportunidade de ingressar no mercado da geração distribuída, sendo na microgeração ou minigeração (Zanetti et al., 2014). A geração distribuída se caracteriza pela conexão de um sistema de geração de energia por meio de uma fonte de energia renovável, sendo a solar fotovoltaica, a eólica e a biomassa as mais utilizadas.

Com o crescimento desses sistemas no país, a ANEEL (2012) determinou as diretrizes e normas para a conexão de geração distribuída pelas concessionárias e usuários de todo o país, colocando em vigor a resolução normativa nº 482/2012, que estabelece as normas para conexão ao sistema, por meio da micro e da minigeração distribuída (Gonçalves, 2018).

Em 2015, em virtude do aumento das conexões dos sistemas na rede, a ANEEL (2015) revisou a REN Nº 482/2012 pela resolução normativa nº 687/2015, que alterou e incluiu alguns pontos, como o prazo de validade dos créditos, que passou de 36 para 60 meses, e o prazo de aprovação dos projetos pelas concessionárias, de 82 para 34 dias (Andrade & Mendes, 2016; ANEEL, 2015).

Segundo Azevedo (2016) a microgeração se caracteriza por sistemas com potência menor ou igual a 75 kW, e a minigeração por potência instalada de até 3 MW para fonte hídrica e menor ou igual 5 MW para outras fontes de cogeração qualificada, conectadas a rede de energia elétrica da concessionária por meio das unidades consumidoras.

Ainda pela REN nº 482/2012, a ANEEL (2015) permitiu o sistema de compensação de energia, onde o excedente de energia produzido em um mês pode ser utilizado em outra unidade consumidora de mesma titularidade, ou pode ficar em um saldo para utilizar na mesma fatura em meses de produção menor, isso dentro de um período de 60 meses. De acordo com os dados do BEN (2020), a geração distribuída atingiu 2.226 GWh no ano de 2019, com destaque para a energia fotovoltaica, que gerou 1.659 GWh e 1.992 MW de potência instalada.

Em uma escala mundial, os países de maior destaque são os países da União Europeia, o Japão, os Estados Unidos e, na América Latina, o Chile, que se destacam por maior número de conexões de geração distribuída (Azevedo, 2016). Nessa escala, o Brasil representa menos de 5% das conexões.

Com a crescente demanda pelas instalações de sistemas de micro e minigeração distribuída, a ANEEL abriu um processo de revisão da REN 482, que foi encerrado em 2021. A principal modificação na REN 482 seria no esquema de compensação dos créditos gerados. Vale mencionar, para o melhor entendimento da fatura de energia, que ela possui várias componentes divididas no grupo da Tarifa de Energia (TE) e no grupo da Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), conforme a Figura 8:

Figura 8. Componentes da fatura de energia.

TARIFA DE ENERGIA					
TE		TUSD			
ENERGIA	ENCARGOS	FIO A (trans.)	FIO B (distribuição)	ENCARGOS	PERDAS
38%	12%	6%	28%	8%	8%

Fonte: Ecori Energia Solar (2018).

Alguns resultados mostram que se o sistema de compensação não for alterado, os consumidores que não optarem pela geração própria poderão ter custos elevados de energia elétrica. A alternativa 0 não alteraria o sistema de compensação e poderia ser mantida até chegar a 3,365 GW de potência instalada. Após isso, o sistema migraria para a alternativa 1, deixando de compensar da fatura a parcela de distribuição do fio B, que corresponde a, aproximadamente, 28% da conta de energia. Dessa forma, acredita-se que até 2035 seria atingida a marca de 17 GW de potência instalada de geração distribuída.

Na alternativa 2, a parcela da fatura que deixaria de ser compensada corresponde ao transporte fio B e transporte fio A, 28% e 6%, respectivamente, resultando em 34% da fatura de energia sem compensação. Na alternativa 3, deixaria de ser compensado 28% do transporte fio B, 6% do transporte fio A e 8% correspondente aos encargos, um total de 42%. Na alternativa 4, além dos itens da alternativa 3, também deixaria de compensar a parcela de 8% referente às perdas, totalizando 50%.

O cenário menos favorável para o consumidor que aderir ao sistema de compensação de energia seria a alternativa 5, em que deixariam de ser compensados os itens da alternativa 4 mais os encargos da TE, correspondente a 12%, totalizando 62%, ou seja, apenas 38% da conta de energia seria compensada pelos créditos gerados.

Ainda, segundo a ANEEL (2019), para a compensação remota as mudanças ocorreriam de forma gradativa, a alternativa 0 seria mantida durante mais alguns anos, para a consolidação do mercado, e após isso migraria para a alternativa 1, até atingir 1,25 GW de potência instalada (O setor elétrico, 2019). O sistema migraria até atingir a alternativa 3, que, reduziria em 98% dos custos para os usuários.

Haveria, também, um período de transição para os consumidores já conectados ao sistema de geração distribuída e para aqueles que aderissem durante o período de publicação e acionamento das alternativas propostas, até que todos estivessem dentro das mesmas regras. Esse período de transição seria de 10 anos a partir da data de publicação da nova regulamentação.

Vale ressaltar que assim como mostra a Figura 9, na sequência, até o final de janeiro de 2021, a geração distribuída já atingiu 4,66 GW instalados, com mais de 390 mil unidades geradoras e mais de 487 mil unidades que recebem créditos excedentes (ANEEL, 2021).

Figura 9. Quantidade de conexões de geração distribuída no Brasil por ano.



Fonte: ANEEL (2021).

O maior crescimento nas conexões se deu nos últimos anos, principalmente a partir de 2018, quando os custos de aquisição se tornaram mais competitivos no mercado interno.

Ainda, em uma sessão no dia 18 de novembro de 2020, o Tribunal de Contas da União [TCU] (2020) emitiu um relatório sobre possível violação pela ANEEL, em que beneficia os consumidores de energia elétrica que possuem geração de energia instalada em unidade consumidora de sua titularidade, por meio das regulações da geração distribuída. O documento cita que, em 2018, o subsídio para a geração distribuída foi cerca de R\$ 205 milhões; em 2019, aproximadamente R\$ 315 milhões; e que, até 2035, pode chegar a R\$ 55 bilhões.

Segundo o TCU (2020), o sistema de compensação de energia elétrica (SCEE) descumpria a Constituição Federal, na medida em que institui a diferenciação tarifária para os consumidores de energia elétrica que possuíam sistema de geração distribuída instalada na unidade consumidora. Portanto, determinou que a ANEEL adotasse providências para retirar a diferenciação tarifária entre os consumidores, promovida em função ou não da adesão ao sistema de compensação de energia elétrica. O documento trazia os efeitos colaterais da GD e a forma de regulamentação adotada no Brasil, explicando esses efeitos negativos que recaem para as distribuidoras e demais consumidores.

Uma das justificativas é que os prossumidores – consumidores que geram sua própria energia – não remuneram adequadamente a rede de distribuição, pois, quando recebem a devolução dos créditos que foram gerados em meses anteriores, não é feita a cobrança dos valores referentes ao uso da rede e encargos incidentes sobre a totalidade do consumo (TCU, 2020).

Outra justificativa é que o sistema de compensação institui subsídio cruzado, fazendo com que os usuários que têm maior poder aquisitivo para instalar um sistema de geração de energia sejam beneficiados, visto que são subsidiados pelos demais consumidores em relação aos encargos diferenciados cobrados na fatura. Há também o desequilíbrio tarifário provocado pela GD, pois a geração ocorre durante o dia, horário em que a energia é mais barata, e os créditos são utilizados em outros períodos, como no horário de ponta, onde as tarifas são mais caras, e para baixa tensão são praticados os mesmos valores tarifários em qualquer horário (TCU, 2020).

Em terceiro lugar, a medida em que a adesão ao sistema de compensação é maior, a tarifa é elevada para os demais consumidores, o que incentiva mais usuários a entrar no modelo praticado, como mostra a Figura 10:

Figura 10. Círculo vicioso da geração distribuída no Brasil.



Fonte: TCU (2020).

Em quarto lugar, a geração distribuída advém de fontes intermitentes, como solar, eólica e biogás, que exigem melhorias nas redes de distribuição das concessionárias, pois a infraestrutura é antiga e foi construída para operar com fluxo unidirecional de potência, vindo das usinas e subestações até os consumidores, e não no sentido inverso – custos que serão divididos e pagos por todos os usuários da rede (TCU, 2020).

Por último, o TCU (2020) justificou que a GD não estimula investimentos em pesquisas e desenvolvimento de novas tecnologias viáveis e eficientes para o armazenamento de energia, como baterias mais baratas, pois os prossumidores já utilizam a rede de distribuição da concessionária como uma bateria virtual, armazenando energia sem custos adicionais.

Relacionado com as justificativas apresentadas, a ANEEL abriu a Consulta Pública 25/2019, em 17 de outubro de 2019, a fim de obter subsídios e informações referentes às regras aplicáveis à micro e minigeração distribuída, para elaborar a alteração da REN 482/2012 e à seção 3.7 do Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST). Por meio desse documento, o TCU (2020) exigiu que a ANEEL se posicionasse e em até sessenta dias respondesse às questões e retirasse o subsídio diferenciado das faturas dos prossumidores, porém o cenário mudou, devido à aprovação do projeto de Lei N°2 de 2019, como será explicado no item 5.1.

Garcez (2017a, 2017b) concluiu que a geração distribuída ainda é bastante fraca no Brasil em termos de número de projetos e capacidade instalada, por falta de viabilidade e de incentivos de financiamento. Acredita-se que alguns pontos podem comprometer a viabilidade de alguns empreendimentos, principalmente quando relacionados aos custos do investimento e ao tempo de retorno.

5.1 Anteprojeto de Lei N°2 de 2019

Esse anteprojeto de Lei foi criado para regular a geração, a transmissão, a distribuição, a comercialização, a atividade normativa e demais assuntos relacionados à energia elétrica no Brasil, trazendo pontos importantes no que se refere às alterações normativas para a geração distribuída (Câmara dos Deputados, 2019). A Seção V, a partir do artigo 187°, traz as definições relacionadas à geração distribuída, sendo de grande relevância as definições a seguir:

- Tarifa de energia (TE): valor unitário determinado pela ANEEL, em R\$/MWh, que efetua o faturamento mensal referente ao consumo de energia;
- Tarifa de uso do sistema de distribuição – TUSD Fio B: refere-se ao faturamento mensal dos usuários do sistema de distribuição de energia elétrica da concessionária local pelo uso do sistema, composta por custos regulatórios pelo uso de ativos da distribuidora, representada em R\$/MWh ou R\$/kW;
- Tarifa de uso do sistema de distribuição de geração distribuída – TUSD Fio Bg: componente tarifária

referente às centrais geradoras, incluindo as de geração distribuída, em R\$/MWh ou R\$/kW, efetuando o pagamento às centrais geradoras pelo uso do sistema, composta por custos regulatórios pelo uso de ativos da distribuidora.

No artigo 198º (Câmara dos Deputados, 2019), observa-se que no faturamento mensal das unidades consumidoras participantes do SCEE, a cada posto tarifário, com exceção da componente TUSD Fio B, todas as demais componentes deverão incidir sobre a diferença positiva entre a energia ativa consumida e a injetada.

Do artigo 204º até o 206º (Câmara dos Deputados, 2019), o anteprojeto de lei traz sugestões para alteração na forma de compensação dos créditos gerados pelas unidades consumidoras participantes do SCEE e declara que a TUSD Fio B dessas unidades será paga por cotas específicas da Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), sendo o benefício integral no ano de 2022 e parcial até 31 de dezembro de 2031.

No artigo 206º, reforça que para as unidades consumidoras que fossem cadastradas no SCEE até 31 de dezembro de 2020 as disposições do artigo 198º não se aplicam, continuando a dedução da energia injetada de todas as componentes tarifárias, prevalecendo até 31 de dezembro de 2046 (Câmara dos Deputados, 2019).

Caso uma unidade consumidora ingresse no SCEE por meio de participação em geração compartilhada formada exclusivamente por consumidores residenciais ou integrante de empreendimento de múltiplas unidades, chamado de condomínio, a partir de 1 de janeiro de 2021, a TUSD Fio B deverá ser paga da seguinte forma:

- Até 31 de dezembro de 2023, 10% pela unidade consumidora e 90% pela CDE;
- Entre 1 de janeiro de 2024 e 31 de dezembro de 2025, 30% pela unidade consumidora e 70% pela CDE;
- Entre 1 de janeiro de 2026 e 31 de dezembro de 2027, 50% pela unidade consumidora e 50% pela CDE;
- De 1 de janeiro de 2028 até 31 de dezembro de 2029, 70% pela unidade consumidora e 30% pago pela CDE;
- De 1 de janeiro de 2030 até 31 de dezembro de 2031, 90% pela unidade consumidora e 10% pela CDE;
- A partir de 1 de janeiro de 2032, 100% pela unidade consumidora.

Segundo conta no anteprojeto de Lei nº 2 (Câmara dos Deputados, 2019), no caso de a unidade consumidora ser participante do SCEE por meio de geração compartilhada, a partir de 1 de janeiro de 2021, a TUSD Fio B será paga como proposto a seguir:

- Até 31 de dezembro de 2023, 50% pela unidade consumidora e 50% por meio da CDE;
- De 1 de janeiro de 2024 até 31 de dezembro de 2025, 70% pela unidade consumidora e 30% pela CDE;
- De 1 de janeiro de 2026 até 31 de dezembro de 2027, 90% pela unidade consumidora e 10% pela CDE;
- Após 1 de janeiro de 2028, 100% pela unidade consumidora.

E, por fim, no caso de a unidade consumidora entrar no SCEE, por meio de autoconsumo remoto, com micro ou minigeração distribuída, a partir de 1 de janeiro de 2021, a unidade consumidora passará a pagar 100% da TUSD Fio B (Câmara dos Deputados, 2019).

6. Conclusão

A utilização de recursos naturais e rejeitos que virariam um passivo ambiental trazem inúmeros benefícios à sociedade. Assim como outras fontes utilizadas para a geração de energia, os investimentos que serão destinados à construção desses sistemas devem ser estudados e analisados amplamente antes de sua concretização.

A energia solar fotovoltaica está em expansão no Brasil, principalmente devido aos custos para aquisição de um sistema estarem mais atrativos, gerando inúmeros empregos e permitindo que os usuários do sistema de distribuição gerem sua

própria energia. Já a utilização de resíduos da agropecuária é conhecida há muito tempo, porém ainda não tão difundida, principalmente pela carência de incentivos governamentais e ambientais.

Sabe-se que as alterações normativas da ANEEL causarão grande impacto no mercado de energias renováveis no Brasil no que diz respeito à geração distribuída. O mercado da energia solar fotovoltaica já está mais consolidado, com preços competitivos de materiais e serviços – uma expansão que ocorreu nos últimos quatro anos, o que significa que ainda há muito mercado para crescimento.

O biogás, por sua vez, ainda não é uma fonte de energia tão competitiva e consolidada, pois sofre com custos mais altos para a implantação e carência de incentivos ambientais, de cooperativas e governamentais. Também falta de conhecimento de produtores na excelente fonte que possuem e que muitas vezes é desperdiçada e causa grandes impactos ambientais.

Assim, é de suma importância a análise de todos os fatores e de todos os setores da economia que serão impactados pela atualização das normas acerca da geração distribuída, pois foi possível perceber o quanto as alterações poderão inviabilizar o mercado da geração distribuída no Brasil.

A sugestão para trabalhos futuros é realizar análises para cada uma das alternativas da ANEEL e do anteprojeto de Lei N°2, e verificar se alguma das alternativas torna os empreendimentos inviáveis. Além disso, comparar sistemas de mesma potência instalada, porém utilizando fontes de energia diferentes (fotovoltaica e biogás), e mostrar qual apresenta a melhor viabilidade de investimento. Isso pode ser feito para plantas já em operação, e principalmente para aquelas que ainda estão em fase de estudo e implantação, evitando erros e baixos lucros com investimentos.

Referências

- Alvarenga, A. C., Ferreira, V. H. & Fortes, M. Z. (2014). Energia solar fotovoltaica: uma aplicação na irrigação da agricultura familiar. *Sinergia*. São Paulo, 15(4), 311-318.
- Agência Nacional de Energia Elétrica. (2019). Banco de informações de geração. Fontes de energia. <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/Combustivel.cfm>. VERIFICAR LINK NÃO DISPONIVEL
- Agência Nacional de Energia Elétrica. (2012). Resolução Normativa n° 482 de 17 de abril de 2012. <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>.
- Agência Nacional de Energia Elétrica. (2015). Resolução Normativa n° 687 de 24 de novembro de 2015. <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>.
- Agência Nacional de Energia Elétrica. (2021). Geração distribuída. Planilha de dados SISGD. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJoiJoiZjM4NjM0OWYtN2IwZS00YjViLTllMjItN2E5MzBkN2ZlMzVkIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYtctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>.
- Andrade, L. M. L. de Jr. & Mendes, L. F. R. (2016). Microgeração fotovoltaica conectada à rede elétrica: considerações acerca de sua difusão e implantação no Brasil. *VÉRTICES*. 18(2), 31-51.
- Avaci, A. B., Souza, S. N. M. de, Chaves, L. I., Nogueira, C. E. C., Niedzialkoski, R. K. & Secco, D. (2013). Avaliação econômico-financeira da microgeração de energia elétrica proveniente de biogás da suinocultura. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*. 17(4) 456-462.
- Azevedo, R. M. de (2016). *Impactos operacionais da complementariedade de fontes de geração solar fotovoltaica e a biogás em sistemas de distribuição*. Dissertação de mestrado, Centro de Tecnologia, Universidade de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil.
- Balfour, J., Shaw, M. & Nash, N. B. (2016). *Introdução ao projeto de sistemas fotovoltaicos*. (1a ed., Q. Faria, Trad.). Rio de Janeiro: LTC.
- Balanco Energético Nacional. (2020). Balanco Energético Nacional: Ano base 2019. Rio de Janeiro: EPE.
- Bondarik, R., Pilatti, L. A. & Horst, D. J. (2018). Uma visão geral sobre o potencial de geração de energias renováveis no Brasil. *Interciência*. 43(10), 680-688.
- Câmara dos Deputados. (2019). Gabinete do Deputado Lafayette de Andrada. Anteprojeto de Lei N° 2 de 2019: Brasília.
- Calza, L. F., Lima, C. B., Nogueira, C. E. C., Siqueira, J. A. C., & Santos, R. F. (2015). Avaliação dos custos de implantação de biodigestores e da energia produzida pelo biogás. *Engenharia Agrícola*. 35(6), 990-997.
- Centro Internacional de Energias Renováveis. (2020). *Panorama do Biogás no Brasil em 2019* (Nota técnica/2020), Foz do Iguaçu, PR.

- Dassi, J. A., Zanin, A., Bagatini, F. M., Tibola, A., Barichello, R. & Moura, G. D. de (2015, novembro). *Análise da viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica em uma Instituição de Ensino Superior do Sul do Brasil*. Trabalho apresentado no XXII Congresso Brasileiro de Custos, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.
- Davies, F. S., Frisso, G. L. & Brandão, M. V. (2018, abril). *A utilização do silício nacional para a fabricação de placas solares: uma reflexão das dificuldades tecnológica e financeira*. Trabalho apresentado no VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado, RS, Brasil.
- Ecori Energia Solar. (2018). Tudo o que você precisa saber sobre a revisão da REN 482. <http://www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-a-revisao-da-ren-482->.
- Garcez, C. A. G. (2017a). What do we know about the study of distributed generation policies and regulations in the Americas? A systematic review of literature. Elsevier. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 75, 1404-1416.
- Garcez, C. G. (2017b). Distributed electricity generation in Brazil: An analysis of policy context, design and impact. Elsevier. *Utilities Policy*. 49, 104-115.
- Gonçalves, W. J. (2018). Geração Distribuída: conhecimento das normativas regulatórias. *R. Argamassa*. 1(001), 34-66.
- Grant, M. J. & Booth, A. A. (2009). Typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Info Libr J*. 26(2), 91-108.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2016). *Produção da pecuária municipal: 2016*. (Pesquisa/2016), Rio de Janeiro, RJ.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2021). Índice nacional de preços ao consumidor amplo. Série histórica. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9256-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor-amplo.html?=&t=series-historicas>.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (2017). *Atlas brasileiro de energia solar*. (2. ed.). São José dos Campos: INPE. http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. (2010). *Guia prático do biogás: geração e utilização*. (5 ed., M. de. M. Zattar, Trad.). Alemanha: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe.
- Karlsson, T., Konrad, O., Lumi, M., Schmeier, N. P., Marder, M., Casaril, C. E., Koch, F. F. & Pedroso, A. G. (2014). *Manual básico de biogás* (1. ed.). Lajeado: Univates.
- Kerkhoff, S., Mito, J. Y. de L., Nascimento, K. R., Camilo, N. C., Mariani, L. & Silva, J. L. G. (2015, novembro). *Potencial teórico de produção de biogás e energia elétrica a partir da biomassa residual da suinocultura da região oeste do Paraná*. Trabalho apresentado no 10º Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural, São Paulo, SP, Brasil.
- Machado, C. T. & Miranda, F. S. (2014). Energia solar fotovoltaica: uma breve revisão. *Revista Virtual de Química*. 7(1), 126-143.
- Martinez, D. G., Bühring, G. M. B. & Muller, R. (2019). *Panorama de tecnologias aplicadas no agronegócio de biogás e biometano* (Ficha técnica/2019), Foz do Iguaçu, PR.
- Melo, L. S. de, Medeiros, M. V. B., Brito, N. S. D., Simões, M. C. S., Souza, L. L. de & Diniz, D. S. (2018, abril). *Impactos sociais da geração distribuída fotovoltaica no programa minha casa minha vida em Juazeiro/BA*. Trabalho apresentado no VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado, RS, Brasil.
- Ministério de Minas e Energia. (2007). *Plano Nacional de Energia 2030*. Brasília: EPE.
- Moreno, M. A. P., Manzano, E. S. & Moreno, A. J. P. (2019). Biomass as Renewable Energy: Worldwide Research Trends. *Sustainability*. 11(863).
- Nascimento, R. S. do & Alves, G. M. (2016, outubro). *Fontes alternativas e renováveis de energia no Brasil: métodos e benefícios ambientais*. Trabalho apresentado no XX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VI Encontro de Iniciação à Docência, Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, SP, Brasil.
- Niedzialkoski, R. K. (2013). *Desempenho de painéis solares mono e policristalinos em um sistema de bombeamento de água*. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR, Brasil.
- O Setor Elétrico. (2019). *Revisão da REN 482/2012: proposta da ANEEL precisa melhorar*. <https://www.osetoreletrico.com.br/revisao-da-ren-482-2012-proposta-da-aneel-precisa-melhorar/>.
- Parque Tecnológico de Itaipu. (n.d.). Descomplicando as Energias Renováveis. <https://www.pti.org.br/pt-br/descomplicandoasenergias>.
- Raboni, M. & Urbini, G. (2014). Production and use of biogas in Europe: a survey of current status and perspectives. *Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science*. 9(2).
- Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. (2016). *Oportunidades da cadeia produtiva de biogás para o estado do Paraná*. Curitiba: SENAI.
- Tribunal de Contas da União. (2020, novembro). Ata N° 44/2020, Plenário. TC 037.642/2019-7, Código eletrônico AC-3063-44/20-P. Telepresencial.
- Tolmasquim, M. T. (2016). *Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica*. Rio de Janeiro: EPE.
- Universidade Federal do Paraná. (n.d.). Como a célula fotovoltaica funciona. <http://www.eletrica.ufpr.br/edu/Sensores/2000/luischan/comofunciona.htm#eficiencia>.
- Villalva, M. G. (2015). *Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações* (2a ed.). Érica.
- Zanetti, G., Neto, Costa, W. T. da & Vasconcelos, V. B. (2014). A resolução normativa n° 482/2012 da ANEEL: possibilidades e entraves para a microgeração distribuída. *Revista Brasileira de Energia Solar*. (2), 119-127.