



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Instituto de Ciência e Tecnologia  
Câmpus de Sorocaba

TALITA RAQUEL CARVALHAES

PRODUÇÃO DE BIOGÁS ATRAVÉS DE ATERROS SANITÁRIOS: UMA  
ALTERNATIVA PARA ECONOMIA CIRCULAR

SOROCABA / SP  
2023

TALITA RAQUEL CARVALHAES

PRODUÇÃO DE BIOGÁS ATRAVÉS DE ATERROS SANITÁRIOS: UMA  
ALTERNATIVA PARA ECONOMIA CIRCULAR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Universidade Estadual Paulista (UNESP), como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Donnini Mancini  
Coorientador: Fábio Navarro Manfredini

Sorocaba/ SP  
2023

C331p

Carvalhoes, Talita Raquel

Produção de biogás através de aterros sanitários: uma alternativa para economia circular / Talita Raquel Carvalhoes. -- Sorocaba, 2023

40 p.: il., tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba

Orientador: Sandro Donnini Mancini

Coorientador: Fábio Navarro Manfredini

1. Engenharia ambiental. 2. Biogás. 3. Aterros Sanitários. 4. Economia circular. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

**TALITA RAQUEL CARVALHAES**

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS ATRAVÉS DE ATERROS SANITÁRIO: UMA  
ALTERNATIVA PARA ECONOMIA CIRCULAR**

Sorocaba, 07 de julho de 2023

**Prof. Dr. Sandro Donnini Mancini**

Trabalho aprovado por meio de parecer, homologado pelo Conselho de Curso em reunião de 07 de junho de 2023

Sorocaba/SP  
2023

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente quero começar agradecendo a Deus por ter me dado forças e me ajudado a chegar no final de mais uma etapa marcante na minha vida.

A minha mãe que acompanhou toda minha trajetória desde o sonho de entrar em uma universidade pública até o momento da minha formação, foram momentos difíceis mais felizes ela foi meu alicerce e agradeço principalmente ao meu pai que não está mais aqui, porém foi o meu maior exemplo para minha formação e referência em vários aspectos da minha vida, agradeço ao meu pai e minha mãe por terem sido indispensáveis em toda minha jornada dentro da faculdade.

Agradeço aos meus amigos por tornarem a faculdade mais leve sem eles seria mais difícil, obrigada pelo companheirismo momentos de aflições e descontração fiz verdadeiros laços de amizade que levarei para vida toda, obrigada por terem cruzado meu caminho cada um me preenche de maneira diferente e contem comigo para tudo. Agradeço aos meus familiares que vibraram pelo meu sucesso mesmo de longe todas as vibrações de coração aberto.

Agradeço a todos os professores por terem me ensinado e me feito aprender, em especial ao professor orientador Sandro Donnini Mancini que ministrou uma das matérias que me fez olhar a engenharia ambiental de outro ângulo e ao Fábio Navarro Manfredini que aceitou ser meu coorientador ministrou uma das melhores matérias do curso muito rica na prática, voltado para o mercado de trabalho. A todos vocês eu dedico meu trabalho sem apoio de todos, nada disso seria possível, nada do que eu falar será capaz de demonstrar tamanha gratidão por tudo que vivi nesses 6 anos de faculdade.

## RESUMO

Atualmente, devido ao aquecimento global, as fontes de energias renováveis, apesar de pouco exploradas e utilizadas com relações as fontes de combustíveis fósseis, vem sendo cada vez mais discutidas, a fim de se tornarem uma alternativa, principalmente de energia elétrica para diminuição de impactos ambientais. Diante desse contexto, o biogás se torna promissor para uma matriz energética limpa e colabora para que o lixo seja enterrado de forma correta quando oriundo de fontes de resíduos sólidos urbanos. A produção de biogás ocorre através da fermentação da matéria orgânica por meio da fermentação anaeróbia, sem a presença de oxigênio. Na área agroindustrial utiliza-se biodigestores no processo, nos aterros sanitários através dos resíduos sólidos urbanos é possível que o processo ocorra de forma natural, o biogás pode servir como matéria prima para obtenção do biometano com a purificação. Torna-se uma alternativa para o gás natural quando se refere a cogeração de energia. A economia circular diferentemente da economia linear se torna promissora como um modelo econômico viável para desacelerar o esgotamento das matérias-primas, diminuição de resíduos sólidos e dos impactos ambientais, visto que possui uma visão holística sobre um todo, fazendo por exemplo, um produto voltar ao início da cadeia de produção como matéria prima. Assim o biogás poderia se tornar uma alternativa para geração de energia dentro do modelo econômico. Portanto o objetivo desse trabalho foi investigar se a obtenção de biogás através de aterros sanitários é uma alternativa viável para economia circular. Através de levantamentos de dados bibliográficos, teses, dissertações, conclui se que o biogás é viável para o novo modelo de negócio (economia circular) visto que temos o crescente aumento tecnológico que contribui para o acesso de novas tecnologias com a otimização da cadeia produtiva na área agroindustrial, incentivos por meio de programas governamentais para exploração do biogás em diversos setores e grandes estudos que vem se tornando promissores para ganhar espaço na sociedade. É possível afirmar que o biogás de aterro se apresenta como uma alternativa muito boa dentro da economia circular, pois cumpre com a propostas de uso racional dos recursos naturais com foco no desenvolvimento.

**Palavras-chave:** engenharia ambiental; biogás; aterros sanitários; economia circular.

## ABSTRACT

Currently, due to global warming, renewable energy sources, although little explored and used in relation to fossil fuel sources, are being increasingly discussed in order to become an alternative, mainly of electric energy to reduce environmental impacts. Facing this context, biogas becomes promising for a clean energy matrix and collaborates so that the garbage is buried correctly when it comes from sources of solid urban waste. of urban solid waste. The production of biogas occurs through the fermentation of organic matter through anaerobic fermentation, without the presence of oxygen. In the agro-industrial area biodigesters are used in the process, in landfills through solid urban waste it is possible that the process occurs naturally, biogas can serve as raw material for obtaining biomethane with purification. It becomes an alternative to natural gas when it comes to energy cogeneration. The circular economy unlike the linear economy becomes promising as a viable economic model to slow down the depletion of raw materials, reduction of solid waste and environmental impacts, since it has a holistic view of the whole, making, for example, a product return to the beginning of the production chain as raw material. Thus, biogas could become an alternative for energy generation within the economic model. Therefore, the objective of this work was to investigate if obtaining biogas through landfills is a viable alternative for circular economy. Through surveys of bibliographic data, theses, and dissertations, it is concluded that biogas is feasible for the new business model (circular economy) since we have the increasing technological that contributes to the access of new technologies with the optimization of the productive chain in the agro-industrial area, incentives through government programs exploitation of biogas in various sectors and major studies that have been that is becoming promising to gain space in society. It is possible to affirm that the landfill biogas presents itself as a particularly viable alternative within the circular economy, because it meets the proposals of rational use of natural resources with a focus on development.

**Keywords:** environmental engineering; biogas; landfills; circular economy.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>09</b>
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1 Fontes de energias renováveis</b> .....	<b>11</b>
<b>2.2 Histórico biogás</b> .....	<b>12</b>
<b>2.3 Resíduos sólidos e aterros sanitários no Brasil</b> .....	<b>13</b>
<b>2.4 Biogás de aterros sanitários</b> .....	<b>15</b>
<b>2.5 Economia linear</b> .....	<b>17</b>
<b>2.6 Economia circular</b> .....	<b>18</b>
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	<b>20</b>
<b>3.1 Objetivos gerais</b> .....	<b>20</b>
<b>3.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>20</b>
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	<b>21</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>22</b>
<b>5.1 Cenário do biogás no Brasil</b> .....	<b>22</b>
<b>5.2 Programas governamentais para incentivo de fontes de energias renováveis no Brasil</b> .....	<b>25</b>
<b>5.2.1 Projeto de Lei do Senado Nº 302, DE 2018</b> .....	<b>25</b>
<b>5.2.2 Programa Metano Zero</b> .....	<b>25</b>
<b>5.2.3 RenovaBio</b> .....	<b>26</b>
<b>5.2.4 Novo Marco Legal do Saneamento</b> .....	<b>27</b>
<b>5.2.5 Programa Lixão Zero</b> .....	<b>28</b>
<b>5.3 Viabilidade econômica para uso de biogás de aterros (estudo de caso)</b> ....	<b>28</b>
<b>5.4 Vantagens e desvantagens do biogás</b> .....	<b>31</b>
<b>5.4.1 Vantagens ambientais e energéticos</b> .....	<b>31</b>
<b>5.4.2 Desvantagens</b> .....	<b>33</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>35</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>36</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O aquecimento global é um dos maiores problemas ambientais deste século, que vem se agravando cada vez mais pela emissão dos gases do efeito estufa (GEE), como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). metano (CH<sub>4</sub>) entre outros (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006).

Diante dessa crise os esforços para a diminuição do aquecimento global têm influenciado diretamente no modo como o setor de energia vem sendo operado e como irá operar nos próximos anos, visto que uma das grandes pautas que vem sendo discutidas é sobre a descarbonização da matriz energética. Atualmente o Ministério de Minas e Energia lançou o programa RenovaBio com o propósito de incentivar a bioenergia no Brasil (VIEIRA; SILVA, 2018).

Quando se fala em geração de energias renováveis o biogás tem se mostrado promissor. Ele é composto majoritariamente por metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Pode ser obtido pela decomposição (anaeróbia) de resíduos orgânicos como resíduos domésticos, substratos das atividades agrícolas, dejetos de atividades pecuária, lodos de esgoto entre outros (COELHO, 2016).

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é pautado em cima de projetos que reduzem a emissão de gases do efeito estufa (GEE). Os projetos de MDL são direcionados aos países em desenvolvimento, que pode vender a emissão do GEE atribuída como Redução Certificadas de Emissão (RCEs) para os países desenvolvidos, dando suporte para atingir suas metas e diminuição de GEE reconhecidos juntos ao Protocolo de Quioto (BRASIL, 2021b).

Os créditos de carbono surgiram a partir do Protocolo de Kyoto em 1997, visando a diminuição dos gases de efeito estufa (GEEs) e estabelecendo metas para a redução. Podem ser gerados de diversas maneiras: trocas de combustíveis fósseis por renováveis, diminuição dos desmatamentos e das queimas diminuindo os gases que vão para atmosfera. As comercializações são realizadas entre países que geram créditos e países que superam as metas de geração dos gases, através das vendas os países conseguem se apoiar para ficarem dentro da meta (FILHO et al., 2022, p.04).

Os aterros sanitários são considerados a principal forma de destinação final dos resíduos sólidos, visto que cada vez mais a humanidade vem aumentando a quantidade de resíduos, à medida que o modelo econômico linear promove a

facilidade de consumo e descarte, principalmente com a introdução dos descartáveis na sociedade.

A decomposição da fração orgânica e putrescível dos resíduos de aterro gera o biogás. No contexto global de geração de fontes de energia limpa o Brasil ganha um enorme destaque para geração de biogás através dos resíduos depositados em aterros, por causa do alto volume de resíduos orgânicos disponíveis (LANDIM, 2008).

No Brasil a maior parte dos aterros se concentra na região Sul e Sudeste, isso porque os aterros possuem elevados custos de operações (ANNEL, 2023).

O modelo de economia linear tem se tornado cada vez mais insustentável, pois não há reposição na mesma velocidade da exploração de recursos naturais, além de que muitos recursos são finitos. A questão de resíduos gerados pela nossa sociedade vem preocupando milhares de autoridades pelo mundo pois, não ocorre a destinação e gestão correta de toda a quantidade gerado (BORSCHIVER, 2018).

A economia circular vem sendo discutida nas últimas décadas e surge como alternativa para o modelo atual, propondo a exploração dos recursos naturais de maneira sustentável, a mínima geração de resíduos e, no caso de geração destes, seu máximo reaproveitamento, buscando promover um equilíbrio entre economia e meio ambiente. Com relação às fontes de energias, na economia circular o propósito é obter aquelas que são renováveis como, por exemplo, o biogás. Ainda podem ser reaproveitados por exemplo, os resíduos orgânicos de saneamento para cogeração de energia, combustíveis e outros fins, se tornando um a alternativa para a produção das energias existentes, como as termelétricas nos períodos de secas inicialmente (BORSCHIVER, 2018).

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 Fontes de energias renováveis**

As energias renováveis surgem como alternativa de melhorar a relação interpessoal entre economia e meio ambiente, e como solução para substituir as energias não renováveis proveniente de carbono, contribuindo com crescimento econômico e agregando diversas alternativas para o desenvolvimento social e ambiental paralelamente (GIDENNS, 2010).

Em meados de 2008 no território brasileiro, pode-se observar que a matriz energética começou a aumentar sua diversificação. Quando o assunto é geração de eletricidade pode-se dar destaque às energias que mais começaram a ser utilizadas e incentivadas por meio de programas governamentais e afins, como energia eólica, solar, biogás e biomassa (WALISIEWICZ, 2008).

Em 2011 o mercado de projeto de energias renováveis, estimavam investimento em energias renováveis no valor de 50 bilhões de dólares, com taxa de crescimento anual de 2 dígitos. Segundo as Nações Unidas com grandes investimentos em fontes de energia limpa, em meados de 2030 poderiam representar cerca de quase um quarto da energia do planeta (LOVINS, 2013).

O biogás começou a ganhar um pouco mais visibilidade para substituição das fontes de energias de combustíveis fósseis para geração de energia elétrica. Quando comparados os prós e contras, o biogás traz menos impactos ambientais e é bastante utilizado em zonas rurais (biodigestores a base de dejetos de animais) onde é fonte de renda e de emprego (WALISIEWICZ, 2008).

No Brasil cerca de 50% da matriz energética é oriunda de fontes de energia renováveis, sendo a maior parte produzida por usinas hidrelétrica. A partir de 2010 a geração de energia eólica e solar começaram a ganhar destaque. Segundo o Ministério de Minas e Energia (MME), para qualquer cenário de planejamento energético, a participação de renováveis na matriz elétrica deve continuar acima de 80% até 2030, com a grande participação da energia eólica, solar e de biomassa em conjunto com ações e esforços de políticas públicas (BRASIL, 2021b).

## 2.2 Histórico do Biogás

O impulso para utilização do biogás no Brasil se deu a partir da década de 70 mediante a crise do petróleo. Com a alta nos preços, o biogás foi visto como uma alternativa mais limpa para a descarbonização da matriz energética brasileira, visto que o Brasil importava a maior parte de sua energia para abastecimento interno. (BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONOMICO SOCIAL, 2021)

Segundo o Banco Nacional de Desenvolvimento Social - BNDES em 1977 foi inaugurado em São Paulo e Distrito Federal um projeto de expansão de biogás. Em 1982 pelo Programa de Mobilização Energética (PME) – Decreto 87.079, de 2 de abril de 1982, o governo brasileiro passa a incentivar a construção de biodigestores. Houve diversos entraves para o manuseio do biogás o que levou a certa desconfiança devido à falta de conhecimento e mão de obra qualificada para produção e armazenamento, conseqüentemente levando ao abandono. (CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2020).

Nos anos 90 quando a preocupação com meio ambiental passou a ser palco de discussões internacionais, o biogás voltou a ser foco dos assuntos ligados ao aquecimento global. O biogás não era necessariamente aproveitado como fonte de energia, e sim, como uma forma de reduzir os gases de efeitos estufas (GEE) através da sua queima pelo projeto de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), com foco na venda de crédito de carbono (CASTILHO, 2011).

A nova tentativa de impulsionar o biogás em território brasileiro foi com a implementação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa) – Lei 10.438, de 26 de abril de 2002, e Lei 10.762, de 11 de novembro de 2003, o programa, tinha como base no Protocolo de Kyoto e visava reduzir a emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) implantando pequenas centrais hidrelétricas bem como fontes eólicas e de biomassa (BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONOMICO SOCIAL, 2021).

Quando se fala das fontes para produção de biogás em território brasileiro, tem-se prevalência de resíduos de origem agropecuária, porém apenas 12% de biogás era gerado pelas plantas operantes em 2020. Através de resíduos sólidos urbanos e efluentes de tratamentos de esgoto, era gerado volume total de 76% de biogás sendo os 12% restante proveniente de resíduos industriais (BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONOMICO SOCIAL, 2021).

### 2.3 Resíduos sólidos e aterros sanitários no Brasil

Segundo A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 10004 (ABNT, 2004) define Resíduos Sólidos, os resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que procedem de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Inseridos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, assim como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), em 2022 o Brasil alcançou um total de 224 mil toneladas diárias em geração de resíduos sólidos urbanos, totalizando no ano 81,8 milhões de toneladas. Além disso o país alcançou um índice de cobertura de coleta de 76,1 milhões de toneladas de resíduos no ano, que corresponde 93% do total. O Sudeste é a região com maior geração de resíduos, com cerca de 111 mil toneladas por dia, que corresponde quase 50% dos resíduos gerados no país diariamente, em contrapartida a coleta chega em torno de 98,6%, acima da média nacional. A região Centro-Oeste representa a menor taxa de geração de resíduos por ano dentre as regiões, com cerca de 6 milhões de toneladas, com cobertura de coleta de 95% (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAS, 2022).

Em 2022 no Brasil, grande parte dos resíduos sólidos coletados (61%), continua sendo encaminhada para aterros sanitários com 46,4 milhões de toneladas encaminhadas para destinação ambientalmente correta (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAS, 2022).

Em contrapartida, áreas de disposição inadequada, incluindo lixões e aterros controlados, continuam em operação por todo país, 39% do total de resíduos coletados, alcançando um total de 29,7 milhões de toneladas com destinação inadequada, como mostra a tabela (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAS, 2022).

Tabela 1- Disposição final de RSU no Brasil e regiões, por tipo de destinação (t/ano e %)

Região	Disposição adequada		Disposição inadequada	
	t/ano	%	t/ano	%
Norte	1.870.470	36,60%	3.240.105	63,40%
Nordeste	6.214.527	37,20%	10.491.191	62,80%
Centro-Oeste	2.532.762	43,50%	3.288.281	56,50%
Sudeste	29.773.638	74,30%	10.298.552	25,70%
Sul	6.020.694	71,60%	2.388.097	28,40%
<b>Brasil</b>	<b>46.412.091</b>	<b>61,00%</b>	<b>29.706.226</b>	<b>39,00%</b>

Fonte: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2022)

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares), estabelecido pelo Decreto Federal nº 11.043/2022, é o principal mecanismo previsto na Lei nº 12.305, de 2010 e traz diretrizes, metas e estratégias que visam a modernização da gestão dos resíduos sólidos urbanos no país. Dentro das metas previstas no Planares foram consideradas quatro: i) Eliminação de lixões e aterros controlados até 2024; ii) Recuperação da fração orgânica por meio de sistemas de tratamento biológico; iii) Recuperação da fração seca dos recicláveis por processos de reciclagem e iv) Recuperação e aproveitamento energético por meio do tratamento térmico (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAS, 2022).

Os aterros sanitários são mundialmente a maior forma de destinação final dos resíduos sólidos urbanos (RSU). É visto como uma técnica correta no meio ambiente para o aterramento dos RSU, composto por sistema de impermeabilização do solo, sistema de coleta e tratamento do lixiviado, possuem sistema de poços e tubulações de coleta e queima de gás (THEMELIS; ULLOA, 2007).

Porém apresentam desvantagens como limitação da sua vida útil. Após o término de vida útil, devido a ocorrência de atividade microbiana, a área do terreno deve ser avaliada pelo sistema de monitoramento de águas subterrâneas e gases drenados. (BARROS, 2012).

No Brasil até meados de 2002, muitos aterros eram operados pela iniciativa privada e prestavam serviços para prefeituras de modo atuar como empresas terceirizadas. Geralmente tinha-se um alto custo de operação e uma distribuição irregular pelas regiões brasileiras, sendo que em alguns lugares os aterros

tornaram-se inexistentes. Nos lugares onde existiam aterros operados pela iniciativa privada a prefeitura pagava pela quantidade em peso de lixo depositado R\$/tonelada (REGEO, 2003).

## 2.4 Biogás de aterros sanitários

Após a distribuição dos resíduos orgânicos nos aterros sanitários a digestão anaeróbia ocorre naturalmente (PAVI, 2016). Devido a enorme variedade de resíduos depositados no aterro, conseqüentemente tem-se uma grande variedade de microorganismos em simbiose, fazendo com que os resíduos orgânicos passem por diferentes reações bioquímicas até obtenção do biogás (CASTILHOS JR et al., 2003).

Tudo se inicia através da degradação anaeróbia dos resíduos orgânicos, gerando gás metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em diferentes concentrações no decorrer do funcionamento do aterro, levando em consideração o tempo de vida e a origem dos resíduos depositados. O biogás obtido através da união desses gases, pela ação biológica (LIPOR, 2008).

Segundo Farquhar e Rovers (1973 APUD BARROS, 2012), a geração de biogás em aterros de resíduos sólidos, acontece em quatro fases que serão escritas a seguir:

- **Fase I** – Fase aeróbia: resíduos são dispostos no aterro e sua parte biodegradável sofre decomposição biológica na presença de oxigênio. A fase aeróbia acontece em períodos mais curtos até receber a camada de cobertura, fazendo com que o oxigênio diminua. Nessa fase é gerado dióxido de carbono, água e calor.
- **Fase II** – Anaeróbia não metanogênica: momento em que ocorre a diminuição do oxigênio, iniciando a fase anaeróbia. Com a diminuição do potencial de óxido redução, os microorganismos iniciam a modificação do material orgânico complexo em ácidos graxos. Nesse momento, o pH do chorume tem uma queda. Ocorre a produção de ácidos e gás hidrogênio fase com duração de 1 a 6 meses.
- **Fase III** – Anaeróbia metanogênica instável: fase com aumento da concentração de metano. Nessa fase ocorre a diminuição da produção de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), pois ocorre a mudança da decomposição aeróbia para anaeróbia, com a produção de calor, água e metano.

- **Fase IV** – Anaeróbia metanogênica estável: nessa fase ocorre a presença de organismos anaeróbios que convertem o ácido acético e gás hidrogênio em metano e dióxido de carbono. A taxa de formação dos ácidos é diminuída. Logo, o pH do chorume nessa fase aumenta e ocorre a diminuição de compostos inorgânicos, tendo a redução de metais pesados do chorume.

Segundo CIBIOGÁS a produção de biogás (não somente de aterros), em 2022 atingiria cerca de 2,8 bilhões de Nm<sup>3</sup>. (CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2021).

Através do levantamento “Panorama do Biogás no Brasil em 2021, 102 plantas de biogás de diversas fontes (agricultura, indústria e saneamento), entraram em operação, um aumento de 16% em relação 2020, com acréscimo de 10% no volume de biogás com extra de 209 milhões Nm<sup>3</sup> (CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2021).

A ANEEL registrava, em 2023, que no Brasil existem 26 termelétricas gerando energia, através do biogás proveniente de resíduos sólidos urbanos, sendo que 10 se localizam no estado de São Paulo, como mostra a figura abaixo.

Figura 1 - Termelétricas com geração de energia através do biogás

Origem	UF	Tipo	Combustível Final	Qtde	Potência Outorgada (kW)
Biomassa	SP	Resíduos sólidos urbanos	Biogás - RU	10	81.480,00
Biomassa	PE	Resíduos sólidos urbanos	Biogás - RU	1	28.520,00
Biomassa	RJ	Resíduos sólidos urbanos	Biogás - RU	4	24.230,00
Biomassa	BA	Resíduos sólidos urbanos	Biogás - RU	1	19.730,00
Biomassa	MG	Resíduos sólidos urbanos	Biogás - RU	4	15.233,60
Biomassa	RS	Resíduos sólidos urbanos	Biogás - RU	3	14.744,00
Biomassa	PR	Resíduos sólidos urbanos	Biogás - RU	1	9.982,00
Biomassa	PB	Resíduos sólidos urbanos	Biogás - RU	1	5.704,00
Biomassa	SC	Resíduos sólidos urbanos	Biogás - RU	1	2.264,00
<b>Total</b>				<b>26</b>	<b>201.887,60</b>

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2022)

## 2.5 Economia linear

Desde meados da época da Revolução Industrial, o modelo de produção inserido dentro da sociedade é o que conhecemos pelo nome de linear, matérias-primas que eram transformadas em produtos manufaturados ao final de sua vida útil eram descartadas no lixo. Durante anos esse modelo sempre teve sucesso, devido à grande escala de produção a preços acessíveis e proporcionando maior poder de consumo para população (LUZ, 2017).

Dentro do modelo de produção linear os recursos utilizados como matéria-prima são finitos, a maioria dos produtos tem uma durabilidade baixa, fazendo com que o consumo aumente cada vez mais e como consequência, a degradação do meio ambiente. Com a exploração dos recursos de forma exacerbada, sem a preocupação de reaproveitamento com passar dos anos, houve um aumento da geração de resíduos, um dos grandes problemas que vem sendo discutidos nos últimos tempos (LEITÃO, 2015).

Em termos energéticos o modelo econômico linear acarreta grandes perdas. Quando um produto é descartado em aterro a energia residual é perdida, diferente do processo de reutilização que traz a economia de energia. A alta demanda por recursos naturais acabam causando uma pressão sobre meio ambiente principalmente a volatilidade dos recursos com aumento de preço (MACARTHUR, 2013).

No modelo econômico linear a geração de energia e combustíveis estão majoritariamente atreladas às fontes de combustíveis fósseis (petróleo, carvão, gás natural e diesel). Além destas serem finitas na natureza, são grandes fontes de poluição no meio ambiente, principalmente quando assunto são mudanças climáticas com a geração de dióxido de carbono através da sua queima, agravando o efeito estufa. Por essa razão a economia circular ganhou espaço nas discussões, pois, nesse modelo de economia, há incentivo de descarbonização da matriz energética, através da produção de biocombustíveis e energia limpa (CECHIN, 2010).

## 2.6 Economia circular

O modelo de economia circular, estabelece um sistema econômico que preserve os recursos naturais e reutilização dos produtos gerados no final de seu ciclo de vida. Isto porque o, modelo linear traz danos severos ao meio ambiente (SHEN; QI, 2012).

Através das análises considerando 30 anos, com crescimento tecnológico e o aumento de produtividade que extraiu 40% mais valor econômico de matérias-primas, aumentou a demanda em 150% nesse mesmo período. A economia circular vem sendo o modelo econômico mais viável de aplicação associando o crescimento econômico, ao ciclo de desenvolvimento de forma positiva, de maneira sustentável com fluxos renováveis e minimizando processos sistêmicos (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2019).

A circularidade da economia é a melhor alternativa para o modelo de economia atual. É notório o movimento de governos e empresas para que seja possível deixar para gerações futuras um planeta mais sustentável. (LACY; RUTQVIST, 2015) Diferentemente da economia linear a circular traz a ideia de um sistema fechado, principalmente quando a relação se encontra entre o uso de recursos e resíduos. Esse modelo econômico é considerado indispensável para um planeta mais sustentável onde a economia e o meio ambiente devem funcionar como um sistema circular (GHISELLINI et al., 2016).

A economia circular passou a ganhar mais visibilidade após o apoio de algumas instituições como a Fundação Ellen MacArthur, British Standards Institution (BSI), Circle Economy e muitas outras que foram pioneiras em programas e parcerias com organizações públicas e privadas para aceleração da transição entre a economia linear e a circular (MACARTHUR, 2013).

Para dar forma à economia circular cinco princípios são de extrema importância, segundo Ellen MacArthur Foundation (2015):

- Perdas são excluídas: A economia circular acredita na não geração de resíduos. Todos os produtos são projetados de forma que voltam ao início da cadeia produtiva ao final de seu ciclo de vida e os produtos biológicos precisam ser de fácil retorno na natureza.

- Diversidade: Valorização onde as diferentes categorias dentro do mercado 19 coexistam.
- Uso de fonte de energias renováveis: A utilização de energias renováveis aumenta a força de todo sistema e atua também diminuindo a submissão de recursos influenciados por baixa disponibilidade e crises.
- Pensamento sistêmico: A economia circular tem uma visão ampla de mercado onde tudo está integrado entre si, empresas, consumidores e produtos da natureza. • Preços refletem custos reais: A economia circular leva em consideração o quão a construção desses produtos fará bem ao ecossistema para avaliar preço final dos produtos.

Na economia circular os processos industriais são utilizados no modelo de funcionamento dos ecossistemas destacando as mudanças dos produtos para energias renováveis e ecologicamente saudáveis, ou seja, buscando garantir a utilização contínua e sustentável dos recursos naturais (KOPNINA; BLEWITT, 2015).

O esboço da economia circular tem como propósito fazer o produto voltar a cadeia produtiva como ações de logística reversa. Essa etapa cuida da ação da cadeia produtiva como reuso, reparo e reciclagem (STOCCO, 2020).

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivos gerais**

O objetivo geral desse trabalho foi analisar o biogás de aterro sanitário, como uma alternativa de energia para economia circular, assim como, a diminuição de resíduos sólidos urbanos.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Verificar qual cenário do biogás.
- Verificar se há incentivo para o desenvolvimento e o uso do biogás de aterros por parte de programas governamentais e empresariais.
- Avaliar as vantagens positivas e negativas do biogás.

## 4 METODOLOGIA

O estudo realizado foi através de uma revisão da literatura-descritiva, com a finalidade de compreender e examinar a viabilidade do biogás para economia circular, tanto em aspectos ambientais como econômicos, para geração de energia proveniente de resíduos de aterros sanitários, com propósito de investigar se é uma alternativa para tratamento de resíduos sólidos urbanos.

Para todos os temas abordados realizou-se consultas bibliográficas através de sites, artigos científicos, teses, dissertações e dados de diversas fontes relevantes para os estudos, como o google acadêmico, ABRELPE, ABIOGÁS, CIBIOGAS, MINISTÉRIO DE MINAS ENERGIA entre outros. Utilizou-se as seguintes palavras-chave: biogás, energias renováveis, aterros sanitários, economia circular e resíduos sólidos.

sendo possível o entendimento do biogás para economia circular. A pesquisa foi realizada a partir do segundo semestre de 2022 até março de 2023. Esse estudo não está só direcionado para os engenheiros ambientais, mas para o público em geral, para que se tenha o entendimento do quanto o biogás é importante para economia circular.

Pesquisas feitas por meio da revisão da literatura tem a finalidade de explicar a problemática a partir de referências escritas postadas em documentos. Podem ser feitas de forma livre ou como parte de um estudo descritivo ou através de experiências (CERVO; BERVIAN, 2002).

A pesquisa bibliográfica é favorável o exame de um tema com novo propósito e diferentes abordagens, chegando a novas conclusões inovadoras (LAKATOS; MARCONI, 2001).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

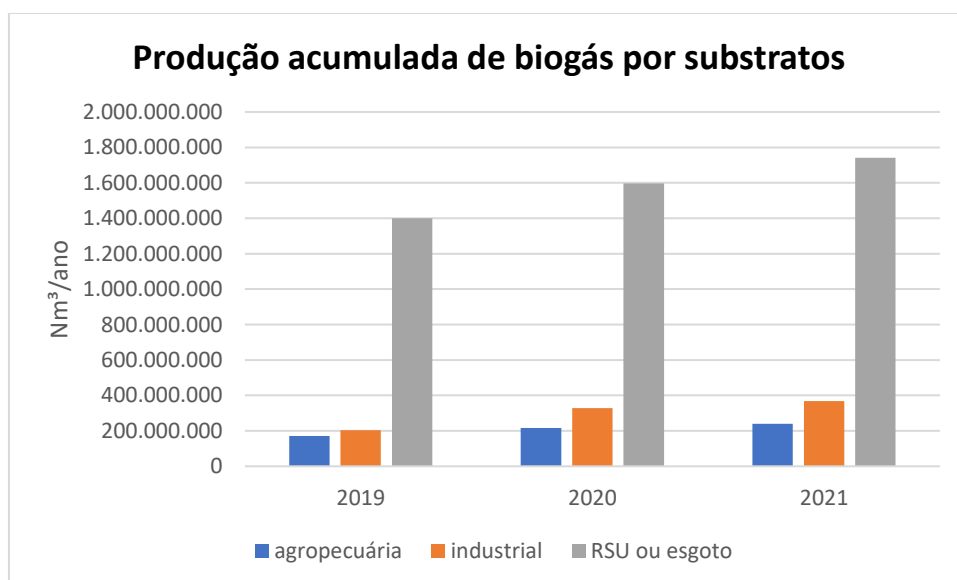
### 5.1 Cenário do biogás no Brasil

O Brasil contabilizava 755 plantas de biogás em operação em 2021, com capacidade instalada em torno 2.3 bilhões metros cúbicos de biogás por ano, sendo que destas, 745 encontram-se em operação para fins energéticos no país, produzindo um total de 1,8 bilhões de metros cúbicos ano, representando 78,3% das plantas identificadas, 35 plantas estão em fase de implantação e 11 em reforma (CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2021).

Do total de 755 plantas existentes operando, 65 operam com substrato de origem RSU ou esgoto, com a produção de biogás acumulada em torno de 1,7 bilhões de metros cúbicos ano, sendo direcionado para energia elétrica, térmica e gás natural renovável/biometano. (CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2021)

Dentro dos dados obtidos, as plantas de biogás existente no Brasil podem ser classificadas conforme sua fonte de substrato, como agropecuária, indústria e resíduos sólidos urbanos (RSU) ou esgoto de acordo com gráfico 1.

Gráfico 1- Produção de biogás acumulada nos últimos três anos por substrato



Fonte: Centro Internacional de Energias Renováveis (2021)

Em 2021, 80% das plantas de biogás em funcionamento no país veio do setor agropecuário, 11% do setor industrial e 9% do setor de saneamento. Porém em termos de volume, o setor de saneamento lidera com 74% do total produzido (CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2021).

As plantas de biogás são classificadas em 3 categorias de acordo com seu volume, conforme a tabela 2.

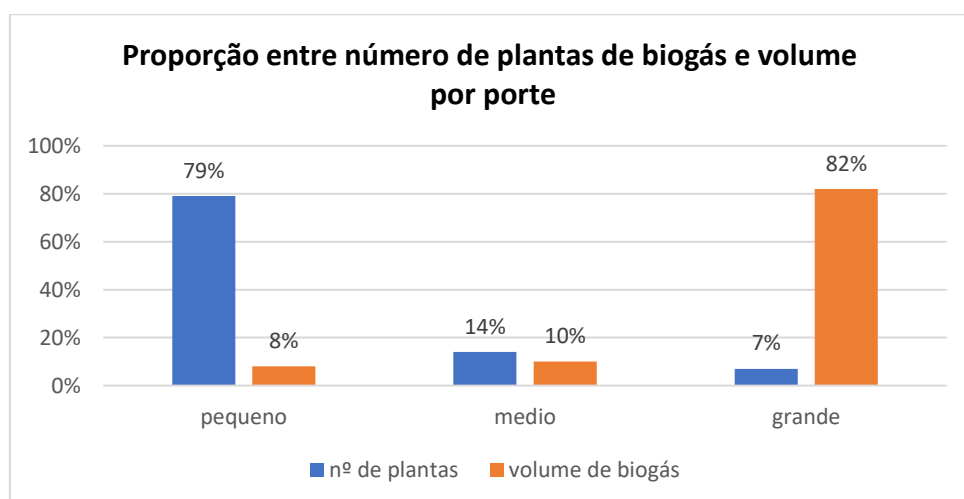
Tabela 2 - Classificação da planta de biogás

Classificação	Produção de biogás (Nm <sup>3</sup> /ano)
Pequeno porte	< 500.000 Nm <sup>3</sup> /ano a 1.000.000 Nm <sup>3</sup> /ano
Médio Porte	1.000.001 a 5.000.000 Nm <sup>3</sup> /ano
Grande Porte	5.000.001 a > 125.000.001 Nm <sup>3</sup> /ano

Fonte: Centro Internacional de Energias Renováveis (2021)

No Brasil em 2021, existiam 595 plantas de pequeno porte, 109 de médio porte e 51 de grande porte em funcionamento. O gráfico 2 apresenta a proporção entre o número de plantas de biogás e o volume por porte (CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2021).

Gráfico 2 - Proporção entre número de plantas de biogás e volume por porte



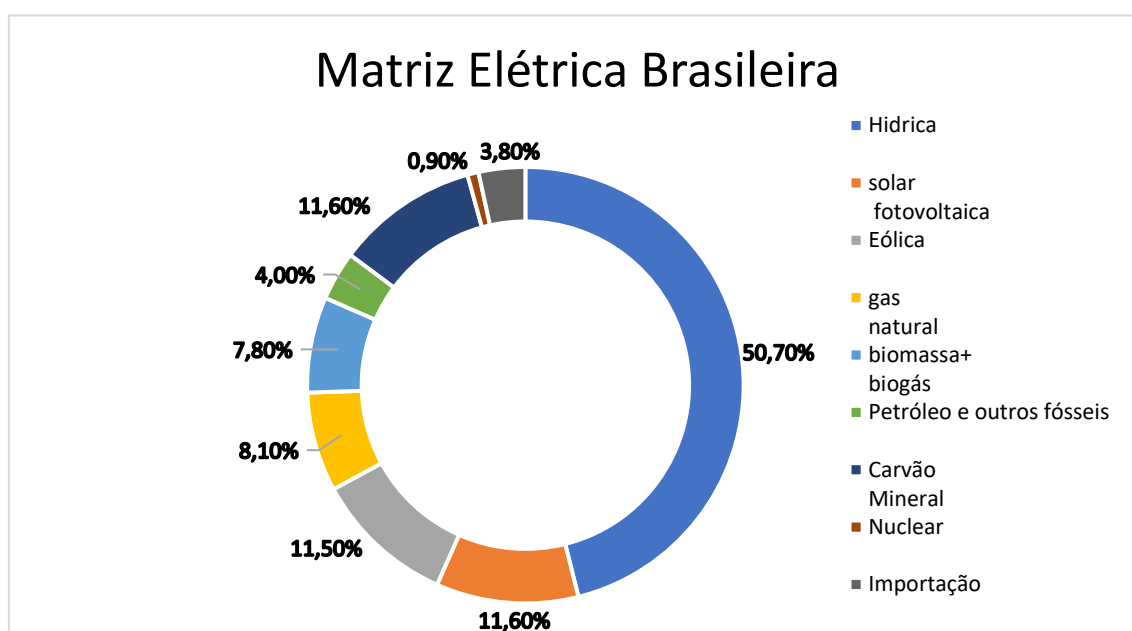
Fonte: Centro Internacional de Energias Renováveis (2021)

Observa-se que 79% das plantas de pequeno porte produzem 8% do volume de biogás. Ao contrário, as plantas de grande porte correspondem a 7% do total, e

produzem 82% do volume total de biogás. Geralmente as plantas de grande porte são as que operam com origem de substrato proveniente de RSU ou esgoto (CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2021).

O biogás dentre as fontes de energias renováveis, possui uma participação tímida, mas crescente. O gráfico 3 apresenta as 9 categorias de fontes energias mais utilizadas no Brasil em 2023. A hídrica, solar e a eólica são as fontes de energia que possuem maior participação. Somadas equivalem 73% da matriz elétrica brasileira (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA, 2022).

Gráfico 3 - Matriz elétrica Brasileira



Fonte: Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (2022)

Segundo a proposta do Programa Nacional do Biogás e Biometano (gás oriundo do biogás) - PNBB estudo feito pela Abiogás, em 2018 afirmava que Brasil era um país potencialmente grande para produção de biogás, com a capacidade teórica de produzir 82,0 bilhões de metros cúbicos/ano. O destaque seria para o, setor sucroenergético (que teria a capacidade correspondente a 41, bilhões Nm<sup>3</sup>/ano) setor da agroindústria (com a capacidade de gerar 38 bilhões Nm<sup>3</sup>/ano), e o setor de saneamento, com capacidade de 4 bilhões Nm<sup>3</sup>/ano (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO BIOGÁS, 2018).

Entretanto, a produção real de biogás em 2021, tinha como a maior fonte RSU ou esgoto, responsáveis pela produção de 82% total do volume, que são de plantas grandes operantes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO BIOGÁS, 2021).

Conforme a projeção da Associação Brasileira do Biogás (ABIOGÁS), a meta para 2030, é produzir 30 milhões de m<sup>3</sup>/dia de biometano e 3 gigawatts (GW) de capacidade instalada em geração elétrica a partir do biogás (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO BIOGÁS, 2021).

## **5.2 Programas governamentais para incentivo de fontes de energias renováveis no Brasil**

### **5.2.1 Projeto De Lei do Senado Nº 302, DE 2018**

Como forma de impulsionar a produção de biogás através de aterros sanitários, a Comissão de Meio Ambiente do Senado aprovou no dia 07/12/2022, projeto de fomento ao biogás e ao biometano, PLS 302/2018. Visa estimular produção de biogás, biometano e energia elétrica a partir do aproveitamento de resíduos sólidos em aterros sanitários (BRASIL, 2022c).

### **5.2.2 Programa Metano Zero**

O programa Metano Zero é um projeto do governo federal que busca o envolvimento da sociedade brasileira ou seja setor privado, sociedade civil, setor científico e de pesquisa. Busca diminuir a emissão de carbono ao mesmo tempo que promove o desenvolvimento sustentável, com base no apoio para o financiamento, incentivos, desoneração, capacitação, desenvolvimento, transferência, difusão da tecnologia e de processos. (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2022)

Segundo o Ministério do Meio Ambiente, podemos destacar dentro do programa medidas para impulsionar o uso do biogás e biometano que ajuda para o crescimento da economia verde (conceito que visa aliar crescimento econômico com justiça social e preservação ambiental).

Deve-se destacar a concessão de créditos e financiamentos de agentes financeiros público e privado para seguintes fins:

- Implantação de biodigestores;
- implantação de sistema de purificação de biogás, produção e compressão de biometano;

- criação de pontos e corredores verdes para abastecimento de veículos pesados movidos a biometano, tais como ônibus, caminhões e implementos agrícolas, contribuindo para a redução de gases de efeito estufa e para a melhoria da qualidade do ar;
- implantação de tecnologias que permitam a utilização de combustíveis sustentáveis e de baixa intensidade de emissões de gases de efeito estufa em motores de combustão interna de ciclo Otto ou diesel, atendidas às normas fixadas pelos órgãos competentes;
- alavancagem da utilização ou desenvolvimento da tecnologia veicular; desoneração tributária para infraestruturas relacionadas com projetos de biogás e biometano.

### **5.2.3 *RenovaBio***

RenovaBio é uma política nacional de biocombustíveis instituída através da Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017 com objetivo de expandir a produção e o uso na matriz energética brasileira de fontes energéticas renováveis. As principais estratégias para o cumprimento da política estão pautadas em três pontos:

- **metas de reduções de emissões de (GEE)**

Anualmente são definidas metas nacionais de descarbonização pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) para um período de 10 anos conforme o decreto nº 9.888, de 27 de junho de 2019. As metas anuais são expandidas para os distribuidores de combustíveis através da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP. (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2017)

O Decreto nº 9.888/2019 estabeleceu o Comitê da Política Nacional de Combustíveis – o Comitê RenovaBio, a responsabilidade pela governança do Programa, através dos principais órgãos do Poder Executivo, que possuem competência de recomendar das metas de descarbonização ao CNPE. RenovaBio. (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2017)

O comitê deve considerar a diminuição da intensidade de carbono da matriz energética brasileira para um período mínimo de 10 anos, analisando e protegendo os interesses do consumidor, preço, qualidade e oferta dos combustíveis. Deve-se levar em consideração a disponibilidade de oferta de biocombustíveis por produtos e

importadores que possuem o Certificado de Produção Eficiente de Biocombustíveis. (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2017)

- **Crédito de descarbonização (CBIO)**

As metas são definidas em unidades de CBIOs, um ativo ambiental correspondente a uma tonelada de carbono, as negociações são pautadas em cima da regulamentação trazida pela Portaria MME nº 419, de 26 de novembro de 2019 (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2017).

A Figura 2 ilustra o histórico de metas estabelecidas pelo CNPE após consultas públicas e recomendações apresentadas pelo Comitê.

Figura 2 - Histórico de metas estabelecidas pelo CNPE

ANO	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Meta Anual (Milhões de CBIOs)	35,45	50,81	58,91	66,49	72,93	79,29	85,51	90,67	95,67	99,22
Intervalos de Tolerância (Limites Superior e Inferior)	-	59,31	67,41	74,99	81,43	87,79	94,01	99,17	104,17	107,72
	-	42,31	50,41	57,99	64,43	70,79	77,01	82,17	87,17	90,79

Fonte: Ministério de Minas e Energia (2017)

- **Certificação de produção de biocombustíveis**

A participação dos produtores no programa RenovaBio se dará totalmente de forma voluntária. Os produtores que comprovam sua produção com base em avaliação do Ciclo de Vida (ACV) recebem notas de eficiência energética ambiental. (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2017)

#### 5.2.4 Novo Marco Legal do Saneamento

A Lei nº 14.026/2020 conhecida como Novo Marco Legal do Saneamento busca melhoria dos serviços de saneamento básico como coleta e tratamento de esgoto, abastecimento de água, limpeza urbana, destinação final dos resíduos sólidos e urbanos, manejo e drenagem da água da chuva. A meta é alcançar até 2033, 99% de fornecimento de água e 90% de tratamento de esgoto para os brasileiros. (BRASIL, 2020a)

Em 2019, 92% da população brasileira estava recebendo serviços domiciliares de coleta de resíduos sólidos. Já a população que tem acesso à água que era em torno de 81% em 2010 em 2019 subiu para 83,7%. No Brasil o serviço com menor

oferta é o de rede de esgoto, atendendo em torno de 46,2% da população em 2010, porém em 2019 esse valor gira em torno de 54,1% (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO, 2019).

### **5.2.5 Programa Lixão Zero**

É um programa do Ministério do Meio Ambiente em conjunto com Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), com a finalidade de eliminar os lixões a fim de implementar a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A ideia é apoiar os municípios para soluções mais corretas de destinação final dos resíduos sólidos, com foco na recuperação energética, logística reversa, reciclagem, entre outros. (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2019)

A distribuição de resíduos orgânicos, nos lixões ou aterros sanitários, produz chorume (líquido de cor escura e elevada carga orgânica), podendo contaminar o solo e às águas subterrâneas, emite biogás com grandes quantidades de gás metano (importante contribuinte de emissões de gases do efeito estufa). Como os lixões não captam e não tratam os elementos que podem gerar biogás e metano, com programa lixão zero, mais resíduos orgânicos seriam destinados aos aterros sanitários, que podem tratar os resíduos, gerando biogás para abastecimento de energia elétrica e biometano para combustível, evitando que grande parte do metano gerado, seja disperso para atmosfera, já que contribuí para o agravamento do efeito estufa (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2019).

## **5.3 Viabilidade econômica para uso do biogás de aterros (estudo de caso)**

Na análise da viabilidade econômica foi levada em consideração a possibilidade da venda de crédito de carbono. Conforme o Protocolo de Quioto o projeto se enquadra no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL considerou os seguintes critérios:

a) Adicionalidade: Deve-se provar que o projeto resulta na redução de emissões de gases de efeito estufa ou remoção do gás carbônico adicional que ocorreria na ausência do projeto do MDL.

b) Linha de base: Representa um cenário de forma plausível, onde as emissões antrópicas de gases de efeito estufa, aconteceria na ausência do projeto apresentado.

Considerou-se o valor para linha de base o valor de 13,5% do biogás produzido, já que existe no local um sistema de ventilação de queima do biogás com 140 drenos.

c) Efetividade do empreendimento está condicionada a venda de crédito de carbono: O projeto só seria cadastrado no MDL se a venda de créditos de carbono fosse indispensável a viabilidade econômica do projeto, ou seja, sem a venda desses créditos o projeto se tornaria inviável economicamente.

Como parâmetro para viabilidade econômica, foram realizados estudos sobre a geração de energia elétrica a partir do biogás produzido no Aterro Metropolitano Santa Tecla em Gravataí/RS, (VANZIN et al, 2006) simularam, oito cenários feito pelo autor, considerando o preço do crédito de carbono e o valor da venda da energia elétrica. Os Valores utilizados para simulação estão na tabela 3.

Tabela 3 - Cenários para avaliação de investimentos

Cenários	Preço do CER <sup>1</sup> (US\$)	Preço da energia elétrica (US\$/KWh)	TIR <sup>2</sup> (%)	VPL <sup>3</sup> (taxa 8%)
I	5,00	0,0592	13,76%	\$ 1.322.238,85
II	6,00	0,0592	14,95%	\$ 1.599.016,11
III	4,00	0,0592	12,54%	\$ 1.041.950,00
IV	5,00	0,0746	22,64%	\$ 3.572.963,01
V	5,00	0,0439	2,24%	(\$ 1.221.389,35)
VI	—	0,0746	16,96%	\$ 2.189.076,77
VII	—	0,0592	7,17%	(\$ 188.162,46)
VIII	—	0,0439	-7,01%	(\$ 3.572.963,10)

Fonte: Vanzin et al (2006)

#### Cenário I:

Considerou-se um valor conservador para os créditos de carbono, no valor de U\$ 5 por tonelada, e um valor conservador para energia elétrica de U\$ 0,0592 por Kwh, resultando numa TIR de 13,76% e uma VPL de U\$ 1.322.238,85 para uma taxa mínima de atratividade de 8% a.a.

#### Cenário II:

Criou-se uma situação positiva para venda de créditos de carbono no valor de de U\$ 6 por tonelada e mantevese o valor conservador para

<sup>1</sup> Certificado de Redução de Emissões

<sup>2</sup> Taxa Interna de Retorno

<sup>3</sup> Valor Presente Líquido

venda de energia elétrica, resultando numa TIR de 14,95% e um VPL de U\$ 1.599.016,11 para uma taxa de atratividade de 8%.

Cenário III:

Considerou-se uma condição conservadora para venda de crédito de carbono no valor de U\$ 4 por tonelada e novamente manteve-se o valor conservador para venda de energia elétrica, que resultou numa TIR de 2,54% e um VPL de U\$ 1.041.950,00 para uma taxa mínima de atratividade de 8%.

Cenário IV: Considerou-se uma situação conservadora para a venda dos créditos de carbono de U\$ 5 por tonelada, um valor otimista para venda de energia elétrica, de U\$ 0,0746 por Kwh, resultando numa TIR de 22,64% e um VPL de U\$ 3.572.963,01 para uma taxa de 8%.

Cenário V: Criou-se uma situação conservadora para venda de crédito de carbono e uma situação pessimista para venda de energia, de U\$ 0,0439 Kwh resultando numa TIR de 2,24% e um VPL negativo de 1.221.389,35 para uma taxa de 8%.

Caso o projeto não fosse cadastrado no MDL foram criados os cenários VI, VII e VIII. Não foram considerados valores para a venda do crédito de carbono. Foram considerados valores de cenários otimista, conservador e pessimista para venda de energia elétrica

Cenário VI: Com valor otimista de energia elétrica de U\$ 0,0746, resultando numa TIR de 16,96%, o valor da VPL foi de U\$ 2.189.076,77 para uma taxa de 8%.

Cenário VII: Com valor conservador de energia elétrica de U\$ 0,0592, resultando numa TIR de 7,17% o valor Da VPL foi de U\$ 188.162,46 para uma taxa de 8%

Cenário VIII: Com valor pessimista de energia elétrica de U\$ 0,0439, resultando numa TIR negativa de 7,01%, o valor da VPL foi de U\$ 3.572.963,10 para uma taxa de 8%.

Considera-se a viabilidade do empreendimento quando a taxa interna de retorno (TIR) superar a taxa mínima de atratividade (VPL). Nas simulações o valor da VPL obtido foi de 8% a.a. Analisando a tabela 3, os cenários que se mostraram viáveis foram I, II, III, IV e VI já que a taxa interna de retorno superou a taxa mínima de atratividade. Logo os cenários V, VII e VIII foram inviabilizados, pois a TIR foi menor que a VPL. A tecnologia empregada para captação e tratamento de biogás tem um difícil acesso no Brasil, pois geralmente é importada e cara. (VANZIN et al, 2006)

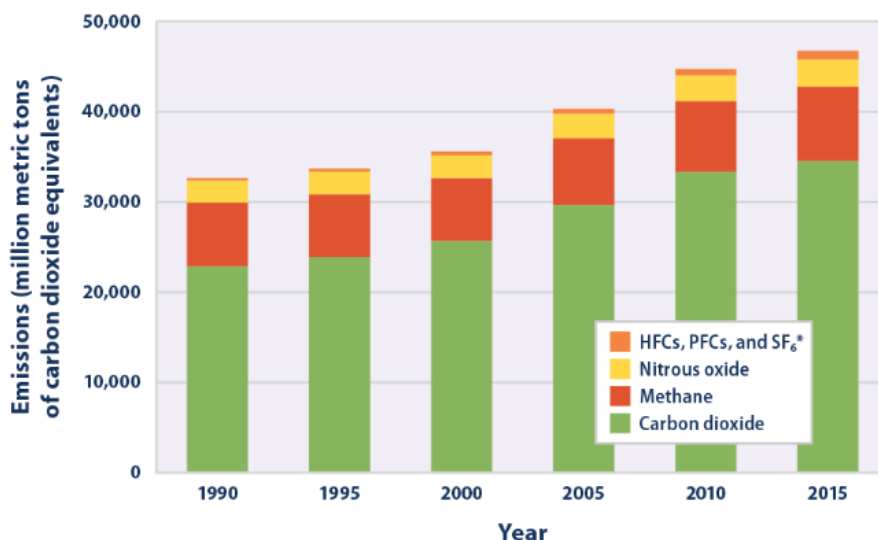
Em todos os cenários descritos considerou-se que o biogás seria adquirido pelo proprietário do aterro sanitário, considerando a cotação do dólar em 2006 no valor de (R\$ 2,28 por dólar) geraria uma receita de U\$ 1.864.061,30 com 11 anos de usina operando. Foram realizadas nesse mesmo estudo de caso, simulações com a cotação do dólar no valor de (R\$ 3,00 por dólar), tornando apenas um empreendimento viável, (VANZIN et al, 2006) demonstrando uma grande sensibilidade da viabilidade econômica a variação da cotação do dólar. Se em abril de 2023 fosse realizado outro estudo, do mesmo cenário, todos provavelmente se tornariam inviáveis com o dólar sendo cotado a (R\$ 5,22 por dólar)

## **5.4 Vantagens e desvantagens do biogás**

### **5.4.1 Vantagens ambientais e energéticos**

Os gases emitidos pelo consumo dos combustíveis fósseis, contribuem para o efeito estufa. Assim o biogás obtido pela decomposição de resíduos sólidos nos aterros é um dos responsáveis para contribuição do efeito estufa no planeta. A figura 3 representa as emissões globais de gases de efeito estufa em todo mundo. As emissões são expressas em milhões de toneladas métricas de equivalentes de CO<sub>2</sub>.

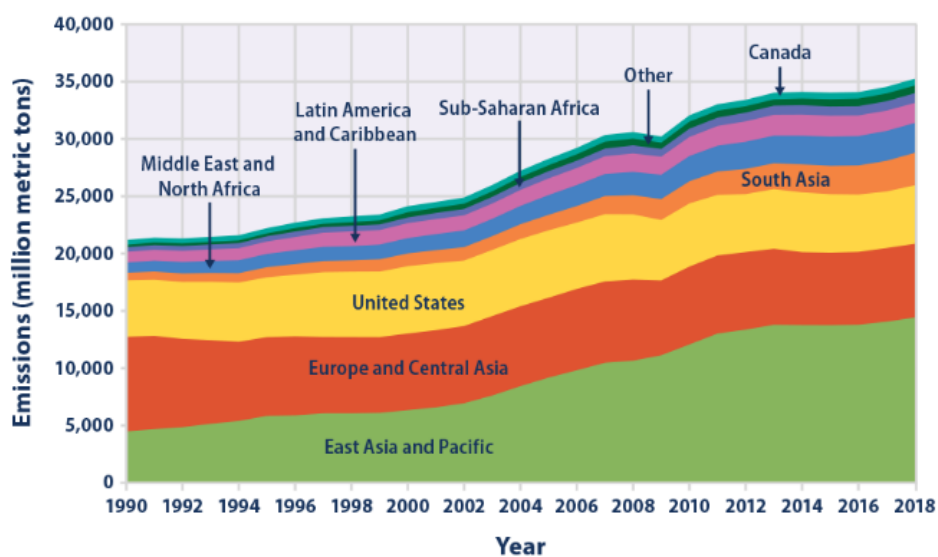
Figura 3 - Emissões globais de gases de efeito estufa por tipo de gás 1990–2015



Fonte: United States Environmental Protection Agency (2020)

Entre 1990 e 2015 mundialmente a produção dos principais gases do efeito estufa aumentaram, sendo que a emissão líquida de CO<sub>2</sub> aumentou 51% este gás é responsável por três quarto das emissões globais, já as emissões de metano aumentaram 17% no período (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2020). A figura 4 apresenta a emissão global de dióxido de carbono por região do planeta de 1990 a 2018.

Figura 4 - Emissões globais de dióxido de carbono por região, 1990–2018



Fonte: United States Environmental Protection Agency (2020)

Com relação à emissão global de dióxido de carbono, observa-se que em algumas partes do mundo está aumentando de forma mais rápida (Leste Asiático e Pacífico) se comparado com os outros lugares. Em 2018 as maiores emissões ocorrem de três regiões (Leste Asiático e Pacífico, Europa e Ásia Central e Estados Unidos) que somados representam 74% do total mundial (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2020).

O propósito de explorar cada vez o sistema para extração e queima do biogás através dos resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários, gera a destruição metano, produzindo um gás menos nocivo que este em relação ao efeito estufa (dióxido de carbono). Ainda, pode ser encarado com o uma das fontes para substituição de grande parte dos combustíveis fósseis. A decomposição da matéria orgânica seguida pela formação de metano (biogás) é considerada natural. Logo, o uso deste gás para geração de energia térmica ou elétrica, ou seja, se for empregada para o comércio de combustível, não iria somar suas emissões com as de combustíveis fósseis. Isso porque ao invés de lançar o gás metano na atmosfera após a sua formação, ganharia um novo rumo diminuindo as consequências o aquecimento global gerado por gases de efeito estufa. (FARIA, 2010)

As vantagens do Biogás vão além de gerar eletricidade. Há ainda a possibilidade de geração descentralizada e próxima aos pontos de cargas, já que a maioria dos aterros se localizam próximos das cidades, em vista das usinas de geração de energia, utilização para cogeração e diminuição de odores gerados nos aterros. (SALOMON; LORA, 2005)

#### **5.4.2 Desvantagens**

Uma das desvantagens do biogás é a impossibilidade de difundir essa fonte em larga escala para utilização em energia, visto que o biogás é proveniente de resíduos sólidos, matéria-prima que sofre variação em sua quantidade. O biogás demanda um tempo longo, para alcançar a sua produção máxima seguida posteriormente pelo seu decaimento. No Brasil uma das maneiras mais comuns da produção de biogás é através dos aterros sanitários. Vale salientar que cada aterro possui um tempo de vida útil, ou seja, as instalações elétricas instaladas nesses lugares precisam procurar outro destino ao final da produção de metano, elevando os gastos para investimentos (VALÕES, 2022).

Um dos grandes problemas do biogás é que precisa ser utilizado (queimado), logo que é produzido. É necessário tecnologias para evitar a pequena perda de biogás durante seu processo de produção, pois de certa maneira contribui para o efeito estufa. (VALÕES, 2022)

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da revisão bibliográfica realizada é possível afirmar que o biogás de aterro se apresenta como uma alternativa muito boa dentro da economia circular, pois cumpre com a propostas de uso racional dos recursos naturais com foco no desenvolvimento. Ou seja, é uma fonte vinda de resíduos sólidos urbanos, onde não há superexplorações dos recursos naturais. Se comparado às fontes usuais oriunda de combustíveis fósseis, ele gera energia mais limpa, contribuindo com diminuição do efeito estufa.

Embora o biogás se mostre uma boa alternativa, os estudos revelam que dentro das fontes de energia renováveis ele ainda se apresenta de forma tímida, porém crescente. O uso para geração de energia elétrica para abastecimento no Brasil existe, mas é cara e importada, e requer adaptação a composição do lixo brasileiro. E suprir a demanda das fósseis é bem pesado.

Com base nesses resultados o biogás abre portas para implantações de pequenas estações para geração de energia elétrica, visto que existe um decreto sancionado que institui o Marco Legal da Microgeração e Minigeração distribuída, que permite que os consumidores produzam a própria energia que utilizam a partir de fontes renováveis.

O governo lançou diversos programas para impulsionar a produção e o uso do biogás tanto de aterros como no setor sucroenergético. Esses programas visam obtenção de benefícios na redução dos resíduos do campo e resíduos sólidos urbanos, principalmente os descartado de maneira inadequadas (Programa Lixão Zero e o novo Marco Legal do Saneamento com relação ao fim dos lixões).

É de extrema importância que novos estudos sejam feitos, principalmente na área de tecnologia para otimizar os processos de produção, evitar perdas e cada vez mais expandir os negócios para alcance de todos, valorizando cada vez mais a economia circular, promovendo o crescimento sustentável.

## REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Dados aberto – **Quantidades de usina termelétricas por tipo**. 2023. Disponível em: < <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/usinas-termeletricas-por-tipo>>. Acesso em: 15 jan. 2023.

ALVES, Josivan Leite et al. Economia Circular e Energias Renováveis: uma análise bibliométrica da literatura internacional. **Interações** (Campo Grande), v. 23, p. 267283, 2022. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/inter/a/kRtjCTkLDzHwmCNJWbwXmrd/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em 06 jan. 2023

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil.2021**. Disponível em: < <https://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em 10 fev. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA – ABSOLAR. **Panorama da solar fotovoltaico no Brasil e no mundo**. 2023. Disponível em: < <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em 9 fev. 2023

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO BIOGÁS. **O potencial brasileiro de biogás**. SãoPaulo (SP), 2018. Disponível em:<[https://abiogas.org.br/wpcontent/uploads/2020/11/NOTATECNICA\\_POTENCIAL\\_ABIOGAS.pdf](https://abiogas.org.br/wpcontent/uploads/2020/11/NOTATECNICA_POTENCIAL_ABIOGAS.pdf)>. Acesso em: 01 set.2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO BIOGÁS. **Programa Nacional Do Biogás e Biometano**.SãoPaulo (SP), 2020. Disponível em:<[https://abiogas.org.br/wpcontent/uploads/2020/11/NOTATECNICA\\_POTENCIAL\\_ABIOGAS.pdf](https://abiogas.org.br/wpcontent/uploads/2020/11/NOTATECNICA_POTENCIAL_ABIOGAS.pdf)>. Acesso em: 01 set.2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO BIOGÁS. **Proposta Para o Setor de Biogás e Biometano**. SãoPaulo (SP), 2022. Disponível em:[https://uploads-ssl.webflow.com/632ab10950c5e334290bfadf/6390dd3a746e8e47bbe64d3d\\_propostas\\_para\\_setor\\_de\\_biogas\\_e\\_biometano.pdf](https://uploads-ssl.webflow.com/632ab10950c5e334290bfadf/6390dd3a746e8e47bbe64d3d_propostas_para_setor_de_biogas_e_biometano.pdf)> . Acesso em: 01 set.2022.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO SOCIAL. **Biogás: evolução recente e potencial de uma nova fronteira de energia renovável para o Brasil**. Rio de Janeiro (RJ), 2021. Disponível em: < <http://web.bndes.gov.br/bi/jspui/handle/1408/20801>>. Acesso em 05 jan. 2023.

BORSCHIVER, Suzana; TAVARES, Aline. Economia circular e o setor energético **Boletim Energético**, [] -Botafogo (RJ), jun. 2018. Disponível em: < [https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/26049/coluna\\_opinioao\\_junho\\_suzana\\_e\\_aline.pdf](https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/26049/coluna_opinioao_junho_suzana_e_aline.pdf)>.Acesso em: 03 nov.2022.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei nº 302/2018, de dezembro de 2018**. Altera a Lei 12.305/2010, da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF: Senado Federal, 2020. Disponível em: < [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm)>. Acesso em: 20 dez.2022.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei nº 14.026/2020, de julho de 2020**. Altera a [Lei nº 9.984, de 17 de julho, de 2000](#), para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, DF: Senado Federal, 2022. Disponível em: < <https://in.gov.br/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>>. Acesso em: 20 dez.2022.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei 14.300/2022, de janeiro de 2022**. Altera as [Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004](#), e [9.427, de 26 de dezembro de 1996](#), da comercialização de energia. Brasília, DF: Senado Federal, 2022. Disponível em: < <https://in.gov.br/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>>. Acesso em: 20 dez.2022.

CASTILHO, Jessyka Silva. **Perspectivas para o Brasil no comércio internacional de carbono: uma visão ambiental e econômica**. 2011. Disponível em: < <https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/123456789/3399>>. Acesso em 06 nov. 2022.

CASTILHOS, JUNIOR, Armando Borges. et al. Principais processos de degradação de resíduos sólidos urbanos. **Alternativas de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos para Pequenas Comunidades**. Rio de Janeiro: ABES, Rima, p. 19-50, 2003. Disponível em: < <http://livroaberto.ibict.br/handle/1/529>>. Acesso em 15 jan. 2023.

CECHIN, Andrei. **A natureza como limite da economia**: a contribuição de Georgescu-Roegen. São Paulo: Senac, 2010.

CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS. **BIOGASMASP**. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiODc2NTlhOGltOTc2Ny00ZDc1LWl5MTMtYjYwZTRlYjFiOWQ3liwidCI6ImMzOTg3ZmI3LTQ5ODMtNDA2Ny1iMTQ2LTc3MGU5MWE4NGViNSJ9&pageName=ReportSection6ed365e9760a3c113b0d>>. Acesso em: 20 dez.2022

CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS. **Panorama do Biogás no Brasil**. São Paulo, 2021. Disponível em: <<https://cibiogas.org/wp-content/uploads/2022/04/NT-PANORAMA-DO-BIOGAS-NO-BRASIL-2021.pdf>>. Acesso em: 20 dez.2022.

CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino. Metodologia científica. In: **Metodologia científica**. 1996. p. xiv, 209-xiv, 209. Disponível em: < <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-1235435>>. Acesso em 06 jan. 2023.

COELHO, Willian Leonardo Vieira. Análise do potencial de geração de energia elétrica a partir dos resíduos do setor sucroenergético no estado de Mato Grosso em diferentes cenários produtivos. **Revista brasileira de energias renováveis**, v. 5, n. 2, p. 332-351, 2016. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI. **Economia circular**. Brasília, 2019. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/cni/canais/industria-sustentavel/temas-de-atuacao/economia-circular/>. Acesso em 15 mar. 2023.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Projeto de biogás no MDL**. São Paulo, 2014. Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/biogas/wpcontent/uploads/sites/3/2018/05/sobre\\_mdlinline\\_2edicao.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/biogas/wpcontent/uploads/sites/3/2018/05/sobre_mdlinline_2edicao.pdf)>. Acesso em: 20 dez.2022

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Produção de biogás, biometano e outros bioprodutos a partir de resíduos agroindustriais**. Brasília, 2022. Disponível em: < [a4738dab-1ffd-3811-6913-734f5b109cdc \(embrapa.br\)](https://a4738dab-1ffd-3811-6913-734f5b109cdc.embrapa.br)>. Acesso em 10 fev. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Biogás do futuro e o futuro do biogás**. [S. l.]. Disponível em: < [https://uploadssl.webflow.com/632ab10950c5e334290bfadf/6390dd2186e981661bb69111\\_painel-02-rafael-barros.pdf](https://uploadssl.webflow.com/632ab10950c5e334290bfadf/6390dd2186e981661bb69111_painel-02-rafael-barros.pdf)>. Acesso em: 10 fev. 2023.

FARIA, Mario. **Biogás produzido em aterros sanitários: aspectos ambientais e aproveitamento do potencial energético**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético) - Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <[https://www.al.sp.gov.br/repositorio/bibliotecaDigital/20926\\_arquivo.pdf](https://www.al.sp.gov.br/repositorio/bibliotecaDigital/20926_arquivo.pdf)>. Acesso em: 29 dez.2022.

FARQUHAR, GJ; ROVERS, FA. Gas Production During Refuse Decomposition. **Water Air Soil Pollut**, Waterloo, ONT, v.2, p. 483495, may. 1973. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/BF00585092>>. Acesso em 20 jan. 2023.

FERNANDES, Giovanna Loiola et al. Geração de energia usando biogás de aterros sanitários no Brasil: um estudo de potencial energético e viabilidade econômica em função da população. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 27, p. 67-77, 2022. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/ZRswbT3dZ9ryJFWBGtmhXmr/?format=pdf&lang=en>>. Acesso em: 20 dez.2022.

FILHO, Jean Carlos Inácio; OLIVEIRA, Grazielle Araújo de; CINTRA, Denise Gomes Barros. Créditos de carbono da agricultura brasileira. **Revista De Estudos Interdisciplinares do Vale do Araguaia Reiva**, Goiás, v. 05, n. 2, p. 02-03, 2022. Disponível em: < <http://reiva.unifaj.edu.br/reiva/article/view/242/195>>. Acesso em 05 fev. 2023.

GIDDENS, Anthony. **A política da mudança climática**. Zahar, 2010. Disponível em: < <https://www.epublicacoes.uerj.br/index.php/intersecoes/article/view/5776>>. Acesso em: 25 fev. 2023.

GHISELLINI, Patrizia; CIALANI, Cátia; ULGIATI, Sérgio. Uma revisão sobre economia circular: a transição esperada para uma interação equilibrada de sistemas ambientais e econômicos. **Journal of Cleaner Production**, v. 114, p. 11-32, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615012287>>. Acesso em: 20 mar. 2023.

KOPNINA, Helen; BLEWITT, John. **Negócios sustentáveis: Questões-chave**. Routledge, 2014. Disponível em: < <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9781315816586/sustainable-business-john-blewitt-helenkopnina>>. Acesso em 12 nov. 2022.

KUNZ, Airton; STEINMETZ, Ricardo Luis Radis; AMARAL, André Cestonaro Do. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. Concórdia, SC: Embrapa Suínos e Aves, 2019. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1108617/fundamentos-da-digestao-anaerobia-purificacao-do-biogas-uso-e-tratamento-do-digestato>>. Acesso em: 16 out.2022

LACY, Peter; RUTQVIST, Jakob. **Desperdício para a riqueza: A vantagem da economia circular**. Londres: Palgrave Macmillan, 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1057/9781137530707>>. Acesso em: 26 jan. 2023.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos metodologia científica**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2001. Disponível em: < [https://docente.ifrn.edu.br/olivianeta/disciplinas/copy\\_of\\_historia-i/historia-ii/china-e-india](https://docente.ifrn.edu.br/olivianeta/disciplinas/copy_of_historia-i/historia-ii/china-e-india)>. Acesso em 11 jan. 2023.

LANDIM, Ana Luiza Pinto Ferreira; AZEVEDO, Lizandra Prado de. O aproveitamento energético do biogás em aterros sanitários: unindo o inútil ao sustentável. **Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior**, Rio de Janeiro, RJ, n. 27, p. 59-100, mar. 2008. Disponível em: < [https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2433/1/BS%2027%20O%20aproveitamento%20energ%C3%A9tico%20do%20biog%C3%A1s\\_P.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2433/1/BS%2027%20O%20aproveitamento%20energ%C3%A9tico%20do%20biog%C3%A1s_P.pdf)>. Acesso em: 01 nov.2022

LEITÃO, Alexandra. **Economia Circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI**. Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting, Vol. 1, N. 2, set 2015. Disponível em: < <https://repositorio.ucp.pt/handle/10400.14/21110>>. Acesso em 01 out. 2022.

LOVINS, L. Hunter. **Capitalismo climático**. Editora Cultrix, 2015. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=aBkKAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT5&dq=Capitalismo+Clim%C3%A1tico:+Lideran%C3%A7a+Inovadora+e+Lucrativa+para+Um+Crescimento+Econ%C3%B4mico+Sustent%C3%A1vel&ots=0GJu70-AUz&sig=GM3ql67aQ-fR4D7uQILCm-IzqMU#v=onepage&q=Capitalismo%20Clim%C3%A1tico%3A%20Lideran%C3%A7a%20Inovadora%20e%20Lucrativa%20para%20Um%20Crescimento%20Econ%C3%B4mico%20Sustent%C3%A1vel&f=false>>. Acesso em: 10 nov. 2022.

LUZ, Beatriz. (Org.). **Economia circular Holanda: Brasil: da teoria à prática**. 1.ed. - Rio de Janeiro: Exchange 4 Change Brasil, 2017. Disponível em: <<https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/12561/2/EconomiaCircularAlternativa.pdf>>. Acesso em 15 out. 2022.

MACARTHUR, Ellen et al. Towards the circular economy. **Journal of Industrial Ecology**, v. 2, n. 1, p. 23-44, 2013. Disponível em: <[https://www.werktrends.nl/app/uploads/2015/06/Rapport\\_McKinsey-Towards\\_A\\_Circular\\_Economy.pdf](https://www.werktrends.nl/app/uploads/2015/06/Rapport_McKinsey-Towards_A_Circular_Economy.pdf)>. Acesso em 25 set. 2022.

MILANEZ, Artur Yabe; MAYA, Guilherme Baptista da Silva; GUIMARÃES, Diego Duque. Biogás: evolução recente e potencial de uma nova fronteira de energia renovável para o Brasil. **Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social**. Rio de Janeiro, RJ, v. 27, n. 53, p. 177-213, mar. 2021. Disponível em: <[Biblioteca Digital do BNDES: Biogás: evolução recente e potencial de uma fronteira de energia renovável para o Brasil](#)>. Acesso em: 05 out. 2022.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **RenovaBio**. Brasília, 2017. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/renovabio-1>>Acesso em: 01 dez.2022

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Programa Lixão Zero**. Brasília, 2019. Disponível em:[https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/programalixaozero-saibamais-pdf?\\_ga=2.158510396.720767274.1607094411-482898466.1598972500](https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/programalixaozero-saibamais-pdf?_ga=2.158510396.720767274.1607094411-482898466.1598972500). Acesso em 11 fev. 2023.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Programa Nacional do Metano Zero**. Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/climaozoniodesertificacao/ProgramaMetanoZero.pdf>> Acesso em 11 fev. 2023.

OLIVEIRA, PAV; HIGARASHI, Martha Mayumi. Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos. **Projeto de Controle da Degradação Ambiental Decorrente da Suinocultura em Santa Catarina**, Concórdia, SC, n. 115, p. 8-12, jun. 2006. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/856124/1/doc115.pdf>>. Acesso em 05 fev.2023.

SALOMON, Karina Ribeiro; LORA, Electo Eduardo Silva. Estimativa do potencial de geração de energia elétrica para diferentes fontes de biogás no Brasil. **Biomassa & Energia**, v. 2, n. 1, p. 57-67, 2005. Disponível em:

< [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55572546/2017082913354302\\_AULA\\_ARTIGO\\_ESTIMATIVA\\_DO\\_POTENCIAL\\_DE\\_GERACAO\\_DE\\_ENERGIA\\_ELETRICA-libre.pdf?1516280078=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DESTIMATIVA\\_DO\\_POTENCIAL\\_DE\\_GERACAO\\_DE\\_EN.pdf&Expires=1687842350&Signature=E9ceDvalWtxt7Xfmg490-fOjNChBdq14bHgB4k7HWHos-cpAFw6S8aVZ6SnjTetHutphGB4Bzr1jTVr8BqGjDB7YwDC6ydbR6ti8wyX3lmgEvS3jR3oNaawpU1fJ1-qCmzzEa1B3FKH8j1IbJspZcj18e49Hz8tF3ZKpQyhXFr8Cq9qpm0IPCuuapzY2~GfTtT0HN12QlfcBgbVaRSNz5HqP3X1aClvCTY1qonKT0DvKWEJsz6JsWjib3hM-uAnFeR4t~LWYUQhSrb-xfkJYnx9j~ByEe4XJ5-LDYRZ3WUD2sXQtKupHg88slU0BoZcpGntr6CEo4fV7l8y9WSTg2A\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55572546/2017082913354302_AULA_ARTIGO_ESTIMATIVA_DO_POTENCIAL_DE_GERACAO_DE_ENERGIA_ELETRICA-libre.pdf?1516280078=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DESTIMATIVA_DO_POTENCIAL_DE_GERACAO_DE_EN.pdf&Expires=1687842350&Signature=E9ceDvalWtxt7Xfmg490-fOjNChBdq14bHgB4k7HWHos-cpAFw6S8aVZ6SnjTetHutphGB4Bzr1jTVr8BqGjDB7YwDC6ydbR6ti8wyX3lmgEvS3jR3oNaawpU1fJ1-qCmzzEa1B3FKH8j1IbJspZcj18e49Hz8tF3ZKpQyhXFr8Cq9qpm0IPCuuapzY2~GfTtT0HN12QlfcBgbVaRSNz5HqP3X1aClvCTY1qonKT0DvKWEJsz6JsWjib3hM-uAnFeR4t~LWYUQhSrb-xfkJYnx9j~ByEe4XJ5-LDYRZ3WUD2sXQtKupHg88slU0BoZcpGntr6CEo4fV7l8y9WSTg2A_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)>. Acesso em: 09 mar. 2023.

SHEN, Xilin; QI, Chão. Contramedidas para o desenvolvimento da economia circular nas regiões ocidentais. **Energy Procedia**, v. 16, p. 927-932, 2012. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610212001580>>. Acesso em 01 mar. 2023.

SILVA, Washington Kennedy Araújo Sousa; TAGLIAFERRO, Evandro Roberto. Aterro sanitário-a engenharia na disposição final de resíduos sólidos. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 12216-12236, 2021. Disponível em:

< <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/24153/19338>>. Acesso em 03 mar. 2023.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. **Saneamento: os municípios brasileiros que mais precisam de água e esgoto tratados**. 2021. Disponível em: < <http://antigo.snis.gov.br/ultimas-noticias/saneamento-os-municipios-brasileiros-que-mais-precisam-de-agua-e-esgoto-tratados>>. Acesso em 01 mar. 2023.

STOCCO, Lucas Conde et al. **Framework de economia circular 4.0 para o setor atacado distribuidor: perspectivas a partir da regionalidade**. 2020. Disponível em: < <https://repositorio-dev.ufu.br/handle/123456789/28905>>. Acesso em 12 jan. 2023.

THEMELIS, Nickolas J.; ULLOA, Priscilla A. Geração de metano em aterros sanitários. **Energia renovável**, v. 32, n. 7, pág. 1243-1257, 2007. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148106001091>>. Acesso em 02 dez. 2022.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Indicadores de Mudanças Climáticas: Emissões Globais de Gases de Efeito Estufa**. Estados Unidos, 2022. Disponível em: <[Indicadores de Mudanças Climáticas: Emissões Globais de Gases de Efeito Estufa | EPA dos EUA](#)>. Acesso em 09 fev. 2023.

VALÕES, Lucélia Rodrigues. **Utilização do Biogás Como Fonte de Energia Alternativa de Energia**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) – Unissau Trianon, Recife, 2022. Disponível em: <[PesquisaObra \(sereducacional.com\)](http://PesquisaObra(sereducacional.com))> Acesso em: 21 jan. 2023.

VANZIN, Emerson. **Procedimento para análise da viabilidade econômica do uso do biogás de aterro sanitário para a geração de energia elétrica: aplicação no aterro sanitário Santa Tecla**. 2006. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia) – Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2006. Disponível em: <<http://tede.upf.br/jspui/bitstream/tede/230/1/2006EmersonVanzin.pdf>>. Acesso em 09 fev. 2023.

VIEIRA, Nathália Duarte Braz; DA SILVA WALTER, Arnaldo César; DOS SANTOS SILVA, Ivan Felipe. Avaliação de cenários para a descarbonização da geração elétrica no Brasil a partir do uso de biomassa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, XI, 2018, [...]. **Palestras**. Cuiabá. Set. 2018. p. 2-9.

WALISIEWICZ, Marek. **Energia alternativa: solar, eólica, hidrelétrica e de biocombustíveis**. [...]: Publifolha, 2008.