



Ministério da Educação – Brasil
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
Minas Gerais – Brasil
Revista Vozes dos Vales: Publicações Acadêmicas
ISSN: 2238-6424
QUALIS/CAPES – LATINDEX
Nº. 26 – Ano XIII – 05/2024
<http://www.ufvjm.edu.br/vozes>

APLICAÇÃO DE BIORREATORES INTEGRADOS EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS

Daniela Ferreira Santos
Bacharel em Ciência e Tecnologia
Graduanda em Engenharia Civil
Universidade dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM, Teófilo Otoni, Brasil
E-mail: daniela.ferreira@ufvjm.edu.br

Gabriela Gonçalves de Oliveira
Bacharel em Ciência e Tecnologia
Graduanda em Engenharia Civil
Universidade dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM, Teófilo Otoni, Brasil
E-mail: gabriela.goncalves@ufvjm.edu.br

Thamires Gonçalves Silva Prates
Bacharel em Ciência e Tecnologia
Graduanda em Engenharia Civil
Universidade dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM, Teófilo Otoni, Brasil
E-mail: thamires.prates@ufvjm.edu.br

Prof. DSc. Stênio Cavalier Cabral
Doutor em Engenharia e Ciências dos Materiais - UENF/RJ - Brasil
Docente curso de Engenharia Civil na Universidade Federal dos Vales do
Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM
<http://lattes.cnpq.br/2452889693767673>
E-mail: stenio.cavalier@ufvjm.edu.br

Francis Bento Marques
Mestre em Ambiente, Tecnologia e Sociedade - UFVJM
Doutorando em Gestão & Organização do Conhecimento - UFMG
<http://lattes.cnpq.br/1308905548372342>
E-mail: francis.marques@ufvjm.edu.br

Resumo: O presente artigo tem como objetivo apresentar um estudo sobre a Aplicação de Biorreatores Integrados em Edifícios Residenciais. Os biorreatores cumprem um papel importante na forma que os resíduos sólidos orgânicos podem ser utilizados, aplicando os biorreatores anaeróbios para o tratamento dos resíduos sólidos orgânicos tem-se uma excelente solução sustentável, uma vez que, as bactérias ao efetuar a digestão anaeróbia dos resíduos sólidos orgânicos transformam esses resíduos em um biocombustível denominado biogás, que é capaz de suprir as demandas energéticas e diminuir a necessidade de utilização de fontes não renováveis, além disso, o subproduto final pode ser utilizado como biofertilizantes.

Palavras-chave: Biorreator, Edificações, Resíduos sólidos, Sustentabilidade.

Introdução

O crescimento populacional e o desperdício de alimentos tal como a destinação inadequada destes, tornou-se um dos motivos que contribuiu para a geração de alto volume de resíduos sólidos orgânicos dentro das cidades. Esses resíduos podem ser de origem doméstica ou urbana e a disposição incorreta pode levar ao surgimento de chorume que, por sua toxicidade e concentração elevada de metais pesados, leva a produção do gás metano (CORREA et al, 2020).

De acordo com O Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), a emissão de CH₄ no Brasil no ano de 2022 atingiu cerca de 3 milhões de toneladas do gás metano e a maior concentração está na região sudeste do país, tendo o Estado de São Paulo classificado como o maior potencial poluidor.

Além disso, estima-se que a maior parte dos Resíduos Sólidos Urbanos gerados são provenientes das perdas de alimentos domiciliares somados aos resíduos verdes, o qual equivalem a 45,3% do total. De fato, o excesso de resíduos orgânicos sem tratamento representa um problema ambiental que necessita de adoção de métodos adequados de gestão e controle (ABRELPE, 2020).

Nesse contexto, o emprego de biorreatores anaeróbios para o tratamento dos resíduos sólidos orgânicos é uma solução sustentável, visto que, o processo é feito através da digestão anaeróbia por meio da decomposição da matéria orgânica pelas bactérias que a converte em um biocombustível denominado biogás cuja maior parte dos gases produzidos é o metano (CORREA et al, 2020).

No que se diz respeito a energia elétrica, a fonte principal mais usada é a derivada de hidrelétricas que, por sua vez, tem causado grandes impactos ambientais como alteração dos cursos d'água e sociais pela retirada da população para a construção delas. Contudo, o biogás é uma fonte alternativa viável pois, reutiliza os resíduos orgânicos como matéria prima para a geração de energia podendo ser implantada em quaisquer propriedades residenciais (SANTOS *et al.*, 2023).

Sendo assim, o biogás monitorado adequadamente contribui para um ambiente sustentável pela produção de energia limpa e agrega valor econômico pela produção de biocombustíveis.

Sustentabilidade

Sustentabilidade é um conceito que envolve a busca pelo equilíbrio entre as necessidades sociais, econômicas e ambientais, visando garantir o bem-estar das gerações presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades. Refere-se à adoção de práticas, técnicas e materiais que visam reduzir o impacto ambiental, promover o uso eficiente dos recursos naturais, e melhorar a qualidade de vida dos ocupantes dos edifícios, ao mesmo tempo em que se busca garantir a viabilidade econômica dos empreendimentos.

O âmbito da construção civil frequentemente promove debates sobre o carecimento de aprimorar práticas para o desenvolvimento sustentável, isso se dá pelo fato de ser grande dependente dos recursos naturais e consequente geradora de resíduos. (Brasileiro & Matos, 2015). São exemplos de sustentabilidade a execução de Edifícios Residenciais que sejam cada vez mais eficientes e que influenciam e moldam a implementação de práticas e tecnologias de modo sustentável. (DARKO *et al.*, 2017).

O mercado de biodigestores para Resíduos Sólidos Orgânicos Urbanos (RSOU) no Brasil apresenta um potencial significativo, considerando a grande quantidade de resíduos gerados no país. Através da parcela orgânica do Resíduos Sólidos Orgânicos Urbanos (RSOU) provenientes de atividades domésticas em áreas urbanas pode ser produzida grande quantidade na produção do biogás que será inserida com a tecnologia de biorreatores podendo ser utilizado como fonte de

energia térmica ou elétrica, ajudando a suprir as demandas energéticas dos edifícios residenciais. (SOUZA et al. 2014). A melhoria das políticas públicas de RSU é crucial para aproveitar o biogás devido aos significativos problemas na infraestrutura nacional de coleta, triagem e reutilização dos resíduos urbanos (CARVALHO et al. 2019).

Biorreatores

Os primeiros biorreatores foram empregados no início do século XX pela indústria farmacêutica na produção de substâncias tais como o ácido cítrico e ácido acético e, posteriormente, na fabricação de vacinas e antibióticos (SCHMIDELL, 2021). Com os avanços tecnológicos aliados ao conhecimento científico, foi necessário fazer modificações na máquina para aumentar sua capacidade e melhorar sua eficiência.

Os biorreatores são equipamentos fechados que, em condições favoráveis de temperatura, pH e oxigênio dissolvido, torna-se propício as reações químicas as quais são biocatalizadas por enzimas ou células vivas. Esses equipamentos, geralmente, possuem uma configuração cilíndrica, são feitos com materiais resistentes a corrosão e devem atender os requisitos exigidos para se adaptarem aos diversos tipos de matérias orgânicas e manter o funcionamento adequado simultaneamente (SCHMIDELL, 2021).

A escolha do tipo de biorreator é baseada no agente catalizador e na disposição dele seja livre, imobilizado ou integrado em membranas levando em consideração sua finalidade e qual a demanda que se deseja atender. No que se refere a produção de energia renovável a partir do biogás, os biorreatores anaeróbios são os mais indicados, pois o princípio de funcionamento é simples e de fácil controle, possui baixo custo e apresenta boa eficiência (ECKHARD, 2016).

Com relação a geração de biogás por meio de resíduos sólidos urbanos, os biorreatores anaeróbios realizam a biodigestão através de uma colônia de bactérias que decompõe a matéria orgânica na ausência de oxigênio. Esse processo ocorre dentro de um tanque fechado onde possui misturador e um sistema de aquecimento até atingir a formação do gás metano e do dióxido de carbono (SOUZA e SCHAEFFER, 2015).

Geração De Biogás

O comércio de biodigestores para o trato de resíduos orgânicos no Brasil enfrenta desafios significativos justo à crescente concepção de resíduos e à erro de infraestrutura apropriada. Isso resulta em problemas ambientais, quanto a corrompimento do território e da água, afora das emissões de consequência decorrentes da deterioração desses resíduos em aterros sanitários (MACHADO, 2024).

Contudo, os biodigestores emergem quanto uma solução promissora, esses sistemas processam organicamente, produzindo biofertilizantes de variedade e biogás. O biofertilizante pode estar atento na agricultura, reduzindo a essencialidade de fertilizantes químicos e fomentando práticas agrícolas mais sustentáveis. Por sua vez, o biogás pode estar convertido em funcionamento térmico ou elétrico, ajudando a suprir as demandas energéticas e diminuindo a subordinação de fontes não renováveis (MACHADO, 2024).

Segundo Oliver et al., (2008) o Biogás é uma combinação gasosa resultante da fermentação bacteriana anaeróbica de materiais orgânicos. Compreende entre 50 e 70% de metano (CH4) e entre 30 e 45% de dióxido de carbono (CO2), com a possível presença de ácido sulfídrico (H2S), amônia (NH3), hidrogênio (H2) e nitrogênio (N2). Para que o biogás seja adequado para a geração de energia elétrica, é crucial que a proporção de metano (CH4) seja superior à quantidade de dióxido de carbono (CO2). Ele é reconhecido como um combustível renovável e ambientalmente limpo, capaz de servir como uma fonte alternativa de energia. Uma das suas aplicações é na geração de energia elétrica por meio de geradores a combustão.

O processo de geração de biogás compreende três etapas: preparação do material biológico, fermentação e pós-tratamento do material residual. Inicialmente, o material orgânico é coletado em uma fossa primária, esterilizado para eliminar germes nocivos (especialmente em resíduos alimentares) e direcionado ao digestor. O biogás gerado no digestor é armazenado em um tanque para garantir um suprimento contínuo, independente das flutuações na produção. Posteriormente, o biogás é canalizado para um motor a gás, por questões de segurança, é

recomendável a instalação de um queimador de gás para queimar o excesso, caso a produção seja muito elevada.

A produção de biogás é resultado da digestão anaeróbia da matéria orgânica, que ocorre em quatro etapas fundamentais: hidrólise, fermentação, oxidação anaeróbica e formação de metano e subprodutos (biogás).

Figura 1: Etapas da produção de Biogás.



Fonte: Infoescola.

Resultados e Discussões

Funcionamento Do Biorreator Anaeróbico

Diariamente, toneladas de resíduos são geradas globalmente, resultando na poluição do solo, da água e do ar. A decomposição dos resíduos orgânicos em aterros sanitários também libera metano, um gás de efeito estufa extremamente nocivo. Esses impactos ambientais afetam negativamente a saúde humana e a biodiversidade (MACHADO, 2014).

Atualmente, diversas tecnologias estão disponíveis para extrair materiais valiosos dos resíduos e diminuir o impacto ambiental. Os biorreatores frequentemente chamados de biodigestores são uma dessas tecnologias. Funcionam por meio da digestão anaeróbica, em que microrganismos decompõem a matéria orgânica sem oxigênio. Isso gera biogás, que pode ser usado como combustível para produzir eletricidade, calor ou como combustível veicular (MACHADO, 2024).

Os biodigestores consistem em uma variedade de componentes, como coletor de biomassa, fermentador e tanque de armazenamento. O processo de biodigestão ocorre em etapas meticulosamente delineadas:

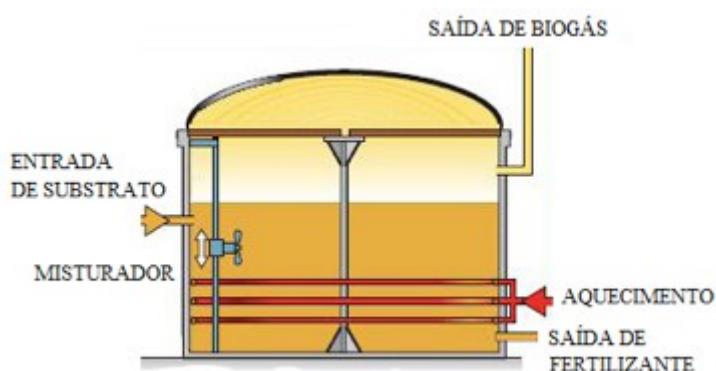
1. Coleta de biomassa: Diferentes tipos de biomassa, como resíduos orgânicos provenientes de restos de alimentos, esterco animal e resíduos agrícolas, são coletados e preparados para a biodigestão. Essa biomassa atua como substrato fundamental para o processo do biodigestor.
2. Fermentação: A biomassa preparada é então introduzida no fermentador, o núcleo operacional do biodigestor. Nesta fase crucial, ocorre a biodigestão anaeróbica, onde microrganismos, notadamente bactérias, degradam a biomassa em um ambiente desprovido de oxigênio. Este processo é monitorado e otimizado para maximizar a produção de biogás.
3. Produção de biogás: No decorrer da fermentação, as bactérias decompondo a biomassa produzem biogás como subproduto. Principalmente composto por metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), o biogás é coletado e armazenado em um tanque dedicado.
4. Utilização do biogás: O biogás tem diversas aplicações potenciais. Pode ser queimado em motores especialmente adaptados para gerar eletricidade ou calor. Também pode ser empregado em fogões, aquecedores de água e outros dispositivos de combustão. A energia derivada do biogás é uma fonte renovável, reduzindo a dependência de fontes não renováveis e mitigando as emissões de gases de efeito estufa.
5. Biofertilizante: Paralelamente ao processo de biodigestão, é produzido um subproduto valioso chamado biofertilizante ou digestato. Este material é rico em nutrientes essenciais, como nitrogênio, fósforo e potássio, podendo ser separado do biodigestor. O biofertilizante representa um fertilizante orgânico valioso, enriquecendo o solo e promovendo o crescimento saudável das plantas (MACHADO, 2023).

Modelagem Do Biorreator

Os biorreatores anaeróbios mais comumente empregados em grande escala são fabricados a partir de chapas de aço ou concreto. Os biorreatores contínuos são projetados para carga e descarga simultâneas, mantendo uma entrada e saída constante do substrato na câmara principal. Essa característica confere ao sistema a capacidade de produzir biogás de forma contínua, sem a necessidade de abertura para a remoção da matéria orgânica digerida (SOUZA, 2015).

Esses biorreatores podem ser configurados com dois ou mais tanques interligados, separando as fases de hidrólise das fases finais do processo de metanogênese e estabilização. Em todos os modelos, a parte central consiste no tanque principal, o biorreator, responsável pela degradação do substrato. O dimensionamento desses tanques é realizado com base na carga orgânica, isto é, na quantidade de material orgânico a ser tratado (SOUZA, 2015).

Figura 2: Biorreatores anaeróbios fabricados utilizando chapas de aço, lona e concreto, equipados com misturador e sistema de aquecimento do substrato.



Fonte: Souza 2015.

As chapas metálicas são preferidas na fabricação de tanques devido à sua boa ductilidade e tenacidade, permitindo várias operações de conformação. Destacam-se as resistências e a resistência à oxidação do aço inoxidável, que enfrenta vários tipos de corrosão, como corrosão uniforme, corrosão por pites, corrosão intragranular, corrosão de risco de faca, corrosão sob tensão, corrosão em frestas e erosão-cavitação. Aços especiais com boas resistências à corrosão

química são utilizados em equipamentos industriais, como na indústria química de papel e celulose (SOUZA 2011).

Figura 3: Biorreator em chapas de aço Inox.



Fonte: Souza 2011.

Biorreator Integrado A Uma Edificação Residencial

Processos como reciclagem, compostagem e tratamento térmico reduzem significativamente o volume de resíduos, mas ainda geram sobras que geralmente acabam em aterros sanitários. Nesse contexto, as condições de armazenamento e as influências de agentes naturais são cruciais para a formação de biogás.

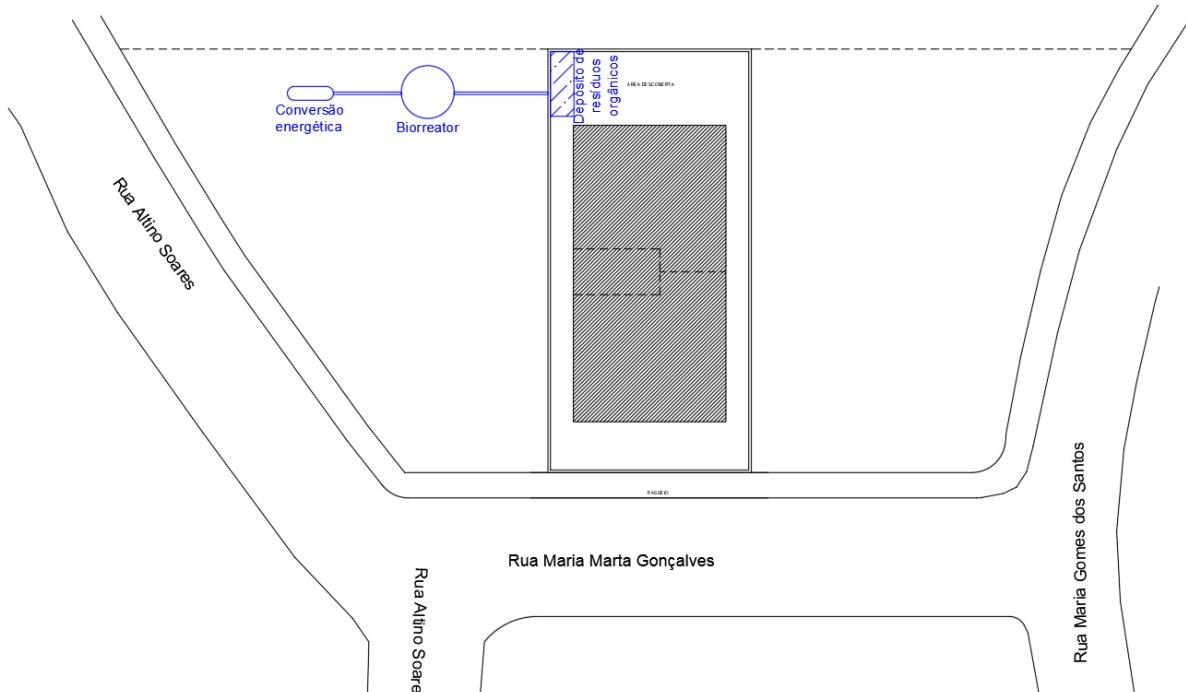
No Brasil, a principal dificuldade dos projetos da utilização do biogás em aterros é a distância dos centros urbanos, o que encarece a transmissão de energia para as subestações. (PEDOTT; AGUIAR, 2014). Com isso utilizando o próprio resíduo sólido urbano (RSU) do Edifício Residencial, onde ficará um ponto de coleta e separação podendo incluir uma variedade de itens como lixo doméstico, restos de alimentos, embalagens, materiais de construção, resíduos industriais, e outros tipos de detritos sendo instalado próximo a instalação do Biorreator diminuindo a distância e os custos.

Segundo a Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais o Brasil gera cerca de 37 milhões de toneladas de lixo orgânico, esse resíduo possui potencial econômico de virar adubo, gás combustível e energia, entretanto apenas 1% do que se descarta é aproveitado.

O biorreator além de permitir um destino correto para esses resíduos orgânicos, torna-se uma forma de gerar energia, transformando assim esses resíduos em um grande potencial econômico.

O esquema abaixo apresenta a possível disposição do biorreator e seus componentes aplicado em um edifício residencial:

Figura 4: Esquematização da instalação do biorreator no edifício residencial.



Fonte: Autores.

O reator é instalado sobre uma base de concreto com canaleta nivelada para encaixar a estrutura de chapas. A canaleta é vedada com concreto armado e agente impermeabilizante para evitar infiltrações. O aço inox garante resistência à corrosão e oxidação, tornando o equipamento adequado para contato direto com meios de cultura e produtos biológicos durante a fermentação ou cultivo celular, possuindo um sistema de agitação eficiente, com hélices ou impulsores projetados para homogeneizar o meio de cultura e distribuir oxigênio uniformemente, essencial para o crescimento adequado das culturas.

Caracterizado por seus componentes e acessórios de tecnologia avançada, um biorreator, apesar de ser flexível em termos de materiais utilizados, possui um processo de construção básico dividido em três partes. Uma das partes é a dorna,

que deve garantir a esterilidade do meio de cultivo, suportar a esterilização e o processo fermentativo, e ser à prova de contaminações externas.

O módulo de controle, essencial para o funcionamento, reúne componentes elétricos para processar e armazenar informações, comandar ações mecânicas e enviar sinais conforme os parâmetros do software de controle. Também há sensores e equipamentos auxiliares com padrões de segurança para evitar vazamentos e riscos no cultivo de microrganismos ou células.

Comparativo Entre Aterro Sanitário E Biorreatores

Há um debate substancial em torno das melhores abordagens para o reaproveitamento dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), especialmente no que diz respeito ao seu aproveitamento energético, seja na forma de calor, eletricidade ou combustível. As tecnologias atualmente empregadas não escapam de críticas nos campos técnico, ambiental, econômico e social. Como resultado, têm sido conduzidas diversas comparações entre essas tecnologias de aproveitamento energético, embora os resultados variem consideravelmente conforme o viés dos pesquisadores envolvidos (DA NOBREGA, 2019).

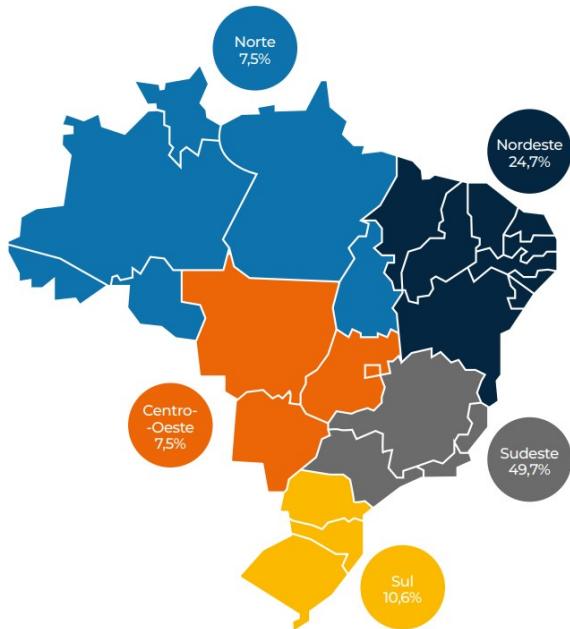
Com uma população de mais de 200 milhões de habitantes, o Brasil figura entre os países com maior geração de resíduos sólidos - materiais, substâncias e objetos descartados. Segundo a legislação vigente e as tecnologias disponíveis, esses resíduos devem receber destinação final que seja economicamente viável. No entanto, parte deles ainda é descartada de forma inadequada, seja em lixões a céu aberto, lançados na rede pública de esgotos ou até mesmo queimados. Esses resíduos abrangem uma ampla variedade, desde os mais complexos, como os provenientes da construção civil, da área hospitalar, radioativos, agrícolas, industriais e de mineração, até os domiciliares, resultantes das atividades cotidianas em residências urbanas, e os de limpeza urbana, gerados pela varrição e limpeza de logradouros e vias públicas, classificados como resíduos sólidos urbanos (RSU) (ANTENOR, 2021).

Figura 5: Geração de RSU no Brasil (t/ano e kg/hab./ano) em 2022



Fonte: Panorama Abrelpe, 2022.

Figura 6: Participação das regiões na geração de RSU (%) em 2022.

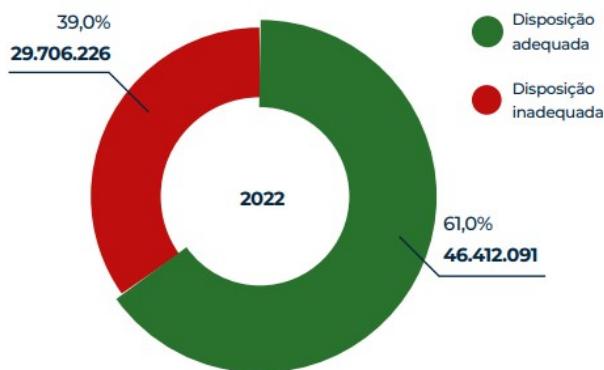


Fonte: Panorama Abrelpe, 2022.

De forma consistente com anos anteriores, a região Sudeste mantém-se como a principal geradora de resíduos, contribuindo com cerca de 111 mil toneladas diárias, o que representa aproximadamente 50% da geração total do país. Sua média anual é de 450 kg por habitante. Em contraste, a região Centro-Oeste representa pouco mais de 7% do total gerado, com aproximadamente 6 milhões de toneladas anuais, sendo a menor entre as regiões em termos de geração de resíduos.

As diferenças na geração diária de resíduos por habitante entre as regiões são notáveis, com o Sudeste liderando com uma média de 1,234 kg/hab./dia, enquanto o Sul apresenta a menor média, com 0,776 kg/hab./dia.

Figura 7: Disposição final adequada x inadequada de RSU no Brasil (t/ano e %).



Fonte: Panorama Abrelpe, 2022.

A disposição final é uma das opções previstas na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) como uma solução ambientalmente adequada, desde que sejam seguidas as normas operacionais específicas para evitar danos à saúde pública, garantir a segurança e minimizar os impactos ambientais adversos. No Brasil, a maioria dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) coletados (61%) ainda é destinada a aterros sanitários, totalizando 46,4 milhões de toneladas em 2022. No entanto, áreas de disposição inadequada, como lixões e aterros controlados, continuam em operação em todas as regiões do país, recebendo 39% do total de resíduos coletados, o que resulta em 29,7 milhões de toneladas com destino inadequado (Abrelpe, 2022).

Efetuando um comparativo entre o uso de aterro sanitário e o uso de biodigestores no reaproveitamento de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em termos de eficiência, impacto ambiental, viabilidade econômica e benefícios sociais:

- Eficiência na gestão de resíduos:

Aterro Sanitário: Os aterros sanitários são tradicionalmente utilizados para a disposição final de resíduos sólidos, onde os resíduos são depositados em células e cobertos diariamente com material de cobertura. Embora sejam eficazes na redução de impactos ambientais imediatos, como poluição do solo e da água, eles não

oferecem benefícios diretos em termos de aproveitamento de recursos ou redução de emissões de gases de efeito estufa.

Biodigestores: Os biodigestores são sistemas que realizam a decomposição anaeróbica da matéria orgânica dos RSU para produzir biogás, um combustível renovável. Além de eliminar os resíduos orgânicos de forma ambientalmente adequada, os biodigestores também geram energia limpa e um subproduto chamado biofertilizante, que pode ser usado na agricultura.

- Impacto Ambiental:

Aterro Sanitário: Apesar de minimizar a exposição dos resíduos ao meio ambiente, os aterros sanitários podem gerar lixiviados, que são líquidos contaminados provenientes da decomposição dos resíduos. Além disso, a decomposição anaeróbica dos resíduos no aterro produz metano, um potente gás de efeito estufa.

Biodigestores: Os biodigestores reduzem significativamente a produção de metano, pois capturam esse gás durante o processo de decomposição anaeróbica. Além disso, a produção de biogás pode substituir combustíveis fósseis, reduzindo as emissões de carbono.

- Viabilidade Econômica:

Aterro Sanitário: Os custos associados à operação e manutenção de aterros sanitários podem ser altos, especialmente quando considerados os custos de monitoramento ambiental e gerenciamento de lixiviados.

Biodigestores: Embora os custos iniciais de instalação de biodigestores possam ser mais elevados, os benefícios econômicos a longo prazo incluem a geração de energia renovável, a redução dos custos de disposição de resíduos e a potencial venda de energia excedente para a rede elétrica.

- Benefícios Sociais:

Aterro Sanitário: Os aterros sanitários podem contribuir para a redução da poluição visual e dos odores associados aos lixões, melhorando assim a qualidade de vida das comunidades vizinhas.

Biodigestores: Os biodigestores promovem a criação de empregos locais na operação e manutenção dos sistemas, além de fornecerem uma fonte de energia mais limpa e acessível para comunidades rurais e urbanas.

Em resumo, enquanto os aterros sanitários ainda são amplamente utilizados para a disposição final de resíduos sólidos, os biodigestores representam uma alternativa mais sustentável, pois não apenas reduzem os impactos ambientais negativos, mas também geram benefícios econômicos e sociais significativos.

Considerações Finais

A geração dos resíduos urbanos oriundos das residências e o uso de combustíveis fósseis bem como a exploração exacerbada dos recursos hídricos para a geração de energia, tem sido os motivos de interesse para buscar formas alternativas para minimizar tais impactos ambientais como a escassez de água, aumento do dióxido de carbono na atmosfera e a contaminação do solo. Nesse contexto, buscar fontes de energia limpa por meio da instalação de biorreatores anaeróbios em edifícios residenciais é ambientalmente correto, uma vez que, reutiliza os resíduos sólidos orgânicos domésticos como matéria prima para a geração do biogás, no qual, será convertido em energia elétrica, em retorno para os habitantes, além disso, o subproduto final pode ser utilizado como biofertilizantes.

Em relação ao custo de implantação, é preciso fazer uma análise quantitativa do volume de biogás que será produzido em função da demanda pretendida, dos equipamentos que compõe o sistema e da manutenção destes o que, a princípio, pode implicar em custo inicial um pouco elevado, mas considerando a longo prazo é economicamente viável. Contudo, vale ressaltar que, a introdução dos biorreatores anaeróbios ainda é um desafio pois, é necessário a destinação correta dos resíduos sólidos através da educação ambiental que deve ser incentivada constantemente.

Referências

ANTENOR, S. CENTER FOR RESEARCH ON SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIETY. Disponível em: <<https://www.ipea.gov.br/cts/en/topics/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>>. Acesso em: 05 maio. 2024.

BIOGÁS. Disponível em: <<https://innio.com/pt/solucoes/geracao-de-energia/biogas>>. Acesso em: 17 maio. 2024b.

CARVALHO, Ruy; TAVARES, André; SANTOS, Glicia; BAJAY, Sergio. EDUFES. **OPORTUNIDADES ENTERRADAS. GERAÇÃO ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**, Vitoria/ Es, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufes.br/server/api/core/bitstreams/c9f69317-2b03-418f-b044-20bce998adac/content>. Acesso em: 15 mai.2024.

DA NÓBREGA, M. B. R. V. DE C. P. H. P. DA R. M. F. M. DE J. R. (ED.). **ANÁLISE DE TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL**. [s.l.] Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula, 2019. v. 2.

DE SOUZA, J. **DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS PARA COMPRESSÃO DE BIOGÁS**. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, nov. 2011.

DE SOUZA, J.; SCHAEFFER, L. (EDS.). **CONSTRUÇÃO DE PLANTAS DE BIOGÁS: DIMENSIONAMENTO DE BIORREATORES**. [s.l.] Espacios, 2015. v. 36. Grupo Musso. **BIORREATOR**. Vila Velha/ ES, 2023. Disponível em: <https://grupomusso.com.br/bioreator/>. Acesso em: 15 mai. 2024.

ECKHARD, Diego; CAMPESTRINI, Lucíola. Análise do uso de modelos discretizados para identificação de modelos de biorreatores anaeróbicos. **PROCEEDING SERIES OF THE BRAZILIAN SOCIETY OF COMPUTATIONAL AND APPLIED MATHEMATICS**, Porto Alegre/RS, v. 4, n. 1, p. 1-7, ago./2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5540/03.2016.004.01.0059>. Acesso em: 15 mai. 2024.

Hidrosul nós tratamos efluentes. Juntos. **REATOR UASB**. Canos/RS, 2021. Disponível em: <https://www.hidrosul.com.br/reator-uash/>. Acesso em: 16 mai. 2024.

MACHADO, G. B. **O MERCADO DE BIODIGESTORES NO BRASIL** - portalresiduossolidos.com. Portal Resíduos SólidosVirapuru Engenharia e Sustentabilidade LTDA, 26 ago. 2014a. Disponível em: <<https://portalresiduossolidos.com/o-mercado-de-biodigestores-no-brasil/>>. Acesso em: 14 maio. 2024

LANDIM, Ana Luiza; AZEVEDO, Lisandra. BNDES Setoria . **O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS EM ATERROS SANITÁRIOS: UNINDO O INÚTIL AO SUSTENTÁVEL**, Rio de Janeiro, n. 27, p. 59-100, mar. 2008. Disponível em: https://web.bnDES.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2433/1/BS%202027%20O%20aproveitamento%20energ%C3%A9tico%20do%20biog%C3%A1s_P.pdf. Acesso em: 16 mai. 2024.

MACHADO, G. B. **O TRATAMENTO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS URBANOS** - portalresiduossolidos.com. Portal Resíduos SólidosVirapuru Engenharia e Sustentabilidade LTDA, 12 set. 2014b. Disponível em: <<https://portalresiduossolidos.com/tratamento-de-residuos-organicos/>>. Acesso em: 14 maio. 2024.

MACHADO, G. B. **O QUE SÃO BIODIGESTORES** - portalresiduossolidos.com. Portal Resíduos Sólidos Virapuru Engenharia e Sustentabilidade LTDA, , 27 ago. 2017. Disponível em: <<https://portalresiduossolidos.com/o-que-sao-biodigestores/>>. Acesso em: 14 maio. 2024.

MACHADO, G. B. **O QUE É UM BIODIGESTOR COMERCIAL** - portalresiduossolidos.com. Portal Resíduos Sólidos Virapuru Engenharia e Sustentabilidade LTDA, 18 ago. 2023. Disponível em: <<https://portalresiduossolidos.com/o-que-e-um-biodigestor-comercial/>>. Acesso em: 14 maio. 2024.

NEPOMOCENO, Taiane; PONTAROLO, Edimar. Revista Internacional Resiliência Ambiental Pesquisa e Ciência Sociedade 5.0 Resiliência Ambiental. **PANORAMA BRASILEIRO DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA A GERAÇÃO DE BIOGÁS EM ÁREAS DE ATERRO SANITÁRIO**. Toledo/PR, v. 4, n. 2, 2022. Disponível em: <https://saber.unioeste.br/index.php/ijerrs/article/view/26408>. Acesso em: 15 mai. 2024.

OLIVER, A. P. M.; SOUZA NETO, A. A.; QUADROS, D. G.; VALLADARES, R. E. **MANUAL DE TREINAMENTO EM BIODIGESTÃO**. Salvador: Instituto Winrock – Brasil, 2008.

PANORAMA 2022. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 05 maio. 2024.

PEREIRA, Anne. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. **REATOR BIOLÓGICO COM MEMBRANA (MBR) APLICADO AO TRATAMENTO DE ESGOTOS GERADOS POR UNIDADES RESIDENCIAIS UNIFAMILIARES**, Brasilia/ DF, set. 2016. Disponível em: <http://icts.unb.br/jspui/handle/10482/22465>. Acesso em: 14 mai. 2024.

QUEVEDO, R. T. **Biogás**. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/combustiveis/biogas/>>. Acesso em: 05 maio. 2024.

RIBEIRO, Denise; MOURA, Larissa; PIROTE, Natália. Revista Ciências Gerenciais. **SUSTENTABILIDADE: FORMAS DE REAPROVEITAR OS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**, Anhanguera / SP, v.20, n.31, p.41-45, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/303711345_Sustentabilidade_Formas_de_Reaproveitar_os_Residuos_da_Construcao_Civil. Acesso em 15 mai. 2024.

ROQUE, Rodrigo; PIERRI, Alexandre. **USO INTELIGENTE DE RECURSOS NATURAIS E SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL**, Araraquara/ SP, 2018. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/5606/560662193035/html/>. Acesso em: 14 mai. 2024.

SCHMIDELL, Willibaldo. **COLEÇÃO BIOTECNOLOGIA INDUSTRIAL**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2021. p. 1-730. Disponível em: https://storage.blucher.com.br/book/pdf_preview/9786555060188-amostra.pdf. Acesso em 15 mai. 2024.

SILVA, Jonathan; CORREA, Luiz. **IMPACTOS AMBIENTAIS OCASIONADOS PELA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA ANÁLISE DAS PROPOSTAS DE SUSTENTABILIDADE NO ÂMBITO CONSTRUTIVO**, Brasília/ DF, set. 2021. Disponível em:

<https://www.confea.org.br/midias/uploads-imce/Contecc2021/Civil/IMPACTOS%20AMBIENTAIS%20OCASIONADOS%20PELA%20CONSTRU%C3%87AO%20CIVIL%20UMA%20AN%C3%81LISE%20DAS%20PROPOSTAS%20DE%20SUSTENTABILIDADE%20NO%20%C3%82MBITO%20CONSTRUTIVO.pdf>.

Acesso em: 15 mai. 2024.

Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos - SINIR. **RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**. Brasília/ DF. Disponível em: <https://sinir.gov.br/informacoes/tipos-de-residuos/residuos-solidos-urbanos/>. Acesso em: 14 mai.2024.

Tecnal. **BIORREATOR: O QUE É E QUAIS SÃO SEUS PRODUTOS**, Piracicaba/SP. Disponível em: https://tecnal.com.br/ptBR/blog/346_biorreator_o_que_e_e_quais_sao_seus_produto. Acesso em: 15 mai. 2024.

Processo de Avaliação por Pares: (*Blind Review - Análise do Texto Anônimo*)

Revista Científica Vozes dos Vales - UFVJM - Minas Gerais - Brasil

www.ufvjm.edu.br/vozes

QUALIS/CAPES - LATINDEX: 22524

ISSN: 2238-6424