



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB

Faculdade UnB Planaltina – FUP

Curso de Gestão Ambiental

LORRANA DA CRUZ PIRES

**POTENCIAL ENERGÉTICO DO DISTRITO FEDERAL:
PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PROVENIENTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

Planaltina – DF 2023

LORRANA DA CRUZ PIRES

**POTENCIAL ENERGÉTICO DO DISTRITO FEDERAL:
PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PROVENIENTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Gestão Ambiental, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Rômulo J.C. Ribeiro

**Planaltina – DF
2023**

Pires, Lorrana da Cruz

Potencial Energético do Distrito Federal: Produção de energia proveniente de resíduos sólidos. / Lorrana da Cruz Pires. Planaltina - DF, 2023. 47 f.

Monografia - Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília.

Curso de Bacharelado em Gestão Ambiental.

Orientador: Rômulo José da Costa Ribeiro

1. Gestão Urbana 2. Planejamento Urbano 3. Sustentabilidade. I. Pires, Lorrana da Cruz.
- II. Potencial Energético do Distrito Federal: produção de energia proveniente de resíduos sólidos. / Lorrana da Cruz Pires (2022).

**POTENCIAL ENERGÉTICO DO DISTRITO FEDERAL:
PRODUÇÃO DE ENERGIA PROVENIENTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Gestão Ambiental da Faculdade UnB Planaltina, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Gestão Ambiental.

Banca Examinadora:

Brasília-DF, 30 de janeiro de 2023.

Rômulo José da Costa Ribeiro (orientador – FUP/ UnB)

Dr. Luiz Felipe Salemi

Dr. Tamiel Khan Baiocchi Jacobson

RESUMO

A recuperação do biogás gerado pelos resíduos sólidos urbanos produzido no Distrito Federal é uma alternativa que tem sido bastante discutida ao longo do tempo, devido aos problemas ambientais comumente aos problemas sociais que se desenvolvem acerca da geração de resíduos sólidos. A pesquisa tem por objetivo levantar a possibilidade do reaproveitamento dos resíduos gerados no DF como fonte de energia elétrica. Para tanto justificasse a partir da possibilidade de melhorar a gestão dos resíduos, para que eles não fiquem disponíveis no meio ambiente. Os investimentos na produção de energia elétrica a partir de fontes alternativas é economicamente atraente considerando a existência de tecnologia nacional e de manutenção mais barata. A pesquisa então seguiu a metodologia em que buscou através de literaturas as etapas necessárias para que o DF possa produzir energia através dos RSU sendo a gravimetria dos resíduos coletados, tecnologias para produção de energia, levantamento de custos para conhecer a viabilidade econômica. Os dados que caracterizam a população do DF e os resíduos como são coletados até a destinação final foram levantados a partir dos relatórios anuais do SLU e do último censo do IBGE.

Palavras chaves: Gestão Urbana; Planejamento Urbano; Sustentabilidade.

ABSTRACT

The recovery of biogas generated by the solid urban waste produced in the Federal District is an alternative that has been widely discussed over time, due to the environmental problems common to social problems that develop around the generation of solid waste. The research aims to raise the possibility of reusing the waste generated in the Federal District as a source of electricity. This is justified by the possibility of improving the management of waste, so that it does not remain available in the environment. The investments in the production of electric energy from alternative sources is economically attractive considering the existence of national technology and cheaper maintenance. The research then followed the methodology in which it sought through literature the necessary steps so that the DF can produce energy through the MSW being the gravimetry of the collected waste, technologies for energy production, survey of costs to know the economic feasibility. The data that characterizes the population of the DF and the waste as it is collected until its final destination were collected from the annual reports of SLU and the last census of IBGE.

Key words: Urban Management; Urban Planning; Sustainability.

Lista de Figuras

Figura 1: Geração de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil e por regiões (Kg/Hab./Ano)

Figura 2: Gravimetria de RSU no Brasil

Figura 3: Destinação de resíduos por coleta convencional

Figura 4: Ponto de Entrega Voluntária, PEVs

Figura 5: Delimitação do Distrito Federal

Figura 6: Crescimento da população do Distrito Federal

Figura 7: Geração de Resíduos Sólidos no Distrito Federal

Figura 8: Amostragem gravimétrica dos resíduos de coleta convencional no Distrito Federal, em 2018

Figura 9: Resíduos de coleta convencional das RA's

Figura 10: Resíduos recicláveis das RA's, em que se destacam Ceilândia, Cruzeiro, Lago Norte, Sobradinho II e Taguatinga

Figura 11: Gaseificador de leito fixo BGL

Figura 12: Reator de pirólise

Figura 13: Microturbinas

Figura 14: Motogeradores

Figura 15: Usina de Tratamento Mecânico Biológico:

Lista de Tabelas

Tabela 1: Empresa, Sistema de coleta e Destinação de RSU----- página 24 e 25

Tabela 2: Sistema de geração de energia----- página 31 e 32

Lista de ABREVIATURAS/ SIGLAS

ABRELPE: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IRRs: Instalações de Recuperação de Resíduos

PNRS: Plano Nacional de Resíduos Sólidos

PDGIRS: Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

PEVs: Pontos de Entrega Voluntária

RSU: Resíduos Sólidos Urbanos

RIDE: Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal

SNIS: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SIDRA: Sistema IBGE de Recuperação Automática

SLU: Serviço de Limpeza Urbana

SEPE: Secretaria de Estado de Projetos Especiais do Distrito Federal

UTMB: Usina de Tratamento Mecânico Biológico

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO -----	10
CAPÍTULO I: GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	
URBANO DOMICILIARES -----	13
1.1 Resíduos sólidos urbanos domiciliares -----	14
1.2 Gravimetria de RSU no Brasil -----	14
1.3 Modalidades de coleta e disposição final -----	16
CAPÍTULO II: MANEJO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	
NO DISTRITO FEDERAL -----	19
2.1 Distrito Federal -----	19
2.2 Geração de Resíduos Sólidos no Distrito Federal -----	19
2.2.1 Gravimetria de RSU no Distrito Federal -----	21
2.3 Sistemas de Coleta -----	23
2.4 Disposição final -----	25
CAPÍTULO III: TECNOLOGIAS PARA PRODUÇÃO	
DE ENERGIA ELÉTRICA -----	26
3.1 Gaseificação -----	26
3.2 Pirólise -----	27
3.3 Biogás -----	28
CAPÍTULO IV: MÉTODOS PARA ESTIMAR	
O POTENCIAL ENERGÉTICO DE RSU -----	33
CAPÍTULO V: VIABILIDADE ECONÔMICA -----	
5.1 Impactos Ambientais e Sociais -----	37
CONSIDERAÇÕES FINAIS -----	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA -----	40

INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos urbanos é um desafio que muitos países têm enfrentado, especialmente quando se trata da destinação final, no Brasil as destinações mais comuns são aterros sanitários e lixões. A disposição dos resíduos sólidos no Brasil, ainda não possui eficiência desde a coleta até a destinação final, dessa maneira para que exista um manejo e disposição adequada para o gerenciamento eficiente e que seja menos nocivo ao meio ambiente, apresenta-se a possibilidade do reaproveitamento dos resíduos como fonte de energia elétrica (MAZZONETO et. al. 2016).

A gestão dos resíduos sólidos urbanos no Brasil é de grande importância quando se trata de gestão ambiental, os impactos vão além da esfera ambiental, expandindo para setores da economia, saúde e social.

No Distrito Federal, em 2014, o Serviço de Limpeza Urbana - SLU apontou que diariamente foram coletadas cerca de 2.500 toneladas de resíduos sólidos urbanos, correspondendo a 0,81 kg por habitante/dia (Relatório dos Serviços de Limpeza Urbana e Manejo dos Resíduos Sólidos, 2015). Parte desse resíduo gerado, que é passível de reutilização, muitas vezes é perdido pela forma que o domiciliado descarta.

Brasília, embora tenha surgido planejada, repetiu o processo de expansão urbana desordenada das demais cidades brasileiras. Antes mesmo de sua inauguração, a cidade passou a sofrer um intenso crescimento urbano que fugiu do controle governamental (MANIÇOBA, 2019, p 02).

Neste contexto, o Distrito Federal foi crescendo de maneira pouco ordenada, com déficits de condições básicas, como acesso à saúde pública, saneamento básico, acesso à energia elétrica etc. Dentro deste contexto a produção de resíduos foi crescente e a disposição por muito tempo tem sido pouco eficiente. A deterioração desses resíduos em lixões ou aterros causa a emissão de vários gases, dentre eles dois dos principais causadores do efeito estufa, o gás metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2). A decomposição anaeróbia da parte orgânica dos resíduos sólidos urbanos em aterros gera gases compostos principalmente por CO_2 e CH_4 , contribuem intensamente para o agravamento do Efeito Estufa, além de serem altamente tóxicos, inflamáveis e perigosos. Porém o biogás, resultante da mistura entre CH_4 e CO_2 , pode ser aproveitado na produção de energia elétrica (Mazzonetto et al. (2016).

Para tanto o trabalho no Capítulo I trazendo dados referentes ao panorama geral do Brasil à cerca dos resíduos sólidos gerados, considerando a quantidade de resíduos gerados em

domicílios, a gravimetria, os tipos de coleta e disposição dos resíduos sólidos. Seguindo esta linha no Capítulo II o Distrito Federal tem a caracterização do percurso dos resíduos sólidos gerados até a destinação final, através do levantamento de dados do SLU e do IBGE sobre a população. Posteriormente no Capítulo III o foco é o levantamento de informações sobre tecnologias que são utilizadas na produção de energia através dos resíduos.

Na sequência, o Capítulo IV, com base na literatura, são apontados os métodos apoiados em equações matemáticas em que poderá estimar o potencial energético, onde a quantidade de resíduos se relaciona com a projeção de crescimento populacional e a partir desse cálculo levanta-se o quanto de energia poderá ser gerado. Por fim o Capítulo V destina-se a transmitir através das obras consultadas quais os custos iniciais e indicadores econômicos para a viabilidade do empreendimento para geração de energia elétrica.

METODOLOGIA

O trabalho sobre potencial energético no Distrito Federal utiliza o método de revisão bibliográfica, apoiando-se em artigos e trabalhos acadêmicos com propostas semelhantes. Segundo (SOUSA, OLIVEIRA, ALVES, 2021) pesquisa bibliográfica é o levantamento ou revisão de obras publicadas sobre a teoria que irá direcionar o trabalho científico o que necessita uma dedicação, estudo e análise pelo pesquisador que irá executar o trabalho científico e tem como objetivo reunir e analisar textos publicados, para apoiar o trabalho científico.

A coleta de dados secundários foi feita a partir do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil publicado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE e dos relatórios anuais do Serviço de Limpeza Urbana – SLU. Os dados de população a partir do IBGE/SIDRA.

Os dados foram levantados para nortear o potencial de produção de energia elétrica com base nas informações de crescimento populacional, dos resíduos sólidos coletados, da gravimetria e da disposição final em um período de cinco anos (2016 a 2020). Posteriormente foi feita uma análise quanti e qualitativa acerca do tipo de tecnologia empregada para a produção de energia, a viabilidade ambiental e econômica e os possíveis impactos que a geração de energia, através deste recurso, poderia apresentar na esfera ambiental e social do território.

OBJETIVOS

Objetivo Geral:

Analisar, através da revisão de literatura, se o Distrito Federal possui condições de utilizar os resíduos sólidos urbanos domiciliares como fonte de matéria prima para produzir energia elétrica.

Objetivos Específicos:

- Levantar informações sobre tecnologias utilizadas para a produção de energia a partir do uso de resíduos sólidos urbanos;
- Descrever a viabilidade de produzir energia em aterro sanitário, através do biogás e o uso de métodos que correlacionem crescimento populacional x geração de resíduos;
- Relatar possíveis impactos ambientais e sociais no Distrito Federal em decorrência da gestão ineficiente dos resíduos sólidos gerados.

CAPÍTULO I: GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DOMICILIARES

Dentro dos grandes problemas ambientais da atualidade têm-se a intensa geração de resíduos sólidos urbanos. A gestão desses resíduos tem sido foco da preocupação de pesquisadores das mais diversas áreas de estudo, além de se tornar um dos grandes desafios para as cidades ao longo das próximas décadas (SANTIAGO, DIAS, 2012).

No Brasil a Lei nº 12.305/10, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que possui um conjunto de instrumentos que visa aumentar a reciclagem e o reaproveitamento dos resíduos sólidos e a destinação ambientalmente adequada de rejeitos. Utilizar as alternativas que facilitem a gestão e disposição dos resíduos sólidos poderá apontar um caminho para a sustentabilidade, uma vez que, os resíduos são aspectos ambientais que possuem diversas dificuldades para se trabalhar, dado que, ainda não há uma significativa mudança nos padrões de consumo.

Segundo Abreu e Henkes (2015) o crescimento na geração de resíduos, tem se tornado uma preocupação mundial entre os países desenvolvidos, a destinação final ideal e a seleção de metodologias para eliminação destes resíduos que possam atender as legislações vigentes, tem-se tornado uma tarefa bastante complexa, no que diz respeito às exigências ambientais, sociais e econômico-financeiras. Essa alternativa convida a pensar a viabilidade de um conjunto de ações que possam amenizar impactos sobre a produção de resíduos e disposição.

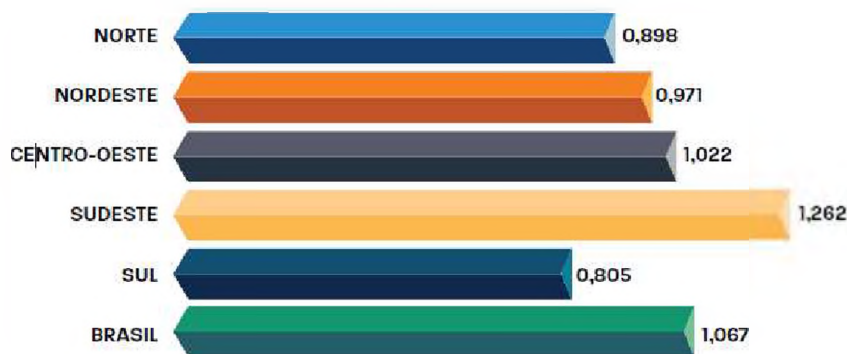
A Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº12.305, foi um salto para que o Brasil caminhasse na perspectiva de como manejar e gerenciar os resíduos. A política deixa o Brasil em estado de igualdade aos países desenvolvidos no que diz respeito à legislação que é um primeiro passo para a viabilizar a gestão dos resíduos gerados, além da inclusão dos catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis. A Lei nº12.305/10 prevê programas que buscam a redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos com objetivo de incentivar a prática de hábitos mais sustentáveis atribuindo valor econômico, além disto prevê de maneira mais assertiva a disposição final dos rejeitos, que são materiais que não há possibilidade de reciclagem e ou reutilização dentro dos parâmetros ambientais, conseqüentemente isso possa mitigar os impactos. A PNRS além de fornecer metas que viabilizem o fim dos lixões e aterros controlados, estabelece instrumentos que podem atuar em todo território nacional até o município.

1.1 Resíduos sólidos urbanos domiciliares

A geração de resíduos sólidos está atrelada a obtenção e consumo de bens e produtos (ABRELPE, 2021). Atualmente o Brasil, assim como outros países, vive em uma dinâmica diferente, em virtude da pandemia do SARS-CoV-2 (COVID-19), o que acarretou um impacto expressivo na geração e localização dos resíduos, uma vez que a concentração dos resíduos passou ser maior nesse momento em domicílios, sendo antes distribuída por várias regiões da cidade.

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), no Brasil durante o ano de 2020 aproximadamente 82,5 milhões de toneladas foram geradas. Com isso, cada brasileiro gerou, em média, 1,07 kg de resíduo por dia. Ainda de acordo com a ABRELPE, a região Sudeste saiu a frente como a região que mais gerou resíduos, com aproximadamente, 113 mil toneladas, sendo responsável por 460 kg/hab./ano, enquanto a região Norte gerou 328 kg/hab./ano aproximadamente.

Figura 1 – Geração de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil e por regiões (Kg/Hab./Ano)



Fonte: ABRELPE, panorama 2021

1.2 Gravimetria de RSU no Brasil

“Este método quantitativo consiste em fazer a separação e pesagem dos resíduos coletados, separados por categoria, posteriormente é calculado os percentuais de cada resíduo em relação ao peso total da amostra” (VGRESIDUOS, 2021). Desta maneira é possível conhecer a composição dos resíduos que foram gerados e descartados pela população.

Conhecer os resíduos que são descartados permite que haja uma gestão adequada, sendo está uma etapa extremamente importante que tenha por objetivo qualquer trabalho referente aos resíduos, no que se refere ao planejamento de limpeza urbana, e nos processos que possam garantir a destinação final que seja ambientalmente adequada conforme recomendado pela PNRS.

No processo de caracterização dos resíduos fisicamente, primeiro é classificado com base na periculosidade.

Resíduo Classe I – Perigosos: apresentam risco à saúde pública e/ou ao meio ambiente, caracterizando-se por possuir uma ou mais das seguintes propriedades: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

Resíduo Classe II – Não Perigosos:

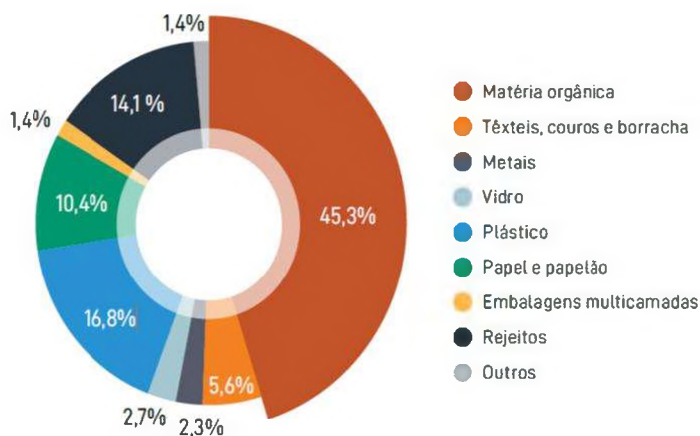
Resíduo Classe IIA – Não Inertes: são todos os resíduos não enquadrados na Classe I.

Perigosos ou Classe IIB - Inertes e que podem apresentar propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água;

Resíduo Classe IIB – Inertes: são todos os resíduos que, submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados, de acordo com padrões desta norma, (INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE, 2021).

Segundo a (ABRELPE, 2020) os resíduos gerados no Brasil, quase metade do que é descartado é composto por matéria orgânica. A composição dos resíduos sólidos urbanos é muito variada, contendo materiais orgânicos, como visto na Figura 2, como sendo de maior descarte, até aos materiais inorgânicos. A caracterização gravimétrica é constituída por material sólido dos RSU, tais como papel, papelão, plástico, vidro, metal, madeira, matéria orgânica, borracha e outros.

Figura 2 – Gravimetria de RSU no Brasil:



Fonte: ABRELPE, Panorama 2020

1.3 Modalidades de coleta

De acordo com FERREIRA (2017), a Lei nº12.305/10 (Lei que institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS)) prevê a prevenção e a redução na geração de resíduos, tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de

instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos. A coleta seletiva é um dos instrumentos presente na lei, para que possa alcançar o objetivo de disposição adequada aos resíduos, para que haja menos impacto ambiental.

A maneira como a lei pode ser executada tanto por quem fabrica ou consome é por exemplo, o fabricante que após a venda dos produtos se responsabiliza em recolher as embalagens e dar a destinação adequada, se utilizando da logística reversa, que visa reutilizar ou descartar adequadamente o material utilizado no processo produtivo. O papel do consumidor é descartar esses materiais por meio de coleta seletiva para que haja a disposição final adequada.

No Brasil a coleta pode ser feita por coleta convencional e coleta seletiva, dessas duas modalidades sendo feitas por empresas que com caminhões alcançam domicílios e áreas comerciais, ou coleta informal, aquela feita pelo consumidor indo a até o Ponto de Entrega Voluntário – PEVs.

A coleta convencional consiste em recolher todo o resíduo situado em lixeiras urbanas, na sequência. Os profissionais da empresa responsável fazem o recolhimento que consiste em apenas pegar os sacos de lixo nas residências e os destinam a aterros sanitários ou incineração. A coleta é feita manualmente por profissionais que recolhem e jogam as sacolas de lixo dentro do caminhão. Na figura 3, o Aterro sanitário de Guatapará recebe resíduos produzidos pela população de Ribeirão Preto.

Figura 3 – Destinação de resíduos por coleta convencional:



Fonte: Revista Revide, 2018

A coleta seletiva é a coleta de recicláveis, é feita a separação e acomodação em vasilhas domiciliares, tambores e contêiner, os resíduos são transportados por veículos coletores que variam de acordo com cada região, pois podem ser do tipo comum veículo coletor gaiola.

Na sequência os resíduos são encaminhados para centrais de triagem, podendo estas ser manual ou mecanizada, nesta etapa ocorre a separação de acordo com sua composição. Outros

materiais são submetidos a prensagem para reduzir volume e posteriormente é vendido para a indústria de reciclagem.

A coleta por (PEVs) poderá ser realizada por prestadores de serviço público de limpeza ou por associações e cooperativas de catadores de material reciclável. Os PEVs são áreas instaladas em locais apropriados e cuidadosamente escolhidos para receber os resíduos. Nestes locais os consumidores entregam voluntariamente os materiais pós-consumo (VGRESIDUOS, 2018).

Os tipos de resíduos que podem ser descartados nos PEVs são pilhas, baterias, lâmpadas fluorescentes, óleos de cozinha usados e eletrônicos, normalmente as pessoas ainda possuem dúvidas sobre como fazer o descarte desse tipo de resíduo, os PEVs tem também essa finalidade de além de ter os resíduos sendo descartados corretamente, geram conhecimento para as pessoas que poderá popularizar as informações, o que facilita na adoção do descarte voluntário. Além disso recebem também sobras de obras de construção (VGRESIDUOS, 2018)

Figura 4– Ponto de Entrega Voluntária, PEVs:



Fonte: VGR Resíduos, 2018

O crescimento populacional rápido e desordenado dos centros urbanos geraram diversos efeitos ambientais, sejam eles pelas mudanças das características da paisagem, intensa modificação do espaço ou pelo consumo ativo e conseqüente produção de resíduos, que acarretou um problema que enfrentamos até o presente momento, que é a disposição ineficiente dos efluentes. Os resíduos gerados necessitam ser descartados de alguma maneira, e a escolha inicial foi os lixões, que segundo a Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos Sólidos e Efluentes, (Abetre), ainda existem no país 3.257 em operação (ABETRE, 2020).

O antigo lixão da Estrutural desativado em 2017, foi uma referência de como a disposição inadequada de resíduos pode afetar vários setores de uma sociedade, tal como a saúde, educação, economia, meio ambiente, segurança.

Do ponto de vista ambiental, o lugar prejudica o solo, causa infiltração do chorume originado dos processos químicos e físicos da decomposição de resíduos orgânicos, que ao infiltrar no subsolo poderá ocorrer a contaminação do lençol freático. Outra preocupação é que muitas pessoas queimam o lixo, o que provoca incêndios florestais em áreas próximas ao Parque Nacional de Brasília, uma unidade de conservação que fica bastante próximo ao antigo lixão. Além disso, há acúmulo de gases devido a resíduos aterrados. A realidade dos catadores vai muito além da insalubridade inerente ao trabalho. A degradante jornada diária constitui processo marcante na vida dessas pessoas e, por vezes, fragiliza oportunidades de conseguirem outro ofício (LUIZ, 2020).

CAPÍTULO II: MANEJO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO DISTRITO FEDERAL

2.1 Distrito Federal

O Distrito Federal está situado na região Centro-Oeste, fazendo divisa com os estados de Goiás e com Minas Gerais. A área territorial corresponde a 5.760,784 km², tendo uma população estimada em 2021 de 3.094.325 pessoas, sendo que mais de 90% estão situadas em área urbana (IBGE, 2021).

Figura 5: Delimitação do Distrito Federal:



Fonte: Delimitação política do Distrito Federal (Google Earth Pro, 2016).

As terras que formariam o Distrito Federal provinham de três municípios do Estado de Goiás: Luziânia, Planaltina e Formosa, envolvendo 108 fazendas. Com os trabalhos de localização e demarcação do quadrilátero do DF, essas fazendas foram desapropriadas para a construção da Nova Capital (KUBITSCHER, 2000 e BASSUL, 1997 apud. COSTA, 2011).

A configuração urbana atual do Distrito Federal encontra-se estreitamente relacionada com os Planos de Uso e Ocupação do Solo, inseridos nos textos e mapas elaborados para cada um deles a fim de regular o uso e a ocupação do solo (COSTA, 2011).

2.2 Geração de resíduos sólidos no Distrito Federal

A produção de resíduos sólidos sempre fez e sempre fará parte do cotidiano do ser humano. Não é possível que o progresso do ciclo de vida do planeta continue sem a geração de resíduos sólidos, (Guinzelli, Nowack, 2010). Com isso o aumento da população pela migração do campo para os centros urbanos e ainda de maneira desordenada, acarreta uma geração de resíduos mais intensa.

Na Figura 6 evidencia-se a estimativa de crescimento da população do Distrito Federal nos últimos cinco anos de acordo com a estimativa feita pelo IBGE¹ e no gráfico 2 a geração de resíduos durante o período igual.

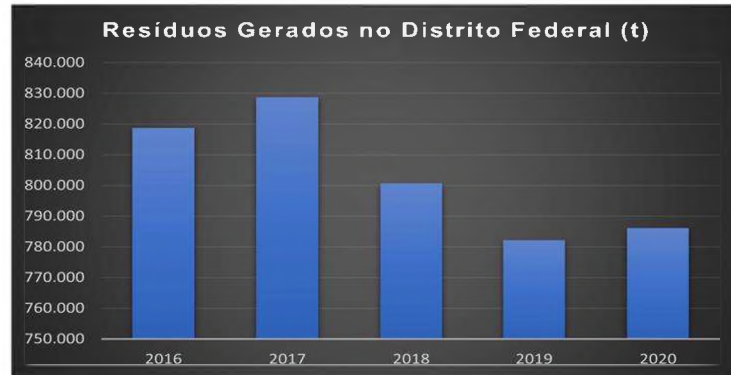
Figura 6 – Crescimento da população do Distrito Federal



¹ OAs diferenças entre as populações das Unidades da Federação obtidas da soma das estimativas municipais e aquelas projetadas nas Projeções de População, Brasil e Unidades da Federação, Revisão 2018, devem-se à alteração de limites territoriais ocorridos entre os estados, após o Censo Demográfico 2010.

Fonte: IBGE SIDRA, 2010

Figura 7 – Geração de Resíduos Sólidos no Distrito Federal:



Fonte: Relatórios anuais do SLU

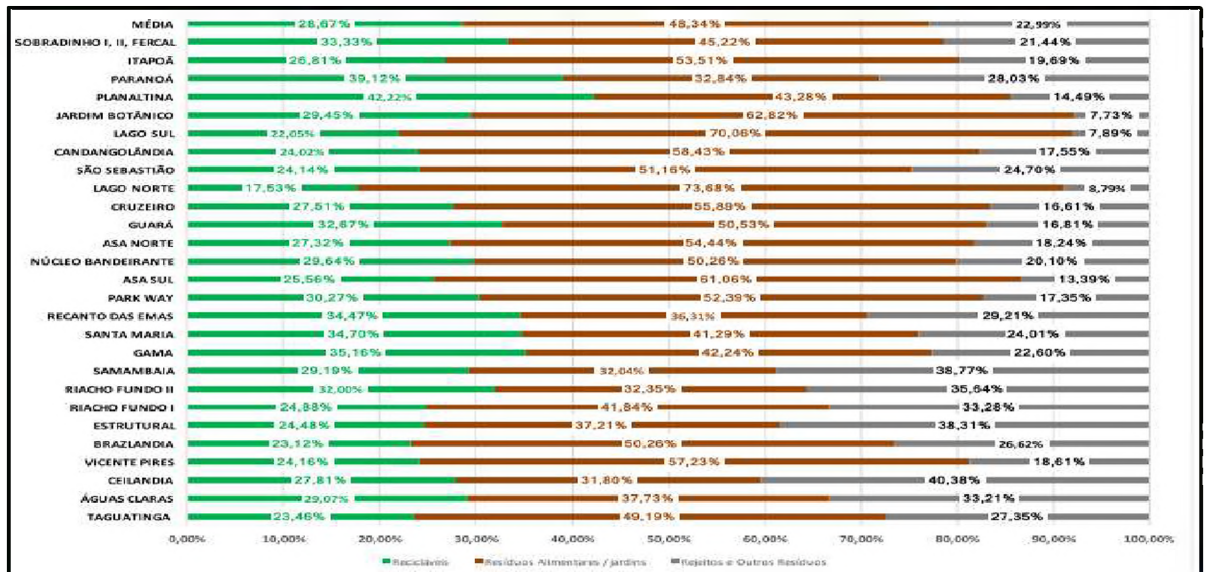
Embora tenha ocorrido aumento da população em 2020 de acordo com a projeção do IBGE, os resíduos sólidos coletados pelo serviço de limpeza tiveram queda devido ao período de crise sanitária pela COVID-19. Segundo o (SLU, 2021) a pandemia causou forte impacto em 2020 na quantidade de resíduos recuperados pelas cooperativas de recicláveis. Isso ocorreu por diversos fatores, mas especialmente a suspensão temporária de quase três meses da realização da coleta seletiva, como medida de segurança para evitar a propagação do vírus.

2.2.1 Gravimetria de RSU no Distrito Federal

De acordo com o SLU, a coleta convencional e seletiva no Distrito Federal é feita em dias e horários definidos, além de poder ser pesquisado pelos usuários os locais de entrega de resíduos especiais que não podem ser descartados no lixo comum doméstico e comercial, como eletroeletrônicos, lâmpada, medicamentos, óleo de cozinha, pilhas e baterias, pneus etc.

A figura 6 é a amostragem gravimétrica dos resíduos oriundos da coleta convencional das regiões administrativas, no ano de 2016 constante no Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PDGIRS).

Figura 8 – Amostragem gravimétrica dos resíduos de coleta convencional no Distrito Federal, em 2018



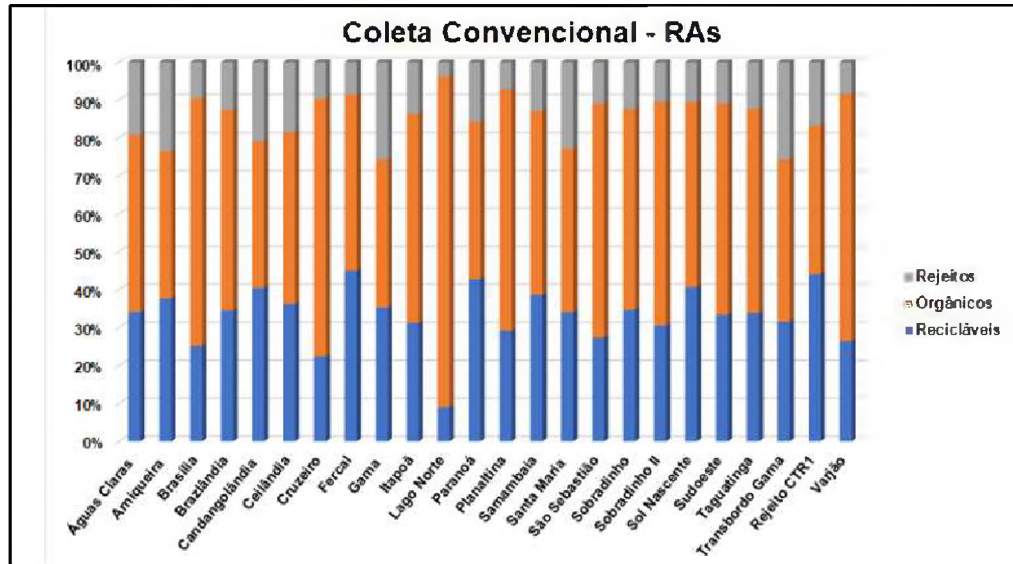
Caracterização Dos Resíduos Sólidos Domiciliares (RDO). PDGIRS, 2018 <https://www.so.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/03/PDGIRS.pdf>

O Serviço de Limpeza Urbana (SLU) no ano de 2021 produziu relatório sobre a caracterização gravimétrica dos resíduos sendo de: coleta convencional, coleta seletiva, rejeito das Instalações de Recuperação de Resíduos, Papa-lixo e LEVs e unidades de transbordo de resíduos sólidos domiciliares.

A análise foi feita por uma empresa a serviço do SLU, no período correspondente de janeiro a abril de 2021, período chuvoso no Distrito Federal, considerando somente 22 das 33 regiões administrativas.

A metodologia baseou-se na ABNT NBR 10.007:2004 – Amostragem de Resíduos Sólidos, ressaltando-se que ocorreram adaptações na metodologia proposta pela norma para o quarteamento de amostras. Para determinar as características dos RS é usada a técnica do quarteamento, processo de mistura no qual uma amostra bruta homogeneizada de resíduos é dividida sucessivamente em quatro partes iguais. A cada divisão, destas quatro partes se aproveitam dois dos quartis diametralmente opostos entre si, para formarem nova amostra, também homogeneizada, sendo o restante descartado. O processo é repetido até se obter uma quantidade remanescente do tamanho da amostra desejado (LUIZARI, 2019, p.38 apud BARROS, 2012). Na figura 7 abaixo é possível visualizar presença de quantidade significativa dos resíduos orgânicos e recicláveis advindos da coleta convencional das Regiões Administrativas:

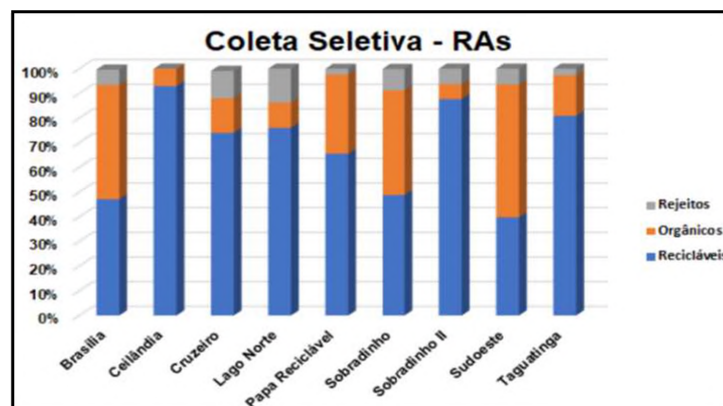
Figura 9 – Resíduos de coleta convencional das RA's - s



Fonte: Relatório Gravimetria - período chuvoso 2021: <https://www.slu.df.gov.br/>

Na figura 9 evidencia-se o percentual entre 80 e 95% predominante de resíduos orgânicos coletado em três RAs, especificamente Brasília, Lago Norte e Varjão, os resíduos recicláveis aparecem na coleta em diversas cidades como Sol Nascente, Paranoá e Fercal com percentual entre 30 e 40%.

Figura 10 – Resíduos recicláveis das RA's, em que se destacam Ceilândia, Cruzeiro, Lago Norte, Sobradinho II e Taguatinga:



Fonte: Relatório Gravimetria - período chuvoso 2021: <https://www.slu.df.gov.br/>

Na figura 10 o percentual entre 70 e 95% predominante de resíduos recicláveis coletado em Ceilândia, Lago Norte, Cruzeiro, Sobradinho II e Taguatinga os resíduos orgânicos em maior quantidade em Brasília, Sobradinho e Sudoeste entre 30 e 45%.

2.3 Sistemas de Coleta

O Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal - SLU é uma autarquia do governo do Distrito Federal vinculada à Secretaria de Estado do Meio Ambiente (Sema). A finalidade é a gestão da limpeza urbana e do manejo dos resíduos sólidos urbanos. De acordo com a pasta os serviços prestados estão: coleta convencional de resíduos sólidos urbanos; coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos; coleta manual e transporte de entulhos; coleta mecanizada e transporte de entulhos; tratamento e destinação final de resíduos sólidos urbanos; compostagem de resíduos orgânicos; implantação dos Pontos de entrega de materiais volumosos (Papa Entulhos) e sua operação; implantação de contêineres semienterrados de 5 m³ para acondicionamento dos resíduos em áreas de difícil acesso; entre outros serviços (GOVERNO DISTRITO FEDERAL, 2022).

A coleta convencional é feita por três empresas que estão a serviço do SLU, sendo elas Suma Brasil, Sustentare Saneamento e Valor Ambiental. Cada uma dessas empresas atende determinada região, considerando que cada região tem os resíduos destinados para locais distintos. Na tabela 1 é apresentado às empresas que atendem as RAs, os tipos de coletas e a destinação dos resíduos coletados.

Tabela 1 – Empresa, Sistema de coleta e Destinação de RSU:

Região Administrativa	Empresa	Tipo de coleta	Destinação
Plano Piloto	Valor Ambiental	porta a porta	UTMB Asa Sul
Paranoá	Valor Ambiental	porta a porta	Transbordo obradinho
Planaltina	Valor Ambiental	porta a porta	Transbordo Sobradinho
Park Way	SUMA Brasil	porta a porta	Transbordo Gama
Núcleo Bandeirante	SUMA Brasil	porta a porta	Aterra Sanitário de Brasília Transbordo Gama
Sol Nascente/Pôr do Sol	Sustentare Saneamento	papa lixo	UTMB P Sul
Ceilândia	Sustentare Saneamento	porta a porta	UTMB P Sul
Cruzeiro	Valor Ambiental	porta a porta	UTMB Asa Sul
Candangolândia	SUMA Brasil	porta a porta	Aterra Sanitário de Brasília Transbordo Gama

Guará	SUMA Brasil	porta a porta	Transbordo Gama
Gama	SUMA Brasil	porta a porta	Transbordo Gama
Sudoeste/Octogonal	Valor Ambiental	porta a porta	UTMB Asa Sul
São Sebastião	Valor Ambiental	porta a porta	UTMB Asa Sul
Samambaia	Sustentare Saneamento	porta a porta	Aterro Sanitário de Brasília

<https://sigportal.slu.df.gov.br/arcgis/apps/webappviewer/index.html?id=b97c7754d6dd46589d7cdd9684b91581>

Região Administrativa	Empresa	Tipo de coleta	Destinação
Santa Maria	SUMA Brasil	porta a porta	Transbordo Gama
SAI	SUMA Brasil	porta a porta	Aterro Sanitário de Brasília
Sobradinho	Valor Ambiental	porta a porta	Transbordo de Sobradinho
Sobradinho II	Valor Ambiental	porta a porta	Transbordo de Sobradinho
Águas Claras	SUMA Brasil	porta a porta	Aterro Sanitário de Brasília
Arniquireiras	SUMA Brasil	porta a porta	Aterro Sanitário de Brasília
Estrutural	SUMA Brasil	porta a porta	Aterro Sanitário de Brasília
Recanto das Emas	SUMA Brasil	porta a porta	Transbordo Gama
Riacho Fundo I	SUMA Brasil	porta a porta	Transbordo Gama
Riacho Fundo II	SUMA Brasil	porta a porta	Transbordo Gama
Lago Sul	SUMA Brasil	porta a porta	Aterro Sanitário de Brasília
Lago Norte	Valor Ambiental	porta a porta	UTMB Asa Sul
Jardim Botânico	SUMA Brasil	porta a porta	Aterro Sanitário de Brasília
Itapoã	Valor Ambiental	porta a porta	Transbordo de Sobradinho
Vicente Pires	SUMA Brasil	porta a porta	Aterro Sanitário de Brasília
Fercal	Informação indisponível	-	-
Taguatinga	Sustentare Saneamento	porta a porta	UTMB P Sul

<https://sigportal.slu.df.gov.br/arcgis/apps/webappviewer/index.html?id=b97c7754d6dd46589d7cdd9684b91581>

Os RSU coletados passam pelas Unidades de Tratamento Mecânico Biológico e pelas Estações de Transbordo e por último vão para o Aterro Sanitário de Brasília.

Aterro Sanitário de Brasília: o Aterro Sanitário de Brasília entrou em operação em 2017, a área possui cerca de 760 mil m², é para onde os rejeitos vão após passarem pelas usinas de tratamentos e estações de transbordo (AGÊNCIA BRASÍLIA, 2017).

Sistema de transbordo: os resíduos sólidos orgânicos, recolhidos pelas empresas de limpeza urbana que prestam serviço ao SLU, antes de serem levados ao Aterro Sanitário são transportados para as chamadas áreas de transbordo. Atualmente o SLU conta com cinco áreas de transbordo: Asa Sul, Brazlândia, Ceilândia, Gama e Sobradinho (GOVERNO DISTRITO FEDERAL, 2021).

Usina de Tratamento Mecânico Biológico: as Unidades de Tratamento Mecânico Biológico (UTMBs) são usinas de geração de biogás a partir dos resíduos orgânicos. O biogás pode ser usado como fonte de energia ou combustível renovável (BIOGÁS BRASIL, 2021).

Catadores autônomos e organizações: desde 2017 o governo do Distrito Federal fechou contratos de prestação de serviços de Cooperativas e Associações de catadores, para o serviço de triagem foram contratadas 19 organizações. Para o serviço de coleta seletiva o governo manteve contrato com 22 organizações (GOVERNO DISTRITO FEDERAL, 2018).

2.4 Disposição final

O Aterro Sanitário de Brasília (ASB) inaugurado em janeiro de 2017, fica localizado entre Ceilândia e Samambaia, o espaço foi projetado para comportar 8,13 milhões de toneladas de rejeitos, a área é de 760 mil m². (AGÊNCIA BRASÍLIA, 2017). No ASB não há presença de catadores como ocorria no lixão da Estrutural, na realidade atual do Distrito Federal, os catadores foram distribuídos conforme os contratos das Cooperativas e Associações de Catadores, podendo as organizações atuarem tanto no sistema de triagem quanto para a coleta seletiva.

CAPÍTULO III: TIPOS DE TECNOLOGIA PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

3.1 Gaseificação

Os tipos de destinos de RSU em que se pode obter conversão energética utilizam-se de processos como a incineração, a gaseificação e o biogás proveniente de aterros sanitários. O desafio desta conversão consiste na melhoria da recuperação de energia, mantendo um alto nível de confiabilidade de uma planta, e, por isso, as diversas tecnologias existentes devem ser estudadas e combinadas para garantir um melhor aproveitamento energético (LOMBARDI, et al., 2011 apud CARVALHAES, 2013).

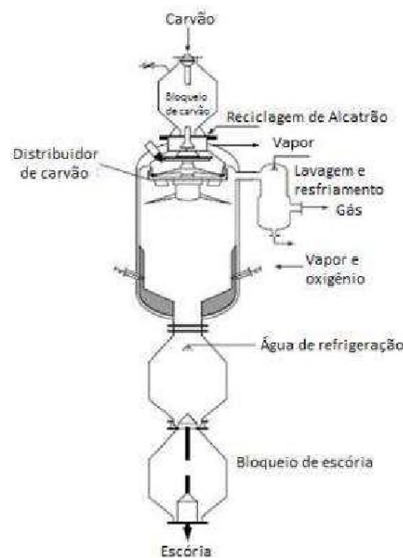
Segundo CRUZ, (2016) A gaseificação é o processo que converte resíduos à base de carbono utilizando uma pequena quantidade de ar ou oxigênio, em um gás de síntese combustível com alto valor energético que pode ser usado na geração de energia, combustíveis para transporte e produtos de consumo.

De acordo com CARVALHAES, (2013) os reatores que realizam esse processo, se agrupam em três categorias: Gaseificador de leito fixo; gaseificador de leito fluidizado e Gaseificador de leito arrastado.

O processo de gaseificação bem como o processo de pirólise possui aplicações tratamento de RSU com a conversão energética dos mesmos (CARVALHAES, 2013).

Um exemplo de processo de gaseificação que fora projetado para ser alimentado com carvão e que posteriormente foi adaptado para utilização com RSU é o gaseificador de leito fixo BGL (HIGMAN, et al., 2003 apud CARVALHAES, 2013).

Figura 11 – Gaseificador de leito fixo BGL



Fonte: gaseificador de leito fixo BGL (HIGMAN, et al., 2003 apud CARVALHAES, 2013).

Ainda de acordo com CARVALHAES, (2013) o processo de gaseificação e pirólise para resíduos sólidos urbanos apresenta uma boa solução para a problemática da destinação dos resíduos sólidos, porém como poucos foram os testes ainda realizados no Brasil, deve haver uma maior pesquisa para o domínio da tecnologia. Assim como pode ser observado no processo de incineração, a gaseificação possui ainda como subproduto as cinzas provenientes do processo que devem ser avaliadas de forma a possuírem uma destinação final.

3.2 Pirólise

A pirólise é o processo termoquímico que converte a biomassa em gases líquidos, a carvão e não condensáveis, ácido acético, acetona e metanol aquecendo a biomassa até cerca de 750 K na ausência de oxigênio (SILVA, RODAS, MARÇAL, 2018).

Nos processos de pirólise rápida, sob temperaturas entre 800°C e 900°C, cerca de 60% do material se transforma num gás rico em hidrogênio e monóxido de um carbono (apenas 10% de carvão sólido), o que a torna uma tecnologia competitiva com a gaseificação. Todavia, a pirólise convencional (300°C a 500°C) ainda é a tecnologia mais atrativa, devido ao problema do tratamento dos resíduos, que são maiores nos processos com temperatura mais elevada (RAMAGE; SCURLOCK, 1996 apud IEE USP,2023).

O processo pode ocorrer por ciclo ou de maneira contínua, a segunda maneira se dá devido a quantidade de materiais reciclados, o resultado em batelada (ciclo) ou contínua

possuem os mesmos resultados. Na figura 10 apresenta-se um reator de pirólise, pela empresa Delta Bravo, fornecedora de equipamentos para tratamento ecológico de inservíveis industriais e resíduos sólidos urbanos. (BRAVO, 2022).

Figura 12 – Reator de pirólise



Fonte: Delta Bravo <https://deltabravoreciclagem.com/pirolise/>

A principal diferença entre a pirólise e a gaseificação é que a primeira utiliza atmosfera isenta de oxigênio e temperaturas mais baixas que a gaseificação. Os produtos obtidos em maior proporção na pirólise são o bio-óleo e o sólido carbonoso (biochar), ao passo que na gaseificação são obtidos principalmente gases, alcatrão e cinzas (PIGHNINELLI et al. 2018).

3.3 Biogás

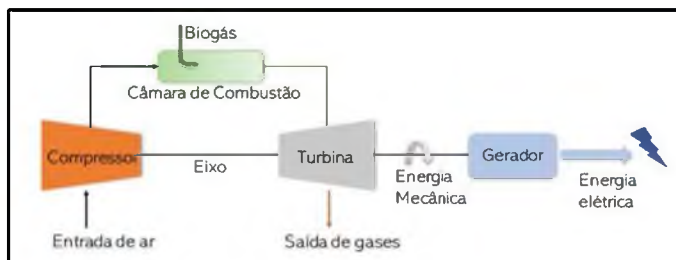
O biogás é uma mistura de gases composto majoritariamente por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), o que lhe confere um alto poder calorífico (PC), ou seja, um alto potencial de combustão e aplicação energética. No Brasil há uma grande diversidade de substratos disponíveis aptos à produção de biogás, sendo os dejetos de animais (bovinos, suínos e aves), efluentes industriais, agroindustriais e saneamento (estações de tratamento de esgoto e aterros sanitários) os mais usuais, por conta das suas características e tecnologias de biodigestão disponíveis. (GEF BIOGÁS BRASIL, 2022)

Ainda de acordo com GEF Biogás Brasil (2022), existem dois tipos de tecnologia no mercado brasileiro que são utilizadas para geração de energia elétrica a partir do biogás: microturbina e grupo motogerador. As microturbinas possibilitam a geração de energia elétrica

a biogás a partir do mesmo princípio de funcionamento das turbinas a gás e apresentam potências disponíveis no mercado que podem variar de 30 a 1.000 kW. Os grupos motogeradores a biogás são equipamentos que operam pelo princípio de funcionamento dos motores de combustão interna (MCI) acoplados a alternadores que possibilitam a geração de energia elétrica. Os motores de combustão interna são máquinas térmicas cujo produto da combustão é o próprio trabalho. Sua finalidade é converter energia calorífica em energia mecânica por meio da queima do biogás.

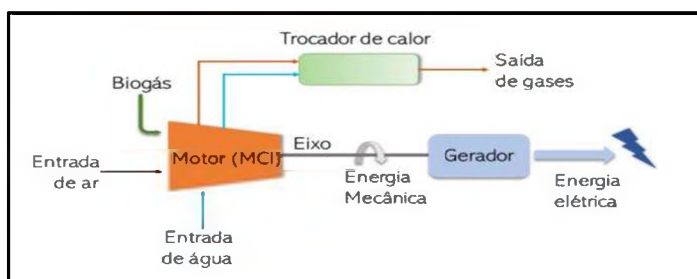
As figuras 13 e 14 exemplificam os sistemas de geração de energia elétrica pelas duas tecnologias.

Figura 13 – Microturbinas:



Fonte: Aplicações do Biogás para geração de energia elétrica, 2022

Figura – 14 Motogeradores:



Fonte: Aplicações do Biogás para geração de energia elétrica, 2022

O processo de geração de energia não fica restrito somente a estes equipamentos, existem outros que são relacionados ao sistema de geração, controle e entrada de energia elétrica.

Tabela 2 – Sistema de geração de energia, em três etapas: geração de energia, controle e proteção elétrica e entrada de energia elétrica

Sistema	Equipamento	Função	Aplicação
Geração de energia elétrica	Motogerador a biogás	Transforma a energia química da combustão em energia mecânica (motor), e em seguida em energia elétrica (gerador).	Utilizado para conversão de biogás em energia elétrica
Geração de energia elétrica	Sistema supervisor	Proporciona informações precisas do sistema de geração em tempo real com ferramentas de supervisão e monitoramento.	Utilizado quando há necessidade de aquisição de dados elétricos, térmicos e mecânicos do sistema de geração a biogás.
Controle e proteção elétrica	Painel de comando e proteção do gerador	Realiza o controle de potência gerada, nível de tensão e frequência do gerador, proteções internas e comandos.	Acompanha todo e qualquer motogerador, pois é essencial para a operação adequada do sistema quanto à estabilidade e atendimento às solicitações de potência.
Controle e proteção elétrica	Painel de Proteção e Seccionamento (PPS)	Possui a função de agrupar todos os dispositivos para proteção da unidade de geração quando conectada à rede de distribuição local. Contém o relé de proteção, disjuntores e seccionadores, além de se comunicar com o painel de comando e proteção do gerador.	É necessário em sistemas de geração de energia elétrica conectado ao sistema de distribuição, inclusive para projetos de GD a biogás
Controle e proteção elétrica	Painel de gerenciamento de barra (paralelismo)	Realiza o gerenciamento da energia gerada e faz a sincronização entre os geradores e sincronismo com a rede de distribuição local.	É necessário em projetos que contém dois ou mais geradores em paralelo.
Entrada de energia elétrica	Transformador de potência	Faz a transferência de potência, transformando a tensão do sistema de distribuição para a tensão do sistema de geração.	Utilizado em condições que a tensão de saída (consumidor) é diferente do que a tensão de entrada (gerador ou concessionária).
Entrada de energia elétrica	Transformador de acoplamento	Apresenta relação de transformação 1:1. Faz o isolamento do sistema de geração com o sistema de distribuição.	Utilizado quando o sistema da distribuidora é conectado em estrela (Y) e é exigido uma conexão em triângulo (delta) para conectar o sistema de geração.

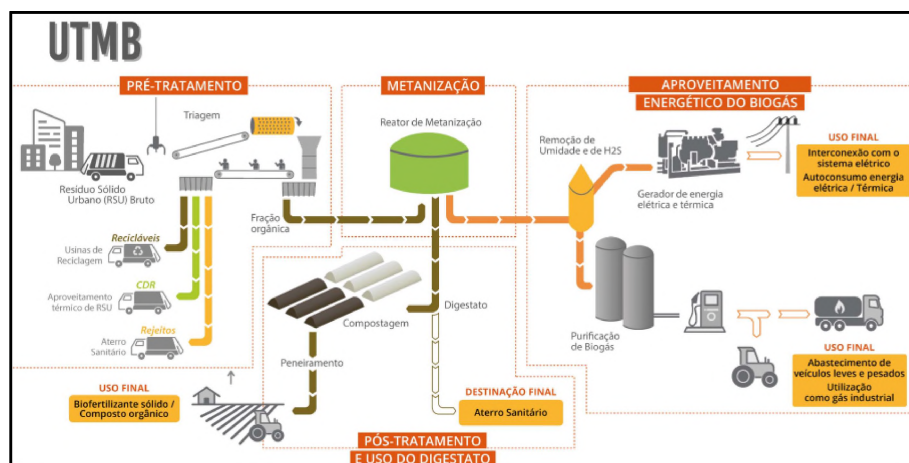
Entrada de energia elétrica	Cabine de entrada	É a entrada de energia elétrica ligada ao sistema de distribuição de média tensão.	Projetos de minigeração exigem que sejam especificadas cabines de proteção, medição e seccionamento em média tensão.
-----------------------------	-------------------	--	--

Fonte: Aplicações do Biogás para geração de energia elétrica, 2022

O foco na tecnologia do biogás, é em virtude, de haver um projeto de cooperação entre a GEF Biogás Brasil com o Governo do Distrito Federal, por meio da SEPE e o SLU. O grupo gerador é a tecnologia mais utilizada para geração de energia elétrica em gases de aterros sanitários, principalmente pela viabilidade econômica, facilidade de operação e manutenção. Muitas vezes o tamanho de um sistema adequado para uma receita econômica aceitável é entre 1 a 3 MW. Além de ser uma tecnologia consolidada, os riscos econômicos são muito baixos em comparação com outras tecnologias (BOVE; LUNGHI, 2006 apud KLAUS, 2014).

O projeto da GEF Biogás é obter uma unidade automática de triagem para uma separação mais efetiva dos rejeitos e a recuperação dos materiais recicláveis. Primeiro, a unidade de triagem irá separar a parte orgânica dos resíduos, como restos de comida, poda; e outros. Depois, irá realizar a biodigestão anaeróbia na matéria orgânica, convertendo os rejeitos em biogás e composto orgânico. O biogás produzido poderá gerar energia elétrica, energia térmica ou combustível renovável em forma de biometano (GEF Biogás Brasil, 2022). A figura 15 apresenta o processo do sistema de geração de energia na UTMB

Figura 15 – Usina de Tratamento Mecânico Biológico:



Fonte: Acordo com Governo do Distrito Federal <https://www.gefbiogas.org.br/residuos-urbanos.html>, 2021

O regime de operação do sistema de geração de energia elétrica através do biogás, possui três temáticas: Regime Emergencial; Regime Principal e Regime Contínuo.

- **Regime Emergencial:** o regime de operação stand-by ou emergência é considerado quando o fornecimento de energia elétrica substitui o suprimento energético por meio da concessionária. Este regime é utilizado em emergências, onde o grupo motogerador tem como função ser reserva da fonte principal de energia (GEF Biogás Brasil, 2022).
- **Modo Principal ou Prime:** o regime de operação principal ou prime é considerado em instalações alimentadas por um sistema elétrico confiável de energia elétrica, onde o grupo motogerador tem por função alimentar cargas variáveis em serviços programados, como horários de ponta (GEF Biogás Brasil, 2022).
- **Modo Contínuo:** no regime de operação contínuo o grupo motogerador produz a energia elétrica durante um número ilimitado de horas sob carga constante. É este o regime de operação considerado quando se trata de definição da potência instalada em unidade de geração distribuída a biogás, conectada por meio do sistema de compensação de energia (GEF Biogás Brasil, 2022).

Uma vez que foi identificado a gravimetria dos resíduos gerados pela população, o sistema de coleta, e de que maneira os resíduos são triados e a destinação final a análise se direciona para o método em que poderá ser estimado o potencial energético, ou seja, o quanto de resíduos coletados produz de biogás que pode ser reaproveitado para ser convertido em energia elétrica.

CAPÍTULO IV: MÉTODOS PARA ESTIMAR O POTENCIAL ENERGÉTICO DE RSU

Um sistema energético alternativo, normalmente mostra-se ambientalmente atraente se este emprega um combustível renovável. A proposição de um sistema energético alternativo sugere que este traga vantagens, sejam estas econômicas, operacionais ou ambientais (ALVES, 2000).

De acordo com (SALOMON, LORA, 2005, apud. IPCC, 1996), os aterros sanitários são responsáveis por cerca de 5 a 20% do total de metano liberado por fontes antropogênicas. A partir dos resultados do inventário nacional de emissões de metano decorrentes do tratamento de águas residuárias e da disposição dos resíduos sólidos no Brasil, entre 1990 e 1994 (VIEIRA e SILVA, 2002), pode-se avaliar a quantidade de metano emitido neste período.

A quantidade de metano gerada em um ano pode ser calculada pela equação abaixo (SALOMON, LORA, 2005, apud. ALVES, 2000).

$$E = Popurb * taxa\ RSU * RSUf * FCM * COU * COUF * F * 16/12$$

onde:

Popurb = população urbana (habitantes);

taxa RSU = taxa de geração de resíduos sólidos urbanos por habitante, por ano;

RSUf = fração de resíduos sólidos urbanos;

FCM = fator de correção de metano (% - fração adimensional – de acordo com a profundidade do local de disposição de resíduos sólidos, existem valores recomendados pelo IPCC);

COD = carbono orgânico degradável no resíduo sólido urbano (gC g⁻¹ RSU); *CODF* = fração de *COU* que realmente degrada (%);

F = fração de CH₄ no gás de aterro (% - fração adimensional)

16/12 = taxa de conversão de carbono em metano (adimensional).

O potencial de energia elétrica por meio do aproveitamento do gás de aterro varia conforme a quantidade total de gases que é produzida distintamente ao longo do tempo. Isso ocorre de acordo com as fases de decomposição dos resíduos e os inúmeros fatores intervenientes no processo de degradação (KLAUS, 2014).

Outro método que pode diagnosticar o potencial de energia elétrica a partir dos resíduos sólidos, é calculando a projeção populacional e crescimento de resíduos durante a operação do aterro sanitário e estimativa do aproveitamento energético do biogás do aterro sanitário (FERNANDES, SANTOS, 2018).

$$P_8 = \frac{2P_0 \times P_1 \times P_2 - (P_1)^2 \times (P_0 + P_2)}{P_0 \times P_2 - (P_1)^2}$$

$$C = \frac{(P_s - P_0)}{P_0}$$

$$K_1 = \frac{1}{t_2 - t_1} \times \ln \left[\frac{P_0 \times (P_s - P_1)}{P_1 \times (P_s - P_0)} \right]$$

$$P_t = \frac{P_s}{1 + C \times e^{K_1(t-t_0)}}$$

Em seguida a estimativa do aproveitamento energético, é possível calcular a geração total de resíduos por ano, em toneladas, através da equação (FERNANDES, SANTOS, 2018).

$$R_t = \frac{365 \times (Iger_t \times P_t)}{1000}$$

Onde: R_t é a geração de resíduos no ano t ; P_t é a população no ano t ; $Iger_t$ é o índice de geração de resíduos no ano t .

O software LandGem®, (LandGEM, 2005) é uma ferramenta de estimativa automatizada com uma interface do Microsoft Excel que pode ser usada para estimar as taxas de emissões totais de gás de aterro, metano, dióxido de carbono, compostos orgânicos não metano e poluentes atmosféricos individuais de aterros sanitários de resíduos sólidos municipais. Ele está disponível no Centro de Tecnologia de Ar Limpo da EPA (EPA, 2022).

Os dados de geração de resíduos no software LandGem® permitem uma estimativa de produção de biogás, podendo através das equações ser calculada a vazão passível de ser coletada e a potência disponível (FERNANDES, SANTOS, 2018).

Esse modelo permite realizar a previsão das taxas de emissão de gás total do aterro, a saber: metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), compostos orgânicos não metano e poluentes atmosféricos individuais de aterros sanitários de RSU. A equação 3 abaixo rege o modelo de geração do LandGEM (Souza, A.R. et al. 2019).

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 K_{L_0} \frac{M_t}{10} \cdot e^{k_{ti} \times j}$$

Em que:

- Q_{CH_4} = geração anual de metano no ano do cálculo ($m^3 CH_4 \cdot ano^{-1}$)
- i = incremento de tempo de 1 ano
- n = (ano do cálculo) - (ano inicial do cálculo)
- j = incremento de tempo de 0,1 ano
- k = taxa de geração de metano
- L_0 = capacidade potencial de geração de metano ($m^3 \cdot Mg^{-1}$)
- M_t = massa de resíduos aceita do n -ésimo ano (Mg)
- $t_{i,j}$ = idade da j -ésima seção de massa de resíduo M_i , aceita no n -ésimo ano (anos em número decimal, por exemplo, 3,2 anos). A partir da vazão estimada de metano gerado por ano, pode-se determinar, por meio da equação 4 (Souza, A.R. et al. 2019)

$$P = Q_{CH_4} \times E \times E_c \times P_{CH_4} \times \left(\frac{1}{31.536.000} \times \frac{1}{1.000} \right)$$

Em que:

- P = potência disponível a cada ano (kW)
- Q_{CH_4} = vazão de metano a cada ano ($m^3 CH_4 \cdot ano^{-1}$)
- P_{CH_4} = poder calorífico do metano (igual a $35,53.106 J \cdot m^3 CH_4^{-1}$)
- E_c = eficiência de coleta de biogás (%)
- $31.536.000$ = número de segundos em 1 ano ($s \cdot ano^{-1}$)
- $1/1.000$ = para transformação da unidade de $J \cdot s^{-1}$ para Kw

Após estimar o quanto a população pode produzir de resíduos sólidos através de um dos métodos, têm-se uma dimensão do quanto será produzido de gás. Com essas informações estima-se os custos da operacionalização do sistema de produção, monitoramento e manutenção. A partir destes números, é possível saber o valor a ser investido e quais as possibilidades de custeio. É bastante comum que para esse tipo de empreendimento com iniciativa pública que ocorra o PPP – Parceria Público Privado.

CAPÍTULO V: VIABILIDADE ECONÔMICA TÉCNICA

Para identificar a viabilidade econômica do aproveitamento energético do biogás em aterro sanitário, estabelece-se um período mínimo de estudo. O Aterro de Brasília tem uma estimativa para funcionar por 13 anos. Segundo FREITAS (2019), no que diz respeito aos custos de implementação pode-se citar as seguintes fases:

- 1) Cercamento da área
- 2) Serviços de limpeza da área
- 3) Serviços de terraplanagem
- 4) Serviços de montagem eletromecânica
- 5) Estradas de acesso e de serviço
- 6) Serviços de impermeabilização
- 7) Serviços de drenagem
- 8) Drenagem do chorume
- 9) Serviços de construção civil
- 10) Execução dos poços de monitoramento ambiental
- 11) Serviços complementares
- 12) Suprimento de materiais e equipamento

Ainda de acordo com FREITAS (2019) quanto ao custo de manutenção, é importante considerar não apenas os custos relacionados a manutenção de equipamentos como também os relacionados aos monitoramentos geotécnico, ambiental e topográfico, ao tratamento do chorume recolhido, a drenagem dos gases, ao transporte dos RSU dos pontos de coleta até o local onde o aterro está instalado, entre outros.

Para a análise, utilizaram-se como indicadores econômicos o valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR). O VPL, calculado a partir da Equação 6, traz os valores futuros do benefício líquido, isto é, as receitas e os custos do período de funcionamento do empreendimento para o presente, corrigidos por uma taxa de juros (SOUZA; SILVA; TRINDADE; FREITAS; ANSELMO, 2019)

Equação 5:

$$VPL = \frac{\sum_{j=0}^n R_j - C_j}{(1+i)^j} - I$$

Em que: R_j = receitas do período j ; C_j = custos do período j ; i = taxa de juros; I = investimento inicial.

De acordo com Rodrigues e Melo (2017 apud SOUSA, A.R. et al. 2019), um VPL acima de zero indica a viabilidade do empreendimento. A taxa de juros a ser utilizada deve ser a do momento do planejamento do projeto. Já a TIR pode ser definida como a taxa que zera o VPL, conforme a Equação 6:

$$0 = \frac{\sum_{j=0}^n R_j - C_j}{(1+TIR)^j} - I$$

Atualmente o Distrito Federal em parceria com a GEF Biogás, possui acordo de cooperação técnica entre o projeto GEF Biogás Brasil e o Governo do Distrito Federal GDF, por meio da Sepe e pelo SLU.

O Projeto GEF Biogás Brasil é liderado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação MCTI, implementado pela Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial UNIDO, financiado pelo Fundo Global para o Meio Ambiente GEF e conta com o Centro Internacional de Energias Renováveis CIBiogás, como principal entidade executora. No Distrito Federal o investimento será através de parceria público-privada (PPP) que também prevê o desenvolvimento de duas novas (IRRs) e a implementação de um centro de visitação e treinamento voltado para a divulgação de informações e educação ambiental, a fim de conscientizar a população sobre os temas relacionados ao tratamento de resíduos sólidos urbanos (GOVERNO DISTRITO FEDERAL, 2022).

5.1 IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIAIS

Segundo (CAVALCANTE, 2018) “Os agravantes desse tipo de material transcorrem principalmente, porque os impactos ambientais negativos incidem em todas as etapas que envolvem a gestão de resíduos sólidos urbanos, desde a coleta até a disposição final desse tipo de material.”

De acordo com (Bove e Lunghi, 2006 apud. Souza, A.R. et al. 2019), a geração de biogás pode ocasionar a combustão do metano por centelha ou por autoignição e o consequente

aumento de GEE pelo fato de emitir metano à atmosfera. Esse gás é inodoro, asfixiante, inflamável e explosivo e tem potencial de aquecimento global 28 vezes superior ao dióxido de carbono (IPCC, 2014). No entanto, seu aproveitamento como fonte energética elimina esse problema, além de reduzir a dependência de combustíveis fósseis, uma vez que é classificado como uma fonte renovável de energia

Os aterros, embora sejam estruturas construídas para alocar os resíduos sólidos, a presença destes faz com que seja liberado diversos gases, que a longo prazo e dada a quantidade de resíduo produzido diariamente, seja negativo do ponto de vista ambiental.

O biogás pode migrar abaixo da superfície nas zonas não saturadas, especialmente durante os meses de inverno, quando o solo está saturado com a umidade da superfície, podendo se acumular em estruturas fechadas causando um perigo potencial. O metano não tem odor e é, portanto, impossível de ser detectado sem instrumentação apropriada (VANZIN, 2006).

Na ótica social os impactos são vistos na geração de emprego e renda, principalmente por pessoas que trabalham com reciclagem, o processo de geração de energia em aterro permite que associações e cooperativas atuem na triagem de resíduos, com segurança ambiental que antes não havia no antigo lixão.

Com a implantação dos projetos, cerca de 46.979 ton/ano de materiais recicláveis serão recuperados na etapa de tratamento mecânico e reinseridos na cadeia de reciclagem, incremento de mais de 250% frente às atuais 18.199 ton geradas pelo sistema de coleta seletiva e reciclagem do DF (GEF BIOGÁS, 2021)

De acordo com a GEF Biogás (2021), com relação aos resíduos orgânicos, a implantação dos projetos propiciará o tratamento biológico de cerca de 306.000 t/ano de resíduos orgânicos, o representa um incremento de 394% frente às 61.975 t/ano processadas nas usinas em de PSUL e L4-Sul (a serem desativadas), o que representa o tratamento de 80% da fração orgânica dos resíduos domiciliares enviados às UTMBs. Importante salientar que o tratamento da fração orgânica (aproximadamente 50% da massa total dos RSU do DF, acarreta em grandes impactos positivos, como a redução de emissões de GEE, redução da geração de chorume, aumento de vida útil do ASB, redução da atração de vetores, de geração de odores, dentre outros benefícios, em alinhamento com a Lei 6.518 de 12 de março de 2020, que dispõe sobre a obrigatoriedade de tratamento dos resíduos sólidos orgânicos no Distrito Federal por processos biológicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS:

Embora pensar que a maneira mais eficiente de lidar com os resíduos seria não os produzir, essa ainda é uma realidade distante. A produção de energia é uma tecnologia que não vai resolver a necessidade de energia elétrica, porém deve ser vista como alternativa para destinar melhor os resíduos, para não permanecer de maneira arcaica em apenas aterrar o resíduo, reaproveitar de maneira que beneficie a sociedade civil e o meio ambiente simultaneamente. É uma ferramenta dentro da gestão de resíduos sólidos para mitigar os impactos que a geração proporciona às cidades, às pessoas e ao meio ambiente.

O presente trabalho apresentou dados referente à população, os resíduos produzidos, a gravimetria pois são aspectos importantes para a geração de energia elétrica. Alguns dados ainda estão defasados, como os dados da população o que inviabilizou saber precisamente a população do Distrito Federal, para que pudesse correlacionar com a geração de resíduos.

O Distrito Federal já possui um sistema de coleta e tratamento de resíduos que com o tempo tem sido bastante efetivo, antes algumas RA'-s não possuíam coleta seletiva, mas atualmente só o Sol Nascente/Pôr do Sol ainda não tem o serviço.

Utilizar gases de grande poder nocivo ao meio ambiente e convertê-lo a energia elétrica, colocará o Distrito Federal em uma posição muito avançada sobre gestão de resíduos sólidos, essa tecnologia vem sendo bastante utilizada em outros países, como a Noruega, Portugal. E mesmo que não chegue exatamente na casa dos brasilienses, essa tecnologia deve ser avaliada como um instrumento de gestão. Conseguir manter a vida de um aterro sanitário por mais tempo devido a um aproveitamento maior dos resíduos ali destinado corrobora para minimizar custos de buscar outros territórios para este fim, com recuperação ambiental devido aos impactos que os resíduos geram ao meio ambiente e tantos outros problemas de saúde pública e social.

Por fim, como indicação de continuidade do trabalho de explorar sobre a geração de energia elétrica por meio de RSU no Distrito Federal, salienta-se a análise da legislação, e como a energia gerada pode chegar até ao setor de distribuição, e se existe possibilidade de a energia gerada ser direcionada a pessoas de baixa renda, que residem nas proximidades do aterro através de políticas públicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ABRELPE, 2021, PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL, Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Disponível:

<<https://abrelpe.org.br/panorama-2021/>>. Acesso 22 de Janeiro, 2022

ABETRE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS. Vinte lixões foram desativados no Brasil entre março e junho. ABETRE, 2021 Disponível em: <https://abetre.org.br/vinte-lixoes-foram-desativados-no-brasil-entre-marco-e-junho/>. Acesso em: 24 de janeiro de 2022.

ABREU, C. D.; HENKES, J. F. UMA ANÁLISE SOBRE O TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: PROPOSTA DE SISTEMA ALTERNATIVO, TRANSFORMANDO RESÍDUOS SÓLIDOS EM CARVÃO E ENERGIA. R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v.8, n. 1, p.1015-1042, jan/mar. 2019.

ALVES, J. W. S. Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos. São Paulo: 2000. 142 p. (PIPGE/USP, M.S., Energia, 2000).

AZEVEDO. J.; Lixão: o que é e principais impactos. ECYCLE. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/lixao/>> Acesso em: 22 de dezembro de 2022.

BRASIL, Cidades e Estados. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/df.html>> Acesso em 18 de agosto de 2022.

CAIBRE, D. I., PANDOLFO, A., BERTICELI, R., BRUM, E. M., GOMES, A. P.; ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROCESSO DE PIRÓLISE PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: ESTUDO DE CASO APLICADO A UMA CIDADE DE MÉDIO PORTE. ESTIMATIVAS DOS CUSTOS PARA VIABILIZAR A UNIVERSALIZAÇÃO DA DESTINAÇÃO ADEQUADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL (livro) São Paulo, 2015.

CALDAS, F. A. Análise da utilização de usinas de pirólise para geração de energia elétrica com resíduos sólidos urbanos. 2019. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2019. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/96/96132/tde-05092019-152241/>. Acesso em: 09 jan. 2023.

CARVALHAES, V. (2013). **Análise do Potencial Energético de Resíduo Sólido Urbano para Conversão em Processos Termoquímicos de Gaseificação**. Dissertação de Mestrado em Ciências Mecânicas, Publicação ENM.DM -- 216A/2014, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 117p.

CAVALCANTE, L. P. S. GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS E RISCOS QUE ESTÃO EXPOSTOS CATADORES DE MATERIAIS RECICLÁVEIS. 2018. 284 f. Tese (Doutorado) – Curso de Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campo Grande, Paraíba, 2018.

CRUZ, P. A. O. S. F. GASEIFICAÇÃO: PROCESSO ALTERNATIVO PARA A RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA E ELIMINAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS. 2016. 69 f. TCC (Graduação) – Curso de Tecnólogo em Hidráulica e Saneamento Ambiental, Faculdade de Tecnologia de São Paulo, São Paulo, 2016

COSTA, G. G. (2011). **A Cartografia nos planos diretores do Distrito Federal**. In: 1º Simpósio Brasileiro de Cartografia Histórica, 2011, Paraty, Anais[...], Paraty, 2011, pag 1-17.

BRAVO, Delta. Logo-delta-bravo Menu TECNOLOGIA TERMOQUÍMICA CATALÍTICA DE PIROLISE. Disponível em: <https://deltabravoreciclagem.com/pirolise/>. Acesso em: 20 nov. 2022.

EPA – United States Environmental Protection Agency. Landfill gas emissions model (LandGEM) Version 3.02. 2005. Disponível em:. Acesso em: 15 jan. 2023.

FERREIRA, H. G. R.; PEDROSO, G. M.; ALVES, R. G.; CAHLI, G. M.; MELLO, S. C. R. P. Resíduos Sólidos Urbanos (RSU): uma análise do setor energético em ascensão com base no impacto ambiental e na qualidade de vida. Formação (Online), v. 27, n. 51, p. 65-83, 2020.

FERNANDES, G. L.; SANTOS, I. F. S. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE ATERROS SANITÁRIOS DE SEIS CIDADES BRASILEIRAS. Revista Brasileira de Energias Renováveis, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 51-65, 19 fev. 2018. Semestral. Universidade Federal do Parana. <http://dx.doi.org/10.5380/rber.v7i1.57967>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/57967>. Acesso em: 18 jan. 2023

FIGUEIREDO, N. J. V.; Utilização de biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica – Estudo de caso / Natalie Figueiredo; orientador Suani Teixeira Coelho – São Paulo, 2011. 147 f.: Il.; 30cm.

FREITAS, B. C.; Análise da viabilidade econômica da geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos no município de São Gonçalo / Brenda Carvalho Freitas, Carolina Pinheiro Ribeiro; Luciane Pimentel Costa Monteiro, orientadora. Niterói, 2019

GEF BIOGÁS.; Acordo com Governo do Distrito Federal. GEF BIOGÁS. Disponível em: <https://www.gefbiogas.org.br/residuos_urbanos.html> Acesso em: 08 de janeiro de 2023.

GEF BIOGÁS.; Biblioteca de relatório de biogás no Brasil. DATA SEBRAE GEF BIOGÁS. Disponível em: <<https://datasebrae.com.br/biblioteca-relatorios-biogas/>> Acesso em: 08 de janeiro de 2023.

GENTIL, B. Coleta Seletiva- Como funciona? MINASBIO CONSULTORIA AMBIENTAL, 2020. Disponível em: <<https://www.minasbioconsultoria.com/post/coleta-seletiva-como-funciona>> Acesso em: 15 de agosto de 2022.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. Serviço de Limpeza Urbana. COLETA CONVENCIONAL. Brasília, SLU. Disponível em: <<https://sigportal.slu.df.gov.br/arcgis/apps/webappviewer/index.html?id=b97c7754d6dd46589d7cdd9684b91581>> Acesso em: 22 de dezembro de 2022.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. Serviço de Limpeza Urbana. Brasília, SLU. Concessão do Aterro Sanitário de Brasília, 2022. Disponível em: <<https://www.sepe.df.gov.br/concessao-do-aterro-sanitario-de-brasilia/>> Acesso em: 06 de janeiro de 2023.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. Serviço de Limpeza Urbana. Brasília, SLU. Esclarecimentos sobre a concessão do Aterro Sanitário de Brasília, 2022. Disponível em: <

<https://sigportal.slu.df.gov.br/arcgis/apps/webappviewer/index.html?id=b97c7754d6dd46589d7cdd9684b91581>> Acesso em: 05 de janeiro de 2023.

KLAUS, O. L. POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DA MESORREGIÃO OESTE DO PARANÁ PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. 2014. 110 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2014.

JUSTEN, D. S.; Coleta Convencional e Coleta Seletiva: entenda suas peculiaridades. BLOG FIM DO LIXO, 2020. Disponível em: <<https://www.fimdolixo.com.br/coleta-convencional-e-coleta-seletiva-entenda-suas-peculiaridades/>> Acesso em 16 de setembro de 2022.

LUIZ, Bruno Nóbrega. A inclusão social dos catadores de materiais recicláveis do lixão da Estrutural, em Brasília/ DF, e as Políticas Nacional e Distrital de Resíduos Sólidos. 2020. 22 f. TCC (Graduação) – Curso de Especialista em Gestão de Políticas Ambientais, Escola Nacional de Administração Pública, Brasília, 2020.

LUIZARI, J. D. ANÁLISE DA GERAÇÃO E COMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES: ESTUDO DE CASO NO PLANO PILOTO – DF. 2019. 100 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

MARTINS, L. O. S.; CARNEIRO, L. T. e SILVA, R. A. F. ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA E FINANCEIRA DA IMPLANTAÇÃO DE USINA DE GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE SANTO ANTÔNIO DE JESUS – BA. Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo, v. 2, n. 2, p. 142-166, abr-jun, 2017.

MANIÇOBA, Regina Souza; OLIVEIRA, Daniela Vieira. Processo de formação e expansão urbana do Distrito Federal. Universitas Humanas, [S.L.], v. 11, n. 2, p. 27-38, 7 jul. 2015. Centro de Ensino Unificado de Brasília.

MAZZONETTO, A. W.; ROCHA, D. C.; OLIVEIRA, D. F. G., SILVA, P. L. - Avaliação do potencial energético do resíduo sólido urbano de Piracicaba para produção de biogás.

Bioenergia em revista: diálogos, ano 6, n. 1, p. 47-75, jan./jun. 2016.

MEDEIROS, V. A.; CASTRO, D. E. TECNOLOGIAS DE RECUPERAÇÃO TÉRMICA E ENERGÉTICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS. 2015

MENEZES, N. J. T.; DOMINGUES, E. G., CARVALHAES, V. & Alves, A. J. (2021). Techno Economic viability analysis of gasification technology as a sustainable alternative for electric power generation from municipal solid waste. *Gestão & Produção*, 28(4), e5756, <https://doi.org/10.1590/1806-9649-2021v28e5756>

MONTAGNER, P. R. S.; Avaliação do potencial de uso do biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica / Paulo Renato dos Santos Montagner; orientador Humberto Felipe da Silva. - Lorena, 2021. 79 p.

MORAES, J. L. DIFICULDADES PARA O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ATRAVÉS DA INCINERAÇÃO NO BRASIL. *Geosaberes*, Fortaleza, v. 6, número especial (3), p. 173 - 180, fevereiro, 2016.

MORETO, F. B.; ARAUJO, Daiana & De, Hélio & Lara, A & Roig, Henrique. (2017). INTERPOLAÇÃO ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO MENSAL MÉDIA NO DISTRITO FEDERAL, BRASIL. *Anais XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*.

NASCIMENTO, M. B.; FREIRE, E. P.; DANTAS, F. A. S.; GIANANTE, M. B.. Estado da arte dos aterros de resíduos sólidos urbanos que aproveitam o biogás para geração de energia elétrica e biometano no Brasil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, [S.L.], v. 24, n. 1, p. 143-155, fev. 2019. FapUNIFESP

NETO, C. Governo abre primeira consulta pública no Brasil sobre ecoparques. População vai poder opinar sobre a criação de unidades de tratamento de resíduos para a geração de energia limpa. AGÊNCIA BRASÍLIA, 2021. Disponível em: <<https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/2021/11/04/governo-abre-primeira-consulta-publica-no-brasil-sobre-ecoparques/>>_Acesso em: 06 de janeiro de 2023.

OLIVEIRA, L.M.F. (2019). GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DA BIOMASSA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: UM CAMINHO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL? Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Administração Pública da Escola de Governo Professor Paulo Neves de Carvalho, Fundação João Pinheiro (FJP).

PÁDUA, S.; DF avança no tratamento de lixo. Abertura do Aterro Sanitário de Brasília e fim do recebimento de resíduos domiciliares no lixão da Estrutural (foto) estão entre as medidas adotadas nos últimos quatro anos. AGÊNCIA BRASÍLIA, 2018. Disponível em: <<https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/2018/12/21/df-avanca-no-tratamento-de-lixo/>> Acesso em: 03 de janeiro de 2023.

PIGHINELLI, A. L.M.T.; SCHAFFER, M. A.; BOATENG, A. A.. Utilization of eucalyptus for electricity production in Brazil via fast pyrolysis: a techno-economic analysis. *Renewable Energy*, [S.L.], v. 119, p. 590-597, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2017.12.036>.

PIÑAS, J. A. V.; VENTURINI, O. J.; LORA, E. E. S.; OLIVEIRA, M. A.; ROALCABA, O. D. C. Aterros sanitários para geração de energia elétrica a partir da produção de biogás no Brasil: comparação dos modelos LandGEM (EPA) e Biogás (Cetesb), *Revista Brasileira de Estudos de População*, Rio de Janeiro, v.33, n.1, p.175-188, jan./abr. 2016.

RIBEIRO, L. A., (2008) *Gestão de Resíduos Sólidos com geração de energia: o Projeto Ecoparque de Porto Alegre*. Dissertação de Mestrado da Pós-graduação em Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SILVA, C. S. A.; RODAS, L. A. F.; MARÇAL, R. *PIRÓLISE: DESTINO, APROVEITAMENTO E ENERGIA ATRAVÉS DO LIXO*. Araçatuba: Repositório Unioledo, 2018. 17 p.

SOARES, F. R., MIYAMARU, E. S., MARTINS, G.; *Desempenho ambiental da destinação e do tratamento de resíduos sólidos urbanos com reaproveitamento*

energético por meio da avaliação do ciclo de vida na Central de Tratamento de Resíduos – Caieiras. Eng Sanit Ambient | v.22 n.5 | set/out 2017, página 933.

SOUSA, M. L.; FREITAS, D. A. F.; GONÇALVES, C. S. BIODEGRADABILIDADE PARA A PRODUÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL. @ Revista Eletrônica Interdisciplinar, Matinhos, v. 11, n. 1, p. 26-38, jan./jun. 2018.

SOUZA, A. R.; SILVA, A. T. Y. L.; TRINDADE, A. B.; FREITAS, F. F.; ANSELMO, J. A. Análise do potencial de aproveitamento energético de biogás de aterro e simulação de emissões de gases do efeito estufa em diferentes cenários de gestão de resíduos sólidos urbanos em Varginha (MG). Engenharia Sanitaria e Ambiental, [S.L.], v. 24, n. 5, p. 887-896, out. 2019. FapUNIFESP (SciELO).

SOARES, H. A.; (2014) CAPTAR BIOGÁS (CH₄) DOS ATERROS DE RESÍDUOS E TRANSFORMAR EM ENERGIA ELÉTRICA PROPOSTA MITIGADORA PARA PASSIVOS AMBIENTAIS MUNICIPAIS GERADOS NA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM ATERROS. Artigo de Conclusão de Curso de Resíduos Sólidos, junto ao CENED - Centro Nacional de Educação a Distância.

SALOMON, K. R., LORA, E. E. S. **Energetic Potential Estimate for Electric Energy Generation of Different Sources of Biogas in Brazil.** Biomassa & Energia, v. 2, n. 1, p. 57 - 67, 2005.

VAZIN, Emerson. PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DO BIOGÁS DE ATERROS SANITÁRIOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: APLICAÇÃO NO ATERRO SANTA TECLA. 2006. 93 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2006.

VGR, Como os PEVs ajudam a instituir a logística reversa? VGR RESIDUOS, 2018. Disponível em: <<https://www.vgresiduos.com.br/blog/como-os-pevs-ajudam-a-instituir-a-logistica-reversa/>> Acesso em 18 de agosto de 2022.

