



USINA DE INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA: ANÁLISE DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO NO TOCANTINS

URBAN SOLID WASTE INCINERATION PLANT FOR ENERGY GENERATION: FEASIBILITY ANALYSIS OF IMPLEMENTATION IN TOCANTINS

Vinicios Rodrigues BRITO

Centro Universitário Tocantinense Presidente Antônio Carlos UNITPAC

E-mail: viniciosbrito415@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-3756-8444>

Laura Maria Cardoso Belato FREIRIA

Centro Universitário Tocantinense Presidente Antônio Carlos UNITPAC

E-mail: lauramariacardoso@hotmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0009-0009-9880-8983>

Indira Queiroz Macambira BEZERRA

Centro Universitário Tocantinense Presidente Antônio Carlos UNITPAC

E-mail: indiraqmb@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2492-8909>

RESUMO

O crescimento populacional e, conseqüentemente, o aumento da geração dos resíduos urbanos, vinculados à deficiência em seu gerenciamento e o descumprimento das leis ambientais vigentes, tornou-se um problema constante nos ambientes urbanos brasileiros. As usinas de incineração, com geração de energia, apresentam-se como alternativa de solução para estes problemas. Por meio de pesquisas bibliográficas, artigos, publicações e trabalhos acadêmicos, buscou-se apresentar os problemas ambientais causados pelo resíduo sólido urbano e os detalhes sobre a solução supracitada, além de levantamento teórico sobre conceitos importantes para o assunto. Apresentou-se, também, um projeto, já em andamento, da USINA VERDE no Rio de Janeiro, para demonstrar a viabilidade de aplicação desta solução, no Tocantins, esclarecendo os pontos de maior discussão que são a destinação dos resíduos resultantes após a incineração e os gases liberados a atmosfera. O presente trabalho, após comparação com os números de operação da USINA VERDE com os

números de operação do Aterro de Araguaína, concluiu que esta solução pode ser uma alternativa viável para a disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Tocantins.

Palavras-Chave: Resíduos sólidos. Incineração. Meio ambiente. Recuperação energética.

ABSTRACT

Population growth and, consequently, the increase in urban waste generation, combined with deficiencies in waste management and noncompliance with environmental legislation, have become a persistent challenge in Brazilian cities. Incineration plants with energy recovery have emerged as a potential solution to mitigate these environmental and public health problems. This study aims to analyze the feasibility of implementing an urban solid waste incineration plant in the municipality of Araguaína, in the state of Tocantins. Based on bibliographic research, scientific articles, technical publications, and academic works, this paper discusses the environmental impacts caused by inadequate waste disposal and presents incineration as an alternative technology for sustainable waste management. The research also highlights the Usina Verde project in Rio de Janeiro, which has been operating on a pilot scale since 2004, as a national reference for energy recovery from waste. By comparing operational data from the Usina Verde with figures from regional landfills and sorting units, the study concludes that this technology can represent a viable alternative for the final disposal of municipal solid waste in Araguaína, provided that proper emission control systems and environmental management practices are ensured.

Keywords: Solid waste. Incineration. Environment. Energy recovery.

INTRODUÇÃO

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o crescimento da população é um dos fatores que contribuem para o aumento dos impactos ambientais negativos. Em 2025, a população brasileira foi estimada em 213,4 milhões de habitantes, representando um crescimento de 0,39% em relação ao ano anterior. Além disso, conforme estimativas mais recentes, foram geradas aproximadamente

USINA DE INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA: ANÁLISE DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO NO TOCANTINS. Vinícios Rodrigues BRITO; Laura Maria Cardoso Belato FREIRIA; Indira Queiroz Macambira BEZERRA. JNT Facit Business and Technology Journal. QUALIS B1. ISSN: 2526-4281 - FLUXO CONTÍNUO. 2025 - MÊS DE OUTUBRO - Ed. 67. VOL. 01. Págs. 485-523. <http://revistas.faculdefacit.edu.br>. E-mail: jnt@faculdefacit.edu.br.

211 mil toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) por dia no Brasil em 2022.

Neste contexto, a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, instituída em 2 de agosto de 2010 por meio da Lei nº 12.305, estabeleceu que os lixões fossem fechados em 2 de agosto de 2014. Porém, diversos municípios Brasileiros não conseguiram cumprir com a determinação legal, demonstrando a carência na disposição ambientalmente adequada dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no país.

As áreas destinadas à disposição final dos resíduos em aterros sanitários têm se mostrado insuficientes para o comprimento das exigências legais, sendo necessária a definição de metas e redução, reutilização, reciclagem e o tratamento dos resíduos sólidos urbanos, como a própria Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) prevê prioritariamente.

Como alternativa, o aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos (RSU) tem se mostrado uma possibilidade promissora no apoio ao tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos e que poderá amenizar muitos dos impactos negativos dos lixões e aterros.

A geração de energia elétrica é um exemplo importante de uma estratégia regional ou local e não deve ser desconsiderada, embora não se trata de um potencial suficiente para sustentar uma estratégia de expansão da oferta de energia elétrica do país em longo prazo, a partir dos resíduos sólidos urbanos (Lucke, 2012).

O Plano Nacional de Energia 2030 – PNE 2030, em uma perspectiva para 2030, considera a possibilidade de instalação de até 1.300 MW em termelétricas utilizando resíduos sólidos urbanos (RSU), que indica uma possibilidade de avanços importantes no aproveitamento energético de resíduos urbanos (Ministério de Minas e Energia - MME, 2008).

Com a implementação das políticas nacionais para o gerenciamento de resíduos, os avanços para o aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos (RSU) terão que ser mais profundos e rápidos. Ao lado dos evidentes benefícios ambientais, sanitários e sociais que proporciona o aproveitamento energético de RSU, atualmente já apresenta alternativas tecnológicas maduras em países como Estados Unidos, Japão e na Europa (Lucke, 2012).

Neste trabalho, demonstram-se os impactos ambientais causados pelo Aterro Controlado da Estrutural e estuda a viabilidade da implantação de uma usina de

incineração de resíduos sólidos urbanos para gerar energia no Tocantins, apresentando os impactos dos resultados e os benefícios para a população e meio ambiente.

JUSTIFICATIVA

A busca pela destinação adequada dos RSU, a preocupação ambiental e as tecnologias alternativas de geração de energia, estão sendo estudadas para solucionar a crise energética e ambiental nos últimos anos.

A queima de pneus usados e outros resíduos, em fornos de clínquer e a utilização da biomassa do bagaço de cana em processos de cogeração de gás natural são exemplos dessa busca por novas tecnologias que contribuem para a geração de energia e, ao mesmo tempo, propiciam uma destinação final adequada aos resíduos sólidos.

Além dos problemas ambientais, as questões econômicas e sociais são igualmente relevantes quando se trata da gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU). De acordo com a Associação Brasileira de Recuperação Energética de Resíduos, se o Brasil não modificar seu modelo de gerenciamento, os custos diretos e indiretos da má gestão poderão ultrapassar R\$ 168,5 bilhões ao ano até 2050, considerando o impacto das externalidades e a continuidade dos lixões. Isso demonstra não apenas o desperdício de recursos com potencial energético, mas também a perpetuação de condições subumanas de vida para populações de baixa renda que sobrevivem em ambientes insalubres (ABRERPI, 2024).

Observando tais pontos, o trabalho buscará demonstrar que a incineração de RSU para gerar energia, é uma solução possível, onde será apresentado seu processo, resultados benefícios e a aplicação do tratamento no Tocantins.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

O objetivo do trabalho é estudar o tratamento de RSU e a usina de incineração de resíduos para gerar energia elétrica, apresentar a viabilidade de implantação desta usina para o Tocantins, comparando os aspectos ambientais e sociais de acordo com

a usina modelo do Rio de Janeiro, a Usina Verde.

Objetivos Específicos

Diante da exposição do objetivo geral, pretende-se alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Analisar o impacto ambiental no gerenciamento atual do RSU no Tocantins;
- Apresentar as tecnologias aplicadas no processo de incineração de RSU no Brasil, de acordo com a Usina Verde do Rio de Janeiro;
- Demonstrar os benefícios ambientais e sociais do aproveitamento energético do RSU;
- Estudar a viabilidade da implantação de uma Usina de Incineração no Tocantins.

REFERENCIAL TEÓRICO

Conceitos: Lixo, Resíduos Sólidos e Resíduos Sólidos Urbanos

O Lixo é todo e qualquer resíduo, sólido ou semissólido, proveniente das atividades humana ou gerado pela natureza em aglomerações urbanas (SEAC-SP, 2016). Na linguagem técnica, é sinônimo de resíduos sólidos e é representado por materiais descartados pelas atividades humanas, no dicionário, são definidas como sujeira, imundice, coisas velhas e sem valor. O Lixo pode ser classificado em lixo domiciliar urbano, industrial, hospitalar, agrícola e o lixo tecnológico, neste, há pouca reutilização e o descarte de maneira incorreta.

Segundo a NBR 10.004/2004 – Resíduo Sólido - Classificação, descreve que resíduo sólido é como resíduo no estado sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola e de serviço de varrição. Incluem-se os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face de melhor tecnologia (ABNT, NBR 10004, 2004).

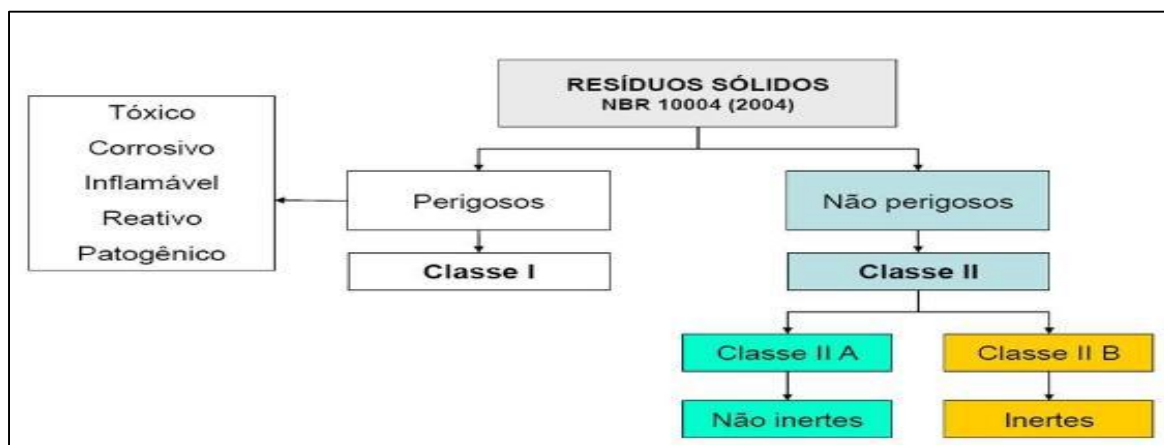
Resíduos Sólidos – Classificação

Os resíduos sólidos são classificados da seguinte forma:

- Quanto à origem:
 - Resíduos domiciliares;
 - Resíduos de limpeza urbana;
 - Resíduos sólidos urbanos;
 - Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços;
 - Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico;
 - Resíduos industriais;
 - Resíduos de serviço de saúde;
 - Resíduos de construção civil;
 - Resíduos agrossilvopastoris;
 - Resíduos de serviços de transportes;
 - Resíduos de mineração.
- Quanto à periculosidade:
 - Resíduos classe I – perigosos;
 - Resíduos classe II - não perigosos;
 - Classe II A – não inertes;
 - Classe II B – inertes.

Na Classificação de resíduos sólidos, de acordo com a NBR 10.004/2004, a Figura 1 apresenta as classes do RSU.

Figura 1: Classificação dos Resíduos Sólidos.



Fonte: NBR 10.004/2004.

Resíduos Sólidos Urbanos

No âmbito estadual, o Estado do Tocantins, por meio da Lei Estadual nº 2.303/2010 e do Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS-TO), municípios elaborem seus Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), conforme previsto na PNRS.

O Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2014), em sua Cartilha de Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, destaca que a gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU) compreende etapas fundamentais como a segregação, coleta, armazenamento, transporte e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos gerados.

Para garantir uma melhor execução da política pública e promover a sustentabilidade, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2010), em seu Artigo 14, institui a obrigatoriedade de elaboração dos Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) em todas as esferas de governo. O Plano Estadual do Tocantins adota essas mesmas diretrizes, reforçando a importância da gestão integrada — entendida como o conjunto de ações voltadas à busca de soluções que considerem as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, sob a ótica do desenvolvimento sustentável e da participação social (SEMARH, 2020; MMA, 2014).

Figura 2: Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, PGRS.



Fonte: Relatório Plano Nacional de Resíduos Sólidos – Lei 12.305/2010.

Formas de Tratamento do Resíduo Sólido Urbano

A PNRS (Plano Nacional de Resíduos Sólido, 2010) determina que a gestão e gerenciamento de resíduos sólidos deve observar a priorização das seguintes atividades: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Segundo o Instituto Brasileiro de Administração Municipal – IBAM (2001), o tratamento do resíduo sólido é uma série de procedimentos destinados a reduzir a sua quantidade ou potencial poluidor, por meio do descarte em ambiente ou local adequado ou transformando-o em material inerte ou biologicamente estável.

Há várias formas de tratamento do RSU, na Tabela 1 é apresentado os processos de transformação ou tratamento dos RSU, seus métodos e principais produtos. Sua quantidade ou potencial poluidor, por meio do descarte em ambiente ou local adequado ou transformando-o em material inerte ou biologicamente estável.

Há várias formas de tratamento do RSU, na Tabela 1 é apresentado os processos de transformação ou tratamento dos RSU, seus métodos e principais produtos.

Tabela 1: Processos e métodos de transformação dos RSU e seus produtos.

PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO	MÉTODOS DE TRANSFORMAÇÃO	PRINCIPAL CONVERSÃO EM PRODUTOS
FÍSICO		
Separação de componentes	Manual ou mecânica	Componentes individuais encontrados os resíduos domiciliares
Redução de volume	Aplicação de energia em forma de força ou pressão	Redução de volume do material original
Redução de tamanho	Aplicação de energia para retalhamento e moagem	Redução de tamanho dos componentes originais
QUÍMICO		
Combustão	Oxidação térmica	Dióxido de carbono (CO ₂), dióxido de enxofre (SO ₂), outros produtos de oxidação, cinzas
Pirólise	Destilação destrutiva	Vários gases, alcatrão e composto de carbono
Biológico		
Compostagem aeróbica	Conversão biológica aeróbica	Composto umidificado usado como condicionador de solos
Digestão anaeróbica	Conversão biológica anaeróbica	Metano (CH ₄), dióxido de carbono (CO ₂), húmus

Fonte: Schalch (2002).

Tipos de Disposição Final para o Resíduo Sólido Urbano

Os resíduos sólidos urbanos coletados nas cidades poderão ter como disposição final, o lixão, os aterros controlado e sanitário.

O lixão é a forma de destinação final do RSU a céu aberto sem nenhum tratamento especial, conforme a Figura 5. É considerado lixão qualquer local que receba resíduo sólido, sem os devidos cuidados com o meio ambiente, com o solo, o ar, e a saúde da comunidade em geral, pois gera degradação ambiental pela produção do chorume que contamina o lençol freático e atrai catadores de lixos recicláveis que trabalham de forma insalubre e desumana para o sustento próprio.

No estado do Tocantins, a destinação inadequada dos resíduos sólidos ainda é um grande desafio. Segundo o Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS/TO, 2020), mais de 80% dos municípios ainda utilizam lixões a céu aberto ou áreas de descarte irregular. Em Araguaína, são geradas cerca de 120 toneladas diárias de resíduos urbanos, e mesmo com a existência de um aterro controlado, ainda há pontos clandestinos de despejo. Essa situação exige ações efetivas de fiscalização e

investimentos em gestão ambiental integrada para garantir o cumprimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010).

O aterro controlado é uma técnica de engenharia na qual os resíduos são dispostos no solo, cobertos diariamente com camadas de terra, ocupando o menor volume possível, por meio da compactação deste material, tratando os efluentes gerados (SANEP –Serviço autônomo de abastecimento de águas de Pelotas, 2015). É uma fase intermediária entre o lixão e o aterro sanitário, que passou por um processo de remediação, ou seja, recebeu uma cobertura de argila e grama da área do aterro para minimizar os efeitos do chorume gerado, canalização para tratamento adequado, remoção dos gases produzidos em diferentes profundidades do aterro, recobrimento diariamente com terra ou outro material para a forração do lixo.

É construída uma célula adjacente que recebe uma manta para impermeabilizar a fim de diminuir os impactos negativos no solo e também receberá uma cobertura diária. O chorume terá uma recirculação onde será coletado e levado para cima da pilha de lixo. Acontece também a captação do gás metano e sua queima.

Já o aterro sanitário, segundo a NBR 8419/1993, é a técnica de disposição dos resíduos sólidos urbanos no solo sem causar danos à saúde e minimizando danos ambientais, este método utiliza princípios da engenharia para confinar o resíduo sólido à menor área possível e reduzir ao menor volume permissível, cobrindo com uma camada de terra ao final do dia ou em determinado período se houver necessidade.

Essas são as três formas de disposição final para o RSU mais usadas no Brasil, porém, a Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2010) conceitua em seu artigo 3, a disposição final ambientalmente adequada como a distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos à saúde pública e amenizar os impactos ambientais, ressalta que a destinação inclui a reutilização, reciclagem, a compostagem, a recuperação e o reaproveitamento energético.

Resíduos Sólidos Urbanos Coletados no Brasil

O crescimento populacional, a expansão urbana e o aumento do consumo resultaram em uma elevação significativa na geração de resíduos sólidos urbanos

(RSU) em todo o território brasileiro. Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2023, publicado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), o país gerou aproximadamente 81 milhões de toneladas de RSU em 2023, o que representa uma média de 1,047 kg por habitante/dia. Desse total, 93% da população brasileira teve acesso à coleta regular de resíduos, um avanço em relação aos anos anteriores.

Apesar da ampliação da cobertura de coleta, a destinação final ainda representa um grande desafio. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2023), apenas 58,5% dos resíduos coletados tiveram destinação ambientalmente adequada em aterros sanitários licenciados. Os 41,5% restantes ainda foram encaminhados a lixões e aterros controlados sem tratamento, o que mantém altos índices de contaminação do solo, das águas subterrâneas e do ar.

Os maiores volumes de geração de resíduos concentram-se na Região Sudeste, responsável por cerca de 52% da produção nacional, seguida pelas regiões Nordeste (20%), Sul (14%), Centro-Oeste (8%) e Norte (6%) (IBGE, 2023). A distribuição reflete diretamente o adensamento urbano e o poder de consumo das populações regionais.

Estudos da ABRELPE (2023) e do Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR, 2023) mostram ainda que cerca de 30 milhões de toneladas de resíduos recicláveis, como papel, vidro, plásticos e metais, poderiam ser reaproveitados, mas acabam descartados de forma incorreta. Essa ineficiência resulta em perdas econômicas estimadas em R\$ 14 bilhões anuais e reforça a necessidade de ampliar políticas públicas de reciclagem e inclusão de catadores de materiais reutilizáveis.

Resíduos Sólidos Urbanos no Tocantins

No Brasil, o serviço de limpeza urbana teve início em 1880, no Rio de Janeiro, quando D. Pedro II assinou o Decreto nº 3.024, aprovando o contrato de limpeza e irrigação da cidade. No Tocantins, a estruturação da limpeza urbana e do manejo de resíduos sólidos se consolidou após a criação do Estado, em 1988, com o fortalecimento dos serviços municipais e o apoio técnico do Instituto Natureza do Tocantins (Naturatins) e da Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

(SEMARH).

O Tocantins possui 139 municípios, com predominância de pequenas cidades e crescimento urbano concentrado em Palmas, Araguaína e Gurupi. O aumento populacional e econômico elevou o consumo e, conseqüentemente, a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU). Em Araguaína, por exemplo, são produzidas cerca de 120 toneladas de resíduos por dia, conforme a Prefeitura Municipal (2023). O setor de reciclagem e reaproveitamento ainda é incipiente, mas vem se expandindo com cooperativas locais que atuam na triagem e no reaproveitamento de materiais recicláveis, contribuindo para a geração de renda e inclusão social.

A gestão e a operação da limpeza urbana e do manejo dos RSU no Tocantins são de responsabilidade das prefeituras municipais, em conformidade com a Lei Estadual nº 2.303/2010, que institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos (PERS/TO). O órgão estadual, por meio da SEMARH, tem como atribuições:

- Promover a gestão integrada e o apoio técnico aos municípios quanto ao manejo dos resíduos sólidos;
- Planejar e executar políticas públicas voltadas à redução, reutilização e reciclagem dos resíduos;
- Supervisionar e fiscalizar as atividades de coleta, transporte e destinação final;
- Estimular a criação de consórcios intermunicipais para gestão compartilhada;
- Garantir o cumprimento das legislações estadual e federal pertinentes;
- Controlar e acompanhar o encerramento dos lixões e a implantação de aterros sanitários.

Segundo o Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Tocantins (PERS/TO, 2020), o estado produz cerca de 2.400 toneladas diárias de resíduos sólidos urbanos, sendo 60% provenientes de resíduos domiciliares e comerciais e 40% da construção civil. Embora existam iniciativas de triagem e reciclagem em municípios-polo, a maior parte dos resíduos ainda é encaminhada para aterros controlados ou lixões a céu aberto, o que demanda políticas mais efetivas de gestão e fiscalização.

Disposição Final dos Resíduos Sólidos Urbanos no Tocantins

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2010) estabeleceu, em seu artigo 17, o prazo de quatro anos para a erradicação dos lixões e a implantação de aterros sanitários em todos os municípios. No entanto, o Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Tocantins (PERS/TO, 2020) mostra que essa meta ainda não foi plenamente alcançada.

Atualmente, o Tocantins possui apenas três aterros sanitários licenciados (em Palmas, Araguaína e Gurupi), e a maioria dos municípios utiliza aterros controlados ou áreas de disposição irregular. Em Araguaína, o aterro municipal recebe cerca de 120 toneladas de resíduos por dia, além de entulhos e rejeitos diversos, o que ainda gera impactos ambientais significativos (Prefeitura de Araguaína, 2023).

O Estado, por meio da SEMARH e do Naturatins, vem desenvolvendo ações de apoio técnico e capacitação para os municípios, além de incentivar a formação de consórcios intermunicipais de gestão de resíduos, buscando adequar-se às metas da PNRS e promover a destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos urbanos.

O Impacto Ambiental Causado pelo Lixo

O manejo inadequado dos resíduos sólidos urbanos (RSU) representa um desafio ambiental crescente. A diversidade de materiais descartados, a escassez de áreas apropriadas para disposição e a limitação de recursos financeiros públicos dificultam a implementação de soluções eficazes. Além disso, a complexidade das etapas envolvidas como a geração, armazenamento, coleta, transporte e disposição final que contribui para impactos ambientais significativos, como a contaminação do solo e da água, poluição do ar e emissão de gases de efeito estufa. A falta de uma gestão integrada e sustentável agrava esses efeitos, comprometendo a qualidade de vida nas áreas urbanas (Ambscience, 2025).

O manuseio e a eliminação dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil é um dos fatores de maior importância para os impactos ambientais negativos. De acordo com o Panorama 2014 da ABRELPE, cerca de 41,6% dos resíduos foram destinados a locais inadequados, como lixões e aterros controlados, que não atendem aos padrões

ambientais recomendados. Essa disposição inadequada provoca contaminação do solo, da água e do ar, além de criar condições propícias para a proliferação de vetores de doenças, afetando a saúde pública e o equilíbrio ambiental.

A poluição no lençol freático acontece por não haver uma proteção no solo para impedir que o chorume chegue à água. Outra forma de contaminação da água é pelo escoamento do chorume para as redes de águas pluviais que é levado para os rios.

A poluição solo é ocasionada pela penetração do chorume modificando o aspecto físico e químico, devido ao alto teor energético de algumas substâncias presentes no RSU. A do ar está relacionada pela exposição a céu aberto, aonde o vento conduz os resíduos mais leves, alterando a paisagem ao redor, e o odor forte do lixo em decomposição.

Além dos danos ambientais, tem os danos sociais. Pois os lixões a céu aberto atraem milhares de pessoas de baixa renda que buscam materiais recicláveis para comercializar, uma fonte de renda, contudo, muitos tiram acessórios e até alimento. Apesar das condições insalubres e subumanas da atividade, podem causar doenças, mutilações e até a morte, por causa do ambiente do trabalho.

Transformações dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em Fonte de Energia

A demanda de energia no Brasil cresce tanto quanto sua população e o volume de RSU gerado. É necessário que o RSU tenha uma destinação adequada e como precisa de energia, pode ser aproveitado para suprir esse déficit energético.

Muitos países utilizam desta tecnologia para a destinação final correta dos resíduos sólidos urbanos. O Japão incinera cerca de 10% do RSU, a Suíça e a Alemanha em torno de 80%, e nos Estados Unidos por volta de 30 milhões de toneladas/ano são incinerados. Já em Paris, 100% do lixo gerados são incinerados em usina dentro da cidade, e a recuperação energética aquece a água aquecida de 70 apartamentos.

Nos últimos anos, o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil tem apresentado crescimento, embora ainda de escala modesta frente ao potencial disponível. De acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos Urbanos 2022, o país gerou cerca de 77 milhões de toneladas de RSU, com média per capita de

1,04 kg por habitante/dia.

Projeções recentes da Abrema indicam que existem atualmente 300 MW de potência instalada gerada por aterros sanitários e plantas de biogás em operação no Brasil. Há cerca de 147 plantas de biogás e biometano em operação ou em desenvolvimento no país, das quais pouco mais da metade já produzem energia elétrica, demonstrando que ainda há um grande espaço para expansão dessa fonte renovável no contexto da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010). A utilização do RSU para gerar energia não é uma solução inviável, hoje existem 1.483 usinas térmicas de queimam resíduos para produzir energia. O Japão lidera o ranking com 800 usinas, seguido da Europa com 452, China com 100, e Estados Unidos com 86 unidades.

Barros (2012) afirma que a vantagem da incineração é a redução de 70% da massa e de 90 % do volume dos resíduos de modo que só uma pequena parte seria encaminhada para os aterros, aumentando assim, sua vida útil. Além disso, é possível a instalação de incineradores mais próximos às fontes de geração de resíduos sólidos, reduzindo o custo com transporte. Outras vantagens ao processo seria a eliminação de resíduos contaminados, a não contaminação do lençol freático pelo chorume e a possibilidade de recuperação de calor e geração de energia o processo de combustão. A tecnologia de incineração do RSU por ter equipamentos de ponta, reduz a emissão de poluentes na atmosfera, assim pode ser utilizado para o tratamento de lixo perigoso.

Muita matéria orgânica tem sido desperdiçada ao ser encaminhada aos aterros e lixões (IPEA, 2012). Este material já poderia passar por tratamento para gerar energia elétrica e que, 94,3 mil toneladas de lixo orgânico recolhido diariamente no Brasil, somente 1,6% são encaminhados para reaproveitamento, e se todos os resíduos secos da produção de cana no Brasil fossem encaminhados para incineração a fim de gerar energia, teríamos uma potência de 16,6 GW, ou seja, teria uma potência maior que a Usina Hidrelétrica de Itaipu que tem 14 GW.

O Brasil possui um significativo potencial poderia gerar até 1,3 GW de energia elétrica a partir de RSU, suficiente para abastecer milhões de residências, o que evidencia uma oportunidade importante para diversificar a matriz energética e gerar receitas adicionais por meio da comercialização de energia e de créditos de carbono

(Abrelpe, 2025).

Segundo Lucke (2012), outros benefícios na utilização dos RSU como fonte de energia seria:

- A transformação do lixo em um combustível de melhor qualidade para a máxima geração de energia, por meio da sofisticação dos processos da etapa pré-tratamento do lixo, aumentando sua homogeneização, reduzindo sua umidade e melhorando o poder calorífico;
- Uma evolução tecnológica dos sistemas de controle e de sistemas informatizados por meio do avanço de refinamento dos sistemas de turbilhonamento, secagem, ignição e controle da combustão, permitindo monitoramento, análises e decisões em tempo real, facilitando a gestão das usinas e reduzindo a probabilidade de acidentes;
- Parcerias com empresas com sólido know-how sobre filtros catalisadores para a retenção de dioxinas e furanos que garantem, no final do processo, emissões de poluentes para a atmosfera ou corpo líquido bem menores que os limites máximos exigidos pela legislação do meio ambiente mais rígida.

Energias Recuperadas a partir dos Resíduos Sólidos Urbanos

A Lucke (2012) nos diz que a usina de incineração é a melhor maneira de aproveitar o lixo hoje urbano e que a PNRS, acompanhava uma revolução em termos ambientais. Afirma, que 12% do lixo gerado nas mais de 5 mil cidades brasileiras deixam de ser coletados. Diante do coletado, 50% seguem para aterros controlados e lixões já os outros 50% vão para aterro sanitário. No ano de 2011 através de um cálculo endossado pelo IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada descobriu-se que o país desperdiça, dessa forma, por volta de 4 (quatro) bilhões de dólares ao ano, considerando nessa pesquisa os recicláveis. Desta forma o MME – Ministério de Minas e Energia no ano de 2008 copilou algumas documentações de diversas fontes e obteve os dados conforme Tabela 2.

Tabela 2: Destino de RSU em diversos países.

País	Reciclagem	Compostagem	Recuperação Energética (1)	Aterro Sanitário
Holanda	39%	7%	42%	12%
Suíça	31%	11%	45%	13%
Dinamarca	29%	2%	58%	11%
Estados Unidos	24%	8%	13%	55%
Austrália	20%	<<1%	<1%	80%
Alemanha	15%	5%	30%	50%
Japão	15%	0%	78%	7%
Israel	13%	0%	0%	87%
França	12%(2)	0%	40%	48%
Brasil	8%	2%	0%	90%(3)
Reino Unido	8%	1%	8%	83%
Grécia	5%	0%	8%	95%(3)
Itália	3%	10%	7%	80%

Fonte: CEMPRE, Tetra Park Américas, Nolan-ITU Pty (2002), EPA 2007.

Quando o assunto é tratamento de resíduos, deve-se pensar em seguir a hierarquia das seguintes etapas: Redução da produção de resíduo, Preparação para reuso, Reciclagem, outras formas de reciclagem e Disposição de resíduos. (FBE, 2012).

Usina de Incineração: Vantagens de Desvantagens

A Usina de Incineração do RSU consiste em queimar o lixo, onde diminui a quantidade que ocupa um grande espaço nos aterros sanitário e controlados. A tecnologia de uma usina de incineração consiste em uma indústria com sistemas de alta tecnologia para emitir em baixas quantidades de poluentes, e conta com tratamento dos resíduos perigosos e hospitalares.

Vantagens

- Redução drástica do volume a ser descartado: A incineração deixa como produto apenas as cinzas, que geralmente são inertes. Desta forma, reduz a necessidade de espaço para aterro;
- Redução do impacto ambiental: Comparativamente com o aterro sanitário,

a incineração minimiza a preocupação em longo prazo com monitorização do lençol freático já que o resíduo tóxico é destruído e não “guardado”;

- **Desintoxicação:** A incineração destrói bactérias, vírus e compostos orgânicos, como o tetracloreto de carbono, óleo ascarel e até dioxinas. Na incineração, a dificuldade de destruição não depende da periculosidade do resíduo, mas sim da estabilidade do calor. A incineração também pode ser usada para a descontaminação do solo contendo resíduos tóxicos. Esse, depois de incinerado, é devolvido ao seu lugar de origem (Schmidt, 2000);
- **Recuperação de energia:** A incineração de resíduos sólidos possibilita aproveitar parte da energia contida nesses materiais para a produção de vapor ou eletricidade, reduzindo a necessidade de novas áreas de aterro. Essa técnica também permite a valorização energética de resíduos, transformando materiais que seriam descartados como poluentes em fontes úteis de energia. Dessa forma, a recuperação energética se apresenta como uma estratégia eficaz (Silva; Oliveira; Pereira, 2023);
- **Diminuição no consumo de combustíveis fósseis:** Com a utilização dos resíduos como combustível existe uma diminuição no consumo de combustíveis fósseis. Esta substituição situar-se-á entre os 25 a 40% no consumo de combustível primário;
- **Reciclagem das escórias e outros inertes:** Que podem servir como material de enchimento para a produção de asfalto, betão e também no fabrico de tijolos.

Desvantagens

- **Custo elevado:** A incineração é um dos tratamentos de resíduos que apresenta custos elevados tanto no investimento inicial como no custo operacional. Normalmente, deve-se incinerar apenas o que não pode ser reciclado ou que tem um nível de periculosidade de tal modo levado que o único tratamento aceitável seja a incineração;
- **Exige mão-de-obra qualificada:** É difícil encontrar e manter pessoal bem qualificado para a supervisão e a operação de incineradoras;

- Problemas operacionais: A variabilidade da composição dos resíduos pode resultar em problemas de manuseio de resíduo e operação do incinerador e também exigir manutenção mais intensa;
- Limite de emissões: para componentes da classe das dioxinas e furanos não existe consenso quanto ao limite de emissão dos incineradores. A emissão de metais pesados não se encontra suficientemente bem estudada, bem como a incorporação destas substâncias cancerígenas no cimento (EMEP, 1999);
- Composição química das emissões gasosas: não se conhece ao certo a composição química dos gases produzidos pela incineração de resíduos perigosos;
- Incerteza dos efeitos das emissões: Desconhecem-se as áreas de influência das emissões e da sua deposição nos solos;
- Agressividade da matéria-prima: A matéria-prima é muito agressiva para os equipamentos, que precisam de constantes reparos;
- Poder calorífico: Os resíduos extremamente húmidos e com alto teor de matéria orgânica, implicam um baixo poder calorífico (WIPH, 2000);
- Competição com outros tratamentos: A incineração compete com mecanismos de conservação de energia como a reutilização e a reciclagem de materiais.

Em comparação com outras tecnologias para a disposição final do RSU, a Incineração é uma das melhores alternativas para a recuperação energética. Tratando o RSU de maneira correta e gerando energia limpa.

Emissão de Gases na Atmosfera pela Usina de Incineração

Alguns dos fatores são polêmicos para a liberação do uso dessa tecnologia de incineração do RSU como fonte de carga, atualmente o que mais é discutido é a emissão de gases na atmosfera.

No processo da inclinação dos RSU são gerados os seguintes poluentes (Caixeta, 2005):

1. Emissão atmosférica que são instituídas por gases como o gás carbônico (CO_2),

- óxido de enxofre (SO_x), óxido de nitrogênio (NO_x), oxigênio (O²), nitrogênio (N²) e material particulado (MP);
2. Escória vinda do forno de incineração composta por material inerte, metais e inorgânicos;
 3. Resíduos, líquidos ou sólidos, a depender do tipo de processo, provenientes dos equipamentos do tratamento dos gases ácidos, e
 4. Cinzas geradas nos equipamentos de remoção de particulados, as quais contêm material de granulometria pequena, inorgânica e metais pesados.

Em concentrações menores temos o ácido clorídrico (HCl) e o ácido fluorídrico (HF), conhecidos como gases ácidos, além dos metais pesados e os produtos de combustão incompleta como o monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos, dioxinas etc. (Gripp, 1998).

Mas, após a troca de calor dentro da caldeira, esses gases são tratados com a finalidade de abatimento dos poluentes conforme os limites exigidos pelas legislações vigentes que, no caso do Brasil é o CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, que determina através da Resolução 316/2002 que estabelece padrões para a emissão de poluentes atmosféricos provenientes da incineração de resíduos (Godecke, 2012).

Pode-se observar que na Tabela 2, que a Resolução 316/2002 do CONAMA, estabelece parâmetros para limites de projeção dos gases, sendo muito mais exigente em relação aos órgãos de outros países, como a EPA – Agência Ambiental Norte Americana, a EU – Comunidade Europeia e a SMA-SP – Secretaria de Estado do Meio Ambiente.

Lucke (2012) considera o processo de incineração do RSU uma solução correta e limpa para o gerenciamento do RSU, embora para outros principalmente as ONGs – Organizações Não Governamentais que variam de ambientalistas e pessoas comuns, esta tecnologia agravaria os problemas ambientais e sociais já existentes.

Segundo Poletto Filho (2013), entretanto, a produção de eletricidade a partir de RSU modernos tem avançado de forma significativa, pois a separação prévia do lixo impede a queima de resíduos com substâncias tóxicas, tornando o processo ambientalmente mais seguro sem comprometer sua eficiência energética.

Estudos epidemiológicos indicam que a exposição a incineradores de resíduos

sólidos urbanos (RSU) pode estar associada a riscos à saúde, incluindo o desenvolvimento de câncer. Uma pesquisa realizada pelo Instituto Nacional de Câncer (INCA) no Brasil destaca que a exposição ocupacional a substâncias cancerígenas presentes no ambiente de trabalho, como compostos orgânicos voláteis e metais pesados, pode aumentar a incidência de neoplasias (INCA, 2011). Embora o estudo se concentre em ambientes laborais, ele ressalta a importância de monitorar e controlar a exposição a esses agentes também em áreas residenciais próximas a incineradores de RSU. Revisões sistemáticas internacionais, como a publicada pelo Comitê Britânico de Carcinogenicidade, indicam que incineradores modernos, quando corretamente operados, apresentam risco extremamente baixo à população residente nas proximidades, embora medidas de monitoramento contínuo sejam recomendadas (Committee on Carcinogenicity, 2012).

Lucke (2012), afirma que no terminante de 15 anos, o desenvolvimento tecnológico tornou a incineração o processo mais seguro existente atualmente, em tal grau que o maior nível de projeção das usinas não chega a 20% do valor prescrito pelas normas. Algumas usinas queimam até mil toneladas de lixo ao dia, parecido ao centro de grandes cidades como Viena, Osaka e Zurique, sem qualquer contratempo de aroma ou impureza. Portanto, a real desvantagem do processo está nos altos custos de instalação e manutenção da usina de incineração e dos equipamentos para o tratamento e controle das emissões poluentes.

Legislação e Normas Técnicas da ABNT

No território nacional existem algumas leis e decretos que são responsáveis por regulamentar todo e qualquer assunto relacionados ao meio ambiente e a usina de recuperação de energia.

No âmbito Federal, temos:

A lei nº 6.938/1981 que estabelece as diretrizes a serem adotadas na criação da PNMA – Política Nacional do Meio Ambiente, assim visando a redução e prevenção da poluição, proteção do meio ambiente e recuperação da qualidade da saúde pública.

Em meados de 2010, o Decreto nº 7.404 regulamentou a Lei nº 12.305 de 02/08/2010 que instituiu a PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos, assim disponibilizando as diretrizes relativas à gestão integrada ao gerenciamento de

resíduos sólidos, incluído os de alta periculosidade.

No âmbito Distrital, temos:

- Lei nº 41, de 13/08/1989, que traz a tratativa sobre a PMD – Política Ambiental do Distrito Federal;
- Lei nº 1.399, de 10/03/1997, que altera o artigo 15 da Lei nº 41, de 13/08/1989.

Dentre as normas técnicas da ABNT voltadas para resíduos sólidos e incineração:

- NBR 11.175 – dispõe sobre a incineração de resíduos sólidos perigosos e estabelece padrões de desempenho (ABNT 1990);
- NBR 10.004 – que classifica resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que estes possam ter manuseio e destino adequados (ABNT 2004).

Descreve que resíduo sólido é como resíduo no estado sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola e de serviço de varrição. Incluem-se os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso solução técnica e economicamente inviável em face de melhor tecnologia.

METODOLOGIA

A presente metodologia tem como objetivo a análise da viabilidade ambiental e social da instalação de uma usina de incineração de resíduos sólidos urbanos (RSU) no estado do Tocantins, com foco no município de Araguaína. Para tanto, adotou-se uma abordagem de pesquisa aplicada, com caráter descritivo e exploratório, que envolveu levantamento bibliográfico, documental e comparativo. A pesquisa se baseou em informações provenientes de órgãos públicos, como o Instituto Natureza do Tocantins (Naturatins), a Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH) e a Prefeitura Municipal de Araguaína, além de dados presentes em relatórios técnicos, legislações ambientais e publicações científicas.

A análise abrangeu o diagnóstico das condições atuais de gestão de resíduos sólidos no município, a identificação das áreas de destinação e o levantamento dos impactos ambientais existentes, com especial atenção para os impactos no Rio Lontra. Em seguida, foram avaliadas as condições técnicas, econômicas e sociais para a implementação da usina de incineração, a partir de parâmetros extraídos de empreendimentos similares em operação no Brasil.

Impactos Ambientais no Rio Lontra em Araguaína – TO

Nas regiões próximas e às margens ao Rio Lontra, localizado no município de Araguaína – TO, observa-se o descarte inadequado de resíduos sólidos que tem contribuído para a degradação da qualidade da água, afetando não apenas o próprio curso d'água, mas também seus afluentes, que deságuam no Lago Azul — importante ponto de lazer e de captação de água para o município.

Figura 3: Rio Lontra, Araguaína – TO.



Fonte: Prefeitura de Araguaína – TO.

A Figura 3 apresenta uma visão aérea da área urbana que abrange o Rio Lontra e o Lago Azul, ilustrando a proximidade entre o corpo hídrico e as áreas ocupadas. Ressalta-se que a imagem possui caráter meramente ilustrativo, tendo como finalidade a identificação geográfica da região analisada, não representando visualmente o processo de contaminação.

Segundo o Instituto Natureza do Tocantins – Naturatins (2024), a poluição

causada pelo descarte irregular de resíduos sólidos em áreas próximas a rios e córregos pode comprometer o abastecimento de água nos próximos 30 anos, além de afetar os projetos de captação mantidos pela concessionária local. Caso a disposição inadequada de resíduos persista, há risco de o recurso hídrico tornar-se impróprio para o consumo humano e agropecuário, devido ao acúmulo de matéria orgânica, metais pesados e outros contaminantes oriundos do manejo incorreto do lixo urbano.

O Rio Lontra, localizado no município de Araguaína – TO, tem enfrentado um cenário preocupante em relação à degradação ambiental e à qualidade de suas águas. O rio é um dos principais corpos hídricos da cidade, percorrendo áreas urbanas densamente povoadas e recebendo a contribuição de diversos afluentes. Entretanto, o crescimento desordenado e o descarte irregular de resíduos sólidos e efluentes domésticos têm comprometido o equilíbrio ecológico da região (Trindade; Sieben, 2012).

Conforme relatado por veículos locais, após períodos de chuva intensa, o Rio Lontra apresenta coloração escura e odor forte, indicando a presença de esgoto e matéria orgânica em decomposição (AF Notícias, 2023). Além disso, a contaminação tem provocado episódios recorrentes de mortandade de peixes, especialmente nas proximidades do Bairro JK, sendo alvo de investigações do Instituto Natureza do Tocantins – Naturatins (Folha capital, 2024).

A situação reflete a deficiência no manejo dos resíduos sólidos urbanos e na falta de sistemas eficientes de tratamento de esgoto, o que acarreta impactos diretos sobre a fauna aquática, o solo e a população que vive nas margens do rio. A degradação das matas ciliares e o acúmulo de lixo nas margens também favorecem a proliferação de insetos e roedores, agravando o risco de contaminações e doenças de veiculação hídrica (Trindade; Sieben, 2012).

Como alternativa para minimizar os danos ambientais, vêm sendo promovidas ações de limpeza e conscientização ambiental, como o projeto “Rio Lontra Vivo”, que mobilizou voluntários e instituições públicas para a retirada de toneladas de lixo das margens e do leito do rio, demonstrando a importância de políticas públicas de gestão de resíduos e educação ambiental voltadas à preservação dos recursos hídricos (Prefeitura de Araguaína, 2024).

Usina Modelo - Usina Verde do Estado do Rio de Janeiro, na Ilha do Fundão

A Usina Verde está localizada no Rio de Janeiro, dentro do Campus da Universidade Federal do Estado – UFRJ, na ilha do Fundão, ocupando uma área de 5.000 m², sendo 3.000m² ocupados com a estrutura dos prédios e equipamentos. O custo inicial previsto para a implantação da Usina foi de aproximadamente R\$ 23 milhões (Conexão UFRJ, 2006).

A Usina é licenciadora de uma tecnologia patenteada, para a implantação de Usinas de tratamento térmico de RSU com Geração de Energia em módulos, com capacidade de tratar 150 toneladas de lixo/dia, e com uma geração efetiva de 3,3 MW de energia elétrica, sendo que, 2,8 MW são exportáveis (Congresso Nacional de Engenharia Mecânica - CONEM, 2010).

Cada módulo é capaz de atender cerca de 180 mil pessoas e de gerar energia para aproximadamente 14000 residências, com consumo médio de 140 kWh/mês (EPE/Ministério de Minas e Energia).

Ao ser apresentado o Projeto pelo Centro de Estudos integrados sobre o Meio Ambiente e Mudanças Climáticas definiu-se a atividade da usina como: incineração de resíduos sólidos urbanos com carga de composição similar ao combustível derivado de rejeitos, assim evitando a emissão de metano e promovendo a produção de eletricidade para autoconsumo (Centro Clima, 2005).

Com o propósito de atingir este objetivo a Usina utiliza resíduos sólidos urbanos por meio de mineração de resíduos orgânicos e neutralização por processo de lavagem em circuito fechado para reduzir a porção de resíduos a serem dispostos em aterro, evitando a emissão de metano decorrente de sua decomposição anaeróbica (Centro Clima, 2005).

A tecnologia consiste na incineração dos resíduos recebidos, em temperatura superior a 850°C conforme a Resolução CONAMA nº 316/2002 e na pós-queima, os gases resultantes da incineração são neutralizados por uma lavagem em circuito fechado. No final do processo, restam apenas emanações e um precipitado salino, correspondente de 3 a 5% do volume inicial dos resíduos tratados. Estes salinos, se não contaminados, poderão ser reutilizados como corretivo de solo, caso contrário, poderão ser utilizados na construção civil servindo para a fabricação de tijolos, pisos

ou destinados a aterros de inertes (Centro Clima, 2005).

Seleção dos Materiais Recicláveis e a Preparação de Carga para Cremação

O princípio deste processo é a recepção dos resíduos encaminhados pela CONLURB – Companhia Municipal de Limpeza Urbana. Os mesmos são lançados pelos caminhões coletores diretamente na recepção da planta.

Após o recebimento, os resíduos são lançados em esteiras horizontais, onde se processa a seleção manual de materiais não combustíveis. Essa seleção é feita por catadores colaboradores da Usina que deverão estar devidamente uniformizados e farão a seleção em três turnos ao dia. Vidros, cerâmicas e metais que foram triturados ou prensados serão encaminhados à reciclagem.

Nas áreas da recepção, triagem de materiais recicláveis em esteira e preparação de carga para incineração, existe um sistema de exaustão dos odores causados pelos resíduos, que os direcionam para o forno de incineração.

Recuperação de Energia e Incineração

Após todo o processo de preparação da carga, os resíduos serão transportados por meio de uma esteira mecânica, onde serão submetidos a um forno que opera com uma temperatura acima de 850°C. A oxidação dos gases na câmara de pós-queima ocorre a 1050°C.

Logo após, os gases e vapores resultantes da incineração são exauridos na câmara de pós-combustão, onde em uma temperatura superior a 1000°C sofrem processo de oxidação enérgica. Em seguida os gases quentes serão encaminhados por meio de um duto de aço para uma caldeira de recuperação de calor. Após passar pelo recuperador de calor, gera-se o vapor necessário para acionar o turbo-gerador e o vapor exausto da turbina é condensado e retornará ao sistema de geração.

O processo de incineração é recuperação de energia ocorre em pressão negativa, ou seja, pressão sempre abaixo da atmosférica, estando os exaustores instalados antes das chaminés. A aplicação de combustíveis auxiliares no forno será somente necessária para o seu acionamento ou para a manutenção da curva térmica.

Gases e Vapores

Antes de serem liberados para a atmosfera, os gases e vapores passam pelo Sistema de Purificação de Gases onde deverá ocorrer o seguinte processo: gases quentes exauridos da caldeira de recuperação serão inicialmente filtrados em um filtro de mangas catalíticas e em seguida vão para a seção de lavagem por meio de um duto de aço. O lavador primário é um vaso vertical de aço inox dotado de “spray-jets” que solubiliza os gases e reduz a temperatura.

Já os lavadores secundários, que são vãos verticais de aço de carbono com hélices turbinadas horizontais criam cortinas d’água através dos gases que serão forçados a passar em contra fluxo. Os lavadores têm por finalidade o “polimento” dos gases antes de serem lançados à atmosfera.

Os gases limpos são desunificados e liberados por chaminés. Todo o processo de lavagem dos gases dá-se com pressão negativa e em circuito fechado, então temos a solução de lavagem de gases que circula entre os lavadores e o decantador, sem que sejam gerados efluentes líquidos.

Cinzas e Escória

Com a cremação, o volume do lixo geralmente se reduz aproximadamente cerca de 10% do original, na forma de cinzas e escória. Esse material, por ação da gravidade, cai em um posto de coleta na usina e parte dele pode ser usada na construção civil como material inerte.

Vale ressaltar que todo o procedimento é executado por mão de obra qualificada e monitorada por uma sala de controle, por meio de monitores, capazes de alertar qualquer tipo de mudança nos parâmetros, sendo assim possível a correção com agilidade.

RESULTADOS

Atualmente, o município de Araguaína conta com duas áreas principais de recebimento dos resíduos sólidos urbanos (RSU) coletados por empresas contratadas pela Prefeitura e por cooperativas de catadores: o antigo Lixão de Araguaína,

atualmente utilizado como o Aterro de inertes, situado nas proximidades da TO-222 (figura 4), e o Aterro Sanitário, situado na BR 153, entre Araguaína e Nova Olinda.

Figura 4: Aterro de Inertes em Araguaína – TO.



Fonte: Acervo Próprio

O Aterro ocupa uma área aproximada de 100 hectares e recebe cerca de 180 toneladas de RSU por dia, provenientes da zona urbana e de distritos próximos (Prefeitura de Araguaína, 2023). Já o antigo Lixão, localizado próximo ao Rio Lontra, foi por anos o principal destino dos resíduos da cidade, causando contaminação do solo e dos lençóis freáticos, conforme relatado por órgãos ambientais e universidades locais (Trindade; Sieben, 2012). Considerando as dimensões médias das usinas de incineração modernas, com área aproximada de 5.000 m², Araguaína dispõe de espaços tecnicamente viáveis para a implantação de uma estrutura desse tipo, especialmente em regiões mais afastadas dos mananciais e áreas residenciais.

De acordo com estudo de impacto ambiental elaborado pela Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Tocantins (SEMARH, 2023), áreas próximas a cursos d'água como o Rio Lontra e seus afluentes não são adequadas para instalação de empreendimento desse porte, devido ao risco de contaminação de aquíferos e à presença de Áreas de Preservação Permanente (APPs). Assim, o local ideal seria em áreas com baixa vulnerabilidade hidrogeológica e distanciamento mínimo de 3 km de corpos hídricos, conforme estabelece a legislação ambiental federal (Conama, 2002).

Portanto, tanto o antigo Lixão quanto o entorno imediato do Rio Lontra não se mostram adequados para a construção de uma usina de incineração, sendo mais

viável a escolha de uma região próxima à Zona Rural de Novo Horizonte, onde já há infraestrutura de acesso e menor impacto ambiental.

Embora o investimento em incineração seja mais elevado, os benefícios ambientais e sociais compensam o custo a médio prazo. O processo reduz até 90% do volume dos resíduos, prolongando a vida útil do aterro existente e evitando o descarte irregular que ainda ocorre nas margens do Rio Lontra. Além disso, a incineração permite o aproveitamento energético do lixo, com possibilidade de geração de eletricidade a partir do calor produzido na queima.

Do ponto de vista social, a implantação da usina pode contribuir para a inclusão produtiva dos catadores, promovendo capacitação técnica e formalização de cooperativas, como já ocorre em Araguaína por meio da COOPERTINS – Cooperativa dos Trabalhadores de Reciclagem do Tocantins. Tais iniciativas garantem renda e dignidade aos trabalhadores que antes atuavam no lixão, além de fortalecer a educação ambiental na comunidade.

Entre os principais benefícios estão:

- Redução significativa de vetores urbanos (ratos, moscas e urubus);
- Diminuição da emissão de gases de efeito estufa provenientes da decomposição anaeróbia;
- Aproveitamento de cinzas na produção de tijolos ecológicos e pisos;
- Estímulo à economia circular com geração de empregos diretos e indiretos.

Ademais, a usina contribuiria para o cumprimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), que estabelece a eliminação de lixões e o incentivo a tecnologias limpas.

Um dos pontos mais discutidos sobre a incineração é a emissão de gases durante o processo. A principal desvantagem é o custo elevado do sistema de controle e monitoramento das emissões, exigindo tecnologia moderna e equipe qualificada.

Entretanto, segundo Lucke (2012), quando há separação prévia dos resíduos e uso de filtros adequados, as emissões ficam abaixo dos limites estabelecidos por normas ambientais internacionais, não oferecendo risco significativo à saúde ou ao meio ambiente. O autor destaca que, nas últimas décadas, a evolução tecnológica

tornou a incineração um método seguro e eficiente, com emissões inferiores a 20% dos limites máximos permitidos.

Ao se comparar as emissões geradas pela decomposição de resíduos em aterros – ricos em metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) – com as de uma usina de incineração moderna, conclui-se que o impacto climático da segunda é significativamente menor. O metano possui potencial de aquecimento global 21 vezes maior que o CO_2 (IPCC, 2021), reforçando a necessidade de tecnologias que reduzam a liberação desse gás.

Assim, a instalação de uma usina de incineração em Araguaína, desde que localizada em área ambientalmente adequada e com controle rigoroso das emissões, representaria uma solução sustentável e tecnicamente viável para o tratamento dos resíduos sólidos urbanos da cidade.

Operacionalmente, uma Usina de Incineração em Araguaína – TO poderia ser altamente viável e benéfica. De acordo com dados do (IBGE, 2022), a cidade possui uma população estimada em 183.381 habitantes e gera cerca de 120 toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) por dia, conforme informações da (Prefeitura de Araguaína, 2023).

Adotando as medidas de referência da Usina Verde, onde o total de RSU produzido é capaz de atender energeticamente 1/3 da população, a usina em Araguaína poderia suprir aproximadamente 61.000 habitantes, considerando apenas o volume médio de resíduos gerados. Assim, se cada residência possuir quatro moradores e um consumo médio de 180 kW/mês, seria possível atender cerca de 15.000 residências.

Segundo os parâmetros da Usina Verde, cerca de 8% do volume incinerado se transforma em cinzas, que ao serem misturadas a 15% de cimento podem ser reaproveitadas na produção de blocos e pisos ecológicos. Dessa forma, uma usina que processe aproximadamente 120 toneladas de RSU por dia poderia gerar cerca de 9,6 toneladas de cinzas/dia, volume suficiente para construir uma casa de 50 m² por dia. A Tabela 3 apresenta um resumo dos benefícios dessa proposta para o município.

Tabela 3: Resumo dos benefícios e resultados da implantação de uma usina de incineração.

Benefícios	Resultados
Inclusão dos trabalhadores do antigo lixão como colaboradores da usina	Geração de emprego formal e inclusão social
Educação Ambiental com desenvolvimento de cooperativas de produtos recicláveis	Alternativa de renda e fortalecimento da consciência ambiental da comunidade
Redução de até 90% do volume do RSU	Aumento da vida útil do aterro sanitário de Araguaína
8% dos produtos da incineração + 15% de cimento = tijolos ou pisos	Produção de materiais ecológicos para uso na construção civil
Do total do lixo produzido, 1/3 da população pode ser atendida em energia elétrica	Em Araguaína, isso representaria cerca de 61 mil habitantes ou 15 mil residências beneficiadas
Desativação gradual do antigo lixão municipal	Recuperação ambiental da área e recomposição da vegetação nativa
Retorno do uso controlado do Rio Lontra para fins de abastecimento e irrigação	Melhoria da qualidade da água e segurança hídrica regional
Diminuição da proliferação de vetores e doenças	Melhoria nas condições sanitárias e na qualidade de vida da população

Fonte: Oliveira, 2015.

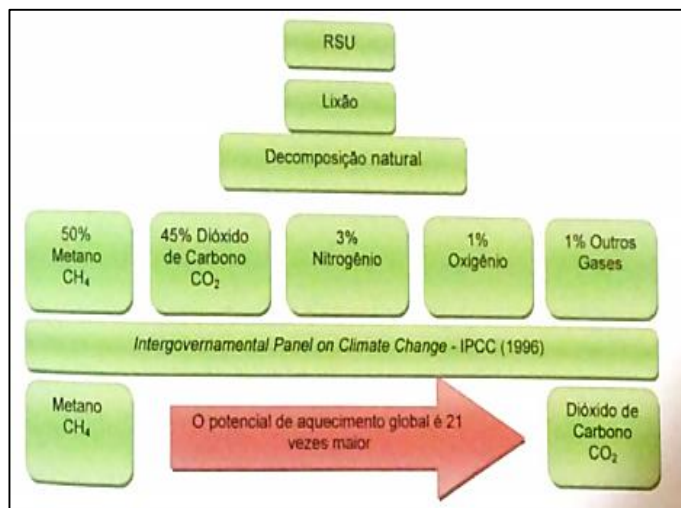
A implantação de uma usina de incineração em Araguaína traz consigo um tema amplamente discutido: a emissão de gases provenientes do processo de queima dos resíduos. As emissões atmosféricas são uma das principais desvantagens dessa tecnologia, já que o controle desses gases exige investimentos elevados e mão de obra especializada, além de depender de uma fiscalização ambiental rigorosa para garantir o cumprimento das normas.

Entretanto, Lucke (2012) destaca que, quando há separação prévia do Resíduo Sólido Urbano (RSU), evita-se a queima de materiais tóxicos, tornando o processo mais seguro. Além disso, a evolução tecnológica e as regulamentações ambientais atuais possibilitam o controle efetivo das emissões, de modo que a incineração moderna apresenta índices de poluentes inferiores a 20% dos limites estabelecidos pelas normas internacionais.

Ao se comparar as emissões dos gases liberados nos aterros sanitários com as geradas nas usinas de incineração, observa-se que o biogás dos aterros é significativamente mais nocivo ao meio ambiente, pois contém cerca de 50% de metano (CH_4) e 45% de dióxido de carbono (CO_2), conforme o Painel

Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 1996). O metano possui potencial de aquecimento global 21 vezes maior que o do CO₂, o que torna os aterros a céu aberto grandes contribuintes para o efeito estufa.

Figura 4: Comparação de irradiação de gases.



Fonte: Oliveira, 2015.

Desse modo, a incineração dos resíduos sólidos em Araguaína poderia reduzir substancialmente as emissões de gases de efeito estufa, já que a liberação controlada de CO₂ decorrente da queima térmica é ambientalmente menos agressiva do que a decomposição anaeróbica que gera metano. Além disso, o processo de incineração evitaria a formação de chorume e reduziria o risco de contaminação dos cursos d'água, como o Rio Lontra, que já sofre com o acúmulo de resíduos urbanos e esgoto não tratado.

Sob o ponto de vista operacional, a implantação de uma usina desse porte no município estenderia significativamente a vida útil do aterro sanitário atual, que possui capacidade limitada e previsão de saturação em poucos anos, conforme dados da Prefeitura de Araguaína (2023). Essa medida também facilitaria o processo de encerramento do antigo lixão, localizado nas proximidades da TO-222, promovendo a recuperação da área degradada e a recomposição da flora local com espécies nativas do Cerrado.

Além dos ganhos ambientais, a instalação da usina traria benefícios sociais diretos à população. Os catadores que hoje atuam em condições precárias no lixão

poderiam ser incorporados ao sistema formal de trabalho, participando das etapas de triagem e processamento dos resíduos recicláveis. Assim, seriam geradas oportunidades de emprego digno, capacitação profissional e inclusão social.

Do ponto de vista econômico, a usina de incineração contribuiria com a geração de energia elétrica a partir dos resíduos urbanos, podendo abastecer até 15 mil residências em Araguaína (equivalente a um terço da população), além de reduzir custos com transporte e disposição final dos resíduos.

Por fim, destaca-se que municípios menores do entorno, como Babaçulândia, Carmolândia e Muricilândia, poderiam integrar-se em consórcio público intermunicipal, conforme previsto na Lei Federal nº 11.107/2005 e no Decreto nº 6.017/2007, para compartilhar os custos e benefícios da implantação da usina. Essa estratégia fortaleceria a gestão regional de resíduos sólidos e atenderia às diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010).

Em síntese, a implantação de uma usina de incineração em Araguaína apresenta viabilidade técnica, ambiental e social, contribuindo para o controle das emissões de gases, geração de energia, valorização dos resíduos e melhoria da qualidade de vida da população local.

CONCLUSÃO

Apesar das diversas iniciativas governamentais por meio de políticas ambientais voltadas à promoção de melhorias no ecossistema, ainda se verifica a necessidade de ações mais efetivas para enfrentar os desafios do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil.

Nesse contexto, a implantação de uma usina de incineração apresenta-se como uma solução ambientalmente viável e tecnicamente eficaz para a mitigação dos impactos decorrentes da má gestão dos resíduos. Essa alternativa contribui para a redução da contaminação de bacias hidrográficas, a diminuição dos impactos ambientais e a significativa redução do volume de resíduos destinados a aterros sanitários. Além disso, possibilita a recuperação energética estimada em 19,8 MW por dia, com potencial para abastecer aproximadamente 950 mil habitantes ou 240 mil residências. As cinzas geradas no processo, por sua vez, podem ser reaproveitadas na construção civil, viabilizando a edificação de até seis unidades habitacionais de 50 m²

por dia.

Diante dos resultados apresentados, recomenda-se que estudos futuros sejam direcionados à identificação de áreas ambientalmente adequadas no estado do Tocantins para a instalação da usina de incineração de RSU, respeitando integralmente a legislação vigente e priorizando regiões com menor vulnerabilidade ecológica e maior viabilidade técnica e logística.

REFERÊNCIAS

ABREMA. **Papel do biogás e biometano no desenvolvimento econômico do Brasil**. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/2024/08/16/papel-do-biogas-e-biometano-no-desenvolvimento-economico-do-brasil/>. Acesso em: 15 out. 2025.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Brasil tem potencial para gerar 1,3 GW de energia elétrica a partir dos resíduos sólidos urbanos. **Revista DAE**, 2025. Disponível em: https://www.revistadae.com.br/site/noticia/10719-Brasil-tem-potencial-para-gerar-1%2C3-GW-de-energia-eletrica-a-partir-dos-residuos-solido?utm_source. Acesso em: 15 out. 2025.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2023**. São Paulo: ABRELPE, 2023. Disponível em: <https://abrelpe.org.br>. Acesso em: 15 out. 2025.

ABRERPI – Associação Brasileira de Recuperação Energética de Resíduos. **Gestão de resíduos no Brasil poderá custar R\$ 168,5 bilhões em 2050**. 2024. Disponível em: <https://www.abrerpi.org.br/noticias/noticia/gestao-de-residuos-no-brasil-podera-custar-r-168-5-bilhoes-em-2050>. Acesso em: 07 out. 2025.

AF NOTÍCIAS. **Água do Rio Lontra fica preta e com odor insuportável após chuva em Araguaína**. Araguaína, 2023. Disponível em: <https://afnoticias.com.br/cidades/agua-do-rio-lontra-fica-preta-e-com-odor-insuportavel-apos-chuva-em-araguaina-video>. Acesso em: 15 out. 2025.

AMBSIENCE. **O lixo e seu impacto ambiental**. Disponível em: <https://ambscience.com/o-lixo-e-seu-impacto-ambiental/>. Acesso em: 15 out. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10004:2004 – **Resíduos sólidos**: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. Disponível em: <https://analiticaqmcresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>. Acesso em: 07 out. 2025.

BARROS, Raphael Tobias de Vasconcelos. **Elementos de Gestão de Resíduos Sólidos**. Belo Horizonte: Tessitura, 2012. p. 291-292.

USINA DE INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA: ANÁLISE DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO NO TOCANTINS. Vinícios Rodrigues BRITO; Laura Maria Cardoso Belato FREIRIA; Indira Queiroz Macambira BEZERRA. JNT Facit Business and Technology Journal. QUALIS B1. ISSN: 2526-4281 - FLUXO CONTÍNUO. 2025 – MÊS DE OUTUBRO - Ed. 67. VOL. 01. Págs. 485-523. <http://revistas.faculdefacit.edu.br>. E-mail: jnt@faculdefacit.edu.br.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **População estimada do país chega a 213,4 milhões de habitantes em 2025**. Agência de Notícias IBGE, 28 ago. 2025. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/44305-populacao-estimada-do-pais-chega-a-213-4-milhoes-de-habitantes-em-2025>. Acesso em: 07 out. 2025.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 07 out. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). **Plano Nacional de Energia 2030 – PNE 2030**. Brasília: MME / Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2008. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/publicacoes/plano-nacional-de-energia/plano-nacional-de-energia-2030>. Acesso em: 07 out. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/meio-ambiente-urbano-recursos-hidricos-qualidade-ambiental/residuos-solidos-urbanos>. Acesso em: 07 out. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Resíduos sólidos urbanos — Panorama dos Resíduos Sólidos 2023**. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/meio-ambiente-urbano-recursos-hidricos-qualidade-ambiental/residuos-solidos-urbanos>. Acesso em: 07 out. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos (SINIR)**. Disponível em: <https://sinir.gov.br/>. Acesso em: 15 out. 2025.

CAIXETA, D. M. **Geração de energia elétrica a partir da incineração de lixo urbano: o caso de Campo Grande/MS**. 2005. Monografia (Especialização em Resíduos Sólidos) – Universidade de Brasília, Brasília, 2005. Acesso em: 26 out. 2025.

CENTRO CLIMA. **Projeto de incineração de resíduos sólidos urbanos: avaliação ambiental e energética**. São Paulo: Centro Clima, 2005. Disponível em: https://www.centroclima.coppe.ufrj.br/images/Noticias/documentos/8_-_Res%C3%ADduos.pdf. Acesso em: 20 out. 2025.

COMMITTEE ON CARCINOGENICITY. **Assessment of the Risk of Cancer from Living Near Municipal Solid Waste Incinerators**. London: Committee on Carcinogenicity, 2012. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/publications>. Acesso em: 26 out. 2025.

USINA DE INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA: ANÁLISE DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO NO TOCANTINS. Vinícios Rodrigues BRITO; Laura Maria Cardoso Belato FREIRIA; Indira Queiroz Macambira BEZERRA. JNT Facit Business and Technology Journal. QUALIS B1. ISSN: 2526-4281 - FLUXO CONTÍNUO. 2025 – MÊS DE OUTUBRO - Ed. 67. VOL. 01. Págs. 485-523. <http://revistas.faculdefacit.edu.br>. E-mail: jnt@faculdefacit.edu.br.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002.** Brasília, 2002. Disponível em: https://www.normasbrasil.com.br/norma/resolucao-316-2002_97677.html?utm_source. Acesso em: 16 out. 2025.

CONEXÃO UFRJ. **Usina Verde:** empreendimento econômico e ecológico. 2006. Disponível em: <https://conexao.ufrj.br/2006/05/usina-verde-empreendimento-economico-e-ecologico>. Acesso em: 20 out. 2025.

FBE – Fundação Brasileira de Engenharia. **Gestão de Resíduos Sólidos:** princípios e práticas. 2012. Disponível em: <http://www.fbe.org.br/gestao-residuos>. Acesso em: 15 out. 2025.

GODECKE, Marcos. **Caderno informativo sobre a recuperação energética de resíduos sólidos urbanos.** 2012. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2012/12/07/caderno-informativo-sobre-a-recuperacao-energetica-de-residuos-solidos-urbanos-artigo-de-marcos-godecke/>. Acesso em: 20 out. 2025.

GRIPP, William Gomes. **Aspectos técnicos e ambientais da incineração de resíduos sólidos urbanos.** 1998. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/000987510>. Acesso em: 20 out. 2025.

IBGE. **Estimativas populacionais dos municípios brasileiros em 2025.** Brasília: IBGE, 2025. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?utm_source. Acesso em: 06 out. 2025.

INCA. **Vigilância do Câncer Relacionado ao Trabalho e ao Ambiente.** Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Câncer, 2011. Disponível em: <https://rbc.inca.gov.br/index.php/revista/article/view/1458>. Acesso em: 26 out. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL (IBAM). **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos.** Brasília: SEDU/IBAM, 2001. Disponível em: <https://static.poder360.com.br/2024/08/Manual-de-gerenciamento-de-residuos-solidos-Ibam.pdf>. Acesso em: 07 out. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **MUNIC 2023:** 31,9% dos municípios brasileiros ainda despejam resíduos sólidos em lixões. Rio de Janeiro: Agência de Notícias IBGE, 28 nov. 2024. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/41994-munic-2023-31-9-dos-municipios-brasileiros-ainda-despejam-residuos-solidos-em-lixoes>. Acesso em: 06 out. 2025.

USINA DE INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA: ANÁLISE DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO NO TOCANTINS. Vinícios Rodrigues BRITO; Laura Maria Cardoso Belato FREIRIA; Indira Queiroz Macambira BEZERRA. JNT Facit Business and Technology Journal. QUALIS B1. ISSN: 2526-4281 - FLUXO CONTÍNUO. 2025 – MÊS DE OUTUBRO - Ed. 67. VOL. 01. Págs. 485-523. <http://revistas.faculdefacit.edu.br>. E-mail: jnt@faculdefacit.edu.br.

IPEA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos no Brasil**. Brasília: IPEA, 2012. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/diagnostico_residuos_solidos.pdf. Acesso em: 15 out. 2025.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Second Assessment Report**. Geneva, 1996. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/5_Waste-1.pdf?utm_source. Acesso em: 06 out. 2025.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Sixth Assessment Report (AR6)**: Climate Change 2021. Disponível em: <https://talkofthecities.iclei.org/urban-practitioners-invited-to-help-scope-critical-ipcc-special-report-on-climate-change-andcities/>. Acesso em: 20 out. 2025.

LUCKE, S. A. **O resíduo sólido urbano como fonte renovável para a geração de energia elétrica**: aspectos econômicos e socioambientais. Tese (Doutorado em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Campinas. São Paulo, 2012. Disponível em: https://www.repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/905628?utm_source. Acesso em: 07 out. 2025.

NATURATINS – Instituto Natureza do Tocantins. **Desafios e avanços na política ambiental do Tocantins marcam os 35 anos de história do Naturatins**. Rádio Tocantins, 22 abr. 2024. Disponível em: <https://radiotocantins.com.br/desafios-e-avancos-na-politica-ambiental-do-tocantins-marcam-os-35-anos-de-historia-do-naturatins/>. Acesso em: 15 out. 2025.

NATURATINS – Instituto Natureza do Tocantins. Naturatins investiga morte de peixes no Rio Lontra. **Jornal Folha Capital, 29 ago. 2024**. Disponível em: <https://folhacapital.com.br/cidades/naturatins-investiga-morte-de-peixes-no-rio-lontra/>. Acesso em: 15 out. 2025.

POLETTTO FILHO, José Antonio. **Viabilidade energética e econômica da incineração de resíduo sólido urbano considerando a segregação para reciclagem**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/91712>. Acesso em: 26 out. 2025.

PREFEITURA DE ARAGUAÍNA. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PMGIRS**. Araguaína, 2023. Disponível em: <https://araguaina.to.gov.br/servicos/plano-de-gestao-integrada-de-residuos-solidos-1>. Acesso em: 15 out. 2025.

PREFEITURA DE ARAGUAÍNA. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PMGIRS**. Araguaína, 2023. Disponível em: <https://www.araguaina.to.gov.br/>. Acesso em: 25 out. 2025.

USINA DE INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA: ANÁLISE DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO NO TOCANTINS. Vinícios Rodrigues BRITO; Laura Maria Cardoso Belato FREIRIA; Indira Queiroz Macambira BEZERRA. JNT Facit Business and Technology Journal. QUALIS B1. ISSN: 2526-4281 - FLUXO CONTÍNUO. 2025 – MÊS DE OUTUBRO - Ed. 67. VOL. 01. Págs. 485-523. <http://revistas.faculdefacit.edu.br>. E-mail: jnt@faculdefacit.edu.br.

PREFEITURA DE ARAGUAÍNA. **Projeto de Urbanização e Revitalização do Lago Azul**. Araguaína: Secretaria Municipal de Infraestrutura, 2023. Disponível em: <https://www.araguaina.to.gov.br>. Acesso em: 25 out. 2025.

PREFEITURA DE ARAGUAÍNA. **Projeto Rio Lontra Vivo mobilizou mais de 90 voluntários em ação de limpeza e conscientização ambiental**. Araguaína, 28 out. 2024. Disponível em: <https://www.araguaina.to.gov.br/projeto-rio-lontra-vivo-mobilizou-mais-de-90-voluntarios-em-acao-de-limpeza-e-conscientizacao-ambiental-1>. Acesso em: 15 out. 2025.

SANEP – Serviço Autônomo de Abastecimento de Águas de Pelotas. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – Município de Pelotas**. Pelotas, 2014. Disponível em: [https://sistema.pelotas.com.br/transparencia/arquivos/16%20\(q\)%20Plano%20Municipal%20de%20Gest%C3%A3o%20Integrada%20de%20Res%C3%ADduos%20S%C3%B3lidos,%20vigente%20no%20exerc%C3%ADcio%20anterior%20\(1\).pdf](https://sistema.pelotas.com.br/transparencia/arquivos/16%20(q)%20Plano%20Municipal%20de%20Gest%C3%A3o%20Integrada%20de%20Res%C3%ADduos%20S%C3%B3lidos,%20vigente%20no%20exerc%C3%ADcio%20anterior%20(1).pdf). Acesso em: 15 out. 2025.

SCHALCH, V.; LEITE, W. C. de A.; FERNANDES Júnior, J. L.; CASTRO, M. C. A. A. **Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos**. São Carlos: EESC-USP, 2002. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/38904764/Apostila-Gestao-e-Gerenciamento-de-RS-Schalch-et-al>. Acesso em: 07 out. 2025.

SEAC-SP – Sindicato das Empresas de Asseio e Conservação do Estado de São Paulo. **Cartilha de Sustentabilidade: descarte correto de resíduos**. São Paulo, 2016. Disponível em: https://seacsp.com.br/sustentavel/cartilhas/cartilha_sustentabilidade_descarte.pdf. Acesso em: 15 out. 2025.

SEMARH – Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Tocantins. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Tocantins – PERS/TO**. Palmas, 2020. Disponível em: <https://jredd.to.gov.br/governanca/>. Acesso em: 07 out. 2025.

SILVA, J. R.; OLIVEIRA, L. M.; PEREIRA, F. R. **Energia do Lixo: Tecnologias para Recuperação Energética dos Resíduos Sólidos Urbanos**. São Bernardo do Campo: Editora UFABC, 2023. Disponível em: <https://biogaseenergia.com.br/transformando-residuos-em-energia-conheca-o-lancamento-da-editora-ufabc>. Acesso em: 26 out. 2025.

SILVA, L. E.; FERREIRA, A. C.; PEREIRA, R. R. Tratamento térmico de resíduos urbanos com geração de energia elétrica: Estudo de caso para o Brasil. In: **CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA – CONEM**, 2010. Anais [...]. Disponível em: <https://www.abcm.org.br/anais/conem/2010/PDF/CON10-1896.pdf>. Acesso em: 20 out. 2025.

TOCANTINS. **Lei Estadual nº 2.303, de 12 de janeiro de 2010**. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos. Disponível em:

USINA DE INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA: ANÁLISE DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO NO TOCANTINS. Vinícios Rodrigues BRITO; Laura Maria Cardoso Belato FREIRIA; Indira Queiroz Macambira BEZERRA. JNT Facit Business and Technology Journal. QUALIS B1. ISSN: 2526-4281 - FLUXO CONTÍNUO. 2025 – MÊS DE OUTUBRO - Ed. 67. VOL. 01. Págs. 485-523. <http://revistas.faculdefacit.edu.br>. E-mail: jnt@faculdefacit.edu.br.

<https://www.al.to.leg.br/legislacaoEstadual?pagPaginaAtual=127>. Acesso em: 15 out. 2025.

TRINDADE, Renato Rodrigues; SIEBEN, Airton. Impactos socioambientais na área urbana do Bairro JK – Araguaína (TO). **Revista Interface, Universidade Federal do Tocantins**, v.2, n.1, 2012. Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/interface/article/view/357>. Acesso em: 15 out. 2025.

USINA VERDE. **Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro, 2019. Acesso em: 16 out. 2025.

USINA VERDE. **Usina de incineração de RSU**. Disponível em: <http://www.usinaverde.com.br/>. Acesso em: 25 out. 2025.