



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE SOBRAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

TAYNÁ MARIA DE ANDRADE GOMES

**GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS: UMA REVISÃO DA LITERATURA**

SOBRAL

2018

TAYNÁ MARIA DE ANDRADE GOMES

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS: UMA REVISÃO DA LITERATURA

Trabalho de Conclusão de Curso submetido a coordenação do Curso de Engenharia Elétrica do *Campus* de Sobral da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientadora: Profa. Dra. Rosana Maria Alves Saboya.

SOBRAL

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A1g ANDRADE GOMES, TAYNÁ MARIA DE.
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: UMA
REVISÃO DA LITERATURA / TAYNÁ MARIA DE ANDRADE GOMES. – 2018.
70 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Sobral,
Curso de Engenharia Elétrica, Sobral, 2018.
Orientação: Profa. Dra. Rosana Maria Alves Saboya.

1. Resíduos Sólidos Urbanos. 2. Tecnologias de Transformação de Resíduos em Energia. I. Título.
CDD 621.3

TAYNÁ MARIA DE ANDRADE GOMES

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS:
UMA REVISÃO DA LITERATURA

Trabalho de Conclusão de curso submetido a coordenação do Curso de Engenharia Elétrica do *Campus* de Sobral da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientadora: Prof. Dra. Rosana Maria Alves Saboya.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Rosana Maria Alves Saboya. (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Marcus Rogério de Castro
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Washington Luiz Rodrigues de Queiroz
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À Deus que proporcionou a realização desse sonho e a minha família e amigos, que em um caminho cheio de dificuldades e apreensões deram apoio para essa conquista. Obrigada por tudo.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente à Deus, pela força e coragem durante toda esta longa caminhada. Sem fé, eu nada seria.

À minha eterna gratidão aos meus pais, Lucilândia e José Expedito, e meu irmão, Thiago, que sempre me apoiaram com muito carinho, e não mediram esforços para que fosse possível chegar até esta etapa de minha vida.

Agradeço ao meu namorado, Valdenir Júnior, que esteve sempre presente nos melhores e piores momentos durante esses cinco anos de curso, e por toda paciência nestes último semestre, me apoiando e em nenhum momento deixando eu me abalar e desistir do meu sonho.

Aos meus amigos que conquistei durante a faculdade, deixo aqui minha gratidão, pois foram eles que fizeram com que eu seguisse sempre de cabeça erguida.

Agradeço a toda minha família, obrigada primos e tias pela contribuição valiosa.

Meus agradecimentos aos amigos da Dínamo engenharia, companheiros de trabalhos e irmãos na amizade que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida com certeza.

Ao Curso de Engenharia Elétrica e Engenharia da Computação da UFC de Sobral, e às pessoas com quem convivi nesses espaços ao longo desses anos.

À professora Rosana Maria Alves Saboya, pela paciência na orientação e incentivo que tornaram possível a conclusão deste trabalho.

À todos os professores do curso, que foram tão importantes na minha vida acadêmica e no desenvolvimento deste trabalho.

Em geral, a todos vocês que de uma forma ou outra estiveram ao meu lado durante estes 5 anos de caminhada, muito obrigada.

“São as nossas escolhas as que melhor definem o que somos, muito mais que nossas habilidades.”

(JK Rowling)

RESUMO

O destino que os Resíduos Sólidos Urbanos (RSUs) deverão receber é um trabalho que demanda um controle e estratégia, mas a maior dificuldade está em encontrar destinos que sejam uma solução viável tanto economicamente, quanto ambientalmente. Com o levantamento de dados realizados nesse trabalho foi visto que com o desenvolvimento das tecnologias, e se gerenciados corretamente, os RSUs podem ser reaproveitados como uma fonte de energia. As usinas que aderiram o processo de incineração ou digestão anaeróbica, para geração de energia elétrica a partir dos RSUs, tiveram resultados positivos, porém é um processo que demanda grandes estruturas, e grandes investimentos. O reaproveitamento dos RSUs para geração de energia traz diversos benefícios, como: diminuir o volume existente nos aterros, mitiga os gases do efeito estufa, gera emprego e ainda ajuda como uma fonte de energia renovável, ajudando assim o país no balanceamento energético. Já existem diversas usinas espalhadas pelo mundo, que abastecem grandes cidades. No Brasil ainda não possuímos nenhuma usina em funcionamento, mas algumas em desenvolvimento. O presente trabalho disserta sobre as tecnologias utilizadas na geração de energia elétrica a partir de RSUs, fazendo um levantamento das usinas implantadas ou em fase de implantação no Brasil e no Mundo.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos Urbanos. Energia Renovável. Gerenciamento de Resíduos. Tecnologias de Transformação de Resíduos em Energia.

ABSTRACT

The destination that municipal solid waste (MSW) should receive is a task that demands control and strategy, but the greatest difficulty lies in finding destinations that are a viable solution, both economically and environmentally. With the data collection carried out in this work it has been seen that with the development of technologies, and if properly managed, MSW can be reused as a source of energy. The plants which have joined the process of incineration or anaerobic digestion for power generation from MSW had positive results, but it is a process that requires large structures, and great investments. The reuse MSW for energy generation has several benefits, such as: landfill volume reduction, greenhouse gases mitigation, jobs generation and also aiding as a source of renewable energy, helping the country in its energy balance. There are already several plants around the world that supply large cities. In Brazil we still do not have any power plant in operation, but some in development. This study discusses the technologies applied to power generation from MSW and proposes a series of guidelines for this alternative energy source.

Keywords: Municipal Solid Waste. Renewable Energy. Waste Management. Waste-To-Energy Technologies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1.	Aterro Sanitário e seus setores.....	20
Figura 2.2	Representação ilustrativas dos Lixões.....	21
Figura 2.3	Representação ilustrativas Aterros Controlados.....	22
Figura 2.4	Geração de RSUs no Brasil em (t/dia)	24
Figura 2.5	Composição dos RSUs no Brasil.....	26
Figura 3.1	Classificação das Fontes de Energias da Matriz Energética Brasileira.....	28
Figura 3.2	Matriz Energética Brasileira de 2016.....	29
Figura 3.3	Capacidade Instalada no SIN em dezembro de 2014.....	29
Figura 3.4	Central Termelétrica com combustão externa (a vapor)	31
Figura 3.5	Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa	32
Figura 3.6	Esquema para o Funcionamento das usinas Hidrelétricas.....	33
Figura 3.7	Sistema de Energia Solar.....	34
Figura 3.8	Esquema Energia eólica.....	35
Figura 4.1	Esquema para caracterização dos RSUs.....	38
Figura 4.2	Esquema de Combustão no sistema de Dupla-Câmara.....	40
Figura 4.3	Processo de Pirólise.....	41
Figura 4.4	Representação do Processo de Digestão Anaeróbica com pequenos sólidos.	44
Figura 4.5	Planta do sistema padrão de coleta e queima do biogás.....	46
Figura 4.6	Esquema de instalação de poços drenantes verticais.....	47
Figura 4.7	Tratamento de Lixo com a Tecnologia de Plasma.....	50
Figura 4.8	Diagrama esquemático que mostra o panorama acerca do aproveitamento energético dos RSU em suas diversas opções de rotas tecnológicas e condicionantes.....	51
Figura 5.1	Países europeus e sua gestão dos resíduos sólidos.....	54
Figura 5.2	Composição dos Resíduos Sólidos Do Município De Sobral.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Quantidade de RSUs coletado por região e Brasil.....	24
Tabela 2.2	Disposição final dos RSUs no Brasil e regiões, por destino.....	24
Tabela 4.1	Poder calorífico inferior de alguns dos materiais encontrados nos RSU.....	37
Tabela 5.1	Incineração nos países desenvolvidos.....	53
Tabela 5.2	Quantidade de Usinas de energia elétrica alimentadas por RSUs na Europa	55
Tabela 5.3	Usinas de geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos implantadas ou em fase de implantação no Brasil 2011.....	58
Tabela 5.4	Recursos aplicados na coleta dos RSUs no Brasil.....	60
Tabela 5.5	Potencial Energético dos RSUs do Brasil.....	60
Tabela 5.6	Potencial Energético dos RSUs em Sobral-Ce.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
AIRS	Associação Internacional dos Resíduos Sólidos
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CDR	Combustíveis Derivados de Resíduos.
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EUA	Estados Unidos da América
GEE	Gases do Efeito Estufa
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MDL	Mecanismo do Desenvolvimento Limpo
MMA	Ministério de Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
MWh	Megawatt-hora
OIEE	Oferta Interna de Energia Elétrica
ONU	Organização das Nações Unidas
PCI	Poder Calorífico Inferior
PNRS	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
PNS	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
RSUs	Resíduos Sólidos Urbanos
SIN	Sistema Interligado Nacional
SINIR	Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos.
TWh	Terawatt-hora
UE	União Europeia
URE	Usina de Recuperação Energética

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos	15
<i>1.1.1</i>	<i>Objetivos Específicos</i>	16
2	RESÍDUOS SÓLIDOS	17
2.1	Classificação dos RSUs	17
2.2	Formas de Tratamento e Destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos	18
<i>2.2.1</i>	<i>Coleta Seletiva</i>	18
<i>2.2.2</i>	<i>Aterros Sanitários</i>	19
<i>2.2.3</i>	<i>Lixões</i>	21
2.3	Política Nacional dos Resíduos Sólidos	23
2.4	A Situação Atual dos RSUs no Brasil	24
3	CENÁRIO ATUAL DE FONTES DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	27
3.1	Matriz Energética Nacional	28
<i>3.1.1</i>	<i>Termelétricas</i>	31
<i>3.1.2</i>	<i>Biomassa</i>	31
<i>3.1.3</i>	<i>Hidrelétricas</i>	33
<i>3.1.4</i>	<i>Solar</i>	34
<i>3.1.5</i>	<i>Eólica</i>	34
3.2	Geração de Energia a Partir de RSUs	35
4	TECNOLOGIAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DOS RSUs	37
4.1	Processo de Incineração	37
<i>4.1.1</i>	<i>Combustão</i>	39
<i>4.1.2</i>	<i>Gaseificação</i>	40
<i>4.1.3</i>	<i>Pirólise</i>	41
<i>4.1.4</i>	<i>Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR)</i>	42
4.2	Biogás	42
<i>4.2.1</i>	<i>Digestão Anaeróbica</i>	43
<i>4.2.2</i>	<i>Recuperação de Gás dos Aterros</i>	45
4.3	Outras Alternativas	49

4.3.1	Tecnologia de Plasma.....	48
5	PANORAMA DAS APLICAÇÕES DA TECNOLOGIAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	52
5.1	Gestão de RSUs para Produção de Energia nos Países Desenvolvidos.....	52
5.2	Gestão de RSUs para Produção de Energia no Brasil.....	57
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
	REFERÊNCIAS	

1 INTRODUÇÃO

O lixo é bom indicador de desenvolvimento de uma nação. Quanto mais forte for a economia de um país, mais sujeira ele irá produzir. Segundo Lucke (2012) a composição química do lixo varia de acordo com a cultura e o grau de desenvolvimento de cada região ou país, portanto quanto mais populoso e quanto mais desenvolvido é um país, maior será a quantidade de resíduos gerados pela população. Entretanto, as cidades brasileiras não têm estrutura para encarar esse crescimento.

Um levantamento realizado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública (ABRELPE), afirma que em 2016, cerca de 29,7 milhões de toneladas dos resíduos sólidos no Brasil foram depositados em locais impróprios. Essas áreas não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessários para proteção do meio ambiente contra danos e degradações (lixões a céu aberto), que corresponde a 41,6 % dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSUs). Os outros 58,4 % seguiram para aterros sanitários, de forma adequada.

A reciclagem apresenta-se como a solução ecologicamente mais viável para os problemas que diz respeito aos RSUs. O gerenciamento do lixo sólido por meio da reciclagem, além de ajudar na preservação dos recursos primários existentes na natureza, permite a redução do volume do lixo e a diminuição da poluição do ar e da água trazendo também economia de energia e de água na produção (FIGUEIREDO, 1994).

No Brasil, apesar de alguns locais aderirem a ideia da coleta seletiva, o serviço de coleta de lixo público não faz uso de medidas compatíveis com a ideia, e misturam os diversos tipos de materiais. Esta prática dificulta o reuso de muitos materiais que poderiam ter destino alternativo do usual, ou seja, depósitos de lixo ou aterros. (CEMPRE, 2008).

No ano de 2010 foi aprovada pelo Congresso Nacional a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Esta Lei 12.305/2010 que descreve a Política Nacional de Resíduos sólidos, demonstra a oportunidade para o governo usar incentivos fiscais para fomentar a logística reversa e a reciclagem. A PNRS dispõe que os resíduos sólidos devem ser reaproveitados em produtos na forma de novos insumos, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, cabendo ao consumidor, ao titular dos serviços públicos, ao fabricante e aos comerciantes, o comprometimento no exercício do papel que lhes cabe, para obter sucesso na sua aplicação.

A PNRS mostrou que uma das alternativas para a destinação ambientalmente adequada dos resíduos seria em forma de geração alternativa de energia. Sendo assim, os RSUs passaram a serem vistos não apenas como um efluente das pessoas e razão de preocupação para órgãos públicos responsáveis, mas também como insumos capazes de gerar rendimentos e trair

investidores para este segmento. Além disso, viu-se uma perspectiva para minimizar impactos negativos gerados pela sua má disposição

O reaproveitamento dos RSUs para geração de energia elétrica pode se tornar uma realidade no Brasil. Existem diversos processos que podem ser realizados para que isso seja possível. Esta revisão bibliográfica mostrará as tecnologias já aplicadas para que essa fonte de energia seja possível e rentável, tanto ecologicamente como financeiramente.

Processos como a gaseificação e a incineração, proporcionam um alto aproveitamento do poder calorífico dos RSUs. Esses processos proporcionam a geração de vapor (que pode ser aplicado em diversos processos), energia térmica, elétrica ou combustível. Conforme o Ministério do Meio Ambiente (MMA), no Brasil temos uma geração diária de 182.728 toneladas de lixo e considerando a quantidade de biogás que é acumulado em mais de 50 aterros do país, o Brasil seria capaz gerar energia para 5,6 milhões de pessoas através do lixo. A expectativa é que, em 20 anos, essa produção abasteça quase 8,8 milhões de pessoas.

O presente trabalho tem como objetivo analisar as tecnologias aplicadas na transformação de resíduos em energia. Vale ressaltar a importante necessidade de estudos relacionados a fontes alternativas de energia, onde no presente, ainda não é uma realidade de fácil acesso, mas é uma necessidade que se faz urgente, a nível global. As pessoas e os governos estão sofrendo com o impacto do aumento surpreendente nos custos de energia e também alarmadas com os perigos provocados por muitos problemas ambientais.

1.1 Objetivos

Este trabalho teve como objetivo realizar um levantamento bibliográfico das tecnologias aplicadas na geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos, identificando as tecnologias potencialmente aplicáveis no Brasil.

1.1.1 Objetivos específicos

- Levantar a situação atual dos RSU gerados no Brasil;
- Fazer um revisão da literatura sobre as tecnologias aplicadas na geração de energia elétrica a partir de RSU;
- Avaliar entre as tecnologias disponíveis para a geração de energia elétrica a partir de RSUs, observando quais são potencialmente aplicáveis no Brasil;
- Fazer um levantamento das usinas de geração de energia elétrica a partir de RSU implantadas ou em fase de implantação.

2 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

O Resíduo Sólido Urbano (RSU), conhecidos popularmente por lixo urbano, é considerado tudo aquilo que se joga fora e que não tem mais utilidade. Mas, se olharmos com cuidado, veremos que o lixo não é uma massa indiscriminada de materiais, mas que na verdade ele é composto de diversos tipos de resíduos, e que cada um deles podem ter um destino diferenciado (RÊGO; BARRETO; KINLLING, 2002).

2.1 Classificação dos RSUs

Os RSUs podem ser classificados de várias formas, uma das mais fáceis de serem compreendida pela população é a divisão quanto a composição química, em duas categorias: orgânico e inorgânico. O lixo inorgânico são materiais com grandes potencias de reciclagem (papel, plástico, alumínio, vidro etc); já o orgânico são as sobras de alimentos, restos de podas, animais mortos, ou seja, que podem ser utilizados na compostagens. Essa divisão é a menos rígida, e a de mais fácil compreensão (NBR 10004, 2004). Ainda de acordo com a NBR 10004(2004), os lixos também podem ser classificados quanto a sua origem.

Doméstico: gerado basicamente em residências; Comercial: gerado pelo setor comercial e de serviços; Industrial: gerado por indústrias (classe I, II e III); Hospitalares: gerado por hospitais, farmácias, clínicas, etc.; Especial: podas de jardins, entulhos de construções e animais mortos. (NBR 10004, ABNT,2004, p. 2)

Existe também a classificação quanto aos riscos de contaminação que esses materiais trazem ao meio ambiente quando descartados de formas inadequadas. Temos os perigosos, que podem trazer riscos graves ao meio ambiente, por exemplo: lixos tóxicos, corrosivos, radioativos, inflamáveis, entre outros; temos os não inertes, onde eles não apresentam riscos, mas também não são inertes, por exemplo: lixos domiciliares, ou madeira, papel, etc; por último nessa classificação, temos os resíduos inertes, que são aqueles que não oferecem riscos ao meio ambiente (NBR 10004, 2004).

Abaixo citaremos algumas maneiras que são adotadas no Brasil e no mundo para o tratamento de resíduos sólidos. Temos a coleta seletiva, os aterros sanitários, e os lixões. O lixão não é um método de tratamento, é apenas uma forma de eliminar o lixo que está próximo e designar ele para um local mais distante, comprometendo o meio ambiente e a saúde dos moradores da localidade.

2.2 Formas de Tratamento e Destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos

É de fundamental importância obter o conhecimento e o planejamento dos processos e das tecnologias para a adequada implantação ou melhoria do gerenciamento de RSU. A coleta, o transporte e o destino são ações sanitárias inclusas nesse gerenciamento (OLIVEIRA, 1997).

2.2.1 Coleta Seletiva

A coleta seletiva é a mais usada para ajudar no processo de reciclagem. Ela se divide em seis categorias: papel, plástico, vidro, metal, orgânico e outros materiais. Cada categoria é definida por uma cor; lixeira da cor azul receberá lixos de papéis e ou papelão, como revistas, livros, caixas e embalagens; lixeira da cor vermelha receberá lixos plásticos como garrafas pets, frascos, embalagens e garrafões; lixeira da cor verde receberá lixos onde seu material seja de vidro; lixeira da cor amarela receberá lixos de metais como as latinhas de refrigerante; lixeira marrom receberá lixos orgânicos, ou seja, restos de alimentos, restos de plantas, restos de animais e entre outros que se encaixe nesse perfil; e por fim temos a lixeira cinza, que deve-se jogar todo material que não pode ser reaproveitado (SOSMA, 2015).

Esse processo de seletividade é o primeiro passo para realizar a reciclagem, ou seja, a separação do lixo por material, com o seu posterior destino para o reaproveitamento. A reciclagem é um processo de transformação de materiais usados em novos produtos, sendo empregada na recuperação de uma parte do lixo sólido produzido (REINSFELD, 1994). Com o objetivo de diminuir a produção de rejeitos e o seu acúmulo na natureza, reduzindo assim o impacto ambiental.

A reciclagem apresenta-se como a solução mais ecologicamente viável para os problemas que diz respeito aos RSUs. A reutilização dos resíduos sólidos além de ajudar o meio ambiente, permite a redução do volume do lixo e conseqüentemente a redução da poluição do ar e da água que ocorrem quando os lixos são mal cuidados (FIGUEIREDO, 1994).

Atualmente, o Brasil produz 214.405 toneladas de RSU por dia. Desse total, 58,4 % é destinado a aterros sanitários, 24 % aterros controlados e 17,4 % a lixão a céu aberto. O Brasil é um país que produz uma quantidade de lixo alta, que se compara com países de 1º mundo, mas realiza um tratamento e aproveitamento de lixo como um país de classe baixa. (ABRELPE, 2016).

Apesar de toda tecnologia existente, alguns materiais não podem ser reciclados, por exemplos: etiqueta adesiva, papel de fax, papéis plastificados, papel-carbono, fita adesiva,

isolante, cliques, tachinhas. Outros dejetos também ficam de fora da reciclagem: guardanapos, filtro de cigarros, rolinhas, acrílico, papéis sujos, papéis sanitários, copos de papel, esponjas de aço, tomadas, espelhos, cerâmica, porcelana e espuma. Esses materiais devem ser designados a locais específicos, os aterros sanitários (ROCHA, 2017).

2.2.1 Aterros Sanitários

O Aterro Sanitário é o local que funciona como uma espécie de depósito, nele deveria ser descartados apenas os RSUs que não são recicláveis, mas como a coleta seletiva não ocorre corretamente no Brasil, é muito comum encontrar materiais que poderiam ser reciclado sendo descartados nos aterros sanitários.

Esses aterros normalmente ficam localizados em locais distantes da zona urbana, pois mau cheiro na região e pode ocorrer a contaminação do solo. Hoje já existem normas rígidas que regulam a inserção de novos aterros sanitários, onde os mesmos devem ter um controle do tipo do lixo e da quantidade, possuir sistemas de proteção ao meio ambiente e monitoramento ambiental (ABETRE; FGV, 2007)

A legislação ambiental brasileira exige um diagnóstico de todos os resíduos (Gravimetria dos resíduos) antes que estes sejam destinados à uma disposição final. Normalmente esse diagnóstico deve constar em um Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos e ser atualizado mensalmente. As informações sobre os resíduos devem então ser repassadas pelo poder público municipal ao Governo Federal onde serão cadastrados no Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos, (SINIR) (MACHADO, 2017).

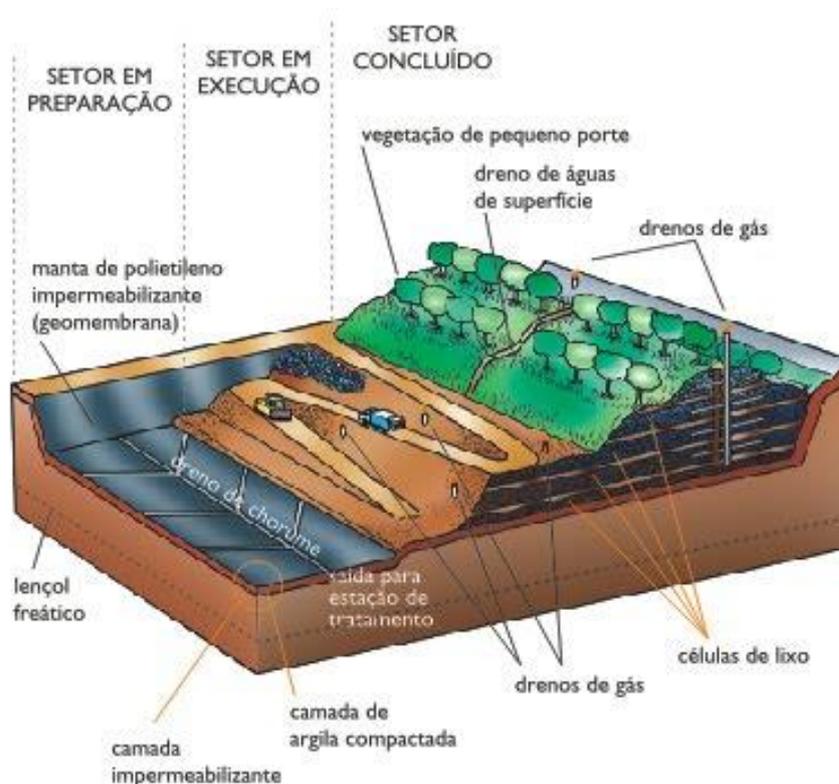
- ***Funcionamento do Aterro Sanitário***

Os aterros normalmente ficam divididos em 3 setores: Setor de preparação, setor de execução e setor concluído. No setor de preparação, ocorre basicamente a impermeabilização, onde nessa camada da base deve garantir a segura separação da disposição de resíduos do subsolo, impedindo a contaminação do lençol freático e do meio natural através de infiltrações de percolados e/ou substâncias tóxicas; também nesse setor ocorre as obras de drenagem para captação do chorume para conduzi-lo ao tratamento, garantindo que possua um bom funcionamento no sistema de drenagem interna, pois é de extrema importância garantir uma

estabilidade do aterro sanitário. A drenagem de percolados deve estar inserida entre os resíduos, podendo ser interligada ao sistema de drenagem de gases. As áreas limites do aterro devem apresentar uma cerca viva para evitar ou diminuir a proliferação dos odores e a poluição visual (CUNHA; CONSONI, 1995).

No setor de execução, ocorre a separação dos resíduos de acordo com suas características. Antes de ser depositado no local para o procedimento, todos os resíduos são pesados, para a finalidade de quantidade do aterro. Os resíduos que produzem o chorume são revestidos por uma camada selante. A cada 5 m de lixo no aterro, outra camada de impermeabilização deve ser feita, para evitar a contaminação. O chorume produzido pelo lixo, é escoado pelas redes de canos até os piscinões para depois ser tratado. Após atingir sua capacidade máxima, os aterros normalmente viram uma área verde de preservação.

Figura 2.1 - Aterro Sanitário e seus setores



FONTE: Proin/Capes, Unesp/IGCE, 1999.

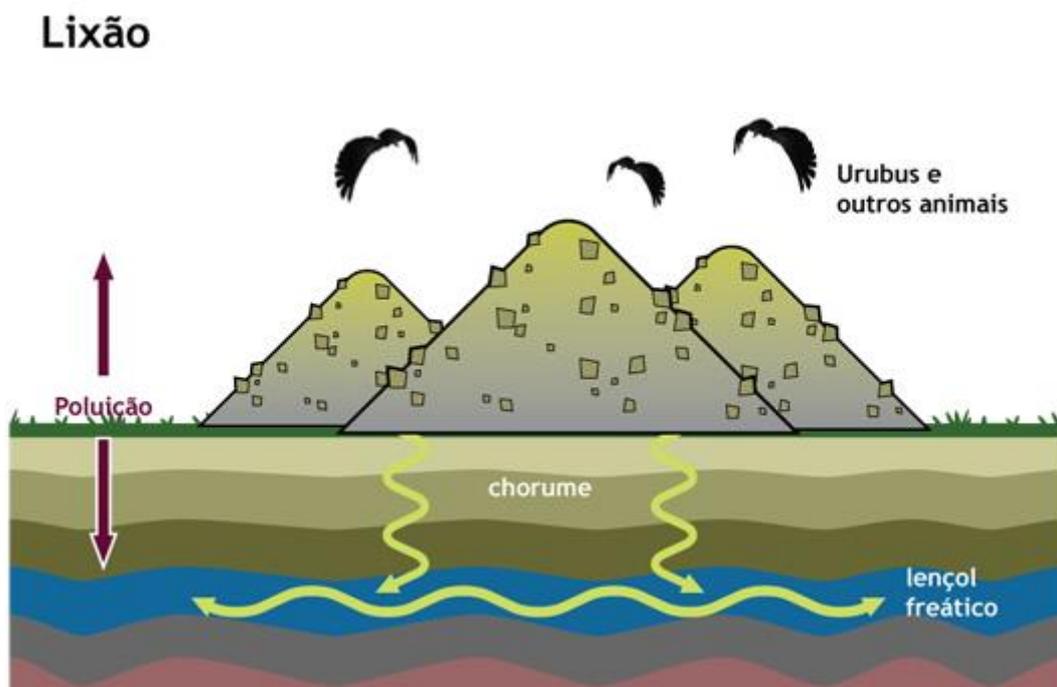
Os resíduos depositados nos aterros sanitários não devem ser de materiais perigosos, ou seja, materiais que possuam características inflamáveis, corrosivas, reativas, tóxicas, cancerígenas, etc. Existe uma legislação específica onde os lixos dos aterros são lixos gerados em domicílios, em construções e lixos dos serviços de saúde que não necessitam de tratamento prévio, de acordo com a regulamentação técnica dos órgãos de saúde e de meio ambiente,

conforme a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) Anvisa 306/2004 e Resolução Conama no 358/2005.

2.2.3 Lixões

Esta é uma das piores formas de despejos dos resíduos sólidos. Ela consiste em apenas despejar todos os lixos (orgânico e inorgânico) de comercio, residência e entre outros, em grandes áreas a céu aberto. O terreno não possui nenhum tipo de tratamento, e normalmente são localizados em locais afastados, sendo eles os responsáveis pela concentração de ratos, baratas e outros insetos. Dessa forma, tona-se um local de grandes focos de pragas urbanas facilitando assim a proliferação de doenças Um outro problema, é que por esses depósitos de lixo a céu aberto, por não possui nenhuma estrutura, o lixo orgânico ao entrar em decomposição produzem o chorume e esse pode atingir lagos, rios e até os lençóis freáticos que ficarem próximos a localidade, ocorrendo assim a grave contaminação da água. Este é o pior destino para o lixo e, infelizmente o Brasil ainda possui muitos lixões (MMA, 2014).

Figura 2.2 – Representação ilustrativas dos Lixões



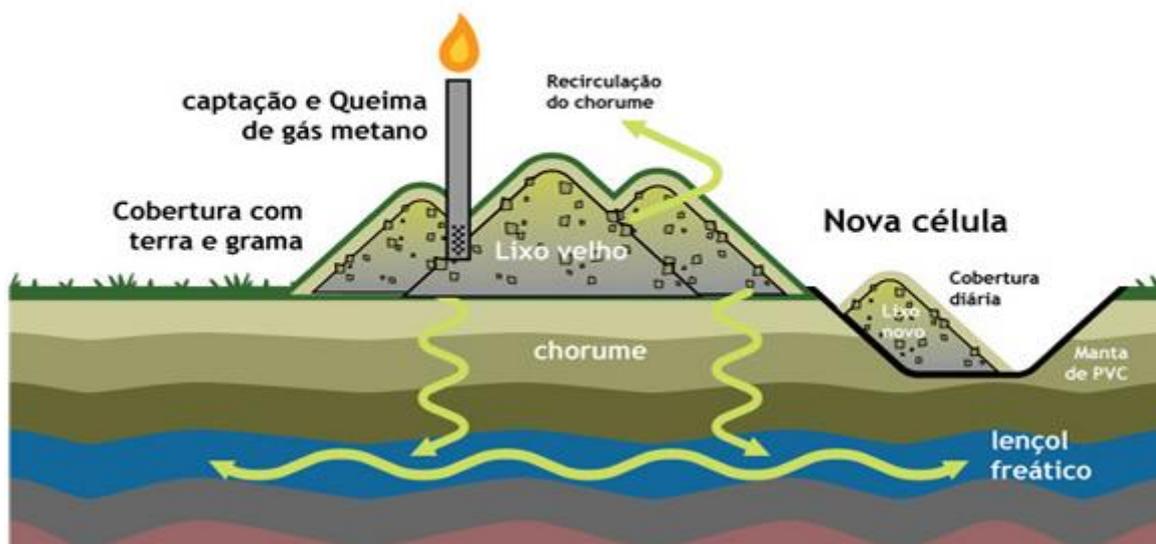
FONTE: INFOENEM, 2015.

O relatório Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil divulgado em 2016 mostrou que no ano anterior (2015) teve um aumento no número de cidades que utilizam o lixões como

forma de despejo de resíduos sólidos, sendo uma forma bastante arcaica. No total, são 1559 cidades brasileiras (quase 30 % do total) que recorrem a essa forma o destino para o lixo. No Brasil, de acordo com o panorama, existem 2976 lixões em operação. Em 2010 ocorreu a vigência do PNRS (Plano Nacional de Resíduos Sólidos), onde ela determinava o fim dos lixões 2014, o que não ocorreu (ABRELPE, 2016).

Além dessa, existe outras formas de destino inadequado para os RSU que são utilizada nas cidades brasileiras: os aterros controlados. Esta é uma forma “intermediária”, são espaços que não possuem impermeabilização do solo, mas o chorume é levado até a superfície, de forma a diminuir a contaminação do solo e das águas (diminuir, e não extinguir). Os aterros controlados, são apenas lixões que sofreram adaptações para que os danos fossem minimizados.

Figura 2.3 – Representação ilustrativas Aterros Controlados



FONTE: INFOENEM, 2015.

Como foram mostradas cada uma das formas de destino para os resíduos produzidos pelo homem diariamente, ou seja, dos lixos produzidos pelas cidades, pode-se resumir em: quando não ocorrer a compostagem e ou a reciclagem, o aterro sanitário é o destino correto. Em compensação, os lixões são a pior opção de destino para o meio ambiente, mas ainda é realidade para os brasileiros.

2.3 Política Nacional dos Resíduos Sólidos

Em 2010, foi aprovado a Lei nº 12.305/10, que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), uma lei bastante atual, mas que a ideia já vinha tentando ser aplicada a muito tempo. Ela possui temas importantes que permitem o avanço necessário para o Brasil nas dificuldades dos problemas ambientais, sociais e econômicos que estão relacionados com a enorme produção de resíduos sólidos. Com a ideia de que a população comece a adotar hábitos de consumo sustentável, e que possa ocorrer a prevenção e a redução na geração dos resíduos e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos (MMA, 2010).

A lei aborda que os geradores de resíduos sólidos são os responsáveis pelo destino do mesmo, ou seja, os fabricantes, comerciantes, cidadãos, distribuidores e importadores devem compartilhar e se responsabilizar sobre os ciclos dos seus produtos, e aplicar a logística reversa.

A logística reversa é um instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (SINIR-2010).

A ideia da logística reversa é conscientizar e obrigar os responsáveis criar alternativas que deem destinos diferentes para seus resíduos de forma em que não atinja o meio ambiente. Dessa forma, as leis são essenciais para que ações sejam tomadas como uma base sólida para a segurança de todos. A PNRS classifica a periculosidade dos resíduos de forma análoga da ABNT citada anteriormente.

Dentre as diversas medidas citadas na PNRS, as principais iniciativas a serem tomadas são: a educação ambiental; a criação e o incentivo ao desenvolvimento de cooperativas e associações de catadores de materiais recicláveis; a fiscalização sanitária e ambiental; fundo Nacional do Meio Ambiente; incentivo a coleta seletiva e a Logística Reversa e os incentivos fiscais e financeiros.

Outra especificação da PNRS é a extinção dos lixões. Pela lei, os lixões deveriam ser erradicados até 2014, porém isso não aconteceu. Mesmo sabendo que os lixões causam um dos maiores impactos ambientais, ainda existe diversos espalhados pelo país. A demanda de lixo no Brasil é maior do que a quantidade de investimentos para soluções. A aplicação da PNRS já conscientizou os maiores geradores de RSU (que são os grandes consumidores) a darem um

destino correto ao seu lixo. Hoje a maior parte dos lixões é composto por RSUs produzido por cidadãos comuns, ou seja, lixos domiciliares, sendo esse o próximo alvo a ser atingido pela lei.

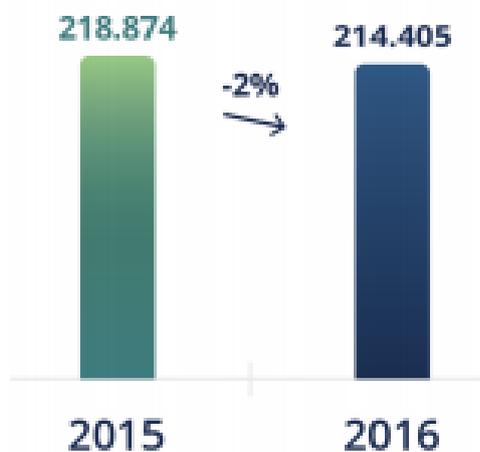
A PNRS repercute de maneira positiva a saúde pública e o ambiente urbano visualmente. O aumento da reciclagem influi diretamente em menos utilização de novas matérias-primas para novos produtos. A ideia da logística reversa ajudará economicamente e ambientalmente o perfil das empresas.

De acordo com a Lei, quanto maior a produção dos RSU, maior será a fiscalização. Com isso, novas alternativas serão cobradas e assim surgirão ideias de diversos negócios de reutilização dos resíduos como matéria-prima pra alguma atividade, criando assim, um novo “mercado verde”.

2.4 A Situação Atual dos RSUs no Brasil.

O tratamento dado aos RSU no Brasil pode ser bem avaliado a partir dos obstáculos para encontrar dados e obter informações confiáveis e detalhadas sobre o tema e que não se contradigam. A fonte mais ampla e confiante desses dados é o Panorama Nacional dos Resíduo Sólidos do Brasil fornecido pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), de 2016, mostra a realidade da gestão dos RSUs no Brasil atualmente. Na Figura 2.4 mostra um gráfico, e nele é notável que a geração de RSU gerados por dia, diminuiu, mas essa diferença não é o suficiente pra ajustar os problemas do Brasil em relação a seu resíduos gerados. O Brasil é um país que produz uma quantidade de lixo como os países desenvolvido, mas que trata deles como um país subdesenvolvido.

Figura 2.4- Geração de RSUs no Brasil em t/dia



FONTE: Pesquisa ABRELPE e IBGE, 2016.

Na Tabela 2.1, mostra os dados dos resíduos coletados, já a Tabela 2.2, mostra a disposição final desses resíduos. É perceptível que a quantidade de resíduos destinados a aterros controlados e lixões é vasta. Então a realidade é que apesar da quantidade de resíduos gerada pelos brasileiros diminuir, os resíduos continuam tendo uma disposição final errônea. Mesmo com a aplicação da PNRS, ainda possuímos estatísticas altas de resíduos destinados em lixões, sendo uma quantidade exorbitante. O Brasil é um país com enorme capacidade para investir em destinos apropriados para seus RSUs mas infelizmente não investe.

Tabela 2.1 - Quantidade de RSUs coletado por região e Brasil

REGIÃO	2015	2016
	RSU Total (t/dia)	RSU Total (t/dia)
Norte	12.692	12.500
Nordeste	43.894	43.555
Centro-Oeste	16.217	15.990
Sudeste	104.631	102.620
Sul	21.316	20.987
Brasil	198.750	195.452

Fonte: Adaptada, ABRELPE, 2016.

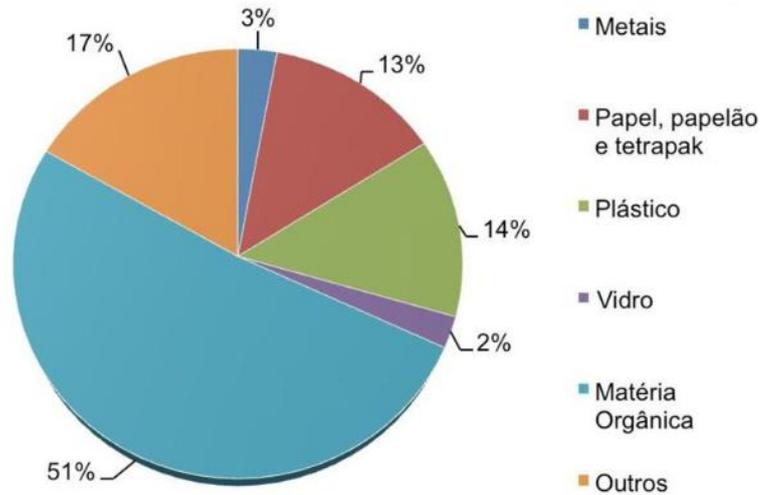
Tabela 2.2 – Disposição final dos RSUs no Brasil e regiões, por destino

Disposição Final	Brasil 2015	2016 - Regiões e Brasil					
		Norte	Nordeste	Centro - Oeste	Sudeste	Sul	Brasil
Aterro Sanitário	2.244	92	458	161	822	706	2.239
Aterro Controlado	1.774	112	500	148	644	368	1.772
Lixão	1.552	246	836	158	202	117	1.559
Brasil	5.570	450	1794	467	1.668	1.191	5.570

Fonte: ABRELPE, 2016.

Com o crescimento da população mundial hoje estimada em 7,4 bilhões e o grau de urbanização que representa 75 % do total da população vivendo em cidades, torna-se clara a necessidade de um correto gerenciamento da disposição final de resíduos sólidos urbanos (ONU, 2018).

Figura 2.5 - Composição dos RSUs no Brasil



FONTE: ABRELPE, 2015.

Na Figura 2.5, temos a Composição dos RSUs no Brasil também divulgado pela ABRELPE. É evidente que se ocorresse a separação corretamente, esses resíduos poderiam ter um destino diferente. Pela composição, podemos ver que 29 % poderiam ser aproveitados na reciclagem (papel, vidro e plástico). Os 51 %, mais da metade, são matéria orgânica, consequentemente a quantidade de gases emitidos pela disposição final inapropriada desses resíduos influenciam no efeito estufa. Um aterro, ou um lixão pode ser considerado como um reator biológico onde as principais entradas são os resíduos e a água e as principais saídas são os gases e o chorume, isso ocorre pela decomposição da matéria orgânica (ABRELPE, 2015).

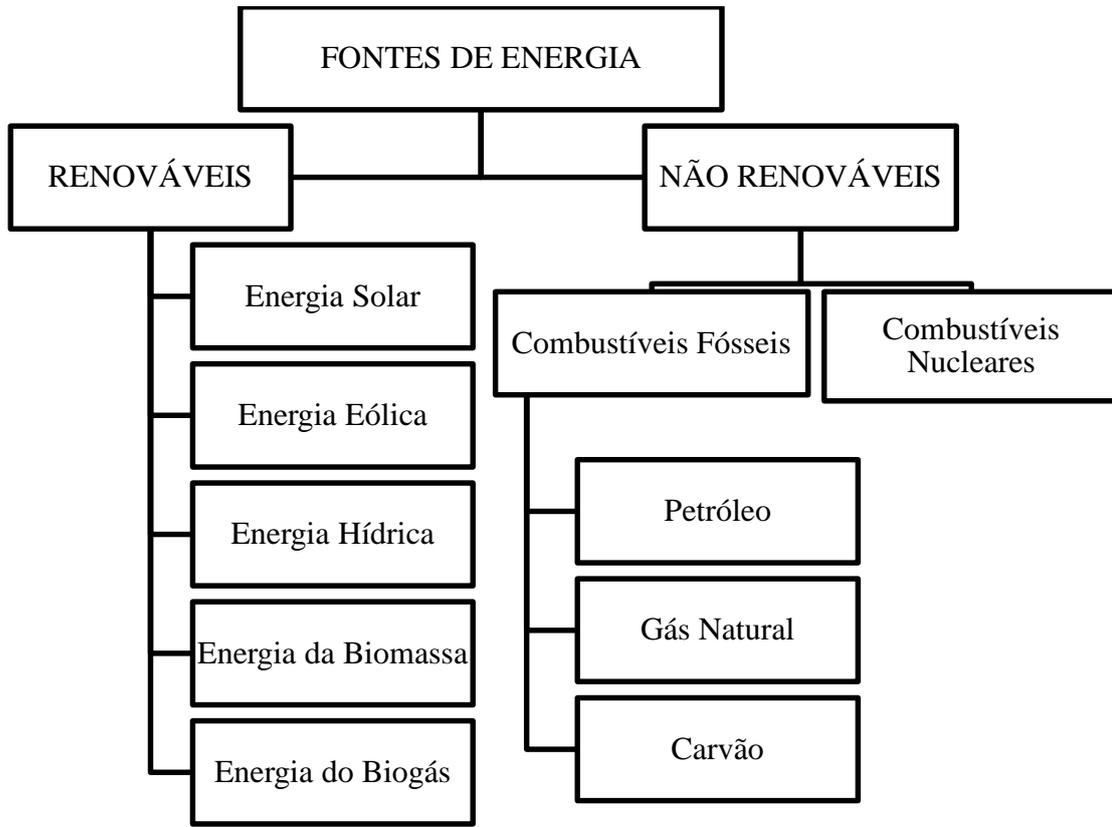
3 CENÁRIO ATUAL DE FONTES DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Estudos realizados pelo Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais da secretaria das Nações Unidas, mostra que a população no planeta Terra cresce aproximadamente 83 milhões de pessoas por ano, com perspectiva de aumentar esse valor nos anos seguintes (ONU, 2017). Desse modo, o crescimento da população associado ao desenvolvimento tecnológico, promove uma necessidade de estudos e pesquisas relacionados a fontes de energias inovadoras.

Ao analisar essas fontes inovadoras, um grande ponto a se observar é a sustentabilidade dessa fonte. Visto que, a produção de energia elétrica sempre vai estar associada ao meio ambiente, onde a geração de energia provoca efeitos na natureza, mas cada processo de geração tem suas características próprias. O maior interesse é associar a produção de energia e garantir a sustentabilidade, reduzindo o máximo o impacto ambiental (REIS, 2013).

As fontes de energia alternativas são as fontes que se apresentam como forma de auxílio em relação as fontes tradicionais (petróleo, carvão mineral, hídrica e gás natural). A vantagem é que são poucas ou não poluentes. A Figura 3.1 mostra um fluxograma com alguns exemplos de fontes de energia renováveis, são elas: eólica, solar, geotérmica, mare motriz, biomassa e o biogás (VENTURA, 2009). Essas fontes se apresentam como uma forma de aumentar e complementar a oferta de energia, sem causar danos ao meio ambiente. Elas são fontes que utilizam as forças das águas, dos ventos ou a energia do sol, como combustíveis usados para a geração da energia elétrica. Por meio de turbinas e geradores podemos transformar outras formas de energia, como a mecânica e a química, em eletricidade (ANEEL, 2014).

Figura 3.1 – Classificação das Fontes de Energias da Matriz Energética Brasileira



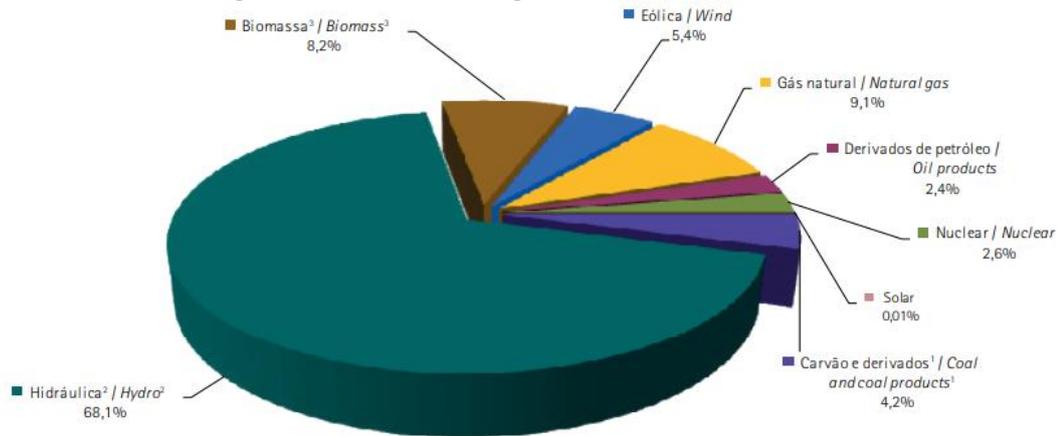
Fonte: Próprio Autor, 2018.

Para o Brasil mostrar sua valorização, e seu crescimento, de forma fiel, econômica e com cumprimento da legislação ambiental, tem-se em destaque sua matriz energética, onde atualmente as fontes renováveis predominam. O Brasil é um país rico de natureza, sendo assim, possui um grande potencial tanto quanto eólico, hidráulico, solar e até da biomassa.

3.1 Matriz Energética Nacional

Estudos realizados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), anunciam que a maior fonte geradora de energia no Brasil é a hídrica. Ela está no topo da Matriz Elétrica Brasileira, mas isso ocorre porque o Brasil é um país que contém grandes cursos d'água espalhados por quase todo o seu território. Porém quando analisado a matriz energética mundial, a realidade é diferente, a principal fonte de energia do mundo são as usinas termelétricas alimentadas por combustíveis fósseis (EPE, 2016). Ainda, segundo a EPE, em 2016, a capacidade total instalada de geração de energia elétrica do Brasil (centrais de serviço público e autoprodutoras) alcançou 150.338 MW, tendo um acréscimo de 9.479 MW quando comparados a 2015.

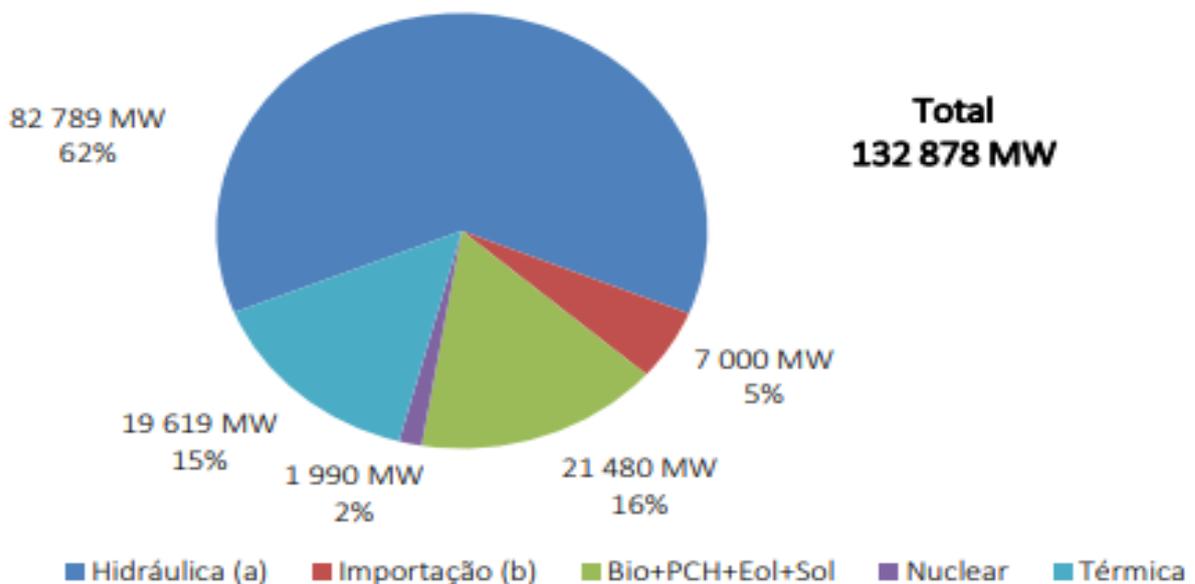
Figura 3.2- Matriz Energética Brasileira de 2016



FONTE: Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético do Ministério de Minas e Energia, 2016.

Ao analisar o gráfico da Figura 3.2 da Matriz Energética Brasileira fornecido pela Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético do Ministério de Minas e Energia (MME), em 2016, é possível observar que a geração através de energia hidráulica atinge 68,1 % de toda a oferta de potência, e a energia da biomassa já alcança 8,2 %, atingindo a terceira posição de maior potencial em geração de energia. O Brasil atualmente possui 80,4 % da geração da sua energia de fontes renováveis, com um indicador muito superior ao indicador mundial que chega a 20 %. A AIE (Agencia Internacional de Energia) simula que em cerca de 20 anos, 30 % de energia consumida mundial será de fontes renováveis (MME, 2016).

Figura 3.3 - Capacidade Instalada no SIN em dezembro de 2014



FONTE: Empresa de Pesquisa Energética(EPE), 2015.

Pela Figura 3.3, se analisarmos as fontes individualmente, a termelétrica vem em como segunda fonte de energia principal no Brasil. Hoje, são o tipo mais comum do mundo, de uma forma geral a geração se dá através a queima de combustíveis (carvão mineral e/ou gás natural são os mais usados) para aquecer a água. O vapor produzido é usado para acionar uma turbina movida a vapor, e a mesma está acoplado a um gerador elétrico, esse processo ocorre a conversão de energia mecânica em energia elétrica. Mas juntamente com esse procedimento, ocorre os piores impactos ambientais em relação a geração de energia, que são a emissão de gases de efeito estufa e a poluição do ar (EPE, 2015).

Contudo, restringir o uso das termelétricas pode não ser uma solução, já que nem todo país possui o potencial para energia hídrica como no Brasil. Isto posto, fazem indispensáveis estudos e avanços na utilização das termelétricas. Uma alternativa seria encontrar combustíveis naturais que substitua os combustíveis fósseis no processo de geração de energia.

Segundo Goldemberg (2007), a produção de energia a partir de matéria orgânica (biomassa) é uma das soluções com maior capacidade de avanço, tanto no Brasil como no mundo. Sendo considerada uma das principais alternativas para a diversificação da Matriz Energética e conseqüentemente a redução de combustíveis fósseis. Dessa fonte, podemos extrair energia elétrica de biocombustíveis, como o biodiesel e o etanol.

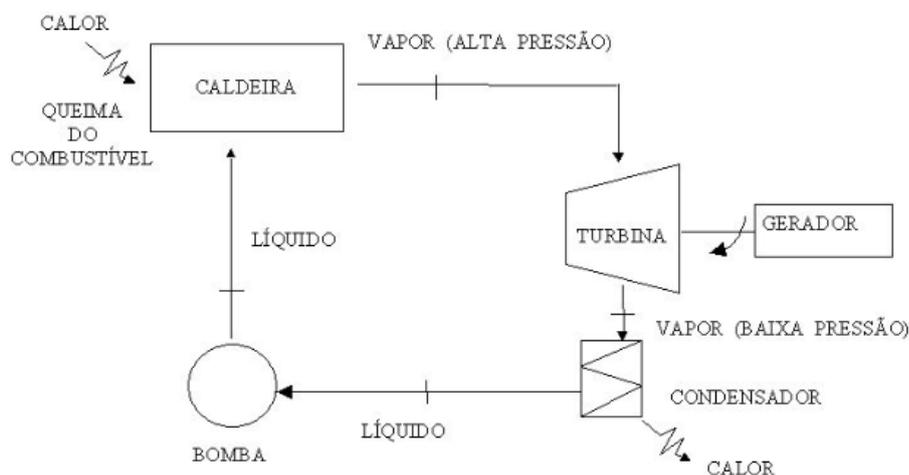
Já de acordo com Babcock e Wilcox (2005), se analisado o assunto de um modo geral, essa alternativa de geração de energia não é realizado necessariamente só a materiais orgânicos. A maior parte de restos produzidos pelo homem podem ser utilizados como combustível para ser convertido em energia.

Um exemplo desse tipo de processo são os aplicados hoje nas indústrias de arroz, onde as cascas são utilizadas para alimentar as caldeiras. A partir da queima desse resíduo, irá produzir calor. Essa casca que não seria utilizada no processo de industrialização do arroz, agora é aproveitada, e assim evita que aumente a produção de lixo da indústria, dando uma alternativa para seu destino final. Esse processo ajuda na imagem da empresa, tanto em relação ao meio ambiente (pois com isso ela está realizando as medidas mitigadoras como PNRS pede) e também financeiramente, pois parte da energia que ela deveria consumir, está sendo gerado por essa fonte alternativa (MAFFIOLETTI; MOTA, 2013).

3.1.1 Termelétricas

O processo básico das Centrais Termelétricas consiste na conversão de energia térmica em energia mecânica e energia mecânica a em energia elétrica. As Centrais Termelétricas são baseadas no processo de combustão (queimas de materiais). Existem dois tipos de combustão, a combustão externa e a combustão interna. Na combustão externa o combustível apenas aquece o fluido em uma caldeira (normalmente a água que é utilizado nesse processo) até gerar o vapor, o mesmo irá se expandir em uma turbina e produzindo trabalho mecânico. Na combustão interna, ocorre uma mistura do ar com o combustível, onde o fluido de trabalho será o conjunto de produtos da combustão (LINEU, 2011).

Figura 3.4- Central Termelétrica com Combustão Externa (a vapor)



FONTE: LINEU, 2011.

A Figura 3.4 mostra o ciclo básico de uma termelétrica com combustão externa, onde a queima do combustível gera calor, que irá aquecer o líquido na caldeira e transformar este em vapor; o vapor irá se expandir em uma turbina a vapor e irá movimentar o gerador. O vapor sai da turbina, vai para o condensador, onde o calor é retirado e se obtém líquido. O líquido será bombeado de volta a caldeira, iniciando o ciclo novamente (LINEU, 2011).

3.1.2 Biomassa

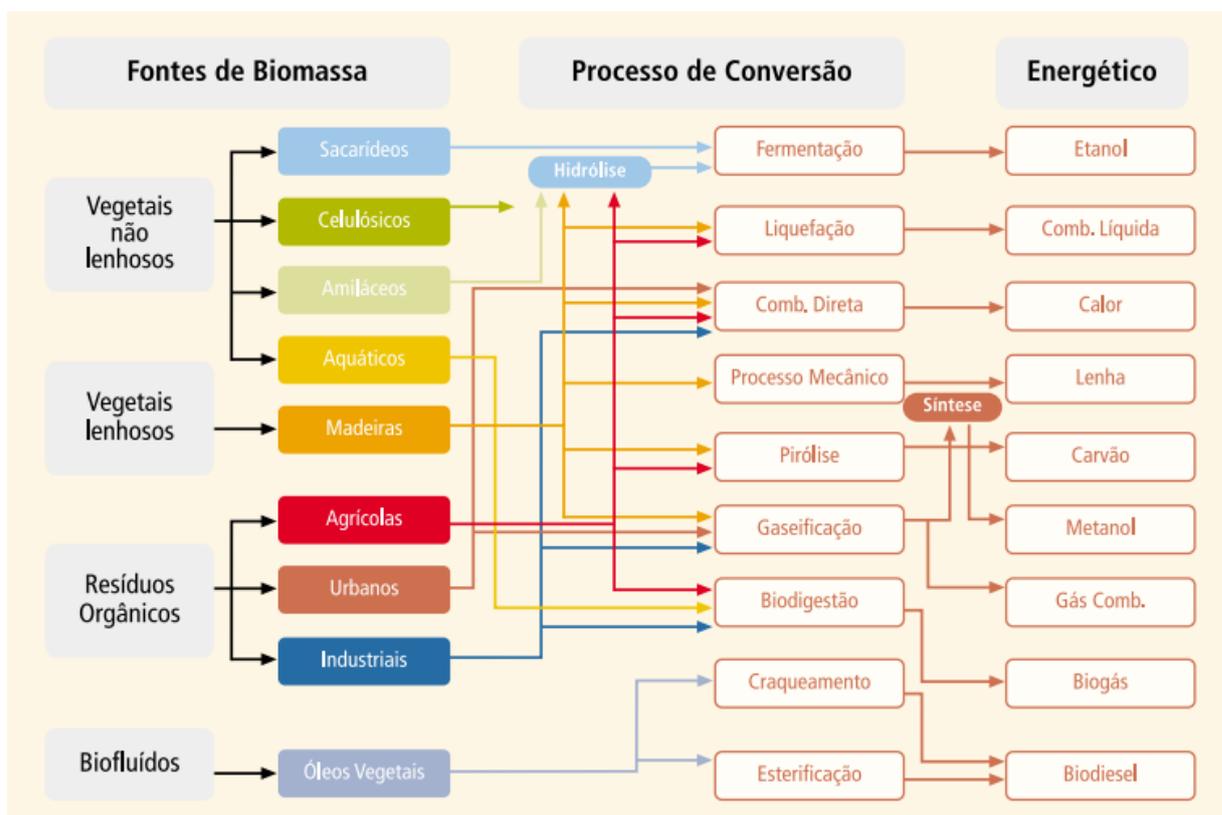
A biomassa possui diversas origens, como por exemplo: industriais, animais, vegetais e ou florestais. A partir da biomassa, podemos gerar energia em diversos processos, ou seja, a biomassa é

a forma de geração de energia que é derivada de toda matéria orgânica, de origem vegetal. Sendo essa considerada um recurso natural renovável, contrariamente aos combustíveis fósseis.

Biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizada na produção de energia. Assim como a energia hidráulica e outras fontes renováveis, a biomassa é uma forma indireta de energia solar. A energia solar é convertida em energia química, através da fotossíntese, base dos processos biológicos de todos os seres vivos (ANEEL, 2010).

Para ser possível aproveitar a biomassa, deve ser realizado alguns processos. A Figura 3.5 apresenta os principais processos de conversão da biomassa em energéticos. As principais tecnologias de aproveitamento energético da biomassa são descritas a seguir.

Figura 3.5 - Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa



FONTE: ANEEL, 2010.

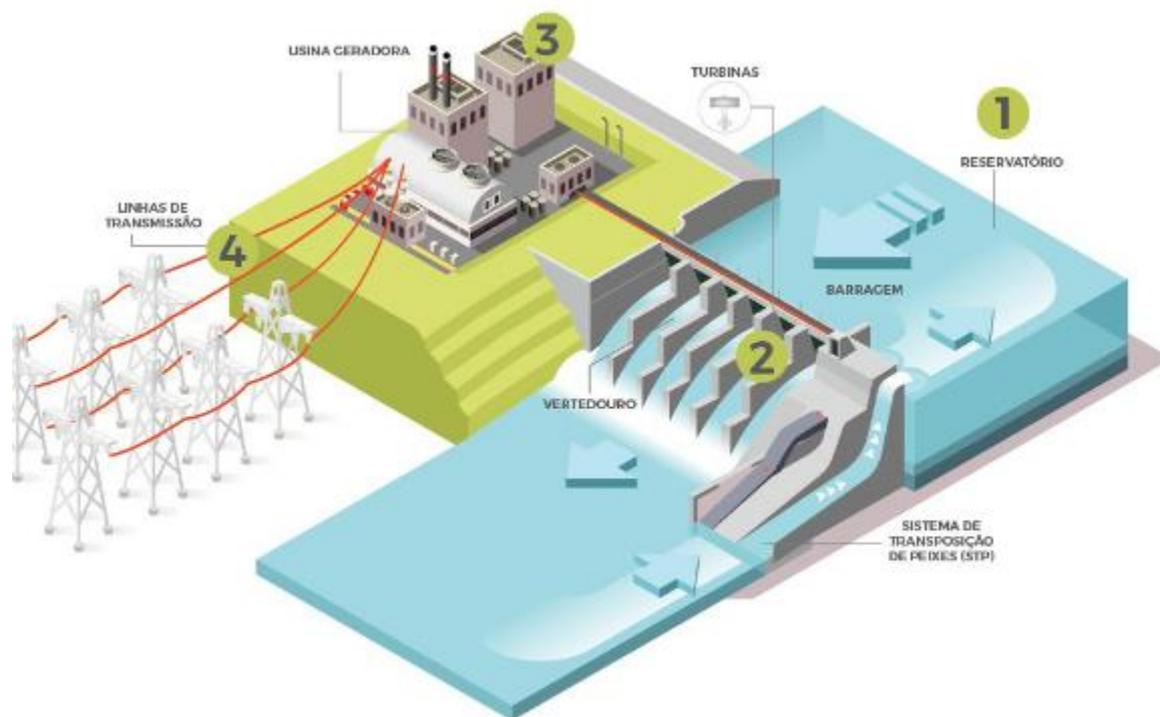
A biomassa possui uma enorme flexibilidade, tanto para produzir energia elétrica quanto para influenciar no setor de transportes com a produção de biocombustíveis. Existem diversos benefícios em utilizar a biomassa como fonte de energia, pois tem baixo custo de aquisição, as

emissões produzidas nos processos de conversão não contribuem para o efeito estufa, sendo assim bem menos agressivo ao meio ambiente do que as provenientes de combustíveis fósseis.

3.1.3 Hidrelétricas

As Usinas Hidrelétricas são as usinas que utilizam da força das águas para geração de energia.

Figura 3.6- Esquema para o Funcionamento das usinas Hidrelétricas



FONTE: TodaMatéria, 2011.

No ponto 1, representa o reservatório, nele fica acumulado toda a água que irá se converter em energia cinética, isso acontece porque ao abrir as comportas dos vertedouros (ponto 2), a água que antes estava acumulada irá deslizar pelo vertedouro e provocar pressão que converte energia hidráulica em energia mecânica; em seguida, no ponto 3, essa energia mecânica é transferida para a turbina hidráulica que a mesma irá produzir energia elétrica; no ponto 4 mostra as linhas de transmissão, para que a energia gerada seja transmitida até chegar à rede de distribuição (TodaMatéria, 2011).

As usinas hidráulicas são considerados como uma fonte renovável de energia, mas não significa que ela não cause nenhum impacto ambiental. Na fase de obras da usinas, ela prejudica muito a fauna e a flora da região. Por outro lado, o principal aspecto positivo é a produção mais

alta de energia e a mais barata, quando em relação aos custos da produção de eletricidade via outras fontes. E é certamente a menos agressiva ao meio ambiente do que as usinas termoelétricas a base de petróleo ou carvão.

3.1.4 Solar

A energia solar é considerada uma fonte de energia renovável e sustentável. Pois ela é resultante da luz e do calor do Sol. Sendo considerada uma fonte de energia inesgotável, quando comparadas as outras fontes alternativas de energia, o potencial solar é excepcional.

Figura 3.7 – Sistema de Energia Solar



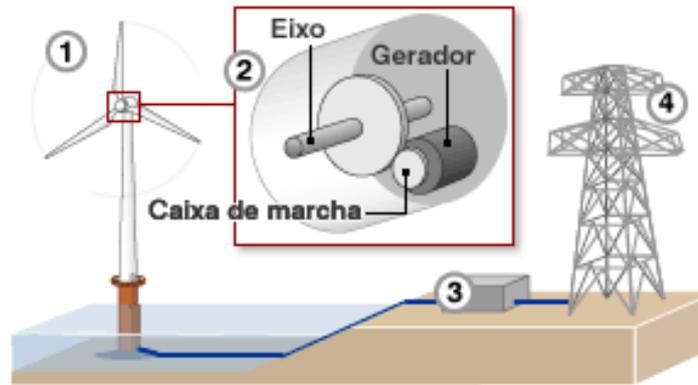
FONTE: PORTALSOLAR,2014.

A geração de energia a partir da luz solar se dá pelo seguinte processo: no ponto 1 da Figura 3.7, temos os painéis fotovoltaicos, que os mesmo recebem a radiação solar e produzem energia elétrica em Corrente Contínua (CC); no ponto 2 temos o inversor, aparelho que converte energia em CC para energia em Corrente Alternada (CA); no ponto 3 a energia já está pronta para ser consumida é conectada no quadro de cargas da instalação.

3.1.5 Eólica

Energia eólica é a energia oriunda da força dos ventos. É considerada uma fonte de energia renovável e renovável, por isso é cada vez mais utilizada para complementar as matriz energética de todo o mundo (INFOESCOLA,2014).

Figura 2.8 – Esquema Energia eólica



Na geração de energia elétrica através dos ventos, ocorre pelo seguinte processo, na figura 3.8 mostra no ponto 1 as hélices dos geradores, essas hélices giram quando o vento passa por elas, e no ponto 2 da figura temos o eixo. No movimento das hélices, ocorre o deslocamento do eixo, que o mesmo movimentava o gerador para produzir eletricidade. No ponto 3 da Figura 3.8 temos o transformador, que converterá a energia gerada para uma alta tensão que será transmitida pelas linhas de transmissão (ponto 4) até chegar na rede de distribuição, e então chegar ao consumidor final.

3.2 Geração de Energia a Partir de Resíduos

Busca sobre distintos modelos de conversão de energia tendo como insumo principal os RSUs vem crescendo desde os anos 70. A partir da ideia, os RSUs passaram a serem vistos não apenas como um efluente das pessoas e razão de preocupação para órgãos públicos responsáveis, mas também como insumos capazes de gerar rendimentos e atrair investidores para este segmento. Além disso, viu-se uma perspectiva para minimizar impactos negativos gerados pela sua má disposição (ROSA, 2004).

Como citado anteriormente, a produção de resíduos no mundo cresce a cada ano, e a urgência em se reduzir essa quantidade se faz necessária. Estes resíduos quando considerados descartáveis podem ser designados a aterros sanitários, mas há muito o que se aproveitar antes de considerar um resíduo como descartável. Os resíduos urbanos podem ser aproveitados de diversas maneiras como citado no capítulo 2, inclusive no ponto de vista energético.

Quando se fala em proteção ao meio ambiente, o mundo inteiro deveria se mobilizar. Há uma enorme urgência em reduzir a poluição na atmosférica de gases do efeito estufa. A implementação da PNRS apontado no capítulo 2, abrange quadros regulamentares que

incentivem o setor privado e também o setor público a investirem em alternativas que favoreçam o meio ambiente.

O Brasil se destaca no cenário mundial, sendo uma das peças principais ligado ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Em termos do potencial de reduções de emissões associado aos projetos de MDL (que foca em ajudar os países de grande porte a reduzir a emissões de carbono e incentivar financeiramente os países que ainda estão em desenvolvimento). O Brasil está fazendo sua parte, atualmente ocupando a terceira posição, em relação a redução da emissão de carbono. Existe no Brasil 168 projetos da MDL em diversos setores no Brasil, mas apenas 25 são destinados a aterros sanitários. Dos 25, apenas 7 foram direcionados a geração de energia. A geração de energia através do RSU é uma oportunidade promissora para promover a sustentabilidade social, ambiental e ajudar no desenvolvimento do país (COSTA; ABREU, 2017).

Avanços estão sendo realizado com a substituição dos combustíveis fósseis por resíduos sólidos e matéria orgânica. Essa é uma alternativa que ajudaria o meio ambiente porque os gases gerados na queima não seriam gases poluentes, ou não tão prejudiciais como os de combustíveis fósseis (no caso da substituição do carvão mineral por matéria orgânica). E também ajudaria a resolver os problemas de enormes quantidades de resíduos sólidos produzidos pelos seres humanos (MOYA; ALDAS; LOPEZ, 2017).

Esse avanço não seria uma alternativa apenas para países que possuem as termelétricas como fontes principais na geração de energia, o Brasil possui um grande potencial hídrico, mas complementa sua Matriz Energética com as termelétricas. Então foi pesquisado e levantado dados sobre os avanços que o Brasil possui sobre geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos.

4 TECNOLOGIAS APLICADAS PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DOS RSUs

Os resíduos sólidos urbanos são uma fonte de energia renovável disponível e uma alternativa com um enorme potencial. Estes resíduos podem ser convertidos em energia por diversas maneiras. Este Capítulo visa mostrar as tecnologias atuais mais aplicadas quando o assunto é a geração de energia através dos RSUs.

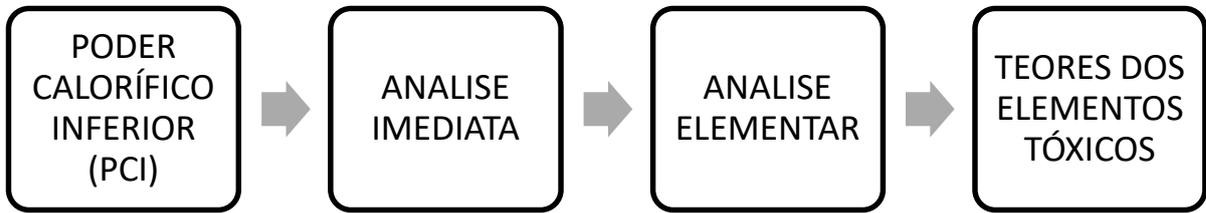
Para o desenvolvimento deste trabalho, optou-se por analisar detalhadamente as duas tecnologias mais utilizadas e de melhor rendimento. Tem-se a incineração que é uma tecnologia onde mostra uma alta eficiência na solução para as toneladas de RSUs encontradas em locais inapropriados; e a digestão anaeróbia, que é uma tecnologia que pode ser aplicada tanto em resíduos orgânicos úmidos homogêneos, quanto os heterogêneos como nos RSUs (FAAIJ, 2006).

4.1 Processo de Incineração

A incineração é um dos processos existentes para o tratamento dos resíduos, onde a queima ocorre com uma temperatura normalmente acima de 700 °C. Sendo uma das principais formas para transformar RSU em energia. O funcionamento segue a mesma ideia das termelétricas alimentadas por carvão mineral. Segundo Toccheto (2005), tratar os resíduos sólidos de forma térmica tem o intuito de: eliminar os componentes orgânicos, diminuir o volume e reduzir a geração de resíduos sólidos tóxicos em lixões e nos afluentes. Para Engebio (2010), nesse processo ocorre a geração de gases caloríficos (quantidade de energia por massa), que podem ser atribuído como uma fonte de energia.

Segundo a *Confederation of European Waste-to-Energy* (CEWEP, 2007), é a característica do resíduo que será incinerado que irá influenciar na eficiência do processo. As análises que precisam ser realizadas são as citadas na Figura 4.1 a seguir.

Figura 4.1 Esquema para caracterização dos RSUs



Fonte: Adaptada PAVAN, 2010.

- Poder Calorífico Inferior (PCI): determina a quantidade de energia útil que será liberada durante o processo de queima dos RSUs. Então quanto maior o PCI, maior será a potência liberada no interior do incinerador e atingirá temperaturas mais elevadas .
- Análise Imediata: determina a quantidade de água, cinzas e matérias voláteis dos RSU.
- Análise Elementar: determina as quantidades de nitrogênio, carbono e hidrogênio. Desta forma sera possível analisar a quantidade de ar necessária para que ocorra a combustão completa dos RSUs.
- Teores de Elementos Tóxicos: conhecer os componentes tóxicos que possam conter nos resíduos, como: chumbo, mercúrio, enxofre, cloro etc. Para ter o conhecimento dos compostos tóxicos que possam ser formados durante o processo, e também dimensionar adequadamente o sistema de limpeza de gases das unidades (PAVAN, 2010).

Conforme os estudos da EPE, é possível observar na Tabela 4, que alguns PCI dos materiais presentes nos RSUs são valores que equiparam aos valores de PCI dos combustíveis fósseis (acima de 6.000 kcal/kg). Enquanto que os resíduos sólidos misturados, segundo os estudos da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA – *United States Environmental Protection Agency*), apresentam PCI em torno de 2.700 kcal/kg. Dando a compreender que a recuperação energética dos RSUs dependerá do local de onde eles foram gerados e da composição desses resíduos (EPE, 2008; US EPA, 2014).

Tabela 4.1 – Poder calorífico inferior de alguns dos materiais encontrados nos RSU

Material	PCI(kcal/kg)
Plásticos	6.300
Borracha	6.780
Couro	3.630
Têxteis	3.480
Madeira	2.520
Alimentos	1.310
Papel	4.030

Fonte: Adaptada EPE (2008).

Dentre as vantagens que a incineração pode trazer, destacam-se redução do volume dos RSUs nos aterros, e a recuperação da energia contida no lixo que pode ser reutilizada para geração de energia elétrica ou térmica. Também outro ponto é que com a atenuação no volume, tem-se uma baixa na emissão do metano. Uma desvantagem da incineração é algumas emissões na atmosfera, como quando ocorre a queima de metais pesados e alguns compostos orgânicos, mas isso pode ser evitado com a separação do material antes de realizar a incineração.

4.1.1 Combustão

Na combustão, os RSUs são queimados a elevadas temperaturas, porém na presença de oxigênio. Nesse processo são produzidos vapores a alta pressão, esses são produzidos em caldeiras para mover turbinas a vapor e gerar energia (mesmo procedimento das termelétricas). É uma das formas mais comuns hoje em dia e sua eficiência energética situa-se na faixa de 20 a 25 % (HENRIQUES, 2004).

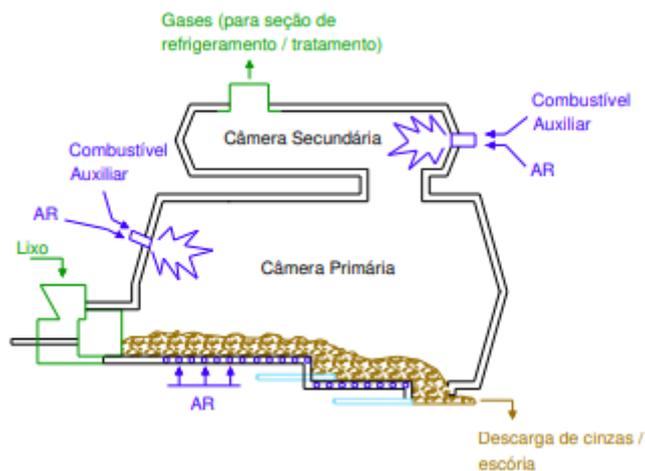
Essa técnica é onde ocorre a queima dos resíduos, ou seja, a queima dos materiais retirados dos seus destinos finais (aterros controlados ou lixões). A única separação que ocorre é a retirada dos lixos mais pesados (lixos de difícil manuseio, como móveis ou eletrodomésticos etc). Dessa forma, os resíduos misturados alimentam os incineradores da forma tradicional, esse processo é chamado de incineração em massa (LOPES; AZEVEDO; OLIVEIRA, 2010).

No passado, as instalações para incineração eram projetadas com o único objetivo, o de processar os resíduos, mas as instalações atuais são, de um modo geral, projetadas para recuperar a energia dos resíduos na forma de vapor, água quente ou eletricidade.

Na Figura 4.2 apresenta o esquema de combustão no sistema de dupla-câmara, esse é um exemplo dos sistemas utilizados para que ocorra a incineração. Primeiramente os resíduos são depositados na Câmara Primária, onde nessa Câmara é injetado ar e se necessário, algum

combustível para auxiliar (dependendo do poder calorífico do resíduo, não será necessário combustível). Em seguida os gases partem para a segunda câmara, onde mais ar é injetado. E posteriormente os gases são direcionados para o sistema de tratamento. Os restos (as cinzas) ficam depositadas na primeira câmara e são retirada depois que acaba o processo. Essas cinzas podem ser reutilizadas em fabricações de tijolos, asfaltos e etc. Todo o lixo que não for contaminado, tóxico, ou inflamável, pode passar pelo processo de incineração (HENRIQUES, 2004).

Figura 4.2 - Esquema de Combustão no Sistema de Dupla-Câmara



FONTE: ARANDA, 2001.

Nos projetos realizados na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) que teve como temática melhorar a eficiência da USINAVERDE, foi observado que o poder calorífico dos RSUs do estado do Rio de Janeiro obteve-se um valor de 2,66 MWh/t, quando o material incinerado seco, sem umidade, e 0,7MWh/t se o material não realizasse uma prévia secagem antes da incineração. Este fato denota a relevância da secagem do material, rico em matéria orgânica, antes de ser levado para a incineração (BASTOS, 2009).

4.1.2 Gaseificação

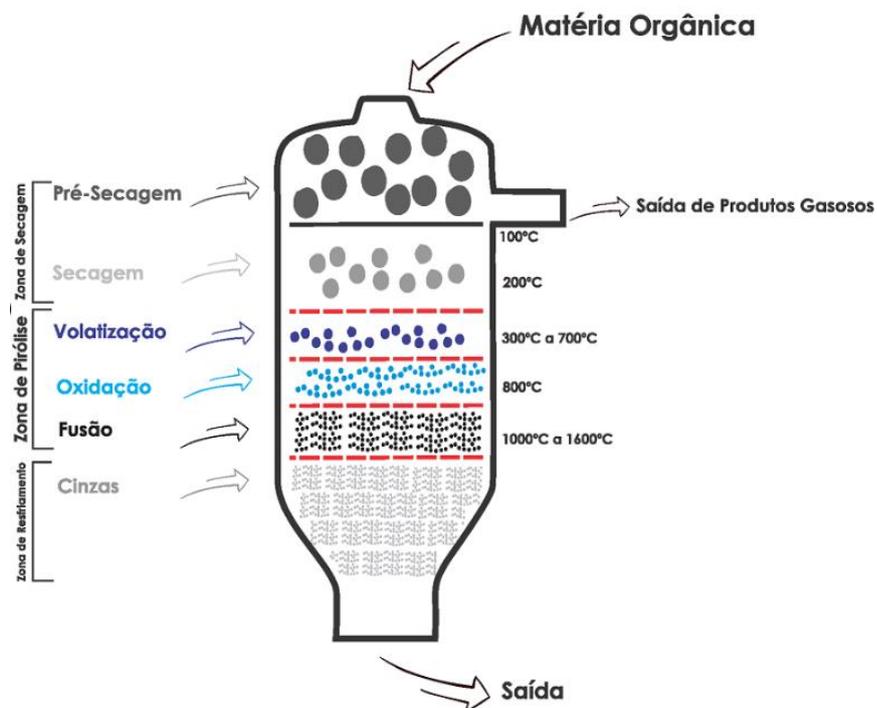
No processo de Gaseificação, ocorre a transformação de combustíveis sólidos ou líquidos em gases de síntese. Esses gases são produzidos com uma misturas de gases combustíveis, podendo utiliza-los em diversos processos. O método ocorre a partir de um reator de leito fluidizado que fica acoplado a um vaso. Nesse processo é exigido uma menor temperatura em relação ao processo de combustão, e resultam apenas em gases. O gás produzido possui um alto conteúdo energético, é limpo e pode ser queimado em um boiler a gás

sem necessitar limpeza externa, como é necessário em algumas incinerações. A gaseificação já produz um gás limpo, dessa forma ele pode atingir altas temperaturas sem que comprometa os materiais envolvidos, e sua eficiência é maior em relação a combustão (HENRIQUE, 2004).

4.1.3 Pirólise

Na pirólise, a matéria é exposta a temperaturas extremamente altas, e a queima é realizada sem a presença de oxigênio. Desse modo, a matéria se decompõe mais rapidamente. O que sobra da decomposição é uma mistura de gases, líquidos e sólidos (FOGAÇA, 2017).

Figura 4.3- Processo de Pirólise



Fonte: Resíduos Sólidos de Alagoas, 2010.

Com o intuito de substituir os derivados do petróleo, tanto por temor de que as reservas de petróleo se esgotem, como pelo cuidado com o meio ambiente, a pirólise acaba sendo um método muito eficiente. Onde ocorre a decomposição de material orgânico, quando está em um meio de quase ou total ausência de oxigênio. Um exemplo de produto obtido nesse processo é o bio-óleo, que pode ser usado no processo de geração de energia no lugar do carvão mineral. O processo acaba tornando uma mistura complexa de compostos orgânicos, e a constituição será o mesmo dos RSUs que o gerou (MME, 2017).

Existem vários subprodutos que podem vir da pirólise de diversos materiais que foram colocados no processo, mas atualmente um que vem sendo experimentado é os RSUs. O lixo urbano também pode ser submetido à pirólise e, assim, conseguem-se vários subprodutos dele como o alcatrão, o óleo e o sulfato de amônia (que também poderão ser usados como matérias-primas e fontes de energia), além de diminuir o lixo presente em aterros sanitários (CAIBRE; PANDOLFO; BERTICELLI, 2016).

4.1.4 Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR)

. A ideia inicial desse processo era evitar a queima direta sem que antes ocorra a separação dos RSU. Com o intuito de transformar os RSU em combustíveis que sejam possíveis de armazenar e transportar. Para que ocorra o processo de conversão de energia, foi desenvolvida uma tecnologia na América do Norte pela Babcock & Wilcox no início dos anos 1970 como uma alternativa à queima do resíduo sólido municipal (ITÔ, 2014).

O processo ocorre através da queima de resíduos não perigosos, que antes sofreram uma separação e triagem (normalmente são lixos comuns como plásticos, borrachas, madeiras, panos etc). Essa queima é realizada em caldeiras, que possui um funcionamento automático. No processo, se produz vapores em altas pressões e temperaturas que são utilizados em turbogeneradores para geração de energia elétrica (como ocorre no Ciclo Rankine). Além de possuir baixo custo de instalação em relação à outro tipo de Centrais Geradoras, como por exemplo as hidrelétricas, o processo de queima em caldeiras reduz o investimento em obras civis. O dinheiro gasto com aterros sanitários, podem também ser investido neste tipo de Centrais Termelétricas (ITÔ, 2014).

4.2 Biogás

O biogás é uma junção de gases que são obtidos com a decomposição anaeróbia de materiais orgânicos que acontecem por exemplo, nos aterros sanitários. Os gases de maior concentração são o metano e o dióxido de carbono (SALOMON; LORA, 2005). Usar o biogás como fonte de energia é a fonte mais simples dos RSUs, e também o mais utilizado. O poder calorífico do biogás fica entre 14,9 a 20,5 MJ/m³ (HENRIQUES, 2004).

4.2.1 Digestão Anaeróbica

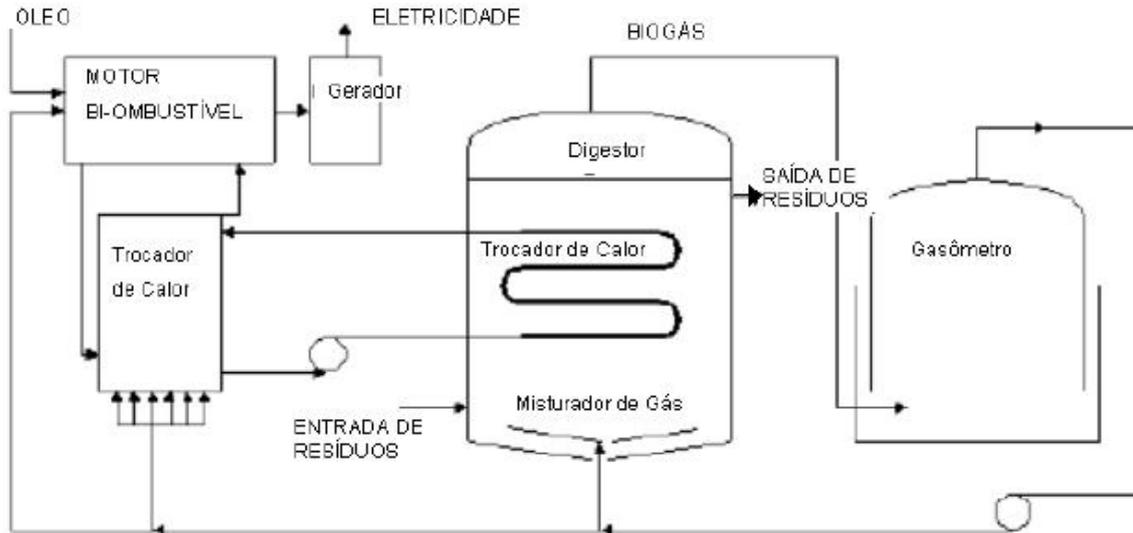
A digestão anaeróbica, conforme afirma Cassini (2003), é um processo de estabilização biológica complexa no qual um consórcio de microrganismos, na ausência de oxigênio molecular, promove a transformação de compostos orgânicos complexos em produtos mais simples como metano e gás carbônico. Esse processo é normalmente aplicado em resíduos poluentes e vem mostrando enorme vantagem e sendo empregue, com êxito, para diversos efluentes (seja domésticos ou industriais) (ABREU; SOUZA, 2010).

Contrapondo com o método tradicional do tratamento aeróbio e do panorama da implementação de tecnologias sustentáveis, o processo anaeróbio resolve o problema dos efluentes de uma maneira mais ampla, pois requer um espaço menor e de menos custos para a sua implementação, e é uma forma de produzir energia útil na forma de biogás (BERNI; BAJAY, 2003).

Com a produção do biogás, tem-se a redução de descartes em aterros sanitários e ou lixões onde diminui bastante a quantidade de RSU que são considerados descartáveis mas na verdade, podem ter um destino diferente. O biogás produzido pode ser aproveitado para gerar eletricidade e produzir calor em outros tipos de processos. O excesso de calor pode ser adicionalmente utilizado em redes de aquecimento urbano ou em processos industriais (Baldochi, 1997).

Na digestão anaeróbica os RSU produzem um combustível que pode ser utilizado para alimentar incineradores na geração de energia elétrica. Uma vantagem nessa tecnologia de digestão anaeróbica é que todo o gás produzido pode ser coletado e utilizado, ela também produz um resíduo sólidos que pode posteriormente se utilizado como fertilizante. Geralmente o processo de digestão anaeróbica é dividido em quatro etapas: pré- tratamento, digestão de resíduos, recuperação de gás e tratamento de resíduo (ABREU; SOUZA, 2010).

Figura 4.4: Representação do Processo de Digestão Anaeróbica com pequenos sólidos



FONTE: VERMA, 2002.

Na Figura 4.4 mostra o esquema para o processo de digestão anaeróbica. Primeiro passo é realizar a separação. Desta forma fica assegurado que os matérias indesejáveis ou recicláveis foram removidos dos resíduos orgânicos da fonte e assim, inseridos no digestor. Dentro do digestor a carga será diluída para atingir o teor de sólidos desejado e continuar no digesto pelo tempo de retenção designado. Para que ocorra uma boa diluição, várias fontes de águas são utilizadas. O trocador de calor é normalmente requerido para manter a temperatura no vaso de digestão. O biogás obtido na digestão acelerada é depurado para obter gás de qualidade suficiente para passar nos dutos. Caso haja tratamento residual, o efluente do digestor é desidratado e o líquido é reciclado para ser usado na diluição da carga que entre (VERMA, 2002).

Entre as diversas tecnologias de reatores anaeróbicos, cabe destacar as seguintes:

- ***Os reatores tanque agitado (CSTR)***

Esta é uma das tecnologias que deriva da lagoa anaeróbica com a diminuição da capacidade do reator, que é o local onde a concentração dos RSUs é aumentado pela divisão e reprocesso dos sólidos efluentes. Os RSUs não possuem uma base fixa, dessa forma o um agitador permite o contato entre os microrganismos e o efluente, evitando a sedimentação de sólidos no interior do reator (ADI, 2016).

- ***O filtro anaeróbico (AF)***

O filtro anaeróbico é uma tecnologia onde a manta de filtração serve de base para a material (resíduo, seja ele qual for) separado do efluente. Os filtros podem ser realizados com dois tipos de fluxo: o descendente ou o ascendente. O fluxo ascendente produz alta concentração de biomassa suspensa na formação do biofilme na estrutura do leito fixo. O fluxo descendente pode ser aplicado em efluentes com alta concentração de enxofre inorgânico e com razão entre degradabilidade da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DQO) e enxofre inorgânico baixa, entre 10 ou 15, que se aplica a indústria de papel e celulose integrada (DINSMORE, 1989).

- ***Reator Anaeróbico de Leito Fluidizado (RALF)***

Nesse processo ocorre que, ao invés dos resíduos serem queimados sobre uma grade (como é o caso das queimas em massa citados anteriormente) o leito das chamas é composto por partículas inertes (por exemplo areia ou diferentes cinzas). Quando o ar é bombeado através do leito, o material se comporta como um fluido. Há muitos projetos diferentes de queimadores de leito fluidizado (LF), por exemplo, os leitos de circulação e de bolhas. Em qualquer caso há a necessidade de resíduos de tamanho uniforme (GEBRA, 2006).

Os reatores anaeróbico de leito fluidizado, não apresentam suporte para a biomassa, tendo o fluxo ascendente de efluente a função de manter a biomassa em suspensão, assegurando um bom contato entre os microrganismos e o material orgânico. Um projeto bem elaborado de digestão anaeróbica favorece o desenvolvimento mais equilibrado entre homem e natureza, uma vez que ele recupera energia e os compostos produzidos no final do ciclo voltam para a natureza como forma de nutrientes. A vantagem desse processo é o enorme apoio na legislação, onde a disposição dos resíduos não deve chegar a 5 % do que é coletado, e assim garantir que os resíduos sejam reaproveitados como combustíveis e diminuiria a quantidade de material descartado nos solos. Mas há a desvantagens de ser necessário altos investimentos (GEBRA, 2006).

4.2.2 Recuperação de Gás dos Aterros

O aterro sanitário apresenta-se como principal alternativa para destinação final dos RSU. Dessa forma, foi observado que ao enterrarem os resíduos, eles geram gases que são produzido

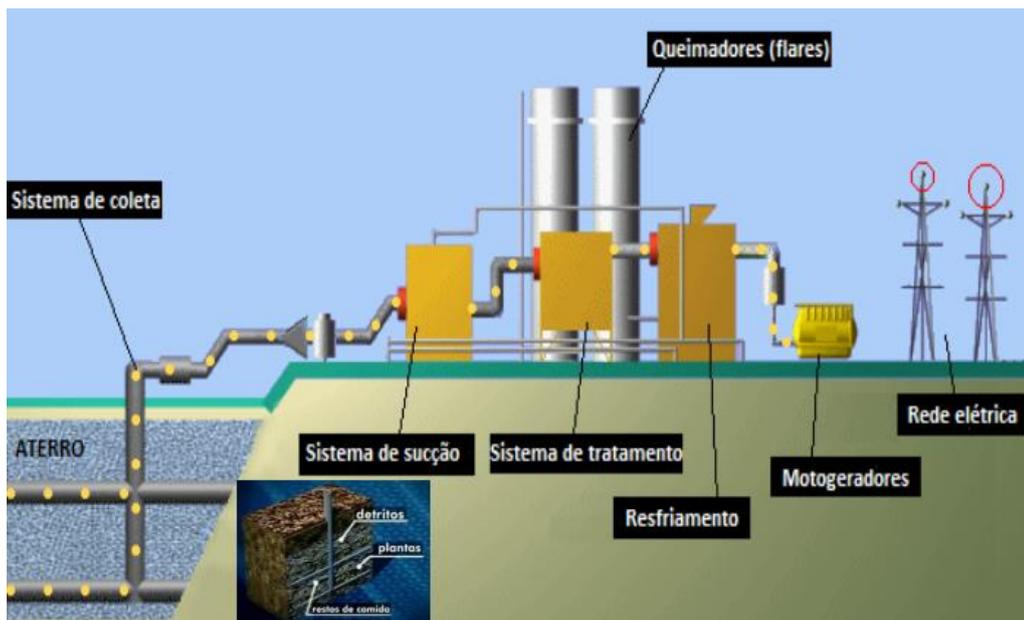
pela decomposição anaeróbica dos resíduos orgânicos no local do aterro.

A principal reação biológica que ocorre nos aterros é a digestão anaeróbia, ela acontece quando há ausência de oxigênio, e isto ocorre em três etapas. A primeira fase é onde as bactérias fermentadoras hidrolisam a matéria orgânica complexa em moléculas solúveis. Já na segunda fase, as moléculas serão transformadas por bactérias em ácidos orgânicos simples (os principais são: ácido acético, ácido propanoico, ácido butílico e o etanol). Por último, na terceira fase, o metano é criado por um tipo de bactérias metanogênicas, que destroem os ácidos em metano e dióxido de carbono (THEMELIS, 2007).

O gás produzido nos aterro é composto por uma mistura de gases, sendo em maior quantidade o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2). A distribuição exata do percentual de gases variará conforme a antiguidade do aterro, e os fatores que influenciam na produção do biogás são: umidade, composição dos resíduos no local, tamanho das partículas, pH, Idade dos resíduos, temperatura, projeto do aterro e sua operação (ABREU; FONSECA; CARLOS, 2009).

O propósito de um projeto de aproveitamento energético dos gases dos aterros é a conversão do biogás em energia útil. Para que esse processo seja possível, é necessário projetar um sistema padrão de coleta e queima do biogás como mostra na Figura 4.5. Esse projeto deve conter: poço de coleta, tubo de coleta, um sistema de condução e tratamento, compressor e flare com queima controlada para a garantia de maior eficiência de queima do metano (MMA, 2014).

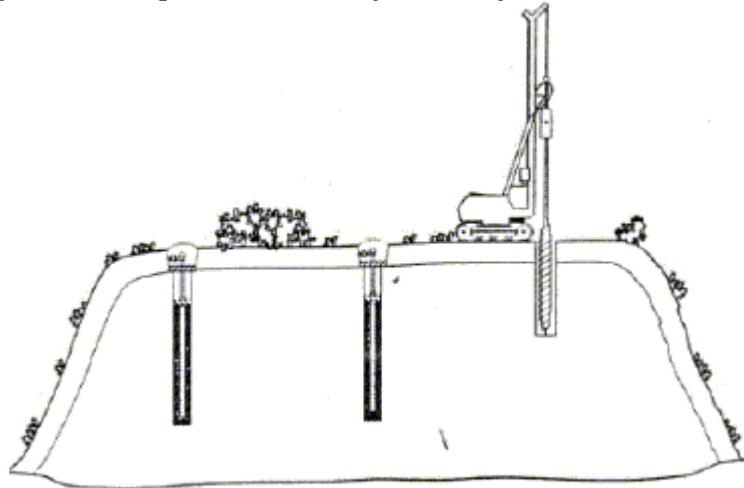
Figura 4.5- Planta do sistema padrão de coleta e queima do biogás



FONTE:IEE USP, 2015.

- **POÇOS DE COLETA:** Os poços de coletas são os poços drenantes verticais, essa é a forma mais utilizada para a recuperação do gás do aterro. Esse poço é geralmente construído logo após encerramento das atividade no aterro e contém um tubo que é de Polietileno de Alta densidade que possui furos na sua parte inferior (como um filtro). O tubo é instalado na célula do aterro de forma que encontre as camadas onde estão os resíduos. Na parte de cima do tubo fica conectado os cabeçotes, esse é o que faz a conexão com a rede de captação de gás (com a tubulação). Para a instalação desse poço vertical é necessário um processo de perfuração da célula do aterro (OONK; BOON,1995).

Figura 4.6- Esquema de Instalação de Poços Drenantes Verticais



FONTE: OONK e BOON,1995.

- **TUBOS DE COLETA:** Os tubos de coletas levam o gás do aterro que são drenados dos poços para a unidade que será utilizado. Também são constituídos de tubos de Polietileno de Alta densidade e tendo uma área aterrada para que não ocorra acidentes. É importante que tenha instalações de bombas de sucção de gases, para compensar as perdas de cargas nas tubulações e que tenha a garantia de uma vazão regular. De modo a equilibrar a vazão da bomba com a geração do gás para evitar a infiltração do ar no sistema e que não tenha risco de explosões.
- **COMPRESSOR:** Ele é necessário para puxar os gases que são coletados nos poços de coleta, sendo também necessário para comprimir o gás de entrada no sistema de recuperação energética. O tamanho e o número de compressores vai depender da taxa de compressão do fluxo desejado, que é determinado pelo equipamento de conversão

energética.

- FLARE (Queimador): Dispositivo para ignição e queima do gás gerado do aterro. Sendo utilizado em duas etapas, no início e nas manutenções do sistema. Os projetos normalmente incluem os flares abertos que são os mais simples, parecem uma vela e apresentam instabilidade com as chamas; e os enclausurados que são os mais caros, mas proporcionam os teste de concentração e obtém mais eficiência de combustão ligeiramente altas e reduzem os ruídos (ZEECO, 2012).

As vantagens da utilização do gás dos aterros sanitários como fonte energética foram a solução para o problema de vazamento de gás que constantemente apresentavam riscos de explosões. Como o metano é um dos gases responsáveis pelo aumento do efeito estufa, o seu uso como fonte de energia traz o benefício adicional de ajudar a reduzir a emissão no meio ambiente.

Possuem dois tipos de situações para o aproveitamento do biogás: A primeira situação é a queima diretamente, através de aquecedores, fogões e caldeiras, o segundo caso é onde se converte o gás em eletricidade. Desta forma, o biogás permite a produção de energia elétrica e energia térmica (MARTINS, 2014).

A aplicação do biogás na produção de energia elétrica é utilizando como combustível em motores de combustão interna ou em turbinas a gás (MARTINS, 2014). Comparando os motores de combustão com as turbina a gás, os motores geralmente apresentam uma maior eficiência de conversão. Porém, quando o sistema for usado para cogeração as turbinas a gás apresentam uma melhor eficiência pela forma que é disponibilizado o vapor do processo de geração.

Quando fala-se da geração de energia térmica através do biogás, ela ocorre através da queima em caldeiras para que ocorra a geração de calor, de modo que promova o aquecimento da água e produza vapor, podendo ser utilizado em processos industriais ou gerando energia elétrica através do acionamento de turbinas a vapor acopladas a um gerador (NECKER, 2013; MARTINS, 2014).

A vantagem da Recuperação de Gás dos Aterros é que com esse processo, ocorre a redução da emissão do metano (um dos gases maléficis do efeito estufa), e terá um produto final que poderá ser utilizado para geração de energia, ou como combustível. As desvantagens do processo é que com a alta concentração de metano e uma pequena falha, pode ocorrer acidentes (explosões), e também o alto custo nas plantas para adaptar os aterros para que ocorra essa recuperação do gás.

4.3 Outra Alternativa

4.3.1 Tecnologia de Plasma

Atualmente, tem-se uma ideia de que a tecnologia de plasma é uma solução para o tratamento do lixo. Porém, há estudos e comprovações que mostram que esta tecnologia é duvidosa ou até errônea. Mas antes de citar o processo, faz-se necessário entender o que é o plasma.

Os estados físicos da matéria correspondem às formas pela qual a matéria pode se apresentar na natureza. Os mais citados nos estudos de ciência são três: sólido, líquido e gasoso. Cada estado tem-se os posicionamentos das moléculas de forma diferentes, e que são definidos de acordo com a pressão, temperatura e sobretudo, pelas forças que atuam nas moléculas. Falando de uma forma geral, o estado da matéria depende da quantidade de energia armazenada em si. E o plasma é obtido através de superaquecimento de gases e o mesmo representa o estado onde o gás encontra-se ionizado (MORHENA, 2018).

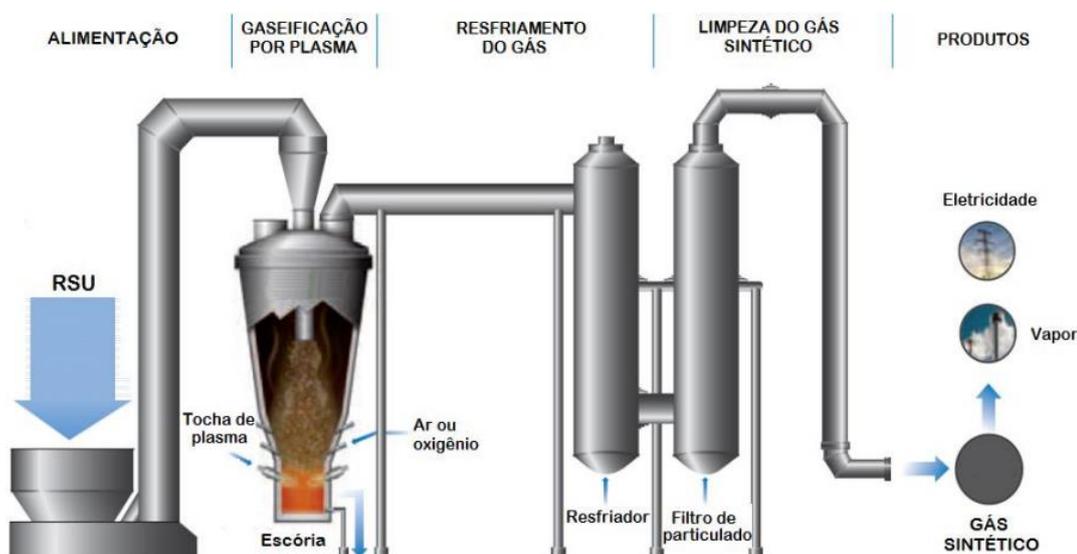
A definição de plasma é oriundo dos campos de conhecimento da química e da física. De acordo com essas disciplinas científicas, o plasma é o quarto estado da matéria, sendo similar a um gás, em cujo interior as partículas passam a ser ionizadas.

Segundo Cadorin (2009), o gás produzido exibe características de alta condutividade elétrica, que chega a ser superior aos metais nobres, como cobre e o ouro, internamente mutuo, e por campos eletromagnéticos, possuindo um aspecto neutro por haver densidade eletrônica balanceada entre as cargas positivas.

A essência do plasma é pegar a neutralidade elétrica dentro da reação, ou seja, possuir número suficiente de partículas energizadas balanceadas com as cargas positivas, mudando seu comportamento e suas propriedades elétricas (CASSINI, 2014).

O processo de geração de energia pela Tecnologia de Plasma é ilustrado na Figura 4.7 e funciona da seguinte maneira: inicialmente é imprescindível um sistema bem fechado, e isolado com os resíduos sólidos em questão; em seguida, para que ocorra a conversão do lixo em energia nesse processo, se faz necessário uma grande quantidade de energia inicial para transformar o lixo em plasma. (MORHENA, 2018).

Figura 4.7- Tratamento de Lixo para a geração de energia elétrica a partir da Tecnologia de Plasma



FONTE:IEE USP, 2015.

Segundo Baldissarelli (2012), para que ocorra essa energia inicial, são necessário equipamentos que empreguem a geração do plasma térmico, alguns são: tocha de plasma, descarga de corona, tocha indutiva, catodo oco, descarga em barreira dielétrica, entre inúmeros outros. Existem diversas fontes que são aplicados nesse processo para gerar a energia para a obtenção do plasma térmico, algumas são: corrente contínua, corrente alternada, rádio frequência e micro-ondas.

Logo após o lixo ser transformado em plasma, ocorre a interrupção do fornecimento energético inicial para que os íons gerados produzam gases. Como o lixo é excessivamente heterogêneo, ou seja, é composto de vários materiais oriundo dos mais diversos compostos químicos, teremos então um plasma formado por gás ionizado de vários tipos de elementos químicos. Então, os gases formados nessa etapa irão constituir-se de vários átomos diferentes, capazes, por sua vez, de formar diversos outros gases (UERJ-LAR, 2011).

Os gases produzidos são filtrados e expedido em uma turbina a gás, que essa é está acoplada a um gerador elétrico. Nesse processo ocorrerá a conversão de energia térmica em energia mecânica e em seguida gerando eletricidade. Como o gás que sai dessa turbina ainda possui uma temperatura muito alta, o mesmo irá passar por trocadores de calor onde então aquece a água, transformando-a em vapor para alimentar uma turbina a vapor de água com o

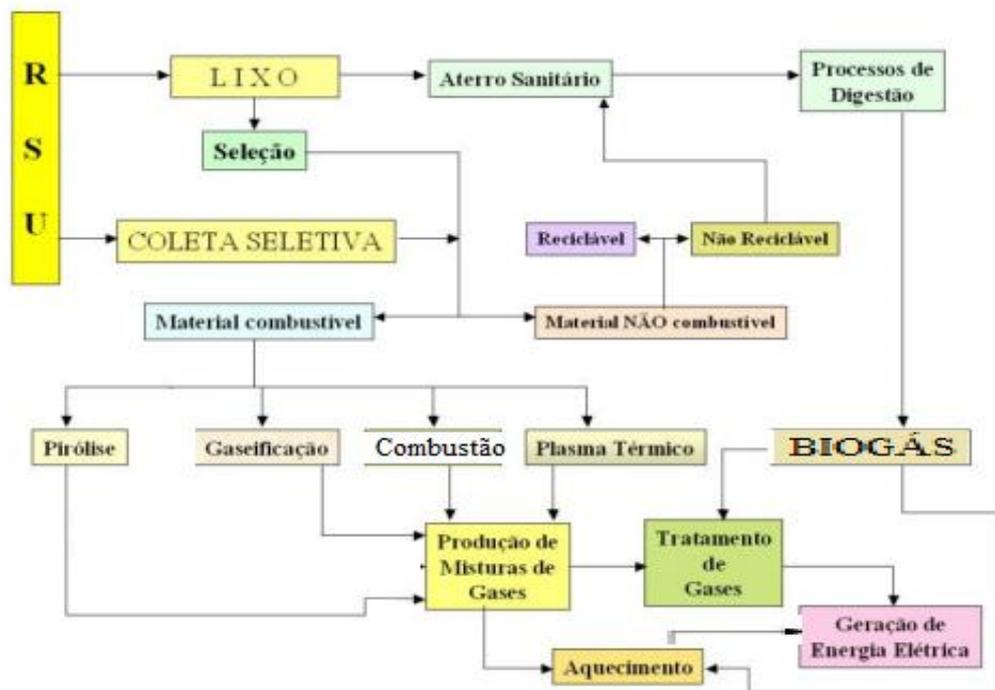
intuito de conversão de energia até a energia elétrica de acordo com o mesmo princípio da turbina a gás (UERJ, 2011).

Para uma análise física, considerando o balanço energético, é muito improvável existir um sistema como este que tenha um resultado positivo de geração de energia, pois observando o processo, é notório que para gerar energia elétrica este sistema irá precisar de uma quantidade de energia muito maior para que seja capaz de atingir o estado de plasma.

Desta forma, a usina de plasma se mostra como uma alternativa como fonte de energia, pois ela é capaz de produzir energia limpa ao mesmo tempo em que reduz o lixo acumulado. Ressalte-se, porém, a existência de certas limitações e desvantagens, o que gera a necessidade de complementar essa tecnologia com outras soluções para assegurar a eficácia no tratamento de resíduos sólidos.

Na Figura 4.8 mostra o diagrama esquemático do aproveitamento energético dos RSU em suas diversas opções de rotas tecnológicas e condicionantes. É possível notar que os RSUs só devem ser destinados aos aterros sanitários na última situação, pois os RSUs podem ser reaproveitados de diversas maneiras.

Figura 4.8- Diagrama esquemático que mostra o panorama acerca do aproveitamento energético dos RSU em suas diversas opções de rotas tecnológicas e condicionantes



FONTE: FURTADO; SERRA, 2009.

5 PANORAMA DAS APLICAÇÕES DAS TECNOLOGIAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Em diversos países como Alemanha, Holanda, Suíça, Japão, Estados Unidos e agora, em grande proporção na China, já possuem Usinas alimentadas por RSUs. Muitas delas já estão em funcionamento desde os anos 80, porém só mais recentemente com tecnologias mais avançadas para que os gases gerados nessas termelétrica não prejudiquem o meio ambiente. Alguma das alternativas foi a aplicação de filtros capazes de reduzir as emissões de poluentes a níveis tão baixos que dificulta a sua medição. A Incineração e a Digestão Anaeróbica são as principais formas implantadas para se produzir energia elétrica com a quase total eliminação do vazamento de matéria orgânica em aterros sanitários.

Com grande demanda, faz-se necessário grandes atitudes. Para algumas empresas, só realizarem a coleta seletiva e a reciclagem não é o suficiente para tratar de todos os seus resíduos. O aproveitamento dos resíduos como fonte de energia é uma solução, porém o custo de todo o processo para gerar energia através do lixo é muito alto, porém o retorno sempre terá resultados positivos, tanto para o meio ambiente, como para a empresa que tomou a iniciativa. Existem diversas usinas implantadas que funcionam com esse método e outras tantas em fase de implantação.

5.1 Gestão de Resíduos Sólidos para Produção de Energia nos Países Desenvolvidos

A tecnologia de incineração dos RSU vêm sendo utilizado mundialmente há vários anos. Atualmente existem mais de 900 usinas em operação, essas usinas são chamadas de Waste-to-Energy (WTE), que significa Energia a partir de Resíduos, e possui uma geração de 130TWh, aproximadamente (LUCKE, 2012). Segundo a Associação Internacional de Resíduos Sólidos (AIRS) em 2012 a Europa já possuía mais de 455 plantas em operação.

Na Tabela 5.1, mostra o levantamento realizado em 2000 por Menezes, onde já estava aplicado diversas usinas de incineração, e que já realizavam a recuperação energética nesse processo.

Tabela 5.1 - Incineração nos países desenvolvidos

PAÍS	População (em milhões)	Produção de Lixo (milh.t/ano)	Número de Incineradores	Recuperação de Energia
SUÍÇA	7	2,9	29	80 % da usinas
JAPÃO	123	44,5	1893	Principais
DINAMARCA	5	2,6	32	100 % da usinas
SUÉCIA	9	2,7	21	100 % da usinas
FRANÇA	56	18,5	100	68 % da usinas
HOLANDA	15	7,1	9	50 % da usinas
ALEMANHA	61	40,5	51	100 % da usinas
ITÁLIA	58	15,6	51	30 % da capac
USA	248	180	168	75 % da usinas
ESPAÑA	38	11,8	21	24 % da usinas
REINO UNIDO	57	35	7	25 % da usinas

Fonte: Adaptada (2018), Menezes, 2000.

Atualmente a campeã mundial de geração de energia através do lixo é a Alemanha, sendo líder nas tecnologias que contribuem com esse processo. Ela já reutiliza praticamente todo o seu lixo em algum processo, e apenas 1 % de todos seus resíduos vão parar em aterros sanitários. Nos dados divulgado pelo órgão de estatística da União Europeia(UE), nos anos de 2000 a 2010 a quantidade de RSUs reduziu em quase 4 milhões de toneladas. Porém não é só a quantidade de lixo que afeta o meio ambiente, mas em priore, o destino que obterão. (EUROTAST, 2016).

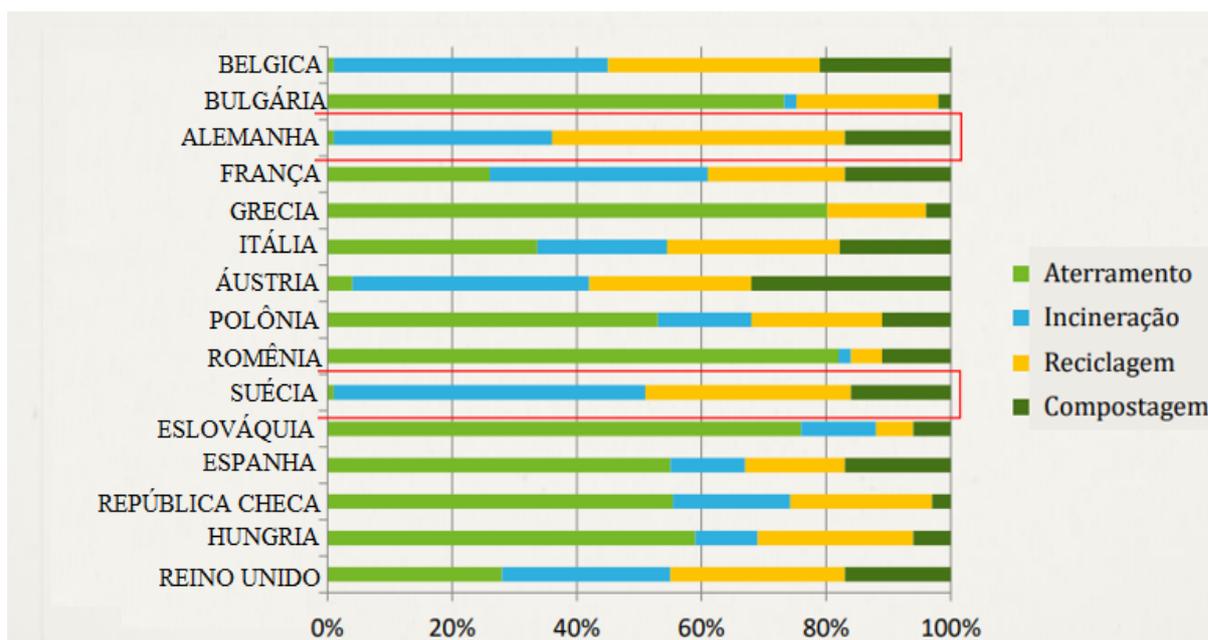
A usina de Bremen na Alemanha funciona desde os anos 60. Hoje o seu sistema funciona com queima dos RSUs para gerar energia, com o princípio básico de funcionamento de uma usina termelétrica que utiliza o lixo como fonte de calor. Por ser uma usina antiga, a usina de Bremen passou por vários processos de renovação para que seus gases tenham bastante eficiência no processo e não prejudiquem o meio ambiente. A usina em 2013 queima em cerca de 550.000 toneladas de RSUs por ano e gera 270 GWh por ano em energia elétrica, fora a energia térmica. Hoje a Usina de Queima de lixo de Bremen é uma das mais modernas do mundo e exemplo de aplicação dessa tecnologia no setor (PRS, 2013).

Em 2016, a Eurostat divulgou a comparação entre os países europeus com melhor resultado em gestão dos resíduos sólidos. Na Figura 5.1 é possível ver que cerca de 65 % de todos os resíduos urbanos foram reciclados na Alemanha, e a quantidade de resíduos que é

destinado a aterros sanitários não chega a 1 %, sendo o restante destinado a incineração para geração de energia. É possível ver também que a Suécia é outro país que se destaca.

Se entre seus vizinhos 38% do lixo acaba em aterros sanitários, na Alemanha a taxa é bem aproximado de zero, graças, em grande parte, ao fato de que 8 em cada 10 quilos do lixo não reaproveitado são incinerados, gerando energia (CRISTIANE, 2017).

Figura 5.1 - Países europeus e sua gestão dos resíduos sólidos



FONTE: Adaptada EUROTAST, 2016.

Os investimentos da Alemanha em fontes alternativas de energia tem uma razão, não é apenas por questões ambientais, mas o governo alemão ratificou em março de 2016 que até 2022 eles iriam desativar todas as usinas nucleares na Alemanha. Esse parecer veio sendo estudado desde a catástrofe que ocorreu em 2011, em Fukushima no Japão, onde ressaltou os riscos da usinas nucleares. Desde a catástrofe, eles mudaram sua postura, das 17 usinas que funcionavam em 2011 na Alemanha, em 2016 apenas 8 seguiam ativas. A ideia é que em 2020 as usinas façam parte apenas da história da Alemanha (EXAME, 2016).

Como citado anteriormente, e mostrado na Figura 5.1, a Suécia também é destaque no tratamento de resíduos sólidos. Por ser um país bem desenvolvido e bem economicamente, a sua geração de lixo é um pouco alta, (que chega a 1,6 kg por dia per capita). Por isso, a gestão de resíduos sólidos vem sendo encarada, há décadas, como prioridade das autoridades.

Um ponto a se observar, é que em 2009 a União Europeia (UE) proibiu os aterros sanitários, dessa forma os países foram pressionados a conseguirem destinos alternativos para o seu lixo, fazendo a maioria investir caro em instalações para transformar lixo em energia e assim conseguir extinguir os aterros com uma melhor alternativa. Sendo assim, após os investimentos altos, acabou ocorrendo uma disputa entre a Suécia e a Noruega para conseguir os resíduos para alimentar seus incineradores. Pois tanto a Noruega quanto a Suécia investiram alto. Dessa forma os dois países vizinhos possuem uma capacidade de incineração enorme, e os consumidores de ambos os países não estão produzindo lixo suficiente. Com essa competição, o lixo se transformou numa mercadoria sujeita às leis do mercado. Gerando assim a importação de lixo da parte da Noruega (PROAMB, 2013).

A Noruega possui uma usina em Klemetsrud que possui uma capacidade de queimar 300 toneladas diariamente, essa usina abastece 60 mil de um total de 340 mil lares em Oslo. Dessa forma, para que a usina continue trabalhando, faz-se necessário uma quantidade de resíduos consideráveis para que a usina funcione eficientemente. E a Suécia tem uma taxa mais barata que a Noruega. Então, a Noruega começou importa lixo de outros países da Europa pois a maioria dos seus lixos estão sendo direcionados a Suécia (PROAMB, 2013).

Tabela 5.2- Quantidade de Usinas de energia elétrica alimentadas por RSUs na Europa

Países	Quantidade de Usinas de RSUs que geram energia na EUROPA	Quantidade de RSUs tratados termicamente (em milhões de toneladas)
Portugal	4	1,4
Espanha	12	2,9
França	126	14,7
Irlanda	1	0,23
Belgica	18	3,4
Luxemburgo	1	0,15
Inglaterra	121	26
Finlandia	9	1,28
Austria	11	2,5
Italia	40	6,11
Suiça	30	3,89
Polônia	1	0,04
República Checa	3	0,66
Países Baixos	12	7,57
Dinamarca	26	3,5
Noruega	17	1,63
Estônia	1	0,22
Lituania	1	0,18

FONTE: EUROTAST, 2015.

Outro país em destaque na gestão de resíduos sólidos é o Japão. O processo de incinerar os resíduos sólidos para o Japão não é uma alternativa, e sim uma necessidade, por falta de espaço para instalações de ater e por enorme quantidade de resíduos produzidos diariamente. Dessa forma, faz-se necessário o processo de incineração para reduzir o volume de lixos. Assim aproveita-se o processo e gera energia através da queima dos materiais. O Japão possui diversas usinas de tratamento de lixo, com tecnologias avançadas. É um país que não possui depósitos de lixo a céu aberto, e sim diversas torres de chaminés que parecem prédio espalhados por todo o território e que fazem parte do processo de incineração na usina de tratamento (GLOBO, 2017).

A pouco tempo, era comum ver lixos eletrônicos como televisores e computadores descartados facilmente e sem destino. Nos últimos 7 anos, o governo do Japão tomou iniciativa para diminuir a montanha de lixo que era gerada e que custava bilhões de dólares para ser incinerada. Atualmente a reciclagem atinge 49% do total de 570 milhões de toneladas de lixo gerada por ano e movimenta 63 bilhões de dólares (JOSE EDUARDO, 2008).

O funcionamento das usinas do Japão se da seguinte maneira: primeiro ocorre a queima que acontece por cerca de uma hora, com uma temperatura equivalente a 1.800 graus centígrados; de um lado, forma-se um gás, que por uma tubulação alimenta uma turbina geradora de energia e desta sai eletricidade para atender o equivalente a 10 mil casas; de outro, o que sobra da tal queima, são resíduos e metais, que são reaproveitados em sua quase totalidade como, por exemplo, para asfaltar ruas (GLOBO, 2017).

Já em São Francisco nos Estados Unidos da América (EUA) o objetivo é zerar até 2020 os aterros sanitários. De início foram adotadas medidas, como a educação ambiental nas escolas e investimentos em pesquisas por novas tecnologias que reutilizem os RSUs de uma forma consciente e adequada.

Em 1987 o aterro sanitário Altamont, situado na Califórnia nos EUA, foi o primeiro a realizar o processo de conversão do biogás e energia elétrica. O aterro é conhecido mundialmente por dar diversos destinos alternativos e ecológicos para o seu lixo, e a atividade de maior reconhecimento é a transformação de lixo domiciliar e industrial em fonte de energia limpa. Esse aterro é de responsabilidade da empresa Waste Management Inc. Com a quantidade certa de compostos necessários para produzir um combustível limpo, as bactérias acabam com os restos orgânicos, papel e grama.

O processo no aterro funciona da seguinte maneira: inicialmente ocorre a decomposição dos resíduos e os mesmos irão gerar gás metano, esse gás será direcionado em tubos que ficam espalhados pelos 96 hectares do terreno, então o metano segue para as Usinas que realizará a transformação em gás liquefeito. No aterro possui milhares de tubos escuros que recebem o gás metano gerado pela enorme quantidade de lixo acumulada, podendo assim gerar 49,4 mil litros de gás liquefeito por dia. Com esse processo, eles conseguem o combustível utilizado para os diversos caminhões do aterro que circulam pela cidade e a energia do lixo gerada é capaz de abastecer oito mil casas anualmente. Essa prática evita que cerca de 30 mil toneladas de CO₂ sejam emitidas por ano na atmosfera.

5.2 Gestão de Resíduos Sólidos para Produção de Energia no Brasil

A aplicação de tecnologias para recuperação dos RSUs é recente no Brasil. Segundo Morgado e Ferreira (2006), os incineradores são usados na maior parte para tratamento de resíduos excepcionais, como por exemplo: resíduo hospitalar, resíduo eletrônico e outros considerados perigosos.

Contudo, foi levantado estudos e visto que a maior parte dos incineradores do Brasil consiste em equipamentos precários e com capacidades bem baixas, e muitos desativados por falta de análise nos filtros para controle dos gases produzidos (UIEDA, 2009).

Entretanto, de acordo com Poletto (2011), se a incineração fizer parte do gerenciamento de RSU, o Brasil poderá gerar uma receita de R\$ 9 bilhões por ano, oriundos da conservação e aproveitamento de energia. Além disso, segundo Morgado e Ferreira (2006), a geração de energia elétrica poderia chegar a 45,44 TWh/ano, considerando a geração diária de 160.000 toneladas de RSU e uma eficiência de 523 Wh/t. Isso demonstra que o processo de recuperação energética por meio da incineração deve ser bem planejado e projetado, a fim de obter a redução na utilização dos recursos naturais e dos custos para o país e, conseqüentemente, para a população brasileira, além de se evitar impactos ambientais referentes às emissões de poluentes (ROSSI, 2014).

A Tabela 5.3. mostra o levantamento de Usinas de geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos implantadas ou em fase de implantação no Brasil. Muitas delas ainda estão em fase de implantação, algumas ainda não foram atualizadas suas informações, pois dados são de 2011.

Tabela 5.3 - Usinas de geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos implantadas ou em fase de implantação no Brasil 2011

NOME	CIDADE	CAPACIDADE INSTALADA (MW)	CONDIÇÃO
Aterro Sanitário Nova Gerar	Nova Iguaçu, RJ	12	Fase de implantação
Aterro Sanitário de Salvador	Salvador, BA	13	Em operação
Aterro Sanitário Marca Ambiental	Caricias, ES	1	Fase de implantação
Aterro Sanitário Lara	Mauá, SP	10	Fase de implantação
Aterro Sanitário Bandeirantes	São Paulo, SP	20	Em operação
Aterro Sanitário São João	São Paulo, SP	22	Em operação
Usina Verde	Rio de Janeiro, RJ	440	Em operação
Aterro Sanitário Tecipar - PROGAT	Santana de Parnaíba, SP	6,5	Fase de implantação
Termoverde Caieiras	Caieiras, SP	70	Em operação
Recuperação Energética (URE)	Barueri, SP	17,5	Fase de Implantação
Aterro Dois Arcos	Rio de Janeiro, RJ	4	Fase de Implantação
Usina em Boa Esperança	Boa Esperança, MG	-	Fase de implantação

FONTE: Adaptada (2018) PAVAN, 2011.

Algumas das Usinas que mais se destacam nessa lista vão ser citadas a seguir, como por exemplo, a Usina Verde, que foi a pioneira no Brasil, no avanço das tecnologias para Usinas de Recuperação Energética (URE) de resíduos sólidos. Sendo destaque de patentes que estão ligadas ao processo de incineração de resíduos e tratamento de gases de combustão registradas no Brasil e no exterior (PAVAN, 2011).

A Secretaria de Energia e Mineração do Governo de São Paulo publicou em setembro de 2016 sobre a maior termelétrica movida a biogás de RSUs do Brasil, em São Paulo. A termelétrica possui uma potência instalada de 25 MW e teve um investimento alto de R\$ 100 milhões. O combustível utilizado no processo de geração de energia é o gás metano gerado no aterro sanitário Essencis. A geração de energia a partir do metano é uma forma sustentável de valorização dos gases, além de gerar créditos de carbono. A usina foi construída em uma área de 15 mil metros quadrados e teve autorização da Aneel para iniciar a operação em julho de 2016. Como contrapartida ambiental, a Termoverde Caieiras realizou a preservação da vegetação e da fauna local, a manutenção da topografia existente, a não geração de odores e a isenção de riscos de poluição de mananciais e da atmosfera.

“A primeira coisa que o homem produz no ambiente urbano é lixo e uma das principais necessidades do ser humano nos dias atuais é a energia elétrica. Além de dar segurança energética ao centro de carga do país, essa Usina realiza um dos principais desafios do mundo moderno, que é transformar resíduos urbanos em energia elétrica limpa” (MEIRELLES, 2016).

Outra usina que está sendo instalada no Brasil é uma situada no sul de Minas, em Boa Esperança. Segundo Furnas, a energia será gerada por meio de um processo que vai utilizar a gaseificação a leito fluidizado, uma tecnologia 100% nacional, que emite menos poluentes que outros processos já existentes.

Com a instalação da Usina, todo o lixo depositado no aterro sanitário da cidade e os novos resíduos que forem recolhidos no município servirão de combustível para a geração de energia elétrica. A usina deverá ocupar uma área de 7,8 mil metros quadrados, que foi cedida pela Prefeitura. O custo total do projeto é de R\$ 32 milhões e a previsão é que ela seja entregue ainda neste ano e comece a operar em até 18 meses.

Esse ano, em 2018 foi dado início as obras da usina. O processo dela se dá em um reator a 850 ° C, onde quimicamente é retirado a energia contida em um gás. Esse gás vai entrar numa caldeira, gerar vapor não poluente e irar gerar energia elétrica em uma turbina a vapor. Até chegar nesse processo, tem-se etapas: trituração, armazenamento, transformação e aquecimento. A usina tem a promessa de atender 25 % da necessidade energética do município com a queima de pelo menos a maior parte das 40 toneladas de lixo gerados diariamente na região (OTEMPO, 2018).

Há muita desinformação. Quando se fala em combustão de resíduos, já aparecem ONGS de proteção ao ambiente ou a catadores que têm causas políticas. Essa é a tecnologia mais segura de queima de qualquer combustível para geração de energia. Ignorância, despreparo do empresariado e um Estado que não fomenta esse tipo de geração de energia. Já foi comprovado que países com esse tipo de tecnologia são os que mais reciclam. Os que menos reciclam são os que não adotam a tecnologia (SINDICIC, USP, 2017).

O Brasil ainda caminha a passos lentos quando se fala no assunto de geração de energia através do lixo, em comparação aos países da Europa, Estados Unidos e Japão. O Brasil gera resíduos sólidos em enorme quantidade, mas não possui investimentos que aproveitem esses resíduos de forma positiva,

como por exemplo, fonte de energia. A Tabela 5.4 mostra o quanto o Brasil gasta com a coleta de seus resíduos. Esse gasto se direcionado corretamente, poderia ter um rendimento melhor.

Tabela 5.4- Recursos aplicados na coleta dos RSUs no Brasil

REGIÃO	2015	2016
	Recursos aplicados na Coleta de RSUs Total (R\$ milhões/ano)/ Per capita (R\$/mês)	Recursos aplicados na Coleta de RSUs Total (R\$ milhões/ano)/ Per capita (R\$/mês)
Norte	685/3,28	680/3,19
Nordeste	2.152/3,17	2,120/3,10
Centro-Oeste	587/3,17	582/3,10
Sudeste	5,117/4,97	5,103/4,92
Sul	1,286/3,67	1.274/3,61
Brasil	9,827/4,00	9.759/3,95

Fonte: ABRELPE, 2016.

No Capítulo 2 foi levantado dados divulgados pela ABRELPE com as características dos resíduo gerados e coletados no Brasil (FIGURA 2.5). Temos também como dados a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) onde fornece dados que permitem conhecimento detalhado sobre questão dos resíduos sólidos em todos os municípios brasileiros e o PCI da cada material. Na Tabela 5.5 mostra o potencial que poderia ser recuperado dos RSUs a partir da sua composição.

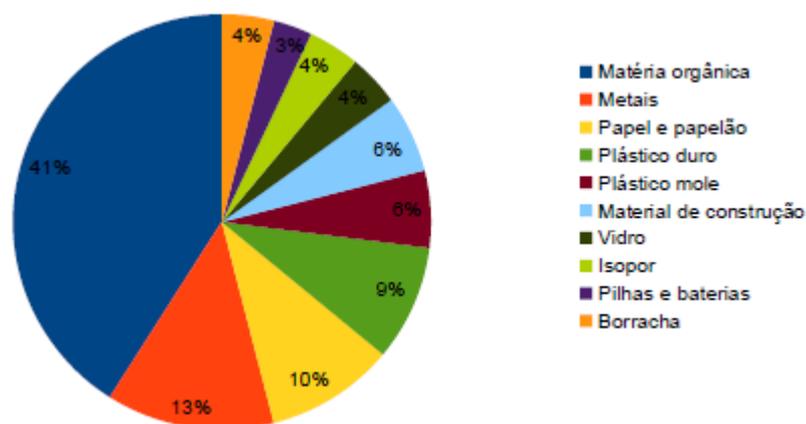
Tabela 5.5 – Potencial Energético dos RSUs do Brasil

MATERIAL	PCI (kcal/kg)	RSUs no Brasil (kg/dia)	kcal/h	Potencia (W)
Matéria Orgânica	0,71	99.680.520,00	2.957.188,76	1.814.226,23
Plásticos	8,19	27.363.280,00	9.341.139,71	5.730.760,56
Papel e Papelão	2,73	25.408.760,00	2.889.187,75	1.772.507,82
Têxteis e Couro	1,92	13.681.640,00	1.095.101,27	671.841,27
Madeira	2,49	11.727.120,00	1.216.688,70	746.434,79
Borracha	8,63	7.818.080,00	2.812.228,53	1.725.293,57
Total			20.311.534,72	12.461.064,24

FONTE: Próprio Autor, 2018; PNSB, 2015.

Para tornar a análise mais completa, foi levantado uma pesquisa na cidade de Sobral, e analisado os dados que foram disponibilizados pela prefeitura municipal.

Figura 5.2 - Composição dos Resíduos Sólidos Do Município De Sobral



FONTE: Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Sobral (2015).

Segue na Tabela 3 com os dados do relatório dos resíduos encontrados no aterro sanitário em Sobral. A prefeitura da cidade afirma que o depósito de lixo em Sobral é um aterro, mas se for visto regularmente, o “aterro” não é apropriado. Conforme a identificação da Sema, dos 184 municípios do Ceará, apenas 5 possuem aterro realmente legalizados (Fortaleza, Caucaia, Aquiraz, Mauriti e Brejo Santo), e Sobral não está entre elas. Segue na tabela 5.6 o potencial energético dos RSUs se fossem recuperados corretamente.

Tabela 5.6 - Potencial Energético dos RSUs em Sobral-Ce

MATERIAL	PCI (kcal/kg)	RSUs no Brasil (kg/dia)	kcal/h	Potencia (W)
Materia Orgânica	0,71	124.378,80	3.689,90	2.263,75
Plásticos	8,19	30.336,30	10.356,05	6.353,41
Papel e Papelão	2,73	30.336,30	3.449,49	2.116,25
Têxteis e Couro	1,92	-	-	-
Madeira	2,49	18.201,78	1.888,43	1.158,55
Borracha	8,63	12.134,52	4.364,89	2.677,85
Total			23.748,77	14.569,80

FONTE: Adaptado, Relatório mensal do aterro em Sobral-Ce, 2017.

De acordo com Hauser e Maranhão (2006), afirmam que 200 t/dia da fração orgânica dos RSU já possibilita a possível implantação de uma usina com capacidade de 2 MW de potência, capaz de suprir a demanda de 20 mil habitantes. Já de acordo com Menezes e colaboradores (2000), a geração de energia elétrica se torna viável em instalações com capacidades de processamento acima de 250 t/dia, sendo que abaixo dessa capacidade a energia é aproveitada apenas para uso próprio da usina.

Segundo Borowski e Silveira (2003), o transporte e a centralização da incineração dos resíduos de todo um conjunto de municípios se torna uma alternativa para a viabilização técnica e econômica do processo, considerando-se os custos envolvidos.

O tratamento dos RSUs não é uma opção, e sim uma necessidade. Usar os RSUs para geração de energia é uma solução tanto econômica, como ambiental, e social. Pois desta forma poderia erradicar a opção dos lixões serem o destino dos resíduos. Passaria a aproveitar esses resíduos que estariam prejudicando ao meio ambiente, e recuperar como fonte de energia elétrica através de diversas tecnologias.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de um país está diretamente relacionado ao aumento do consumo energético e, conseqüentemente, ao crescimento da geração de lixo urbano por habitante. O lixo se torna problema quando a capacidade de tratamento adequado é ultrapassada, ou seja, produzir lixo além da capacidade de tratamento se torna condição insustentável.

O presente trabalho tinha o objetivo de elaborar uma revisão da literatura sobre as tecnologias de geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos (RSUs). Desta forma, sugerir diretrizes que possam ser aplicadas no Brasil.

É notável que a produção de energia através dos RSUs já é uma realidade bastante usual em diversos países de todo o mundo, mas não no Brasil. Para que esta realidade seja aplicada, precisa-se tomar atitudes iniciais. O adequado seria tentar mudar primeiramente esse cenário atual da gestão dos resíduos no país, dando um destino final correto para os RSUs. Um resíduo tem bastante o que se aproveitar antes de ser descartado. O processo de descarte dos RSUs se da seguinte forma: primeiro necessita reutilizar; se não for possível, reciclar; logo após, tratar, e por último disposição final (aterros sanitários).

É interessante ressaltar as tecnologias que podem ser aplicadas para que o processo de geração de energia a partir dos RSUs seja possível. O principal método e mais comum de ser utilizado é a incineração; outra tecnologia aplicada, é a tecnologia química, a digestão anaeróbica, essa tecnologia é interessante pois nela podemos aproveitar os aterros já existentes, e coletar o metano e realizar o processo de conversão de energia mecânica em elétrica.

A implantação das tecnologias para a produção de energia elétrica a partir dos RSUs seria uma solução para acabar com os lixões, porém por falta de incentivo político, essas implantações acabam sendo caras e não possuem um rendimento econômico, e isso acaba não atraindo as indústrias privadas. Outro obstáculo é na questão ambiental, no que diz respeito do licenciamento, pois os procedimentos que estão ligados aos RSUs não são bem aceitos. Para criar um novo aterro, é necessário uma seleção de áreas adequadas para a instalação e que estão cada vez mais difíceis, legalmente.

Uma das principais conclusões deste trabalho, é que o Brasil tem sim potencial para gerar energia a partir dos RSUs, mas não tem infraestrutura economicamente para pôr em prática. Existem ainda bastante gargalos e barreiras que o Brasil precisa ultrapassar para se tornar um país que aproveite o lixo para gerar energia. Algumas soluções para esses problemas

seriam: simplificar o sistema de licenciamento ambiental, incentivos fiscais, uma melhor gestão ambiental e incentivos econômicos (linhas de créditos em bancos).

Por fim vale ressaltar que a recuperação energética dos RSUs já é uma realidade concreta em vários cantos do mundo, e no Brasil já se mostra tentando aplicar essas tecnologias no país. E em destaque, tem-se que estar expressamente prevista nas disposições da PNRS como uma das alternativas de destinação ambientalmente adequada de resíduos, a recuperação energética pode trazer alguns resultados adicionais quando colocada em prática.

O tratamento dos RSUs não é uma opção, e sim uma necessidade. Usar os RSUs para geração de energia é uma solução tanto econômica, como ambiental, e social. Pois desta forma poderia erradicar a opção dos lixões serem o destino dos resíduos. Passaria a aproveitar esses resíduos que estariam prejudicando ao meio ambiente, e recupera-los como fonte de energia elétrica, ajudando a complementar a matriz energética.

REFERÊNCIAS

- ABREU, F. V.; FILHO, M. A. F.; SOUZA, M. C. L. **Biogás de aterros sanitários para geração de energia renovável e limpa - um estudo de viabilidade técnica e econômica.** PPG-EM/UERJ, 2010.
- ADI. **Soluções de Tratamento de Efluentes e Valorização Energética de Resíduos.** ADI Systems Inc, 2016.
- ARDILA, Y. C. **Gaseificação da Biomassa para a Produção de Gás de Síntese e Posterior Fermentação para Bioetanol.** UNICAMP, 2015.
- ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil.** São Paulo: ABRELPE, 2016.
Disponível em: < http://www.abrelpe.org.br/panorama_apresentacao.cfm> Acessado em: 15/04/2018.
- Baldochi, V.M.Z. **Resíduos Sólidos Urbanos: aspectos básicos das transformações de compostos orgânicos em sistemas anaeróbios mesofílicos com elevada concentração de sólidos totais.** Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1997.
- BARTHOLOMEU, D. B. **Logística ambiental: de resíduos sólidos.** São Paulo: Atlas S.A., 2011. 250 p.
- BERNI, M. D.; BAYJAY, S. V. **Geração de energia e a digestão anaeróbica no tratamento de efluentes: estudo-de-caso na indústria de papel.** Unicamp, 2003.
- BORGES, A. C. P.; SILVA, M. S.; ALVES, C. T.; TORRES, E. A. **Energias renováveis: uma contextualização da biomassa como fonte de energia.** Revista eletrônica do PRODEMA, UFC, 2016. Disponível em: <http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/239> Acessado em: 07/04/2018.

CARTA. Noruega e Suécia disputam lixo para gerar energia. Carta, ideias em tempo real, 2015. Disponível em: <https://www.cartacapital.com.br/internacional/noruega-e-suecia-disputam-lixo-para-gerar-energia-387.html> Acessado em: 21/03/2018.

CONCELHO FEDERAL DE ADMINISTRAÇÃO. 1559 cidades ainda possuem lixo no Brasil. Disponível em: <http://cfa.org.br/sem-categoria/2017/1559-cidades-ainda-possuem-lixao-no-brasil/> Acessado em: 02/05/2018.

DINSMORE, N. Anaerobic treatment allows viable handling of bleached CTMP Effluent. Pulp and Paper, 1989.

ECYCLE. China terá maior usina de geração de energia via biomassa do mundo até 2020. Ecycle, sua pegada mais leve, 2016. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/component/content/article/37-tecnologia-a-favor/4265-maior-usina-de-lixo-sera-inaugurada-em-2020.html> Acessado em: 30/05/2018

ECYCLE. Suécia decide importar lixo para suprir demanda energética de usinas de incineração. Ecycle, sua pegada mais leve, 2016. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/component/content/article/38-no-mundo/1137-suecia-decide-importar-lixo-para-suprir-demanda-energetica.html> Acessado em: 30/05/2018

ELLO SUSTENTAVEL. Usinas de tratamento de resíduos sólidos com geração de energia limpa. Ello Sustentavel: união pela vida, 2013. Disponível em: <http://www.ellosustentavel.com.br/produtos/usinas-para-tratamento-de-residuos-solidos> Acessado em: 01/06/2018.

ESTADAO. Usina transforma lixo em energia elétrica no interior de SP, 2014. Disponível em: <https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,usina-transforma-lixo-em-energia-eletrica-no-interior-de-sp,1543818> Acessado em: 24/04/2018.

FIGUEIREDO, P. J. M. A sociedade do lixo: os resíduos, a questão energética e a crise ambiental. 2ª Edição. UNIMEP: Piracicaba, 1994.

FRADERICK, W. J., Energy and materials recovery from recycled paper sludge,

TAPPI JOURNAL, Vol. 79, p. 123-131, 1996.

FOGAÇA, J. R. V. **Combustíveis renováveis por meio da Pirólise**. Brasil Escola. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/combustiveis-renovaveis-por-meio-pirolise.htm>>. Acesso em 10 de junho de 2018.

GEBRA, D. **Desempenho de um reator aeróbio de leito fluidizado no tratamento de esgoto sanitário**. Tese de Doutorado da Escola Politécnica da USP, 2006.

GLOBO. **Tratamento de lixo no Japão é exemplo de cuidado com o ambiente**. Globo, mar 2017. Disponível em: < <http://g1.globo.com/bom-dia-brasil/noticia/2017/03/tratamento-de-lixo-no-japao-e-exemplo-de-cuidado-com-o-ambiente.html>> Acessado em: 18/04/2018.

GLOBO. **Sul de Minas terá 1ª usina do país com geração de energia elétrica a partir do lixo**. Globo, abr 2017. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/sul-de-minas/noticia/sul-de-minas-tera-1-usina-do-pais-com-geracao-de-energia-eletrica-a-partir-do-lixo.ghtml>> Acessado em 22/04/2018.

HASSANPOUR, M. **Plasma Technology and Waste Management**. Department of Environmental Science, UCS, 2017.

HENRIQUES, R. M. **Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: Uma abordagem Tecnológica**. Disponível em: http://observatorioambiental.iff.edu.br/publicacoes/publicacoes-cientificas/lixo_tese.pdf. Acesso em: 21/05/2018.

ISWA. **Roteiro para Encerramento de Lixões Os lugares mais poluídos do mundo**. Panorama abrelpe 40 anos. Ficha Técnica da Edição em Português (Brasil, 2017). Disponível em: < http://www.abrelpe.org.br/Panorama/iswa_web3.pdf > Acessado em 24/04/2018.

ITÔ, L. C. M. **Geração de Energia Elétrica a partir de Resíduos Sólidos Urbanos**. TCC apresentado a Escola de Engenharia de São Carlos da USP, 2014.

LOPES, A. L. B.; AZEVEDO, A. C. S.; OLIVEIRA, C. R.; LEROY, L. M. J. **Estado da arte do tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica.** Fundação Estadual do Meio Ambiente Engenharia S/S Ltda. 2ª Edição, 2010.

MAFFIOLETTI, J.; MOTA, J. N. **Geração de energia elétrica com uso de casca de arroz.** Revista brasileira de energia vol 19, 2013.

MMA. **Política nacional dos resíduos sólidos.**

Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/pol%C3%ADtica-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos>> Acessado em: 15/04/2018

MME. **Balanco Energético Mundial 2017.** Ministério de Minas e Energia, 2017.

Disponível em:<<https://ben.epe.gov.br/>> Acessado em: 10/03/2018.

MME. **Biomassa é a segunda maior fonte de energia em 2016.** Publicado em 2017.

Disponível em: < http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/biomassa-e-a-segunda-maior-fonte-de-energia-em-2016 > Acessado em: 10/04/2018

MORHENA. **Usina de plasma: veja como a tecnologia transforma lixo em energia.**

Disponível em: <<http://blog.morhena.com.br/usina-de-plasma-veja-como-a-tecnologia-transforma-lixo-em-energia/>>. Acessado em: 08/05/2018.

NALINI, J. E. **Mercado de reciclagem do lixo no brasil: entraves e desenvolvimento.** PUC-SP, São Paulo, 2018.

OLIVEIRA, L.B. **Potencial de aproveitamento energético de lixo e de biodiesel de insumos residuais no Brasil.** UFRJ, set de 2004.

PAVAN, M. C. O. **Geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos: Avaliação e diretrizes para tecnologias potencialmente aplicáveis no brasil.** Universidade de São Paulo, 2016.

PRÉ-UNIVESP. **Lixo e Energia.** Revista Pré Univesp, 2017.

Disponível em: < <http://pre.univesp.br/lixo-e-energia#.WxihSUGvzIU>> Acessado em: 30/03/2018.

PRS. A usina que queima lixo na alemanha. Portal dos Resíduos Sólidos, 2013.

Disponível em: < <https://portalresiduossolidos.com/a-usina-de-queima-de-lixo-de-bremen-na-alemanha/>> Acessado em: 30/05/2018

RAUBER, D.; FUGII, G. M.; NASCIMENTO, D. E.; SILVA, C. L. Indicadores da gestão dos resíduos sólidos e saneamento básico presentes no plano municipal de saúde de Curitiba 2014-2017. Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, 2017.

RBS TV. Projeto em Mafra, SC, transforma lixo em energia elétrica. Globo, Santa Catarina, 2017

Disponível em: <<https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/projeto-em-mafra-sc-transforma-lixo-em-energia-eletrica.ghhtml>> Acessado em: 10/05/2018.

REIS, L. B. R. Geração de energia elétrica. Editora MANOLE, 2ª edição, Cap 1 e 3, 2011.

RIBEIRO, S.G. geração de energia elétrica com resíduos sólidos urbanos - usinas “waste-to-energy” (wte). WTERT – Brasil.

ROCHA, S. M.; LUSTOSA, K. B.; ROCHA, R. R. C. Política brasileira de resíduos sólidos: reflexões sobre a geração de resíduos e sua gestão no município de Palmas-TO. Revista ESMAT 13, 2017.

RSA. Recuperação Energética. Resíduos Sólidos de Alagoas. Disponível em: <<http://www.residuossolidos.al.gov.br/sistemas/recuperacao-energetica>> Acessado em: 25/03/2018.

SEM. Maior termelétrica movida a biogás de resíduos sólidos urbanos do Brasil é inaugurada no Estado de São Paulo. Secretaria de Energia e Mineração, 2016.

Disponível em: <<http://www.energia.sp.gov.br/2016/09/maior-termeletrica-movida-biogas-de-residuos-solidos-urbanos-do-brasil-e-inaugurada-no-estado-de-sao-paulo/>>Acessado em: 20/05/2018.

SOSMA. As cores da reciclagem. SOS Mata Atlântica, 2015.

Disponível em:<<https://www.sosma.org.br/blog/cores-da-reciclagem/>> Acessado em 30/04/2018.

SOUZAA, M. F. **Tratamento de resíduos sólidos urbanos com recuperação energética por meio da tecnologia de plasma- Estudo de caso para a região de Taubaté.** USP, Instituto de Energia e Ambiente, 2014.

TOCCHETTO, M. R. L. **Gerenciamento de resíduos sólidos industriais.** Universidade Federal de Santa Maria, departamento de química, 2005.

VICHI, F. M.; MANSOR, M. T. C. **Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial.** Universidade de São Paulo, 2009.