

III-212 - TECNOLOGIAS PARA O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Sara Rachel Orsi Moretto⁽¹⁾

Bacharel em Física pela PUC-SP. Mestre em Eletrônica e Telecomunicações/Materiais pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Professora Adjunta da Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR.

João Carlos Fernandes⁽²⁾

Engenheiro Civil pela UFPR. Especialista em Engenharia Hidráulica/Obras Hidráulicas pela UFPR. Gerente Técnico do Consórcio Intermunicipal para Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos da Região Metropolitana de Curitiba.

Endereço⁽¹⁾: UTFPR. Av. Sete de Setembro 3165 – Centro - Curitiba – PR – CEP: 80230-901 – Brasil – Tel: 55 (41) 3310-4667- e-mail: rachel@utfpr.edu.br

RESUMO

O objetivo deste estudo foi levantar as principais tecnologias disponíveis, que buscam minimizar a disposição de resíduos, bem como obter receitas através da recuperação energética destes resíduos e seus coprodutos. Desta forma, foi realizada uma descrição das tecnologias de incineração, CDR – combustível derivado do resíduo, pirólise, gaseificação e digestão anaeróbia, comumente chamadas tecnologias Waste to Energy (WtE).

Pode-se constatar que a energia recuperada nestes processos ocorre frequentemente nas formas térmica, elétrica, térmica e elétrica, ou biocombustível. A recuperação de matéria prima pode ocorrer através da clinquerização, que permite a incorporação das cinzas e dos metais existentes no resíduo, e através do lodo gerado nos reatores, no processo de digestão anaeróbia, que pode ser utilizado como biofertilizante. Embora estas tecnologias tragam uma série de vantagens, a operação destas plantas deve estar de acordo com as legislações ambientais vigentes, pois todas possuem, em maior ou menor grau, um potencial poluidor. Constatou-se também a importância da reciclagem, uma vez que esta contribui para reduzir a demanda de fontes naturais de matéria-prima, e também a demanda de energia. Tecnologias WtE não devem competir com a redução de resíduos, com a reutilização e reciclagem de materiais. O WtE é uma tecnologia complementar para o tratamento das frações residuais não recicláveis de RSU.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos sólidos urbanos, recuperação energética, waste to energy.

INTRODUÇÃO

O Art. 9º da lei 12305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, define a ordem de prioridade na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos como “não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”. Em seu parágrafo primeiro define que “Poderão ser utilizadas tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental e com a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental”. A Lei estabelece uma diferenciação entre resíduo e rejeito num claro estímulo ao reaproveitamento e reciclagem dos materiais. A disposição final é admitida apenas para os rejeitos.

O encerramento dos lixões, previsto para agosto de 2014 (Art. 54º da lei 12305/2010), ainda não aconteceu em boa parte dos municípios brasileiros. Os prefeitos têm trabalhado pela aprovação do projeto de Lei 2289/15, que prorroga para 2021 o prazo para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Implantar soluções adequadas e economicamente viáveis, não depende apenas de lei, depende de condições efetivas para a sua implantação. Os gestores municipais informam que não tem condições de realizar esta adequação sem o apoio de outras esferas de governo, especialmente pela falta de recursos.

Constata-se atualmente que os serviços de coleta tem ampla cobertura, carecendo de eficiência, e que a disposição evolui para uma solução tecnológica de aterro sanitário, dominada pelo mercado local, com custos e riscos de investimentos mais baixos. O mercado brasileiro ainda não percebeu ou ainda não confia na

capacidade de geração de receitas, através do aproveitamento dos resíduos, que possibilitem investimentos de maior custo e de maior retorno. Diversos organismos vêm estudando o mercado local, com objetivo de verificar a viabilidade de tecnologias de aproveitamento dos RSU.

Segundo EPE (2014), a partir da criação das leis federais que instituem a Política Nacional de Saneamento Básico (lei 11445/2007), a Política Nacional sobre Mudança do Clima (lei 12187/2009) e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (lei 12305/2010), os municípios, estados e união passam a ter prazo para a universalização do serviço de saneamento, e passam a ter restrições quanto ao tipo de destinação dos resíduos e às emissões de gases efeito estufa, decorrentes do tipo de destinação adotada. Conforme EPE (2014), a construção de novos aterros, solução tradicional à substituição dos lixões em fase de encerramento, transfere o problema para alguns anos à frente sem efetivamente enfrentá-lo. Esta situação tem motivado a discussão sobre a aplicação de tecnologias que reduzam a quantidade de lixo a ser disposto e ainda permitam benefícios adicionais, como a obtenção de receitas pela comercialização de produtos gerados, como energia elétrica, térmica, biocombustíveis, adubos naturais ou cinzas para a construção civil.

Conforme MARIANE e SOUSA (2017), o crescimento constante do biogás no Brasil resulta de uma série de políticas e iniciativas ligadas direta ou indiretamente ao setor, como a seguir:

- * Política Nacional de Resíduos Sólidos (lei 12305/2010).

- * Resolução Normativa 687/2015 que modifica a Resolução Normativa 482/2012, pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL: estabelece os critérios gerais para o acesso a micro e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, e compensação de energia elétrica.

- * Resolução 8/2015 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP: aplica-se ao biometano, oriundo de produtos e resíduos orgânicos agrossilvopastoris e comerciais, destinado ao uso veicular (GNV) e às instalações residenciais e comerciais.

- * Leilão A-5 ANEEL (abril/2016): pela primeira vez um projeto de biogás venceu um leilão de geração de energia, Leilão A-5. (Raízen, 20,8 MW, R\$251/MWh, efluentes da indústria da cana de açúcar).

- * Lei 13576/2017 ou Renovabio - Política Nacional de Biocombustíveis: Programa do Ministério de Minas e Energia - MME. Lançado para expandir a produção de biocombustíveis no Brasil. O biometano é um dos combustíveis a ser fomentado.

- * Resolução 685/2017 ANP: estabelece regras de controle da qualidade e as especificações do biometano oriundo de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto, destinado ao uso veicular e às instalações residenciais, industriais e comerciais.

- * Resolução SMA 38/2017 da Secretaria de Estado do Meio Ambiente de São Paulo, estabelece diretrizes e condições para o licenciamento e a operação da atividade de recuperação de energia proveniente do uso de Combustível Derivado de Resíduos Sólidos Urbanos – CDRU em Fornos de Produção de Clínquer. Ainda não há normatização dos padrões de CDR em nível federal.

Destacam-se também algumas ações da iniciativa privada, sociedade civil e organizações de pesquisa, desenvolvimento e inovação, como abaixo (MARIANE; SOUSA, 2017):

- * Associação Brasileira do Biogás e Biometano - Abiogás. Fundada em 2013, compreende companhias e instituições públicas e privadas que operam em diferentes segmentos da cadeia de biogás.

- * CIBiogás – ER. Estabelecido em 2013, é uma instituição de pesquisa, desenvolvimento e inovação, com o objetivo de transformar os conhecimentos em biogás em produtos, através do desenvolvimento de novos empreendimentos, e implementações na matriz energética brasileira.

- * PROBIOGAS – Projeto Brasil Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil. O Ministério das Cidades implementou iniciativas com o governo alemão, através da GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit), para a aplicação da energia do biogás no Brasil. Em 2016 este projeto realizou a publicação de diversos estudos, divididos em quatro séries, cada uma agrupando um conjunto de publicações, que contribuem para uma determinada área do conhecimento e/ou de atuação no tema.

Conforme PROBIOGAS (2017), o atendimento às diretrizes e metas da Política Nacional de Resíduos Sólidos, que supõe a modernização do sistema de gestão e tratamento de resíduos, possui claros desafios. O aterro sanitário representa o *status quo* do manejo de RSU em grande parte do mundo, inclusive no Brasil, onde começam a ser implantadas as primeiras instalações modernas para a separação de materiais com valor

agregado e passíveis de aproveitamento. Assim, o intuito principal, para o desenvolvimento de empreendimentos de valorização do RSU, está associado a uma visão de negócio, uma vez que, além da minimização dos resíduos aterrados, resultando no aumento da longevidade dos aterros sanitários, e da recuperação de frações dos resíduos, há expectativa de receitas para atingir a viabilidade econômica e ampliar sua atratividade.

O presente trabalho visa levantar as tecnologias disponíveis, que buscam minimizar a disposição de resíduos, bem como obter receitas através da recuperação energética destes resíduos e seus coprodutos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Será realizada através de pesquisa bibliográfica (LACERDA et al., 2012; WEBSTER; WATSON, 2002) e pesquisa documental/institucional.

RESULTADOS OBTIDOS

A Situação dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil

Segundo ABRELPE (2017), em 2017, a geração de RSU no Brasil foi de 78,4 milhões de toneladas, evidenciando um aumento de cerca de 1% em relação ao ano de 2016, mesmo avanço observado no produto Interno Bruto do país. Neste mesmo período, a geração de RSU per capita, 1,035 kg/hab dia, teve um aumento de 0,48%, ao passo que o PIB per capita variou positivamente em 0,2%. A quantidade de RSU coletados em 2017, 71,6 milhões de toneladas, teve um aumento de 1,25% com relação ao ano anterior, resultando num índice de cobertura de coleta de 91,2%, para o país. Os 6,9 milhões de toneladas não coletados tiveram destinação imprópria.

Quanto à disposição final dos RSU coletados, não há avanços com relação aos cenários de 2016, uma vez que 59,1% dos resíduos coletados, cerca de 42,3 milhões de toneladas de RSU, foram dispostos em aterros sanitários, e o restante, 40,9% (cerca de 29 milhões de toneladas), foi despejado em locais inadequados, ou seja, lixões ou aterros controlados, que não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessárias para proteção do meio ambiente contra danos e degradações, com danos diretos à saúde de milhões de pessoas. Esta disposição inadequada ocorreu em 3352 municípios, ou seja, cerca de 60% dos municípios brasileiros (ABRELPE, 2017).

No que diz respeito à coleta seletiva, a pesquisa direta realizada pela ABRELPE estima que 3923 municípios (70,4% dos municípios) apresentam “alguma iniciativa” de coleta seletiva, porém, ressalta que em muitos municípios as atividades não abrangem a totalidade de sua área urbana (ABRELPE, 2017).

Conforme o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS – RS), estima-se que em 2016 foram destinados às unidades de triagem (usinas e galpões de catadores do setor público ou que detêm alguma parceria com este) 1,8 milhões de toneladas de resíduos, e às unidades de compostagem 173.420 toneladas, correspondendo respectivamente a 3,1% e a 0,3% da quantidade total potencialmente coletada (58,9 milhões de toneladas) de resíduos domiciliares e públicos. Deve-se salientar que estas quantidades podem estar subestimadas, uma vez que o percentual de resíduos, cuja destinação apresenta-se como “sem informação”, corresponde a 17,7% da quantidade total potencialmente coletada. Além disso, a maior parte do que é encaminhado às usinas e, principalmente, aos galpões de triagem de catadores não é pesada, sobretudo, por falta de equipamento adequado (balança rodoviária). Nesta avaliação, não se distingue a procedência dos resíduos, ou seja, se os mesmos são oriundos de uma coleta convencional (lixo misturado) ou se oriundos de uma coleta seletiva (BRASIL, 2016).

Para o SNIS – RS, a quantidade total recuperada de recicláveis secos no País, em 2016, foi estimada em 0,95 milhão de toneladas, o que corresponde a 1,62% do total de 58,9 milhões de toneladas de resíduos domiciliares e públicos, potencialmente coletados neste ano. Estes resultados são baseados apenas em dados dos serviços prestados pelo setor público ou das associações de catadores, que detêm alguma parceria com a prefeitura. Não são computados números relativos às entidades privadas do setor (empresas, autônomos, sucateiros, etc.), que

promovem a recuperação de recicláveis de forma independente, sem a interferência do setor público. Quando se admite que a fração de “materiais recicláveis secos” presente no conjunto de resíduos domésticos e públicos seja estimada em 30% (exceto matéria orgânica), o montante de 0,95 milhão de toneladas significa aproximadamente 5,4% do total potencialmente recuperável de recicláveis secos (papel, plástico, metal e vidro). Tal resultado demonstra um estágio bastante primário da reciclagem de “secos” no Brasil (BRASIL, 2016).

Conforme estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos coletados no Brasil, 51,4% correspondem aos resíduos orgânicos, 31,9% correspondem aos resíduos recicláveis (plástico, papel – papelão – tetrapak, metais, vidro) e 16,7% a outros tipos de resíduos (IPEA, 2012).

Com o objetivo de viabilizar a recuperação dos recursos contidos nos materiais descartados e reduzir o envio de resíduos para disposição no solo, a Política Nacional de Resíduos Sólidos obriga a estruturação de sistemas de logística reversa para diversos setores, que vem sendo construídos em conjunto por fabricantes, importadores, comerciantes e distribuidores. Informações de alguns sistemas já estruturados e que possuem dados publicados (embalagens de agrotóxicos e de óleos lubrificantes, pneus e embalagens em geral) demonstram que não houve avanço nas quantidades e índices de recuperação de materiais, que permaneceram estagnados ou apresentaram queda na comparação com o ano anterior, exceto no tocante à recuperação de embalagens, em geral de papel e papelão, cujo índice de recuperação apresentou crescimento de 3%. Esse cenário evidencia que mesmo diante das disposições legais e orientações para que se priorizem ações de reaproveitamento e reciclagem, e a despeito das várias campanhas e movimentos para que materiais recicláveis e reutilizáveis sejam separados na fonte e encaminhados para processos destinados ao seu aproveitamento, os resíduos descartados no país seguem, quase que na totalidade, para unidades de disposição final. Em grande parte isso também é decorrente da falta de conhecimento e engajamento dos cidadãos nesse processo, já que uma participação ativa é de fundamental importância para o sucesso das ações nesse sentido. No entanto, essa realidade ainda parece estar distante, pois conforme os resultados de pesquisa de percepção do cidadão, a respeito de resíduos e reciclagem (IBOPE Inteligência, 2018), 75% dos brasileiros revelaram não separar seus resíduos em casa e menos da metade da população diz saber que alumínio, papel e PET são materiais recicláveis (ABRELPE, 2017).

Tecnologias Waste to Energy

Waste to Energy (WtE) são processos de recuperação de energia dos materiais contidos no lixo, na forma de calor, eletricidade ou combustível, provenientes do processamento do lixo. Atualmente, as tecnologias WtE são consideradas as opções mais adequadas para resolver os problemas relacionados ao lixo. Dentre os diversos processos disponíveis de conversão do lixo, as tecnologias mais frequentemente utilizadas são: (i) conversão térmica (incineração, pirólise, gaseificação, produção de energia através de combustível derivado de resíduo – CDR), (ii) conversão biológica (digestão anaeróbia), e (iii) aterro sanitário, com recuperação do gás (KUMAR; SAMADDER, 2017).

Abaixo será realizada uma breve descrição destas tecnologias, excetuando-se a recuperação energética em aterros sanitários, por se entender que esta tecnologia, além de já ter sido amplamente divulgada, é, praticamente, a única alternativa de recuperação energética, a partir de RSU, implantada em algumas localidades no Brasil.

Incineração

O método de conversão térmica mais antigo utilizado no mundo é a incineração, que corresponde à destruição dos resíduos, através da combustão controlada, em alta temperatura. Como decorrência, pode haver redução de aproximadamente 70% da massa total do resíduo e 90% do volume total do mesmo (TOZLU et al., 2016). A meta principal da incineração é reduzir a massa e o volume dos resíduos, além de torná-los inertes quimicamente, num processo de combustão sem a necessidade de combustível adicional (combustão autotérmica). Consequentemente, ela possibilita a recuperação de energia, minerais e metais provindos dos resíduos (GIZ, 2017).

Ao entrar em contato com oxigênio, as substâncias combustíveis contidas nos resíduos começam a queimar, quando a temperatura de ignição é atingida, o que ocorre entre 850 e 1450°C, e o processo de combustão se dá nas fases sólida e líquida simultaneamente, liberando energia na forma de calor. A incineração trata resíduos domésticos tipicamente misturados e crus, além de certos resíduos industriais e comerciais. É necessário um poder calorífico mínimo dos resíduos para tornar possível a reação térmica em cadeia e a combustão autossuficiente (autotérmica), ou seja, o poder calorífico inferior (PCI) não poderá ser inferior a 7,0 MJ/kg. O PCI dos RSU não segregados, de países em desenvolvimento, costuma ser inferior a este valor, devido ao conteúdo predominantemente orgânico, com muita umidade e um nível significativo de frações inertes, como cinza ou areia (GIZ, 2017). Segundo KUMAR e SAMADDER (2017), para o Banco Mundial, o poder calorífico médio dos RSU deveria ser no mínimo 1700 kcal/kg (7,1 MJ/kg), para uma efetiva operação de incineração, com recuperação energética, ao passo que para a Agência Internacional de Energia (IEA), os valores deveriam ser maiores que 1900 kcal/kg (8,0 MJ/kg), para que a incineração seja viável.

Os gases decorrentes da combustão, após tratamento, são liberados para a atmosfera através duto de exaustão. Estes gases contêm a maior parte da energia disponível na forma de calor, bem como materiais particulados e poluentes gasosos, que precisam ser removidos através de processo de purificação. O calor da combustão poderá ser utilizado para gerar vapor, com as seguintes finalidades: geração de energia elétrica, aquecimento/refrigeração distrital, ou fornecimento de vapor para processos industriais próximos. Plantas que utilizam cogeração de energia, (aquecimento e refrigeração) juntamente com geração de energia elétrica, podem atingir uma eficiência máxima de 80%, enquanto a geração isolada de energia elétrica irá atingir uma eficiência máxima de aproximadamente 20% (GIZ, 2017). Segundo EPE (2014), as principais tecnologias disponíveis com plantas em funcionamento sugerem a escala de 150 t/d (55.000 t/ano), e os sistemas de geração elétrica podem ofertar entre 350 e 600 kWh/t.

Mesmo quando o processo ocorre em condições ideais de combustão, os gases resultantes precisam ser tratados, para que se evitem riscos irreversíveis à saúde da população local e ao meio ambiente. Como exemplos de poluentes nos gases de combustão, têm-se material particulado, ácido clorídrico (HCl), ácido fluorídrico (HF) e dióxido de enxofre (SO₂). Componentes contendo mercúrio, dioxinas ou dióxido de nitrogênio (NO₂) só podem ser removidos através de processos químicos avançados, o que aumenta significativamente os custos do projeto. Desta forma, é essencial que se cumpram normas internacionais de emissões e que o monitoramento e registro das emissões sejam assegurados. O resíduo da incineração (cerca de 25%) ocorre na forma de escória (cinzas de fundo) e cinzas em suspensão. A cinza de fundo é composta por partículas finas que atingem o fundo do incinerador durante a combustão, enquanto a cinza em suspensão se refere a partículas finas nos gases de combustão, que devem ser removidas através de tratamento do gás. Estes resíduos exigem maior atenção, e no caso das cinzas em suspensão perigosas, um local para descarte final seguro. Em alguns casos, a escória pode ser utilizada para a construção viária. A separação prévia de vidros, metais, resíduos da construção civil e cinzas, além de aumentar o poder calorífico do lixo, reduz a quantidade de escória e metais recuperáveis. A separação de resíduos orgânicos de cozinha e jardim aumenta o poder calorífico do lixo, devido à redução da umidade do mesmo. A separação de resíduos perigosos, como baterias e eletrônicos, reduz os esforços para remover os metais pesados tóxicos voláteis, como o mercúrio, das emissões atmosféricas, e também reduz a concentração de poluentes tóxicos na escória e cinzas em suspensão, como o cádmio, chumbo e zinco. A separação de resíduos de PVC reduz a carga de cloro nas emissões, assim como a separação de resíduos volumosos reduz o esforço para fragmentar os resíduos (GIZ, 2017).

CDR – Combustível Derivado de Resíduo

O CDR é produzido pelo preparo de RSU para utilização como combustível, basicamente em fornos de cimento e centrais de energia elétrica (coprocessamento). Após a remoção dos materiais recicláveis e remoção dos materiais não combustíveis, na coleta e/ou centro de triagem, ele passa por um processo de trituração e, posteriormente, por um processo de secagem, para aumentar o poder calorífico do CDR e evitar processos de fermentação. Dependendo da qualidade final desejada para o produto, ele pode passar por um processo de refino, para nova redução de frações indesejáveis, e ser transformado em pellets ou briquetes, para aumentar a densidade de energia, otimizando, o transporte e o armazenamento do mesmo. A produção de CDR requer quantidades significativas de energia para seleção, trituração e secagem. Este processo é energeticamente sustentável desde que o balanço total de energia, da coleta até o destino final dos resíduos, após a sua combustão, seja positivo, e que não produza resíduos contaminados após combustão. O processo de produção

do CDR gera rejeitos que devem ser eliminados. O percentual destes rejeitos varia de 20 a 80%, dependendo da qualidade do resíduo e do tipo de coleta e separação dos mesmos (FADE, 2014).

O coprocessamento corresponde à utilização de resíduos para substituir recursos naturais minerais e/ou combustíveis fósseis, em processos industriais. Ele ocorre, majoritariamente, na indústria de cimento e em usinas termelétricas. Os CDR são normalmente constituídos por frações segregadas de RSU, resíduos comerciais ou industriais, com alto poder calorífico, e baixos teores de cloro, enxofre e metais. O poder calorífico do CDR deve estar em torno de 10 - 15 MJ/kg, para que seja economicamente viável. No caso das cimenteiras, sua aplicação deve ser compatível com o funcionamento contínuo do forno, com a qualidade desejável do produto e com o desempenho ambiental da planta. Também é necessário assegurar sua taxa de alimentação (GIZ, 2017).

A recuperação de energia e materiais propiciada pelo coprocessamento pode contribuir para a redução dos impactos ambientais decorrentes da produção de cimento, que tem um alto consumo de energia e recursos, e causa uma série de emissões atmosféricas. Desta forma, ao se utilizar CDR, as emissões devem ser menores ou iguais às emissões, quando não se faz o uso dos mesmos. A clínquerização a 1,450°C permite a incorporação total das cinzas e a ligação química dos metais ao material do clínquer. A substituição do combustível primário no processo produtivo representa uma recuperação de energia significativamente mais eficiente que em outras tecnologias WtE, atingindo 85 - 95%, a depender das características dos resíduos. A substituição de combustíveis tradicionais por resíduos, nas indústrias cimenteiras na União Europeia, está em torno de 39%. Este índice tem aumentado em países emergentes ou em desenvolvimento, porém, a parcela de RSU ainda é pequena, com relação a outros combustíveis, como pneus usados, resíduos industriais perigosos, lodos de estações de tratamento de esgotos, etc. (GIZ, 2017). Conforme a CIMENTO.ORG, em 2014 foram coprocessados no Brasil 1,12 milhões de toneladas de resíduos na indústria do cimento, sendo 20% substitutos de matérias primas e 80% utilizados como fonte de energia. A substituição térmica decorrente do uso destes combustíveis foi de 8,1% e, entre 2000 e 2014, houve um aumento do uso de resíduos em fornos de cimento, da ordem de 374%.

O coprocessamento de resíduos no Brasil é normatizado pela Resolução CONAMA nº 264/1999, que trata do licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividade de coprocessamento de resíduos. A Resolução CONAMA nº 316/2002 dispõe sobre os procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. Além destas Resoluções, existem diversas normativas estaduais (PROBIOGAS, 2017). A Resolução CONAMA nº 264/1999 não se aplica aos resíduos domiciliares brutos, entre outros. A Resolução SMA nº 38/2017 (São Paulo) estabelece diretrizes e condições para o licenciamento e a operação da atividade de recuperação de energia proveniente do uso de Combustível Derivado de Resíduos Sólidos Urbanos – CDRU em Fornos de Produção de Clínquer.

Pirólise

É um tratamento térmico avançado, que ocorre entre temperaturas de 400 - 800 °C, na ausência de oxigênio, produzindo gás, óleo e carvão. A quantidade e qualidade dos produtos gerados dependem da taxa de aquecimento, temperatura do processo, tempo de residência, composição dos resíduos e do tamanho dos pedaços (partículas) do lixo. Para a boa qualidade dos produtos, a matéria prima deve ser de um tipo específico de resíduo (plástico, pneus, equipamentos eletrônicos, resíduo elétrico, resíduos da madeira, etc.), como no caso dos pneus usados, em que se faz a recuperação de óleo, negro de fumo e gás. Porém, poucos estudos têm reportado sobre a recuperação energética de RSU, utilizando a pirólise em escala comercial. Alguns exemplos bem sucedidos de plantas que geram eletricidade através da pirólise dos RSU: Portugal: planta em Burgau (110t/d); Alemanha: planta em Hamm (275t/d) entre outras; Japão: planta em Toyohashi (295t/d); Reino Unido (22t/d) e França (191t/d) (KUMAR; SAMADDER, 2017).

Gaseificação

É outra tecnologia de conversão térmica, na qual os componentes orgânicos são convertidos em Syngas, em atmosfera controlada em oxigênio e altas temperaturas (800 – 1600 °C). O Syngas é o produto mais importante da gaseificação, que pode ser usado na produção de energia, através da combustão. Ele também pode ser utilizado para produção de produtos químicos e combustíveis líquidos. A maior parte dos estudos em gaseificação esta focada em fluxos homogêneos de combustíveis sólidos (carvão, madeira, etc.) e tipos

específicos de RSU. A gaseificação tem sido utilizada intensamente na indústria do carvão, mas recentemente seu potencial para recuperação energética de RSU tem sido considerado. O Japão tem diversas plantas operando desde 2007, porém funcionam como parte integrante de sistemas complexos de gestão de RSU ou em fluxos específicos de resíduos. Outros países, como EUA, Reino Unido, Itália, Alemanha, Noruega e Islândia, têm utilizado a gaseificação de RSU em processos de pequena escala (KUMAR; SAMADDER, 2017; GIZ, 2017).

A pirólise e a gaseificação são melhores que as outras tecnologias WtE, sob o ponto de vista ambiental (emissões) e eficiência na recuperação energética. Porém, elas devem ainda ser estabelecidas em larga escala no mundo para a recuperação dos RSU, principalmente nos países em desenvolvimento, em que a eficiência dos gaseificadores e sistemas de limpeza de gases são baixas, a composição e tamanho das partículas dos RSU é heterogênea, e o resíduo possui alta umidade. Experiências ao longo dos últimos 40 anos comprovam que além dos desafios técnicos, empresas de pirólise e gaseificação precisam lidar com desafios econômicos que muitas vezes levaram ao encerramento de suas atividades, uma vez que não foi possível obter a receita necessária para cobrir os custos. (KUMAR; SAMADDER, 2017; GIZ, 2017).

Digestão Anaeróbia para o Aproveitamento do Biogás

Digestão anaeróbia pode ser entendida como a conversão da matéria orgânica em dióxido de carbono, metano e lodo digerido, através de bactérias, em um ambiente pobre em oxigênio. Um biodigestor ou reator anaeróbio é utilizado para oferecer as condições necessárias para tal. O processo de biodigestão anaeróbia pode ser dividido em quatro fases: hidrólise, que é o processo onde a matéria orgânica é quebrada em partes menores e mais simples; acidogênese, onde os produtos da hidrólise são convertidos em substratos para metanogênese; acetogênese, que também converte os produtos da acidogênese que não sofrem metanogênese diretamente e, finalmente, a metanogênese, que é a produção de metano por bactérias anaeróbias dos substratos. Esta última etapa (metanogênese), que é a fase mais crítica e mais lenta da biodigestão, é fortemente influenciada pelas condições de operação (temperatura, composição do substrato, taxa de alimentação, tempo de retenção, PH, concentração de amônia entre outros). O gás obtido durante a digestão anaeróbia, biogás, inclui, além do metano (50 – 70%) e do dióxido de carbono (25 – 45%), alguns gases inertes e compostos sulfurosos (EPE, 2014).

O processo de produção industrial de biogás possui as seguintes fases: pré-tratamento; digestão do resíduo, ou seja, a produção bioquímica do biogás; recuperação, tratamento e armazenamento do biogás e; tratamento de resíduos, disposição do lodo da digestão. No pré-tratamento ocorre a separação dos materiais não digeríveis. Os resíduos recebidos pelo digestor vêm normalmente da coleta seletiva ou de um pré-tratamento mecânico. A separação garante a remoção de materiais recicláveis ou indesejáveis, tais como plásticos, vidros, metais e pedras. No caso da coleta seletiva, os materiais recicláveis são separados dos resíduos orgânicos na fonte. A separação mecânica pode ser empregada, caso a coleta seletiva não exista, ou caso ela seja insuficiente (EPE, 2014).

A Digestão Anaeróbia pode ser classificada quanto a Frequência de operação (Alimentação em batelada ou contínua); Faixa de temperatura (Condições psicofílicas, (< 25°C), mesofílicas (35-48°C) e termofílicas (>50°C), sendo que somente as duas últimas são consideradas economicamente viáveis); Tipo de biodigestor (Biodigestores de fluxo contínuo são comuns para matéria prima líquida como resíduos alimentares, águas residuais, lodo industrial de processamento de alimentos, enquanto biodigestores de batelada ou de fluxo não contínuo são usados para matéria prima sólida, que também pode ser diluída para ser usada em biodigestores de fluxo contínuo); Número de estágios (A digestão pode ser de um a múltiplos estágios) (GIZ, 2017).

Resíduos orgânicos domésticos, de mercados ou de jardins são matérias primas adequadas para Digestão Anaeróbia. A codigestão com resíduos agrícolas, lodo de estações de tratamento de águas residuais ou resíduos orgânicos industriais ou comerciais podem aumentar a disponibilidade de matéria prima, o que facilita a viabilidade econômica deste empreendimento. O rendimento do biogás resultante varia consideravelmente com a natureza da matéria prima, entre outras coisas. O biogás pode ser utilizado diretamente como fonte de calor, ou calor e energia elétrica, por meio de uma unidade de cogeração de energia (energia elétrica e calor), após dessulfurização e secagem do mesmo. Outra alternativa é purificar o biogás gerando o biometano, com teor de metano de aproximadamente 98% e que pode ser usado como substituto do gás natural (GIZ, 2017). Conforme

citado anteriormente, a Resolução 685/2017 ANP estabelece regras de controle de qualidade e especificações do biometano, oriundo de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto, para o uso veicular e instalações residenciais, industriais e comerciais.

Além da recuperação de energia provinda da matéria orgânica, a utilização do biogás em substituição aos combustíveis fósseis, reduz a emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera, porém, se os biodigestores estiverem operando inadequadamente, pode haver risco de vazamento de biogás, o que causaria a emissão de metano para a atmosfera (GIZ, 2017). O lodo gerado nos reatores (material digerido), geralmente é direcionado a um sistema de compostagem, visando à estabilização final. Posteriormente, este pode ser submetido a um processo de peneiramento, com a finalidade de remover impróprios de dimensões reduzidas (como fragmentos de plásticos, vidro, etc.) e agregar qualidade ao material, sendo utilizado como biofertilizante (PROBIOGAS, 2017). Entretanto, o uso do material digerido como biofertilizante depende da qualidade da matéria prima, sem contaminação de metais pesados ou patógenos (GIZ, 2017).

Uma vantagem da digestão anaeróbia sobre o aproveitamento do gás de aterro é reduzir a quantidade de resíduos depositados em aterro sanitário. Com isso, estende-se que a vida útil do aterro e a oferta de biogás se regularizam durante este horizonte. A maioria das tecnologias disponíveis e com plantas em funcionamento sugere como escala mínima 100 t/d de fração orgânica. Considerando eficiência de 35% na conversão de energia térmica para energia elétrica, são obtidos entre 120 e 290 kWh elétricos por tonelada de RSU (kWh/t), dependendo do conteúdo energético do lixo (EPE, 2014).

Um dos principais desafios para a operação de digestão anaeróbia em larga escala é garantir o fornecimento regular da fração orgânica de resíduos bem segregados. Porém, em muitos países em desenvolvimento, os resíduos orgânicos estão misturados com plásticos, metais e outros contaminantes, que tendem a comprometer o funcionamento da digestão anaeróbia em larga escala. Consequentemente, há poucos casos de sucesso da utilização da digestão anaeróbia, a partir de RSU, em países em desenvolvimento (GIZ, 2017).

Algumas vantagens e desvantagens quando se faz uso da incineração, CDR, digestão anaeróbia e aterros sanitários, como forma de tratamento dos RSU, podem ser vistas na Tabela 1 (FADE, 2014; DIAS et al., 2016; TOZLU et al., 2016; GIZ, 2017).

Tabela 1: Vantagens e desvantagens quando se faz uso da incineração, CDR, digestão anaeróbia e aterros sanitários, como forma de tratamento dos RSU. Fonte (FADE, 2014; DIAS et al., 2016; TOZLU et al., 2016; GIZ, 2017).

Tecnologia	Vantagens	Desvantagens
Incineração	Necessidade de menor área para a instalação.	Elevados custos de investimento, operação e manutenção.
	Significativa redução de massa e volume dos resíduos.	Mão de obra qualificada para operação e monitoramento da planta.
	Potencial de recuperação de energia superior aos aterros sanitários e digestão anaeróbia.	Inviabilidade de produção em caso de resíduos com umidade excessiva ou clorados.
	Redução na emissão de odores.	Emissão de poluentes perigosos. Exige cuidados específicos no tratamento dos gases de exaustão e água, além do descarte seguro da escória e das cinzas em suspensão.
	Aproveitamento da escória para utilização viária.	Necessidade de aterro para disposição de escória caso não haja uso.
	Menor influência das condições climáticas em relação ao aterro sanitário	
	Possibilidade de redução dos custos de transporte pela localização da planta próximo a geração	
CDR (quando comparado com os RSU incinerado sem tratamento)	Maior homogeneidade da composição físico química.	Pode ser inflamável sob determinadas condições ambientais. Exige cuidados de segurança no acondicionamento e armazenamento.
	Facilidade de armazenamento. Substrato preservado e armazenado por meses e anos. Melhor modulação da produção de energia,	Possibilidade de contaminação do CDR pela presença de substâncias tóxicas.
	Facilidade de transporte.	Custo de transporte entre local de preparo e local de uso.
	Maior PCI.	
	Agregação de valor aos resíduos (materiais e energia).	
	Redução das emissões e geração de poluentes..	
	Menor consumo energético da indústria cimenteira.	

Tabela 1: Vantagens e desvantagens quando se faz uso da incineração, CDR, digestão anaeróbia e aterros sanitários, como forma de tratamento dos RSU. Fonte (FADE, 2014; DIAS et al., 2016; TOZLU et al., 2016; GIZ, 2017).

Tecnologia	Vantagens	Desvantagens
CDR cont.	Prolongamento da vida útil de aterros existentes.	
Digestão Anaeróbia	Redução dos odores e lixiviados de alta carga poluidora, quando comparado com os aterros sanitários.	Mão de obra qualificada para operação e monitoramento da planta.
	Maior geração de biogás e metano que nos aterros sanitários.	A composição dos resíduos pode variar, comprometendo a qualidade do biogás e do material digerido.
	Coleta de todo o biogás, reduzindo emissões de gases de efeito estufa.	Necessidade de bioestabilização dos resíduos digeridos.
	Recuperação de energia (biogás) e composto orgânico.	
	Prolongamento da vida útil dos aterros sanitários.	
Aterro Sanitário	Opção de menor custo de investimento e operação.	Requer área muito grande, muitas vezes longe da área urbana.
	Não requer mão de obra qualificada.	Escoamento superficial durante a chuva, causa poluição.
	O biogás pode ser utilizado para geração elétrica e/ou térmica.	O solo e água subterrânea podem ficar poluídos pelo lixiviado.
	Fontes naturais retornam ao solo, permitindo sua reciclagem.	Explosão espontânea devido ao acúmulo de metano.
		Produz apenas 30 a 40% do gás total gerado.
		Possibilidade de ocorrer maus odores.
		Período pós-fechamento relativamente longo para a estabilização do aterro, incluindo efluentes líquidos e gasosos.
		O custo do transporte é significativo.
		O custo do pré-tratamento do biogás, pra injetá-lo na rede, e tratamento de lixiviados pode ser significativo.

A Reciclagem e a Conservação de Energia

A reciclagem contribui para reduzir a demanda de fontes naturais de matéria-prima, e também a demanda de energia, muitas vezes não renováveis, necessária para a transformação dessa matéria prima em produtos. É comum que a transformação de material reciclado consuma menos energia que a transformação do insumo primário, o que faz da reciclagem um elemento da estratégia de conservação da energia (EPE, 2014). Conforme (FADE, 2014), entre os vários aspectos positivos da reciclagem, destacam-se a preservação de recursos naturais, economia de energia, geração de trabalho e renda, e conscientização da população para as questões ambientais.

ARAFAT et al. (2015) estudaram o potencial de produção de energia e o impacto ambiental associado a cinco processos de tratamento de RSU, aplicados a seis fluxos de resíduos individuais, e não a uma específica mistura deles. Os cinco processos de tratamento são a incineração, gaseificação, digestão anaeróbia, aterro sanitário e compostagem, e os seis fluxos de resíduos individuais são os resíduos de alimentos, jardins, plásticos, papéis, madeira e têxteis. Adicionalmente, estes processos de tratamento foram comparados com o processo de reciclagem (produção de energia versus conservação de energia), para cada fluxo individual, onde aplicável. Sob o ponto de vista da recuperação energética, conclui-se que o melhor é reciclar plásticos, papéis e madeira; digerir anaerobicamente resíduos de alimentos e jardins; e incinerar resíduos têxteis. Por outro lado, o nível do impacto ambiental para cada processo depende da categoria do impacto considerada. De uma forma geral, dos cinco processos de tratamento citados, a digestão anaeróbia e a gaseificação tiveram um melhor desempenho ambiental. Para quantificar os impactos ambientais, foi utilizada a ferramenta Análise do Ciclo de Vida.

Segundo GIZ (2017), o aterro sanitário é uma solução intermediária ou transitória, uma necessidade para o descarte de resíduos. Não é a meta final da gestão sustentável de resíduos. Sistemas de Gerenciamento de RSU devem continuar dando prioridade à reciclagem. A separação, coleta, transporte, tratamento e descarte de RSU tem sido um dos principais objetivos de muitos países em desenvolvimento. Porém, apesar do progresso recente na reciclagem de materiais (plásticos, papéis, metais, vidros), os níveis de reciclagem ainda são insuficientes. Para alguns fluxos de resíduos não recicláveis, o WtE poderá ser uma alternativa viável, para atender o futuro aumento na quantidade de resíduos. Um tratamento térmico como incineração ou coprocessamento, em conformidade com as normas ambientais para emissões, também poderá contribuir para a destruição de substâncias orgânicas tóxicas. Alguns materiais valiosos, como metais, podem vir a ser recuperados da escória e das cinzas da incineração, mas, o restante deverá ser tratado e descartado em local seguro. Se os resíduos orgânicos forem devidamente separados, a digestão anaeróbia poderá ter um papel importante na recuperação de biogás e adubo natural. A captação de gás de aterro possibilita a mitigação do metano liberado no aterro sanitário. Tecnologias WtE não devem competir com a redução de resíduos, com a reutilização e reciclagem de materiais. O WtE é uma tecnologia complementar para o tratamento das frações residuais não recicláveis de RSU.

Muitas vezes se acredita que plantas WtE sejam capazes de suprir grande parte da demanda de uma localidade. A experiência de países desenvolvidos mostra que esta tecnologia supre uma pequena parcela da demanda de energia de uma cidade (~ 5%). A geração de calor é a aplicação mais eficiente na Europa, mas quase nunca utilizada em países em desenvolvimento. Outro mito é que uma planta WtE poderá cobrir seus custos somente pela venda de energia recuperada. Na Europa, onde o poder calorífico dos resíduos e os preços da energia são mais altos, a receita proveniente da venda não subsidiada de energia (em forma de calor e energia) poderá cobrir os custos operacionais, mas nunca os investimentos e os custos de capital GIZ (2017).

Alguns estudos que simulam a utilização de determinadas tecnologias, ou determinadas rotas tecnológicas, seja no Brasil ou na União Europeia, demonstram que o custos totais anuais, ou por tonelada de resíduo, superam as receitas destes empreendimentos (PROBIOGAS, 2017; GIZ, 2017).

Segundo GRISA e CAPANEMA (2018), algumas ações de curto prazo, ancoradas em instrumentos de planejamento e contratações de longo prazo, capazes de integrar as diferentes esferas do poder público, já podem ser iniciadas. Entre algumas ações citadas, está a criação de uma taxa vinculada à prestação do serviço, por se tratar de uma ação fundamental para prover sustentabilidade financeira à gestão dos resíduos. Outras medidas precisam de um prazo maior para estruturação, como a coleta seletiva combinada com logística reversa e atividades de aproveitamento econômico do resíduo, em especial pela geração de energia por meio do RSU,

que impacta a matriz energética do país. As grandes mudanças estruturais capazes de transformar o setor, porém, concentram-se na implementação da responsabilidade compartilhada e de instrumentos de políticas públicas que promovam incentivos para o engajamento das empresas e dos cidadãos na geração e gestão dos resíduos.

Abaixo foram selecionadas algumas informações referentes ao aproveitamento energético dos RSU no Brasil.

Conforme o Banco de Informações de Geração da ANEEL (BIG – ANEEL, 2018), em outubro de 2018, a potência elétrica instalada (fiscalizada) no Brasil era de 160.672,6 MW. Deste total, 64,0% correspondem a fonte hídrica, 25,5% térmica, 1,2% termonuclear, 8,3 eólica e 0,9% solar, conforme indica a Figura 1 (a). Dos 25,5% correspondente à fonte térmica, 16,4% são de natureza fóssil e 9,1% são provenientes da biomassa, conforme Figura 1 (b).

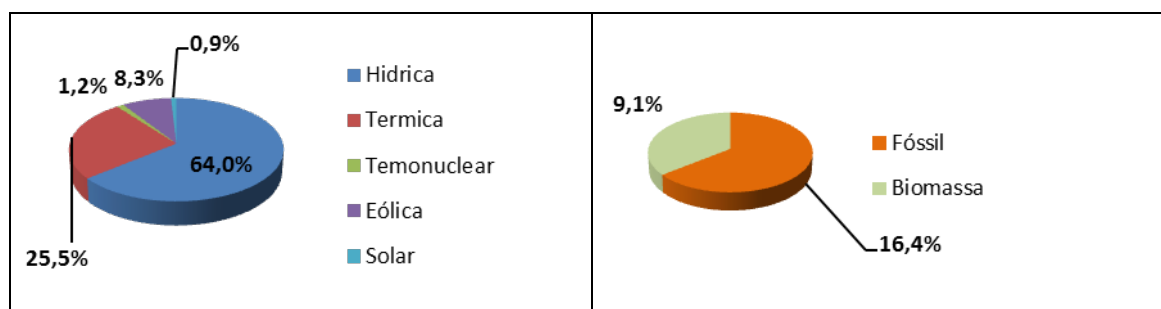


Figura 1: (a) Participação das fontes na capacidade total instalada; (b) Participação das fontes fósseis e biomassa na capacidade total instalada. Fonte: Autoria própria, baseada nos dados do BIG – ANEEL (2018).

A Figura 2 mostra as fontes de biomassa e os seus respectivos percentuais, correspondentes à capacidade total instalada. Observa-se que o bagaço de cana é a biomassa que tem a maior potência instalada (7,0%), seguida pelo licor negro (1,6%), resíduos florestais (0,3%), RSU (0,1%) e Gás de alto forno (proveniente da queima de biomassa) (0,1%).

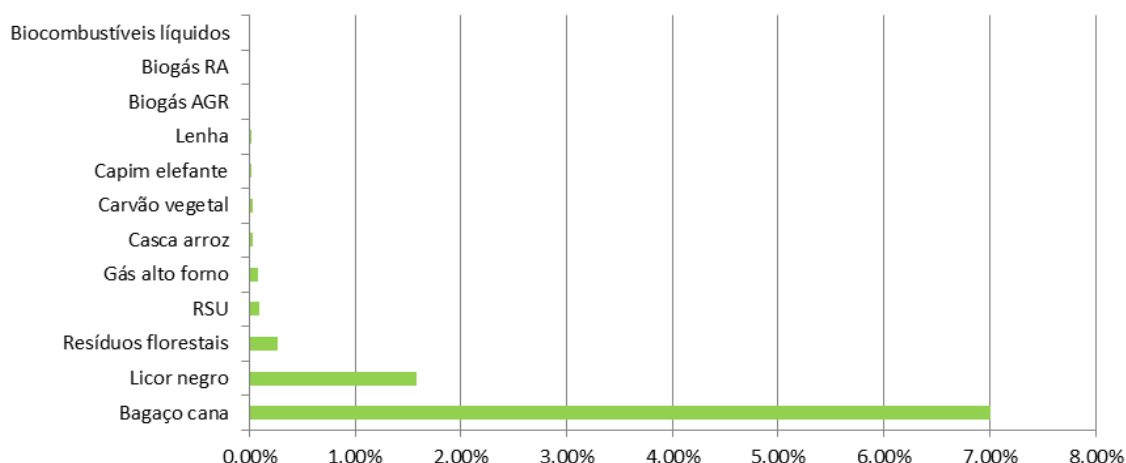


Figura 2: Participação das biomassas na capacidade total instalada. Fonte: Autoria própria, baseada nos dados do BIG – ANEEL (2018).

Atualmente existem 22 empreendimentos no Brasil que geram energia elétrica através de RSU, dos quais, 20 utilizam biogás e 2 utilizam o carvão dos resíduos, obtidos através da pirólise dos RSU. Estas duas usinas, ainda não se encontram em operação. A potência total instalada é de 138,4 MW, sendo 133,1 MW correspondentes aos empreendimentos que utilizam biogás e 5,3 MW aos que utilizam o carvão dos resíduos (BIG – ANEEL, 2018). Observa-se através da Figura 2, que há dois outros aproveitamentos com biogás, que são os referentes aos resíduos agroindustriais (Biogás AGR) e os referentes aos resíduos animais, cujas potências instaladas são bem menores que a dos RSU.

CONCLUSÕES

Através deste estudo, foi possível conhecer as principais tecnologias utilizadas mundialmente, que visam reduzir a disposição final dos RSU, assim como recuperar energia e matéria prima contidas nestes resíduos. A energia recuperada ocorre frequentemente nas formas térmica, elétrica, térmica e elétrica, ou. A clínquerização permite a incorporação das cinzas e a incorporação dos metais existentes no resíduo, ao material do clínquer, e o lodo gerado nos reatores, no processo de digestão anaeróbia, pode ser utilizado como biofertilizante. Embora elas tragam uma série de vantagens, a operação destas plantas deve estar de acordo com as legislações ambientais vigentes, pois todas possuem, em maior ou menor grau, um potencial poluidor. Observou-se também a importância da reciclagem, uma vez que esta contribui para reduzir a demanda de fontes naturais de matéria-prima, e também a demanda de energia. Tecnologias WtE não devem competir com a redução de resíduos, com a reutilização e reciclagem de materiais. O WtE é uma tecnologia complementar para o tratamento das frações residuais não recicláveis de RSU.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRELPE – Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. 2017.
2. ARAFAT H. A., JIJAKLI K., AHSAN A. Environmental performance and energy recovery potential of five processes for municipal solid waste treatment. *Journal of Cleaner Production*, 105, 233e240, 2015.
3. BANCO DE INFORMAÇÕES DE GERAÇÃO DA ANEEL (BIG – ANEEL). <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Consultado em 18/10/2018
4. BRASIL - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS – Diagnóstico do Manejo de resíduos Sólidos Urbanos – 2016. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília, 2016.
5. CIMENTO.ORG <https://cimento.org/coprocessamento/>. Acesso em abril de 2019(DIAS et al., 2016) DIAS S. M., SILVA R. B., BARREIRO F., COSTA M. Avaliação do Potencial de Produção e Utilização de CDR em Portugal Continental. Instituto Superior Técnico – CEBQ. Portugal. 2016.
6. DIAS S. M., SILVA R. B., BARREIRO F., COSTA M. Avaliação do Potencial de Produção e Utilização de CDR em Portugal Continental. Instituto Superior Técnico – CEBQ. Portugal, 2016.
7. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Nota Técnica DEA 18/14 “Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos”. Ministério de Minas e Energia – MME. Rio de Janeiro, 2014.
8. FUNDAÇÃO DE APOIO DO DESENVOLVIMENTO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – FADE. Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão. UFPE. Pernambuco, 2014.
9. GIZ - DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT. Opções em Waste-to-Energy na Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos: Um guia para tomadores de decisão em países emergentes ou em desenvolvimento. Eschborn, maio de 2017.
10. GRISA D.C., CAPANEMA L. Resíduos Sólidos Urbanos. Visão 2035: Brasil, país desenvolvido - agendas setoriais para o desenvolvimento. BNDES, 2018.
11. IBOPE Inteligência - <http://www.ibopeinteligencia.com/noticias-e-pesquisas/desinformacao-e-maior-dificuldade-para-a-reciclagem-no-brasil/>. Acesso em abril de 2019.
12. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos. Relatório de Pesquisa. Brasília, 2012.
13. KUMAR A., SAMADDER S.R. A review on technological options of waste to energy for effective management of municipal solid waste. *Waste Management*, 69, 407–422, 2017.
14. LACERDA R. T. O., ENSSLIN L., ENSSLIN S. R. Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho. *Gest. Prod.*, São Carlos, v. 19, n. 1, p. 59-78, 2012.
15. MARIANI L. F., SOUSA M. A. Brazil. In IEA Bioenergy Task 37 Country Report Summaries 2017. IEA Bioenergy, 2018.
16. PROBIOGAS - PROJETO BRASIL ALEMANHA DE FOMENTO AO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS NO BRASIL. Viabilidade Econômica de Projetos de Valorização Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos com Produção de Biogás. Ministério das Cidades. Brasília, 2017.
17. TOZLU A., ÖZAHİ E., ABUŞOĞLU A. Wastetoenergytechnologiesformunicipalsolidwastemanagement in Gaziantep. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 809–815, 2016.
18. WEBSTER Jane; WATSON Richard T. Analyzing the Past to Prepare for the Future: Writing a Literature Review. Webster & Watson/Guest Editorial. 2002.