

**ÁREA TEMÁTICA: Área 1 – Gestão Ambiental**

**PERSPECTIVAS DE TECNOLOGIAS LIMPAS PARA A GESTÃO DOS  
RESÍDUOS SÓLIDOS**

*Luane Souza de Araújo<sup>1</sup> (luanearaujo@ibict.br), Juliana Gerhardt<sup>1</sup> (julianagerhardt@ibict.br),  
Adriana de Souza Oliveira<sup>1</sup> (adrianaoliveira@ibict.br), Tiago Emmanuel Nunes Braga<sup>1</sup>  
(tiagobraga@ibict.br), Thiago Oliveira Rodrigues<sup>1</sup> (thiagorodrigues@ibict.br)*

1 IBICT – Instituto Brasileiro de Informação Ciência e Tecnologia

**RESUMO**

A Política Nacional de Resíduos Sólidos tem como um de seus objetivos a adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais. Desta forma, a política permite instrumentalizar e apoiar o gerenciamento integrado e a gestão compartilhada dos resíduos sólidos, sempre com o objetivo de minimização dos impactos ambientais. Tais impactos são ligados a inúmeros fatores como o consumo em massa, produção insustentável, destinação e disposição inadequada de resíduos, carência de recursos financeiros e de mão de obra qualificada e falta de informações acerca da realidade local, o que dificulta e em muitos casos impede a tomada de decisões pelos gestores públicos. Vários são os casos de impactos ao meio ambiente e à saúde pública relacionada à má gestão de resíduos sólidos no Brasil. Desta forma, o objetivo da pesquisa é realizar o levantamento das principais tecnologias limpas disponíveis para o tratamento e disposição final adequada dos resíduos sólidos urbanos, além da sua gestão sustentável. A metodologia baseou-se na pesquisa bibliográfica e documental de artigos, dissertações, teses, documentos institucionais e governamentais em bases de dados. Conclui-se que a definição de tecnologias para tratamento e disposição de resíduos sólidos é bastante complexa, haja vista os inúmeros fatores que influenciam a tomada de decisão. Desta forma, é imprescindível que as especificidades de cada local a ser implementada determinada forma de tratamento seja viável, eficiente e se mantenha a longo prazo. Também deve ser levado em consideração a opção de combinação entre as tecnologias de tratamentos de resíduos sólidos.

**Palavras-chave:** Política Nacional de Resíduos Sólidos; Gestão sustentável; Tecnologias limpas.

**CLEAN TECHNOLOGIES' PERSPECTIVES FOR SOLID WASTE'S  
MANAGEMENT**

**ABSTRACT**

The National Solid Waste's Policy has as one of its objectives the adoption, development and enhancement of clean technologies as a way to minimize environmental impacts. This way, the policy allows exploitation and support of the integrated management and shared operation of solid waste, always seeking the minimization of environmental impacts. These impacts are connected to a series of factors as mass consume, unsustainable production, destination and waste's inappropriate dispose, deficiency of financial funds and qualified labors and lack of informations around local reality, which burdens and in many cases blocks decision taking from public administrators. There are several cases of impacts against environment and public health related to poor management of solid waste in Brazil. This way, the research's objective is to collect data on the main clean technologies available for the treatment and final suitable dispose of urban solid waste, beyond its sustainable management. The methodology is based on the bibliographic and documental data research. Concludes that the technologies' definition for treatment and dispose of solid waste is highly complex, seeing the several factors that lead to the decision taking. This way, it's indispensable that the specificities of each place to be implemented such treatment are viable, efficient and maintains itself in long-term. Also should be taken in considering the option of combination of solid waste's treatment technologies.

**Keywords:** National Solid Waste's Policy; Sustainable Management; Clean Technologies

## **1. INTRODUÇÃO**

A legislação ambiental brasileira, apesar de ser recente, é uma das mais robustas e avançadas do mundo e, a partir dela são instituídos e delineados objetivos, diretrizes e instrumentos para a gestão e monitoramento ambiental, o qual se torna imprescindível para o desenvolvimento nacional (DE BEM, 2016).

Dentre as inúmeras questões ambientais, destaca-se a problemática que surge e está cada vez mais latente no que diz respeito à gestão dos resíduos sólidos. Desde tempos remotos se produz resíduo, entretanto esta geração se intensificou devido à produção em larga escala, iniciada na Revolução Industrial. A partir daí, um novo estilo de vida foi incorporado nas sociedades ocasionando assim, aumento do volume e variedade de resíduos gerados (MASSUKADO, 2004). Desta forma, diante dos problemas ambientais advindos da má gestão dos resíduos que surgiram, os resíduos sólidos ganharam contornos políticos e econômicos e à vista disto foi elaborada e instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS. No qual, seu marco regulatório é a Lei 12.305/2010 que dispõe sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos (BRASIL, 2010; MOTTA, 2013).

Dentre o rol dos objetivos elaborados e dispostos na PNRS o inciso IV aborda a tese da adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais. E, ainda salienta que o poder público poderá instituir medidas indutoras e linhas de financiamento para atender às iniciativas de desenvolvimento de pesquisas voltadas para tecnologias limpas (BRASIL, 2010).

Apesar deste contexto, a real implementação destes instrumentos legais se torna bastante complexa devido à escassez de recursos financeiros atrelada à falta de prioridade para o setor de saneamento, ocasionando entraves para uma adequada gestão dos resíduos sólidos urbanos (ANDRADE, 2011). Vários são os casos de impactos negativos ao meio ambiente e à saúde pública relacionada à má gestão de resíduos sólidos no Brasil, por exemplo, poluição do solo, do ar, da água e patologias como doenças infecciosas, degenerativas, cardiovasculares, entre outras (SIQUEIRA e MORAES, 2009).

## **2. OBJETIVO**

O objetivo da pesquisa é realizar o levantamento das principais tecnologias limpas disponíveis para o tratamento e disposição final adequada dos resíduos sólidos urbanos, além da sua gestão sustentável.

## **3. METODOLOGIA**

A metodologia baseou-se na pesquisa bibliográfica e documental de artigos, dissertações, teses, documentos institucionais e governamentais nas bases de dados do Google Acadêmico, Scielo e periódicos capes, assim como a base de dados governamentais e institucionais.

Segundo Gil (2002):

“a pesquisa bibliográfica obtém os dados a partir de trabalhos publicados por outros autores, como livros, obras de referência, periódicos, teses e dissertações e a pesquisa de levantamento: analisa comportamento dos membros de uma população por meio da interrogação direta a uma amostra de pessoas desta população”.

Os eixos temáticos da pesquisa foram “resíduos sólidos”, “gestão e gerenciamento”, “disposição final” e “tecnologias limpas”. Assim, a pesquisa bibliográfica se dedicou a identificar produções científicas, técnicas e governamentais focadas nas tecnologias disponíveis para o tratamento e disposição final adequada dos resíduos sólidos urbanos.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os principais aspectos que devem ser evidenciados na escolha da tecnologia são a distribuição da população, custos econômicos e financeiros, geração de emprego e renda e aspectos ambientais.

No Brasil, um tratamento amplamente aceito e utilizado é o aterro sanitário. Já em países desenvolvidos, a prática do aterro é menos adotada, pois desenvolveram inovações tecnológicas bastante significativas (FADE, 2014).

Na Tabela 1 é apresentada a evolução dos sistemas básicos de tratamento de resíduos sólidos urbanos.

**Tabela 1 - Evolução dos sistemas de tratamento dos resíduos sólidos urbanos**

| SISTEMAS BÁSICOS            | PROCESSOS                   | EVOLUÇÃO  | PRODUTOS                                | INOVAÇÃO   |
|-----------------------------|-----------------------------|---|---|--|
| <b>TRIAGEM</b>              | Físico                      | Coleta Seletiva, Tratamento Mecânico-biológico (TMB). | Matéria-Prima para Reciclagem e Energia | Recuperação dos resíduos ( <i>Waste to Resources-WTR</i> )<br>Energia derivada dos resíduos ( <i>Waste to Energy-WTE</i> ) |
| <b>TRATAMENTO BIOLÓGICO</b> | Biológico                   | Biodigestores anaeróbios, Compostagem.                | Composto Orgânico e Energia             | Agricultura e Energia derivada dos resíduos ( <i>Waste to Energy-WTE</i> )   |
| <b>INCINERAÇÃO</b>          | Físico-químico              | Tratamento Térmico                                    | Vapor e Energia Elétrica                | Energia derivada dos resíduos ( <i>Waste to Energy-WTE</i> )   |
| <b>ATERROS SANITÁRIOS</b>   | Físico, Químico e Biológico | Reator Anaeróbio, Tratamento da M. Orgânica.          | Biogás (Energia) e Lixiviado            | Energia derivada dos resíduos ( <i>Waste to Energy-WTE</i> ) e Fertilizantes   |

Fonte: Jucá, 2011.

A inovação tecnológica da triagem pelo tratamento mecânico consiste no Tratamento Mecânico-Biológico (TMB), pois os produtos gerados possuem aplicação. O tratamento biológico inovou com processos mais eficientes no qual são utilizados biodigestores anaeróbios e técnicas de compostagem (FADE, 2014).

Já a incineração, através do tratamento térmico consiste em uma inovação tecnológica, no qual os resíduos recebem uma alta quantidade de energia em forma de calor, durante determinado tempo e o produto gerado destas tecnologias são vapor e energia elétrica. Por fim, nos aterros sanitários são utilizados processos químicos, físicos e biológicos e atualmente nesta tecnologia já podem ser aproveitados o biogás e a energia (FADE, 2014).

#### 4.1. Tratamento Físico

##### 4.1.1. Triagem

O tratamento por meio da triagem do lixo consiste basicamente na seleção e separação dos resíduos em material orgânico e material inorgânico. Entretanto, quando o município já implementou a coleta seletiva, este processo de triagem fica mais simples, pois assim os resíduos já veem separados e assim, os resíduos orgânicos seguem para compostagem e os secos recicláveis vão para a comercialização (FEAM, 2005).

Esta técnica pode ser realizada de forma manual, semiautomática e automática. A primeira se adéqua para pequenas cidades, que não geram um grande volume de resíduos, de acordo com FADE (2014) estas centrais de triagem comportam entre 5 a 10 toneladas de resíduos por dia. Nesta forma as associações de catadores são imprescindíveis e há geração de emprego (MACHADO, 201).

Já a semiautomática é indicada para cidades médias, no qual há uma mescla entre o trabalho de associações de catadores e sistemas automatizados. E a triagem automática é indicada para grandes cidades, no qual sejam recebidas mais de 15 toneladas por dia. Os processos são majoritariamente automatizados, aumentando assim, a qualidade dos produtos separados, o que facilita no processo venda dos mesmos, entretanto, diminui a geração de emprego (MACHADO, 2013).

De acordo com Ferri *et al.* (2015) os centros de triagem promovem uma redução no custo de transporte de RSU e agrega valor ao material por meio do aproveitamento dos resíduos recicláveis, além desta separação auxiliar na diminuição dos resíduos que vão para os aterros sanitários, aumento a vida útil deste.

Ainda segundo o autor, além das melhorias nos aspectos ambientais, também há melhorias nos aspectos sociais e econômicos incorporados a este processo. Aquele aspecto se destaca devido à integração dos catadores no processo e este pela facilidade das negociações comerciais para compra e venda dos materiais recicláveis, já que estão centralizados no centro de triagem.

## **4.2. Tratamento Biológico**

### **4.2.1. Biodigestor**

O biodigestor consiste em um recipiente fechado no qual são introduzidos os dejetos para a produção de biogás e fertilizantes. Os modelos mais utilizados são o indiano, o chinês e o canadense. Os dois primeiros são construídos com materiais convencionais como tijolos e cimentos, e a principal diferença entre eles consiste que no modelo indiano a campânula é móvel e no modelo chinês é fixa, e isto interfere na pressão do gás. Já no modelo canadense o biodigestor é construído a partir de um material de plástico maleável (PVC), permitindo assim o controle da produção do biogás (SEBRAE, 2016).

A biodigestão anaeróbia é um processo no qual incide na transformação de matéria orgânica pela ação de bactérias na ausência de oxigênio. Este processo ocorre em quatro estágios principais: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (LINHARES *et al.*, 2017).

Estudos foram realizados para se entender a viabilidade da utilização de tal tecnologia para o tratamento de resíduos sólidos orgânicos, com foco na recuperação energética e esses salientam potencial para seu uso (EPE, 2014). Avaci (2015) salienta que a utilização da tecnologia de biodigestores, nas agroindústrias e na agropecuária, é correta para o tratamento de resíduos.

Para Dhanalakshmi & Ramanujam (2012) a biodigestão anaeróbia é uma tecnologia eficiente, na qual os produtos gerados são o biogás e fertilizante, que são utilizados e contribuem na diminuição dos custos da instalação da tecnologia, além de resolver a problemática dos resíduos orgânicos.

Desta forma, as contaminações ao meio ambiente são minimizadas, há beneficiamento da qualidade de vida da população circunvizinha devido à geração de energia e da possível venda do excedente produzido, tanto da energia como de créditos de carbono (TOLLER, 2016).

Esta tecnologia tem grande potencial para ser utilizada em áreas que possuam atividades agroindustriais, no qual geram dejetos animais das criações em confinado ou semiconfinado e resíduos vegetais (SEBRAE, 2016).

Os biodigestores podem ser construídos de acordo com a produção de dejetos e do potencial de produção de biogás, ou seja, pequeno, médio ou grande porte. Desta forma, os custos de implementação e a depender do modelo irão variar. Calza *et al.* (2015) elaboraram um estudo no qual constataram que o biodigestor modelo canadense apresentou menor custo de construção e operação (variando de R\$ 2.104,00 a R\$ 7.266,00), quando comparado ao chinês e indiano, independente do porte.

### **4.2.2. Compostagem**

Grande parte dos resíduos orgânicos domiciliares são dispostos em aterros sanitários, entretanto, se houvesse a real implementação da coleta seletiva ocorreria uma diminuição desta quantidade, conseqüentemente aumentaria a vida útil do aterro e geraria o composto/húmus, a partir do processo de compostagem (FILHO *et al.*, 2017).

Segundo Pereira Neto (1996) a compostagem é um processo biológico, aeróbio e controlado, que consiste na transformação de matéria orgânica de origem vegetal ou animal em húmus/composto. A decomposição ocorre por meio da ação de diversas espécies de micro-organismos.

Este processo auxilia na redução do volume de resíduos gerados, na eliminação de patógenos e na produção do composto que tem diversas aplicações. Destaca-se a utilização no solo para



aumentar a fertilidade, assim como em recuperação de áreas degradadas (SILVA, 2010), apresentando, portanto, valor econômico (CATAPRETA, 2008).

As principais vantagens da compostagem são: baixa complexidade na obtenção da licença ambiental; facilidade de monitoramento; diminuição da carga orgânica do rejeito a ser enviado ao aterro; tecnologia conhecida e de fácil implantação e viabilidade comercial para venda do composto gerado. Já suas principais desvantagens são elencadas como: necessidade de investimentos em mecanismos de mitigação dos odores e efluentes gerados no processo; requer pré-seleção da matéria orgânica na fonte e necessidade de desenvolvimento de mercado consumidor do composto gerado no processo (ICLEI, 2011); FADE, 2014).

As vantagens e desvantagens relacionam-se com os métodos de compostagem e a maior diferença entre estes está na metodologia de aeração, que são divididos em três: i) compostagem em leiras com revolvimento mecânico (sistema *Windrow*), ii) compostagem em leiras estáticas aeradas e iii) compostagem em reatores biológicos. Desta forma, quanto mais alta for a tecnologia, maior será o controle sobre a compostagem e o custo, entretanto menor será a área utilizada.

### **4.3. Tratamento Físico-Químico**

#### **4.3.1. Incineração**

A incineração é a técnica no qual ocorre a queima dos resíduos e assim, diminui consideravelmente a quantidade, o volume e a toxicidade dos mesmos. Todo o processo consiste na combustão controlada dos resíduos, em ambiente fortemente oxidante e as temperaturas são entre 900°C a 1200°C, assim, o produto final são uma fração gasosa, líquida e sólida (cinzas), esta necessita ainda de destinação final. Uma das vantagens da técnica de incineração é o aproveitamento energético (ANDREOLI *et al.*, 2014).

Atualmente, esta técnica reúne além do aproveitamento de energia; o desenvolvimento de sistemas de tratamento e depuração de gases, que controlam a emissão de poluentes atmosféricos, se adequando assim, aos padrões ambientais de emissão vigentes (MACHADO, 2015). Para Mavropoulos (2010) a utilização da tecnologia de incineração é uma opção para solucionar problemas ambientais que advém dos resíduos sólidos urbanos.

Estes sistemas de adequação aos padrões ambientais propiciaram maior desenvolvimento das unidades de incineração baseadas na tecnologia *Waste-to-Energy* (WTE), no qual são utilizadas em inúmeros países para a disposição final dos resíduos, assim como para o aproveitamento energético (HENRIQUES, 2004).

De acordo com FADE (2014) “a recuperação total energética do incinerador moderno se situa entre 50 e 70% da energia presente nos resíduos sólidos urbanos, de forma que 15 a 25% são energia elétrica e o restante é energia térmica”.

As cinzas de fundo de caldeira poderão ser reutilizadas para uso da indústria de construção civil (MACHADO, 2015). As cinzas residuárias do sistema de exaustão e de tratamento de gases da caldeira apresentam alto teor de poluentes, assim não podem ser aproveitadas. Desta forma, de acordo com a NBR 10.004 são classificadas como resíduo Classe 1-Perigoso, no qual sua disposição final adequada é em aterro industrial (PLASTIVIDA, 2012).

Apesar dos benefícios encontrados nesta tecnologia, suas principais desvantagens são os elevados custos de investimentos na instalação, operação e manutenção do tratamento dos resíduos, além da dificuldade de produção se os resíduos estiverem com umidade excessiva, pequeno poder calorífico ou clorado (FADE, 2014; RUSSO, 2003).

#### **4.3.2. Pirólise**

Segundo Pedroza *et al.* (2010) a técnica da pirólise consiste na decomposição térmica de material orgânico, “na ausência parcial ou total de um agente oxidante, ou até mesmo, em um ambiente com uma concentração de oxigênio capaz de evitar a gaseificação intensiva do material orgânico”. Esta técnica geralmente ocorre a partir de 400°C de temperatura.

O material resultante da degradação térmica, de acordo com Pinto (1979) *apud* Lima, (2004) é classificado em três grupos: 1) gases: hidrogênio, metano e monóxido de carbono; 2) combustível

líquido: hidrocarbonetos, alcoóis e ácidos orgânicos de elevada densidade e baixo teor de enxofre; 3) resíduo sólido: carbono (char), vidros, metais e materiais inertes (escória). Também são gerados produtos como óleo, gases e carvão que podem ser utilizados na indústria petroquímica ou como fonte de combustível (KARAYILDIRIM; YANIK; YUKSEL, 2006).

Usualmente, a técnica da pirólise subdivide-se em dois tipos, o convencional (*slow pyrolysis*) e a pirólise rápida, estas diferenças são devido a variáveis que estão atreladas ao processo, como: 1) taxa de aquecimento, 2) temperatura, 3) tempo de residência das fases sólida e gasosa e 4) produtos desejados. Assim, devido a essas variáveis do processo, há uma subdivisão dos tipos de pirólise: 1) carbonização; 2) convencional; 3) rápido; 4) flash-líquido; 5) flash-gás; 6) ultra; 7) vácuo; 8) hidro-pirólise e 9) metano-pirólise (VIEIRA, 2004). Estas estão apresentadas detalhadamente na Tabela 3.

**Tabela 2 - Variantes do processo de pirólise**

| Variantes do processo   | Tempo de residência | Temperatura do processo (°C) | Produtos obtidos             |
|-------------------------|---------------------|------------------------------|------------------------------|
| <b>Carbonização</b>     | Horas/dias          | 400-450                      | carvão vegetal               |
| <b>Convencional</b>     | 5 – 30 min          | Até 600                      | bio-óleo, carvão e gás       |
| <b>Rápida</b>           | 0,5 – 5s            | 500-550                      | bio-óleo                     |
| <b>Flash-líquido</b>    | <1s                 | <650                         | bio-óleo                     |
| <b>Flash-gás</b>        | <1s                 | >650                         | gás combustível              |
| <b>Vácuo</b>            | 2-30s               | 400                          | bio-óleo                     |
| <b>Metano- pirólise</b> | <10s                | >700                         | produtos químicos            |
| <b>Hidro-pirólise</b>   | <10s                | <500                         | bio-óleo e produtos químicos |

Fonte: Adaptado de Gómez, (2002).

A pirólise é uma tecnologia bastante eficiente no que se refere aos produtos renováveis, devido ao seu balanço energético e ecológico ser positivo, ou seja, é uma técnica na qual se produz mais energia do que consome além de seus produtos e coprodutos (formados no processo) possuírem valor agregado (LIMA, 2004; VIEIRA *et al.*, 2014). De acordo com Marchezetti (2011) a principal desvantagem é que esta tecnologia não possui desenvolvimento industrial significativo, devido aos resíduos serem incinerados indiretamente.

#### 4.4. Tratamento Físico- Químico-Biológico

##### 4.4.1. Aterro Sanitário

Segundo a NBR 8.419/1992, elaborada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT define aterro sanitário como:

Aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos consistem na técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza os princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou a intervalos menores se for necessário. (ABNT, 1992, p. 62).

Esta tecnologia é universal no que se refere à disposição final de resíduos sólidos urbanos, sendo imprescindível, mesmo nos países onde existem outras tecnologias de tratamento, como incineração, compostagem, reciclagem, entre outras (FADE, 2014).

A PNRS delinea que os rejeitos (“resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada”), sejam dispostos nos aterros sanitários, no qual normas operacionais específicas terão que ser seguidas,

sempre visando a segurança, a minimização de impactos ambientais e evitando danos ou riscos à saúde pública (PNRS, 2010).

Uma grande problemática surge no que se refere aos aterros para pequenos municípios. Entretanto, há técnicas recomendadas para estes, que são: aterro em valas (Cetesb, 2010), aterro sanitário simplificado (Fiúza *et al.*, 2002) e aterro manual (Jaramillo, 1991).

Tanto para a seleção da área, quanto para a escolha do método a ser utilizado são realizados diversos estudos geológicos, topográficos, entre outros, a fim de verificar se todas condições estão adequadas para a implantação do aterro, visando assim, que a obra se atenda todos itens previstos:

[...] o projeto de um aterro sanitário deve prever a instalação de elementos para captação, armazenamento e tratamento dos lixiviados e biogás, além de sistemas de impermeabilização superior e inferior. Esses elementos são de fundamental importância, pois, quando bem executados e monitorados, tornam a obra segura e ambientalmente correta, com reflexos diretos na melhoria da qualidade de vida da população do entorno do aterro (MMA, 2009).

Os aterros sanitários são projetados e geridos com projetos de engenharia, e dessa forma passaram a ser uma forma de disposição e tratamento de resíduos avançado, e alguns desses locais possuem ainda sistemas para a produção de biogás (CHEREMINISOFF, 2003).

O aterro sanitário que possui geração de energia utiliza a drenagem dos gases gerados nos processos de decomposição anaeróbia dos resíduos. Assim, estes gases percorrem tubos coletores até uma unidade de geração de energia. Nesse caso, os aterros sanitários passaram por uma evolução tecnológica e podem ser considerados digestores anaeróbios (sistema físico, químico e biológico) (FADE, 2014).

Algumas das principais desvantagens desta tecnologia são: necessidade de grandes áreas para aterro; interferência da meteorologia na produção de lixiviados que requisitam tratamento adequado; período pós-fechamento relativamente longo para a estabilização do aterro, incluindo efluentes líquidos e gasosos; controle dos riscos de impactos ambientais de longo prazo (FADE, 2014).

## **5. CONCLUSÃO**

A definição de tecnologias para tratamento e disposição de resíduos sólidos é bastante complexa, haja vista os inúmeros fatores que influenciam a tomada de decisão, sendo estes políticos, ambientais, econômicos, financeiros, sociais, geográficos, técnicos, de eficiência. Desta forma, é imprescindível que as especificidades de cada local a ser implementada determinada forma de tratamento seja viável, eficiente e se mantenha a longo prazo.

Outro ponto de suma importância é que seja levado em consideração a opção de combinação entre as tecnologias de tratamentos de resíduos sólidos e não a utilização das mesmas de forma isolada. Ou seja, combinação de dois processos, um mecânico e outro biológico, por exemplo.

Também se faz necessário a sensibilização da população quanto a redução dos resíduos gerados e ao cuidado e preservação da sua cidade, ou seja, se ver como ser pertencente e vigilante, além da cobrança e exigência às prefeituras o cumprimento da legislação. À vista disso, a quantidade de rejeitos a serem dispostos diminuiria significativamente, impactando positivamente na gestão dos resíduos sólidos.

O Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos é um dos instrumentos para atingir os objetivos propostos da política, além de ser um documento no qual é realizado um diagnóstico do município e assim utilizado para a correta tomada de decisão de qual tecnologia de tratamento é a mais adequada, ou seja, é um instrumento norteador de políticas públicas locais. Entretanto, constata-se que a maioria dos municípios brasileiros não cumpriu a legislação ao não elaborarem seus PGIRS, além da disposição inadequada dos rejeitos. Isto está vinculado à brevidade da legislação, restrições orçamentárias e mão-de-obra qualificada, com medidas elaboradas somente de forma pontual.

Diante do explicitado é fundamental a elaboração do diagnóstico para se entender a realidade e especificidades locais e assim, decidir de forma assertiva quais tecnologias são as mais adequadas e eficientes para cada município brasileiro.

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8.419: apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro (RJ): ABNT, 1992.

ANDRADE, R. M.; FERREIRA, J. A. **A gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil frente às questões da g**

**lobalização**. REDE – Revista Eletrônica do Prodema, Fortaleza, v. 6, n.1, p. 7-22, mar. 2011.

ANDREOLI, C. V.; ANDREOLI, F. N.; TRINDADE, T. V.; HOPPEN, C. **Resíduos Sólidos: origem, classificação e soluções para destinação final adequada**. Cleverson V. Andreoli [e] Patrícia Lupion Torres; organizadores – Curitiba: SENAR - Pr., 2014. 531-552p.

AVACI, A. B.; SOUZA, S. N. M.; CHAVES, L. I.; NOGUEIRA, C. E. C.; NIEDZIALKOSKI, R. K.; SECCO, D. **Avaliação econômico-financeira da microgeração de energia elétrica proveniente de biogás da suinicultura**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 17, n. 4, p. 456-462, 2015.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União. 2010.

CALZA, L. F.; LIMA, C. B.; CARLOS E. C.; NOGUEIRA, C. E. C.; SIQUEIRA, J. A. C.; SANTOS, R. F. **Avaliação dos custos de implantação de biodigestores e da energia produzida pelo biogás**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 35, n.6, p. 990-997, nov./dez. 2015,

CATAPRETA, C. A. A. **Comportamento de um aterro sanitário experimental: avaliação da influência do projeto, construção e operação**. Tese Apresentada no Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal De Minas Gerais. Escola De Engenharia UFMG, Belo Horizonte, 2008.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de operação de aterro sanitário em valas** / CETESB; Aruntho Savastano Neto ... [et al.]. – São Paulo: CETESB, 2010. 24 p.

CHEREMISINOFF, N. P. **Handbook of Solid Waste Management and Waste Minimization Technologies**. Butterworth Heinemman – Elsevier Science. Burlington - MA, 2003.

DE BEM, A. H.; MODEL, A. M.; NARCIZO, B. R.; OLIVEIRA, J. R. **Responsabilidade socioambiental: análise de uma empresa no município de Osório-RS**. Revista Maiêutica, Indaial, v. 4, n. 1, p. 81-90, 2016.

DHANALAKSHMI, S. V.; RAMANUJAM, R. A. **Biogas generation in a vegetable waste anaerobic digester: An analytical approach**. Research Journal of Recent Sciences, v.1, n.3, p.41-47, 2012.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Nota Técnica DEA 18/14 – Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos**. EPE. Rio de Janeiro, 50 p. 2014.

FADE – Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco. **Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão**. Jaboatão dos Guararapes, PE: Grupo de Resíduos Sólidos - UFPE, 2014. 184p.



FEAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (MG). **Orientações básicas para operação de usina de triagem e compostagem de lixo.** Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte: FEAM, 2005. 52p.

FERRI, G. L.; CHAVES, G. L. D.; RIBEIRO, G. M. **Análise e localização de centros de armazenamento e triagem de resíduos urbanos para a rede de logística reversa: um estudo de caso no município de São Mateus, ES.** Production, v. 25, n. 1, p. 27-42, jan./mar. 2015.

FILHO, R. C. S.; HOLANDA, E. P. T; OLIVEIRA, L. C. F.; SILVA, V. M. F. **O aproveitamento de resíduos sólidos urbanos, por meio do processo de compostagem aeróbia enriquecida com casca de sururu para aproveitamento na construção civil.** Ciências exatas e tecnológicas – Alagoas. v. 4. n. 2. p. 125-134. 2017.

FIÚZA, J. M. S. **Nova Tendência de disposição final de resíduos sólidos no estado da Bahia: aterro sanitário simplificado.** In: Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. VI., 2002, Vitória. Anais...Rio de Janeiro: ABES, 2002.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** - 4. ed. - São Paulo: Atlas, 2002. p. 176.

GÓMEZ, E. O. **Estudo da pirólise rápida de capim elefante em leito fluidizado borbulhante mediante caracterização dos finos de carvão.** 2002. 412f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, 2002.

HENRIQUES, R. M. **Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Abordagem Tecnológica.** Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2004.

ICLEI. **Tratamento e Destinação – Governos Locais pela Sustentabilidade.** Disponível em: <[http://www.iclei.org.br/residuos/?page\\_id=356](http://www.iclei.org.br/residuos/?page_id=356)>. Acesso em: 05.fev.2019. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental. Florianópolis, v. 5, n. 2, p. 711-744. 2011. In: Estudo técnico desenvolvido pela consultoria Arcadis Logos para o Projeto GeRes, 2011.

JARAMILLO, J. **Resíduos sólidos municipales: guía para el diseño, construccion y operacion de rellenos sanitários manuales.** Washington: Pan American Health Organization, 1991. 214 p. (Série Técnica, 28).

JUCÁ, J.F.T, **Curso sobre Novas Alternativas Tecnológicas para Tratamento de Resíduos Sólidos,** ABES,CE, 2011.

KARAYILDIRIM, T.; YANIK, J.; YUKSEL, B. **Characterisation of products from pyrolysis of waste sludges.** Energy e Fuel, v.85, p. 1498 – 1508. 2006.

LINHARES, D. C.; LÉO, P.; GOUVEIA, T.; MACEDO, L. S.; TEIXEIRA, C. E. **Prospecção tecnológica de processos de biodigestão anaeróbia com recuperação de energia a partir de resíduos sólidos urbanos.** Congresso ABES/Fenasan - São Paulo, SP, Brasil, 2017.

LIMA, L. M. Q. **Lixo: Tratamento e Biorremediação.** 3 ed. São Paulo: Hemus, 2004. 265 p.

MACHADO, C. F. **Incineração: Uma Análise do Tratamento Térmico dos Resíduos Sólidos Urbanos de Bauru/ SP.** Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2015. Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Ambiental, 2015. 62-64p.

MACHADO, G. B. **Central de Triagem.** Portal Resíduos Sólidos, 2013. Disponível em:<<https://portalresiduossolidos.com/central-de-triagem/>>. Acesso em: 28.mar.2019.

MARCHEZETTI, A. A.; KAVISKI, E.; BRAGA, M. C. B. **Aplicação do método AHP para a hierarquização das alternativas de tratamento de resíduos sólidos domiciliares.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 173-187, abr./jun. 2011.

MASSUKADO, L. M. MOTTA, W. H. **Sistema de apoio à decisão: Avaliação de cenários de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos domiciliares.** Dissertação (Mestrado) - São Carlos: UFSCar, p. 230. 2004.

MAVROPOULOS, A. **Thermal treatment in transition countries. Is there any future and how?** Seminário Internacional de Tecnologias e Gestão de Resíduos Sólidos, 1, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 26-28 Maio. 2010.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Programa Nacional de Capacitação de Gestores Ambientais: Módulo específico licenciamento ambiental de estações de tratamento de esgoto e aterros sanitários.** Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA, 2009.

MOTTA, W. H. **Análise do ciclo de vida e logística reversa.** Simpósio e excelência em gestão e Tecnologia – SEGeT. p.10. 2013.

PEDROZA, M. M.; VIEIRA, G. E. G.; SOUSA, J. F.; PICKLER, A. C.; LEAL, E. R. M.; MILHOMEN, C. C. **Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão.** Revista Liberato, Novo Hamburgo, v. 11, p. 147 - 157, jul./dez.2010.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem: Processo de baixo custo.** Belo Horizonte: UFU/SLU/UNICEF, 1996. 55p.

PINTO, M. S. *Apud* Lima, L. M. Q. **Lixo: Tratamento e Biorremediação.** 3 ed. São Paulo: Hemus, 2004. 265p.

PLASTIVIDA; ABRELPE. **Recuperação Energética, Resíduos Sólidos Urbanos.** Caderno Informativo. Plastivida – Instituto Sócio-ambiental dos plásticos. ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. 2012.

RUSSO, M. A. T. **Tratamento de resíduos sólidos.** Coimbra, 2003. Universidade de Coimbra. Coimbra, 2003.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Uso de Resíduos e Dejetos como fonte de energia renovável.** Brasília: Sebrae, 2016. Disponível em: [http://www.Bibliotecas.Sebrae.Com.br/chronus/ARQUIVOS\\_CHRONUS/bds/bds.nsf/1444A5CABEE102E383257428004FDF09/\\$File/NT0003768A.pdf](http://www.Bibliotecas.Sebrae.Com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/1444A5CABEE102E383257428004FDF09/$File/NT0003768A.pdf). Acesso em: 11.fev.2019.

SILVA, C. A.; ANDREOLI, C. V. **Compostagem como alternativa à disposição final dos resíduos gerados na CEASA Curitiba/PR.** Revista de Engenharia Ambiental – Espírito Santo do Pinhal, V. 7, n. 2, p. 027-040, 2010.

SIQUEIRA, M. M.; MORAES, M. S. **Saúde coletiva, resíduos sólidos urbanos e os catadores de lixo.** Ciência & Saúde Coletiva, 14(6):2115-2122, 2009. 8p.

TOLLER, M. **A Transformação de Resíduos Agroindustriais Através de Biodigestores: Uma Gestão Socioambiental.** Revista Brasileira de Energias Renováveis, v.5, p. 42- 50, 2016.

VIEIRA, G. E. G. **Fontes alternativas de energia – Processo aperfeiçoado de conversão térmica.** 2004. 181p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Fluminense. 2004.

VIEIRA, G. E. G.; NUNES, A. P.; TEIXEIRA, L. F.; COLEN, A. G. N. **Biomassa: uma visão dos processos de pirólise.** Revista Liberato, Novo Hamburgo, v. 15, n. 24, p. 105-212, jul./dez. 2014.