



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS
MESTRADO EM RECURSOS NATURAIS**



PRISCILA SANTOS SOUZA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Análise comparativa das usinas de Tratamento Mecânico-Biológico
brasileiras**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: SOCIEDADE E RECURSOS NATURAIS

**LINHA DE PESQUISA: DESENVOLVIMENTO, SUSTENTABILIDADE E
COMPETITIVIDADE**

Dr^a. ROSIRES CATÃO CURI (Orientadora)

Campina Grande - PB

Agosto de 2018

PRISCILA SANTOS SOUZA

**Análise comparativa das usinas de Tratamento Mecânico-Biológico
brasileiras**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais (Mestrado/Doutorado), da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, para obtenção do título de Mestre(a).

Área de Concentração: Sociedade e Recursos Naturais

Linhas de Pesquisa: Desenvolvimento, Sustentabilidade e Competitividade

Professora Orientadora: Dr^a. Rosires Catão Curi

Campina Grande - PB

2018

S729a

Souza, Priscila Santos.

Análise comparativa das usinas de tratamento mecânico-biológico brasileiras / Priscila Santos Souza. – Campina Grande, 2018.

135 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2018.

"Orientação: Prof.^a Dr.^a Rosires Catão Curi".

Referências.

1. Resíduos sólidos urbanos. 2. Alternativas de tratamento. 3. PNRs. 4. Licenciamento Ambiental. 5. Tratamento mecânico-biológico. I. Curi, Rosires Catão. II. Título.

CDU 628.4(043)

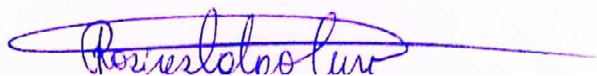
FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECÁRIA MARIA ANTONIA DE SOUSA CRB 15/398

PRISCILA SANTOS SOUZA

“ANÁLISE COMPARATIVA DAS USINAS DE TRATAMENTO MECÂNICO-
BIOLÓGICO BRASILEIRAS”

APROVADA EM: 30/08 /2018

BANCA EXAMINADORA



Prof.^ª. Dr.^ª. ROSIRES CATÃO CURI - UFCG
Orientadora



Prof. Dr. PATRÍCIO MARQUES DE SOUZA - UFCG
Examinador Interno

Maria Josicleide Felipe Guedes
Prof.^ª. Dr.^ª. MARIA JOSICLEIDE FELIPE GUEDES - UFERSA
Examinador Externo

Dedicatória

Dedico esta Dissertação à minha mãe Sônia, ao meu pai Rosélio, às minhas irmãs: Vanêssa e Roseane, minha família, minha base de tudo.

À minha avó Terezinha, sempre com seus conselhos e amor pela família, e aos meus avós que agora me assistem e me iluminam do céu, Alfredo, Francisco e Francisca.

Aos meus sobrinhos, que são minhas fontes de inspiração para lutar por um legado melhor para as novas gerações.

Assim como dedico com meu grande carinho à Débora, minha companhia de todas as horas.

Que bom poder ter pessoas com quem contar, seja nos momentos de alegrias ou de tristezas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Universidade Federal de Campina Grande, ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais e a CAPES, pelos suportes: acadêmico, técnico e financeiro, que permitiram a realização desta pesquisa.

À minha orientadora, Rosires Catão Curi, por ter somado tanto com o seu conhecimento e o seu apoio, pelo tempo e paciência dedicada a mim e ao projeto, e por ter comprado minhas ideias e acreditado que eu seria capaz.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Patrício Marques de Souza e Prof^a. Dr^a. Maria Josicleide Felipe Guedes, pelo tempo e esforço dedicado às correções e por vossas valiosas contribuições para o aperfeiçoamento deste trabalho.

À minha família maravilhosa, por todo apoio e carinho, perpassando todas as fases da minha vida, pessoas essenciais para a formação de quem sou. Obrigada por toda a base que vocês são e aos bons ensinamentos. Em especial, à minha mãe Sônia, meu pai Rosélio e minhas irmãs, Roseane e Vanêssa, e ao meu cunhado Joselito, por ser como um irmão para mim.

À Débora Cristina, que foi uma peça fundamental, ajudou-me e me incentivou nos momentos mais difíceis para a conclusão dessa Dissertação, assim como suportou a maior parte do estresse do trabalho árduo, por seu profundo carinho e atenção.

Aos meus amigos e colegas da Pós-Graduação em Recursos Naturais, que fizeram parte e que somaram tanto nessa jornada, em especial, Nayara Ariane, Daniel Bruno, Sabrina, Karinne e Marília, e os demais.

Aos meus amigos que as jornadas acadêmicas mais antigas trouxeram e que permanecem marcando minha vida, em especial, Rayla Vilar, Kamylla Batista, Ângela Nogueira, Hortência Guimelhães, Paloma Lima.

Às amigadas que foram feitas tão distantes, e que mesmo permanecendo distantes fisicamente, temos uma proximidade incrível, participam sempre dos meus dias, das minhas vitórias e tristezas, Greicy Kelly, Sivanilde Ribeiro e Cinthia Figueiredo.

Agradeço igualmente a todos que de uma forma ou de outra contribuíram seja na minha caminhada de vida ou na realização desse projeto.

A vida do pesquisador é encontrar as respostas para as perguntas do outro, tentar resolver os problemas do outro, buscando ajudar a melhorar a vida do outro. Para isso, usa a vida que é sua, criando problemas que se tornam seus e se questionando todos os dias, o porquê de tanto amor por aquilo que preenche seus dias.

(Autoria própria)

RESUMO

SOUZA, P. S. **Análise comparativa das usinas de Tratamento Mecânico-Biológico brasileiras**. 2018. 135f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

A presente pesquisa tem como foco, o Tratamento Mecânico-Biológico (TMB) para Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil, fazendo uma avaliação de desempenho das usinas operantes por meio do método Benchmarking. A pesquisa foi baseada em análise de material bibliográfico e documental, dividindo-se em três etapas: a primeira é a catalogação das usinas de TMB brasileiras por meio do site nacional e dos sites estaduais de licenciamento ambiental; a segunda é a avaliação comparativa entre as usinas de TMB operantes, quanto ao atendimento aos princípios e objetivos da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS); e a terceira é aplicação do método Benchmarking para avaliar o desempenho das usinas operantes no Brasil, usando indicadores dos tipos operacionais, econômicos, ambientais e sociais. Com a aplicação da metodologia observou-se que: Asa Sul, Ceilândia e Piracicaba obtiveram 81,82% de atendimento aos princípios. Já quanto aos objetivos da PNRS, as usinas atendem a 73,33 (Asa Sul e Ceilândia) e 83,33 (Piracicaba). Foram identificados diversos problemas nos sites de licenciamento, dificultando o acesso às informações. Com a catalogação foram identificadas 10 usinas, que nos próximos anos somarão uma capacidade de tratamento instalada de cerca de 10000 toneladas por dia. A análise pelo método Benchmarking apontou o Eco parque de Piracicaba como o de melhor desempenho entre os operantes, em segundo a usina em Ceilândia, e por último, a usina em Asa Sul. Conclui-se que deve haver melhorias nos sites de licenciamentos no Brasil, para facilitar a consulta da população em geral, que o TMB se encontra em processo de expansão no país, e se torna mais uma alternativa no tratamento de RSU, com possibilidade de geração de energia, de compostos orgânicos, e de separação e reaproveitamento de recicláveis.

Palavras-Chaves: *Resíduos Sólidos Urbanos; Alternativas de Tratamento; PNRS; Licenciamento Ambiental; Tratamento Mecânico-biológico.*

ABSTRACT

SOUZA, P. S. **Análise comparativa das usinas de Tratamento Mecânico-Biológico brasileiras**. 2018. 135f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

The present research focuses on the Mechanical-Biological Treatment (TMB) for Urban Solid Waste (RSU) in Brazil, making a performance evaluation of the operating plants through the Benchmarking method. The research was based on analysis of bibliographic and documentary material, divided into three stages: the first is the cataloging of Brazilian TMB plants through the national website and the state environmental licensing sites; the second is the comparative evaluation between the operating TMB plants in compliance with the principles and objectives of the National Solid Waste Policy (PNRS); and the third is the application of the Benchmarking method to evaluate the performance of operating plants in Brazil, using indicators of the operational, economic, environmental and social types. With the application of the methodology it was observed that: Asa Sul, Ceilândia and Piracicaba obtained 81.82% of compliance with the principles. Regarding the PNRS objectives, the plants serve 73.33 (Asa Sul and Ceilândia) and 83.33 (Piracicaba). Several problems were identified in the licensing sites, making it difficult to access information. With the cataloging, 10 plants were identified, which in the coming years will add an installed treatment capacity of around 10,000 tons per day. The analysis by the Benchmarking method pointed to the Eco park of Piracicaba as the one with the best performance among the operators, secondly the plant in Ceilândia, and finally, the plant in Asa Sul. It is concluded that there should be improvements in the licensing sites in Brazil, to facilitate the consultation of the population in general, that the TMB is in the process of expansion in the country, and becomes another alternative in the treatment of MSW, with the possibility of generating energy, organic compounds, and separation and reutilization of recyclable.

Keywords: *Urban Solid Waste; Treatment Alternatives; PNRS; Environmental Licensing; Mechanical-biological Treatment.*

RESUMEN

SOUZA, P. S. **Análise comparativa das usinas de Tratamento Mecânico-Biológico brasileiras**. 2018. 135f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

La presente investigación tiene como foco, el Tratamiento Mecánico-Biológico (TMB) para Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en Brasil, haciendo una evaluación de desempeño de las usinas operantes por medio del método Benchmarking. La investigación fue basada en análisis de material bibliográfico y documental, dividiéndose en tres etapas: la primera es la catalogación de las usinas de TMB brasileñas a través del sitio nacional y de los sitios estatales de licenciamiento ambiental; la segunda es la evaluación comparativa entre las usinas de TMB operantes, en cuanto a la atención a los principios y objetivos de la Política Nacional de los Residuos Sólidos (PNRS); y la tercera es aplicación del método Benchmarking para evaluar el desempeño de las usinas operantes en Brasil, usando indicadores de los tipos operativos, económicos, ambientales y sociales. Con la aplicación de la metodología se observó que: Asa Sur, Ceilândia y Piracicaba obtuvieron el 81,82% de atención a los principios. En cuanto a los objetivos de la PNRS, las usinas atienden a 73,33 (Asa Sur y Ceilândia) y 83,33 (Piracicaba). Se identificaron diversos problemas en los sitios de licenciamiento, dificultando el acceso a la información. Con la catalogación se identificaron 10 plantas, que en los próximos años sumarán una capacidad de tratamiento instalada de cerca de 10000 toneladas por día. El análisis por el método Benchmarking apuntó el Eco parque de Piracicaba como el de mejor desempeño entre los operantes, en segundo lugar la planta en Ceilândia, y por último, la usina en Asa Sur. Se concluye que debe haber mejoras en los sitios de licenciamientos en Brasil, para facilitar la consulta a la población en general, que el TMB se encuentra en proceso de expansión en el país, y se convierte en una alternativa en el tratamiento de RSU, con posibilidad de generación de energía, de compuestos orgánicos, y de separación y reaprovechamiento de reciclables.

Palabras Claves: *Residuos Sólidos Urbanos; Alternativas de Tratamiento; PNRS; Licenciamiento Ambiental, Tratamiento Mecánico-biológico.*

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

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

AGV - Ácidos Graxos Voláteis

CADRI - Certificado de Movimentação de Resíduos de Interesse Ambiental

CDR - Combustível Derivado de Resíduos

CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem

CENTRAC - Centro de Ação Cultural

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CISBRA - Consorcio Intermunicipal de Saneamento Básico da Região do Circuito das Águas

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

COP 21 - Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climática

DA - Digestão Anaeróbica

DEFRA - Department For Enviroment, Food & Rural Affairs

DMO - Degradação da Matéria Orgânica

EDS - Energia e Desenvolvimento Sustentável

EIA - Estudo de Impacto Ambiental

EU ETS - European Union Emission Trading Scheme

FADE/UFPE - Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco

FIESP- Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

GEE - Gases de Efeito Estufa

GLP - gás liquefeito de petróleo

GNV - Gás Natural Veicular

GT - Giga toneladas

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

ISWA - The International Solid Waste Association

KWH - Quilowatt-hora

LI - Licença de Instalação

LO - Licença de Operação
LP - Licença Prévia
m³ - Metro Cúbico
MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MMA - Ministério do Meio Ambiente
NBR – Norma Brasileira
°C - Grau Celsius
P.E.A.D - polietileno de alta densidade
PERSU II - Plano Estratégico dos Resíduos Sólidos Urbanos
Ph - Potencial Hidrogeniônico
PIB - Produto Interno Bruto
PK - Protocolo de Kyoto
PNLA - Portal Nacional do Licenciamento Ambiental
PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos
RIMA - Relatório de Impacto Ambiental
RO - Resíduos Orgânicos
RSU - Resíduos Sólidos Urbanos
RU - Resíduos Urbanos
SINDCON - Sindicato Nacional das Concessionárias Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto
SISNAMA - Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SNVS - Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
ST - Sólidos Totais
SUASA - Sistema Unificado de Atenção a Sanidade Agropecuária
TM - Tratamento Mecânico
TMB - Tratamento Mecânico-Biológico
UE – União Europeia
URE - Usinas de Recuperação de Energia
UTMB - Unidades de Tratamento Mecânico-Biológico
WTERT - The Wast-to-Energy Reseach and Technology Council

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação da destinação final de RSU	28
Figura 2 - Fases do TMB.....	36
Figura 3 - Planta TMB - integração de tecnologias e processo	37
Figura 4 - Etapas da biodigestão	45
Figura 5 - Organograma representativo do mercado de carbono	61
Figura 6 - Oferta de energia elétrica brasileira por fonte.....	63
Figura 7 - Etapas do processo Benchmarking	70
Figura 8 - Localização geográfica do Brasil.....	72
Figura 9 - Composição gravimétrica dos RSU gerados no Brasil.....	73
Figura 10 - Esquema da Metodologia	75
Figura 11 - Problemáticas encontradas nas busca por licenciamentos ambientais no PNLA	82
Figura 12 - Capacidade instalada e capacidade prevista em toneladas por dia	94
Figura 13 - Porcentagem do atendimento das usinas de TMB aos Princípios da PNRS105	
Figura 14 - Porcentagem do atendimento das tecnologias aos Objetivos da PNRS	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ordem de prioridade para a gestão de Resíduos Sólidos Urbanos.....	26
Tabela 2 - Vantagens e desvantagens do Tratamento Mecânico-Biológico	35
Tabela 3 - Equipamentos utilizados no tratamento mecânico.....	39
Tabela 4 - Quantidade de município com iniciativa de coleta seletiva nos anos 2014 e 2015	40
Tabela 5 - Materiais recicláveis e não recicláveis	42
Tabela 6 - Percentagem de gases no biogás.....	49
Tabela 7 - Vantagens e desvantagens na produção de biogás	50
Tabela 8 - Comparação entre biogás e outros combustíveis.....	51
Tabela 9 - Vantagens e desvantagens da compostagem	52
Tabela 10 - Parâmetros relevantes que afetam o processo de compostagem.....	53
Tabela 11 - Quantidade de municípios por tipo de disposição final adotada em 2016	57
Tabela 12 - Potencial de redução de emissão de gás carbônico dos projetos de MDL brasileiros, registrados até dezembro de 2014	62
Tabela 13 - Órgãos responsáveis pelos licenciamentos ambientais em cada estado.....	76
Tabela 14 - Tipologia de sinais utilizados no método Benchmarking.....	79
Tabela 15 - Descrição dos indicadores para o método Benchmarking.....	80
Tabela 16 - Comentários à respeito dos órgãos estaduais de licenciamento ambiental ...	84
Tabela 17 - Status das usinas de tratamento mecânico-biológico em fase de implantação no Brasil.....	87
Tabela 18 - Avaliação das usinas de TMB implantadas ou em processo de implantação no Brasil.....	93
Tabela 19 - Incisos referentes aos princípios da PNRS e suas respectivas explicações....	97
Tabela 20 - Incisos referentes aos objetivos da PNRS e suas respectivas explicações	98
Tabela 21 - Análise do atendimento do TMB e Aterros Sanitários aos Princípios da PNRS.....	102
Tabela 22 - Análise do atendimento do TMB e Aterros Sanitários aos Objetivos da PNRS.....	107
Tabela 23 - Aplicação do método Benchmarking para usinas de TMB em operação no Brasil	115

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1. JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	21
1.2. OBJETIVOS	24
1.2.1. <i>Objetivo Geral</i>	24
1.2.2. <i>Objetivos Específicos</i>	24
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
2.1. POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS	25
2.2. TRATAMENTOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	27
2.2.1. <i>Tratamento de RSU no Mundo</i>	29
2.2.2. <i>Tratamento de RSU no Brasil</i>	33
2.3. TRATAMENTO MECÂNICO-BIOLÓGICO	34
2.3.1. <i>Planta de TMB</i>	36
2.3.2. <i>Tratamento Mecânico</i>	38
2.3.2.1. <i>Reciclagem</i>	39
2.3.3. <i>Tratamento Biológico</i>	43
2.3.3.1. <i>Resíduos Orgânicos</i>	43
2.3.3.2. <i>Biodigestão Anaeróbia</i>	45
2.3.3.2.1. <i>Etapas da Biodigestão</i>	45
2.3.3.2.2. <i>Fatores que influenciam na digestão anaeróbia</i>	47
2.3.3.2.3. <i>O biogás</i>	49
2.3.3.3. <i>Compostagem</i>	51
2.3.4. <i>Experiência de tratamentos mecânico-biológico em países europeus</i>	54
2.4. DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS	57
2.4.1. <i>Aterro sanitário</i>	58
2.5. MECANISMOS DE DESENVOLVIMENTO LIMPO (MDL) E MERCADO DE CRÉDITOS DE CARBONO	60
2.5.1. <i>Energia renovável no Brasil</i>	62
2.7. INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE SOBRE GESTÃO DE RESÍDUOS ..	66
2.8. FERRAMENTA DE ANÁLISE	67
2.8.1. <i>Método Benchmarking</i>	67

3. METODLOGIA	72
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	72
3.2. CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	74
3.3. ETAPAS DA PESQUISA	75
3.3.1. <i>Catálogo das usinas no país</i>	75
3.3.2. <i>Análise quanto à PNRS</i>	78
3.3.3. <i>Avaliação de desempenho das usinas</i>	78
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	81
4.1. CATALOGAÇÃO DAS USINAS NO PAÍS	81
4.1.1. <i>Análise do site do PNLA</i>	81
4.1.2. <i>Análise dos sites de licenciamentos estaduais</i>	83
4.1.3. <i>Catálogo das usinas</i>	86
4.2. ANÁLISE QUANTO A PNRS	96
4.3. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DAS USINAS.....	113
4.3.1. <i>Aplicação do método Benchmarking</i>	113
4.3.3. <i>Análise dos resultados do método Benchmarking</i>	116
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	119
5.1. RECOMENDAÇÕES	120
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121

1. INTRODUÇÃO

As ações antrópicas sobre o planeta estão revelando impactos cada vez maiores aos recursos naturais, o que afeta diretamente a qualidade de vida dos seres existentes, inclusive o próprio causador, o homem. E assim, a preocupação global por modos de amenizar ou remediar tais impactos se encontram na pauta da maioria dos países, inclusive em tratados mundiais importantes. Dentre os principais temas amplamente discutidos e avaliados estão a poluição do solo, do ar e da água, além da escassez eminente de fontes energéticas não-renováveis.

Em meio às buscas por formas de diminuir os impactos causados pelas ações antrópicas, uma alternativa que seria capaz de amenizar os riscos anteriormente citados relaciona-se ao tratamento adequado dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Se devidamente realizado, pode ser capaz de diminuir impactos ambientais, já que diminuiria o contato por disposição nos elementos anteriormente citados (solo, ar e água) e a extração de matéria prima do meio ambiente, através do reaproveitamento das frações recicláveis e das frações orgânicas.

Segundo Nascimento et al. (2017) a reutilização ou reciclagem dos materiais trazem como consequências, o aumento da vida útil do aterro sanitário, a partir da redução de resíduos que deixarão de ser encaminhados ao mesmo, e aumenta o ciclo de vida das matérias-primas. Por isso, aconselha-se o encaminhamento aos aterros sanitários os materiais denominados rejeitos, quando esses não possuem na localidade outra forma de reaproveitamento.

No caso dos materiais recicláveis, com o seu reaproveitamento a partir do processo de triagem, existe a economia de energia e de matéria prima, no processo de fabricação de novos materiais, a criação de trabalho e renda, principalmente para famílias de baixa renda, a diminuição do volume e das áreas necessárias para disposição desses resíduos, além da redução dos impactos ambientais e sociais gerados.

Em relação à fração orgânica dos RSU, segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, IPEA (2017), esta corresponde a cerca de 57% de todo o resíduo gerado nos municípios brasileiros. Santos et al. (2014) complementa relatando que a fração orgânica não deve ser enviada para aterros sanitários, e sim, tratada biologicamente, reciclando as moléculas orgânicas que têm função nutricional e também diminuindo o potencial poluidor e contaminante dos resíduos, além de ser capaz de servir de fonte energética renovável, o que

supriria parte da utilização das reservas de fontes não-renováveis, as quais a cada dia estão mais próximas do seu ponto de esgotamento.

Diante da problemática com os resíduos sólidos no Brasil, ocorreu em 2010 a implantação da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), na forma da Lei 12.305 que tem como objetivos e ordem de prioridades quanto a gestão dos resíduos sólidos: a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

A PNRS afirma em seu 9º artigo, parágrafo 1º, que poderão ser utilizadas tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos, 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 (BRASIL, 2010).

Com base nos dados fornecidos pela ABRELPE (2016), os números referentes à geração de RSU revelam um total anual de quase 78,3 milhões de toneladas no país. O montante coletado em 2016 foi de 71,3 milhões de toneladas, índice de cobertura de coleta de 91%. A disposição final dos RSU coletados demonstrou que 58,4% ou 41,7 milhões de toneladas de resíduos foram enviados para aterros sanitários. E mais de 29,7 milhões de toneladas de resíduos, 41,6% do coletado em 2016, foram parar em lixões ou aterros controlados, que não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessárias para proteção do meio ambiente contra danos e degradações.

Em relação à destinação de resíduos aos aterros, prática incentivada pela Lei nº 12.305/10, Portella e Ribeiro (2014) afirmam que um dos seus pontos negativos é a limitada vida útil dos mesmos, o que acarreta na procura constante por novos espaços, o que nos dias atuais se constitui em uma missão bastante difícil, além disso, há a geração de odores, e a possibilidade de exposição e riscos aos trabalhadores. Ainda segundo os referidos autores, não menos importante é fato de o aterro ser emissor de Gases de Efeito Estufa (GEE), ademais há proliferação de potenciais doenças associadas.

Nogueira et al. (2017), afirmam que existe ainda a situação dos catadores de resíduos, que se inserem numa forma de ocupação reconhecida, mas que já nasce sem garantias sociais e trabalhistas mínimas, ou seja, surge dentro de uma condição precária, pois apesar de serem expostos a diversos fatores, nem sempre usam EPI. Outra situação insalubre é o reaproveitamento de alimentos, pois sua condição de pobreza, baixa escolaridade e exclusão social é constatável nestes trabalhadores, que catam lixo como alternativa de sobrevivência.

De acordo com Vitali (2014), na Europa, continente que obtém atualmente altos índices de reaproveitamento de resíduos e uma política rigorosa de gestão dos mesmos, o setor já movimenta em cerca de 1% do PIB da União Europeia (UE), em torno de 145 bilhões de euros por ano, empregando dois milhões de pessoas. Dados divulgados pelo relatório da European Environment Agency (2013), destacam que cinco países já atingiram a meta de 50% de reaproveitamento até 2020, sendo eles: Áustria (63%), Alemanha (62%), Bélgica (58%), Holanda (51%) e Suíça (51%).

Assim como a Europa há algumas décadas, o Brasil está começando um processo de mudança na gestão dos seus RSU. O encerramento gradual das áreas de disposição inadequada de resíduos e a busca por novas soluções para otimizar e tornar mais sustentável a sua gestão começam a ser percebidos em algumas cidades do país (MANNARINO et al., 2016).

Para diminuir a dependência de destinação de resíduos aos aterros, faz-se necessário investimento em técnicas que possam auxiliar a separação entre materiais recicláveis, rejeitos e matéria orgânica, o que pode ser conseguido através de tratamento mecânico (separação). Já o reaproveitamento da fração orgânica seria alcançada com posterior tratamento biológico, no qual se tornaria viável a produção de energia renovável e de composto orgânico através dos métodos de Digestão Anaérobica (DA) e compostagem, respectivamente.

Com o aprimoramento de técnicas de tratamentos de RSU, atualmente já existem plantas industriais que acoplam os dois tipos de tratamentos citados acima, são as chamadas usinas de Tratamento Mecânico-Biológico (TMB), as quais se encontram em expansão em muitos países, principalmente os que já estão avançados na esfera de reaproveitamento de RSU, como é o caso dos países Europeus.

Essas usinas são uma forma otimizada e eficiente na gestão integrada dos RSU, por meio das quais é possível, em um sistema acoplado de processos, realizar a separação dos materiais recicláveis e o tratamento da fração orgânica dos resíduos. Além disso, é uma tecnologia considerada mais econômica se comparada com outras existentes no mercado, como a incineração, por exemplo, além de ser mais sustentável, já que proporciona a reinserção no campo produtivo dos materiais reaproveitados.

Para Milutinović (2016), as avaliações da sustentabilidade de sistemas para gestão de resíduos se tornam uma problemática de alta complexidade, já que nesse meio estão inseridas avaliações por vários vieses, seja por viabilidades ambientais, econômicas, de aceitabilidade social, assim como os fatores tecnológicos e operacionais.

Para avaliar o desempenho de empreendimentos gestores de resíduos, pode-se fazer uso de indicadores de sustentabilidade, que direcionam a comparação a ser realizada. Na presente pesquisa serão utilizados indicadores ambientais, econômicos, sociais e operacionais, que serão aplicados em conjunto com o método Benchmarking.

O Benchmarking é um processo de pesquisa que se baseia na busca por ideias, métodos, práticas e processos que possam trazer alguma inovação, com a finalidade de adotar, adaptar e implementar práticas de aspectos considerados de bom desempenho, com a finalidade de se tornar o melhor em uma determinada atividade. Em resumo, é um processo que visa o constante aprendizado, não somente com os concorrentes diretos e com maior abrangência, mas também, com qualquer organização cujas práticas visam alcançar a excelência (CAMP, 1989).

Diante do que foi explanado, é que no presente trabalho, objetivou-se avaliar a inserção do Tratamento Mecânico-Biológico dentro do cenário nacional no que concerne a aspectos quali-quantitativos usando o método Benchmarking, a fim de uma melhor análise da tecnologia no Brasil. E a partir disso, apontar melhorias para elevar o desempenho das atuais usinas, bem como das que estão e estarão sendo implantadas no futuro.

1.1. JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

A presente pesquisa se justifica, por abordar um tema de grande relevância e que na presente década tem estado no foco das preocupações brasileiras, o gerenciamento de RSU. Isso se deve às mudanças ocorridas no cenário Nacional, sobretudo após a aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Nela, estão estabelecidas as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, as responsabilidades dos geradores e do poder público e os instrumentos econômicos aplicáveis, tendo assimilado conceitos vigentes em países desenvolvidos, particularmente da Europa (BRASIL, 2010).

No entanto, 8 anos após a implantação da PNRS, o Brasil ainda apresenta dificuldades no que diz respeito a implantação de tecnologias para o tratamento de resíduos, que ainda se alia a crescente geração de resíduos, demandando cada vez mais recursos financeiros e pessoal para todas as etapas do processo de implantação, a responsabilização da população e dos fabricantes de materiais pelos custos de recolhimento, valorização e destinação dos materiais pós-consumo (MANNARINO et al., 2016).

Ao se aprofundar na legislação referente à PNRS, pode-se notar que a mesma possui ferramentas importantes que permitem o avanço necessário ao país, para combater impactos ambientais, sociais e econômicas que são consequências do gerenciamento inadequado dos resíduos sólidos.

De acordo com a referida Lei, no art. 8, também há a orientação da prática de cooperação tanto técnica como financeira entre os setores público e privado. Dessa forma, busca-se “desenvolvimento de pesquisas de novos produtos, métodos, processos e tecnologias de gestão, reciclagem, reutilização, tratamento de resíduos e disposição final ambientalmente adequada de rejeitos” (BRASIL, 2010).

E ao analisar o que foi explicitado, sob o ponto de vista do Tratamento Mecânico-Biológico, tecnologia foco de estudo deste trabalho, verifica-se que a mesma pode ser um caminho capaz de contribuir para melhorar o cenário atual na gestão dos RSU, já que em uma única tecnologia tem a capacidade de lidar, de forma mais integrada, com os diferentes tipos de resíduos, uma vez que tanto os resíduos recicláveis quando as frações orgânicas possuem destinações para o reaproveitamento, restando apenas os rejeitos. Esse últimos podem ser enviados a aterros ou utilizadas tecnologias, como a incineração, para geração de energia.

O fato do TMB ter capacidade de gerir diferentes frações de resíduos, restando apenas uma menor parte para destinação a aterros, como determina a PNRS, demonstra que apesar da tecnologia ter advindo de países Europeus, tende a se encaixar nos preceitos da legislação brasileira pertinente.

No entanto, quanto à tecnologia citada, o Brasil ainda tem se mostrado incipiente quanto ao número de pesquisas relacionadas ao TMB de resíduos sólidos. Apesar de ser uma modalidade de tratamento mais recente, quando comparada à tecnologias mais amplamente utilizadas, como são o caso, por exemplo, da compostagem e da digestão anaeróbica de resíduos orgânicos, já está em grande fase de difusão.

A tecnologia se encontra em fase de difusão, não apenas no território Europeu, onde foi iniciada, mas em todo o globo, inclusive no Brasil. No Brasil já se pode observar usinas que estão em fase de implantação, ou já estão sendo operadas, como nos municípios de Piracicaba - SP; Asa Sul - DF e Ceilândia - DF.

Apesar da existência de tais usinas no Brasil, o país ainda possui poucos estudos sobre as mesmas. Prova disto, é que mesmo órgãos nacionais que trabalham com dados referentes ao tratamento de resíduos, como é o caso do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento) não possui esse tipo de tecnologia discriminada em seu banco de dados, mesmo que ela já exista.

Também não foram identificadas avaliações se esse tipo de tratamento se adequa ao que determina a legislação nacional. Assim como, não há catalogação e mapeamento de usinas de TMB, nem estudos sobre os seus desempenhos, suas eficiências quanto à atividade a que se destina, o processamento de resíduos, etc.

Alguns autores que teceram trabalhos sobre a tecnologia de TMB são citados a seguir: Pintre (2017), abordou as etapas do TBM, além de seus benefícios ambiental, social e econômico; Costa (2010), expôs o tratamento mecânico-biológico de RSU e avaliou este processo para a recuperação de materiais recicláveis; Prates et al. (2016), realizou um apanhado de experiências concernentes ao tratamento mecânico-biológico, avaliando posteriormente se o método pode ser considerado uma alternativa viável na gestão dos RSU; Lima (2014), analisou as contribuições do TMB para o alcance das metas de reciclagem e diminuição da deposição de resíduos em aterros; Alcantara (2016), avaliou experiências vividas em Portugal para buscar melhor solução para o aterro municipal de Santo André; e Zambon (2017), estudou alternativas para a gestão dos resíduos orgânicos urbanos na cidade de Florianópolis.

Nos estudos listados, não foram realizadas análises do próprio mercado brasileiro em relação a essa tecnologia, sendo analisados dados coletados em outros países para estudar a viabilidade de aplicação no Brasil. Ou ainda, estudam essa tecnologia juntamente com outros tipos de tratamento, para ver qual o mais adequado à realidade analisada.

Tal fato também ocorre com órgãos públicos, que não dão muita visibilidade ao tipo de tratamento em questão, o que pode ser comprovado a partir da dificuldade para encontrar dados referentes às usinas, e ainda, de dados escassos relativos às usinas de TMB instaladas ou em processo de instalação no país, já que tanto o setor público quanto os acadêmicos ainda não destinaram muitos estudos a esse tema, e conseqüentemente dificulta os processos de avaliação da tecnologia.

Ainda há importância no estudo, por estar voltado para o aproveitamento dos RSU em área urbana, principalmente para grandes centros urbanos, onde a produção de resíduos é mais concentrada e a destinação se torna mais complicada e dispendiosa com o passar dos anos, devido a fatores como: aumento da população, escassez de extensas áreas para construção de aterros sanitários, aumento do consumismo e desperdício de alimentos e produtos.

Em termos práticos, a coleta seletiva de materiais recicláveis já é realizada no Brasil, porém, não é estendida a todos os municípios, já que fica, em grande parte, a cargo das iniciativas tomadas por parte das cooperativas e associações de catadores, que passam porta-a-porta separando e coletando materiais a serem reciclados, e dependentes da conscientização de populares para a prévia separação de seus resíduos, para que seu trabalho de seleção seja facilitado.

No entanto, com a implantação de uma usina de tratamento mecânico-biológico, espera-se que: a separação dos diferentes tipos de resíduos seja facilitada, já que será um processo mecânico e automatizado, o que evitará a necessidade da coleta seletiva porta-a-porta, e a diminuição dos riscos de catadores entrarem em contato com materiais contaminados, dentre outras formas de riscos laborais.

Além de que, por meio desse processo, possa haver o reaproveitamento de resíduos orgânicos e recicláveis, haja maior geração de emprego e renda, maiores ganhos com comercialização de biofertilizantes, biogás ou energia e créditos de carbono, diminuição da necessidade de destinação de resíduos à aterro, de desperdício de matéria-prima e energia, e conseqüentemente, os impactos ambientais sejam reduzidos.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Avaliar a inserção do Tratamento Mecânico-Biológico dentro do cenário nacional no que concerne a aspectos quali-quantitativos usando o método Benchmarking, a fim de uma melhor análise da tecnologia no Brasil.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar a catalogação e das usinas de Tratamento Mecânico-Biológico que estão em funcionamento ou em processo de implantação no País;
- Fazer a avaliação comparativa entre as usinas operantes de Tratamento Mecânico-Biológico quanto ao atendimento aos Princípios e Objetivos da PNRS;
- Avaliar, por meio do método Benchmarking, o desempenho das Usinas de Tratamento Mecânico-Biológico operantes no território nacional.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), publicada em 2 de Agosto de 2010, foi criada com o intuito de gerenciar de forma mais efetiva os problemas referentes aos resíduos sólidos a nível nacional, além de abordar sobre tópicos como a coleta de resíduos sólidos, sua adequada deposição final, a alocação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético (BRASIL, 2010).

A PNRS também abrange outras finalidades permitidas pelos órgãos competentes do SISNAMA (Sistema Nacional do Meio Ambiente), do SNVS (Sistema Nacional de Vigilância Sanitária) e do SUASA (Sistema Unificado de Atenção a Sanidade Agropecuária), abrangendo também seu destino final, observando sempre as condições operacionais específicas, prevenindo assim danos ou riscos à saúde pública e à segurança, assim como diminuir consequências ambientais (BRITO, 2013).

Nesse sentido, e buscando viabilizar a gestão integrada dos resíduos sólidos, a lei nº. 12.305/10 define tal gestão como um conjunto de atividades que sejam capazes de considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável, enquanto está voltada para buscar soluções para os resíduos sólidos (BRITO, 2013).

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os resíduos sólidos podem ser definidos como:

“Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.” (BRASIL, 2010).

Quanto às fontes geradoras, os resíduos sólidos são resultado de diversos tipos de atividades, portanto, podem ser classificados de uma maneira geral segundo a divisão feita por Schalch et al. (2015), em: resíduos de construção civil; industriais; serviços de saúde; agrossilvopastoris; mineração; serviços de transporte; serviços públicos de saneamento básico; estabelecimentos comerciais e prestação de serviços; e por fim, os resíduos sólidos

urbanos, que se dividem em resíduos domiciliares e de limpeza urbana. Vale frisar que os resíduos de estabelecimentos comerciais e de prestação de serviços são incluídos nos RSU.

A compreensão das características dos resíduos sólidos permite um melhor desempenho para tratar a problemática, além de conscientizar a população e autoridades competentes a realizarem uma reflexão acerca do tema, para tomar medidas mais efetivas (PEREIRA, 2014).

Assim, tendo como foco os Resíduos Sólidos Urbanos a PNRS os classifica, de acordo com sua origem, em: resíduos domiciliares – aqueles que são originários de atividades domésticas em residências urbanas; e resíduos de limpeza urbana – os oriundos dos serviços de varrição, limpeza de logradouros e vias públicas, bem como de outros serviços de limpeza urbana (BRASIL, 2010).

A referida lei traz ainda a ordem de prioridades referente à adequada gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos, sendo considerada de maior prioridade a não geração e como última a disposição final ambientalmente adequada, que deve vir após utilizadas todas as formas anteriormente prioritárias, visando a minimização dos resíduos destinados aos aterros sanitários, e outras formas de disposição.

Tabela 1 - Ordem de prioridade para a gestão de Resíduos Sólidos Urbanos

ORDEM	GESTÃO
Não Geração	Executar a ação produtiva de maneira que não ocorram perdas durante o processo e outras atividades que o englobam;
Redução	Procurar o aperfeiçoamento e a potencialização da efetividade do processo no que diz respeito à utilização de máquinas, matérias primas, elaboração de novas tecnologias, para assim ocasionar diminuição na quantidade de resíduos;
Reutilização	Assinalar e buscar meios que viabilizem de modo técnico e econômico o uso de restos e perdas no próprio processo ou em outro, essa alternativa pode ser incrementado do ponto de vista mássico quanto energético;
Reciclagem	Identificar, pesquisar caminhos que proporcionem de maneira técnica e econômica o tratamento de refugos, perdas em processos, embalagens, possibilitando assim a transformação em insumos ou novos produtos;
Outros tratamentos	Realização de técnicas, tais como: compostagem, recuperação, aproveitamento energético, entre outras admitidas pelos órgãos competentes;
Disposição final ambientalmente adequada	Destino de resíduos em aterro, seguindo diretrizes operacionais específicas evitando desta maneira danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

Fonte: Adaptado de FIESP (2017).

No âmbito ainda da gestão integrada de resíduos sólidos urbanos, a partir da aplicação de políticas preservacionistas, tanto a nível nacional quanto internacional, a literatura aponta avanços, ao longo das duas últimas décadas, nos conceitos de gestão e na quantidade de estudos, em especial, aqueles que abordam o setor informal e sua integração na coleta seletiva (BESEN et. al, 2014).

Assim, pensando em formas de adequado tratamento, reutilização ou destinação dos RSU, é importante conhecer sua composição. Através de dados de gravimetria e baseando-se na PNRS, o IPEA (2017), estima que a composição dos resíduos descartados no país, se divide em: 57,41% de matéria orgânica (sobras de alimentos, alimentos deteriorados, lixo de banheiro), 16,49% de plástico, 13,16% de papel e papelão, 2,34% de vidro, 1,56% de material ferroso, 0,51% de alumínio, 0,46% de inertes e 8,1% de outros materiais.

Tanto os materiais recicláveis quando as frações orgânicas podem passar por diferentes formas de tratamentos aumentando o reaproveitamento de matéria-prima, de energia e diminuindo os impactos referentes aos volumes aterrados, onde no primeiro caso são separados e revendidos para entrarem novamente na cadeia produtiva, ou no segundo caso, para servirem dentre outras finalidades, como fontes de fertilizantes para os solos e produção de energia.

2.2. TRATAMENTOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Segundo organizações internacionais como a ISWA (International Solid Waste Association) e WTER (Wast-to-Energy Research and Technology Council), há uma ordem de prioridade em relação às formas de tratamentos mais sustentáveis em longo prazo. Portanto, a sustentabilidade é vista de maneira dependente da situação de reaproveitamento do RSU produzido, além da diminuição do nível aterrado (VAZ, 2016). Essa relação está descrita na Figura 1.



Figura 1 - Classificação da destinação final de RSU

Fonte: WTERT Brasil (2015).

Por meio da Figura 2 observa-se que, a maior prioridade em termos de sustentabilidade, assim como a redução na quantidade de resíduos aterrados é, atualmente, a reutilização do RSU por meio da reciclagem ou da valorização da fração orgânica através da digestão anaeróbica ou da compostagem, sendo intermediário o tratamento térmico, menos sustentável a utilização de aterros sanitários, e como pior tecnologia os chamados lixões. A última forma de disposição não é indicada, apesar de ainda ser utilizada em muitos lugares. Já os aterros sanitários são aconselháveis para a disposição de materiais não-reaproveitáveis, assim como também, segundo a estrutura podem servir como forma de tratamento de resíduos.

As tecnologias para o tratamento dos resíduos sólidos urbanos se dividem em três principais categorias, quais sejam: tratamento térmico, mecânico e bioquímico, onde cada uma apresentam suas próprias particularidades.

No tratamento térmico, os resíduos recebem, a partir de fontes externas, uma grande quantidade de calor (energia), o que acabam por gerar mudanças nas características dos diferentes materiais, podendo ser exemplos o tratamento por incineração ou por plasma (WITZLER, 2018).

No tratamento bioquímico, há a ação de grupos de seres vivos, como as bactérias, que acabam por digerirem os resíduos, isso ocorre devido à quebra das moléculas maiores,

tornando os resíduos em uma mistura de substâncias e em moléculas menores, podendo ser exemplos, a compostagem e a biodigestão (WITZLER, 2018).

Já no tratamento mecânico, não ocorrem reações químicas e o tamanho dos resíduos é modificado. Ocorre nesse processo apenas a separação das diferentes frações de resíduos, servindo como exemplo, a reciclagem (WITZLER, 2018).

Dentre os tratamentos, o térmico é indicado para as diferentes frações dos resíduos, o bioquímico para as frações orgânicas, que são passíveis de digestão, e o mecânico é indicado para separar as diferentes frações de resíduos recicláveis. Dentro dos três tipos, há o surgimento de tecnologias que agregam mais de uma espécie de tratamento, como é o caso das tecnologias de Tratamento Mecânico-Biológico, que mesclam processos mecânicos e bioquímicos, e será melhor abordada nos tópicos seguintes.

2.2.1. Tratamento de RSU no Mundo

Segundo dados do Statistical Office of the European Union - Eurostat, a produção de resíduos alcançou a impressionante marca de 248 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos nos 28 estados membros da União Européia, aproximadamente 680 mil toneladas diárias, no ano de 2012. No entanto, a partir do ano de 2008, vem ocorrendo a diminuição da geração *per capita* média entre estados da União Européia (EUROSTAT, 2014).

No ano citado, a média anual de resíduos gerados por pessoa era de 520 kg ($1,42 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) enquanto que, em 2012, esse valor passou a 492 kg ($1,35 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$). Já os resíduos destinados a incineração apresentaram conduta oposta, uma vez que houve “aumento de 80%, a reciclagem e os tratamentos biológicos (compostagem e digestão anaeróbia) tiveram crescimento bastante expressivo” (EUROSTAT, 2014).

De acordo com o Senado Federal (2014), com relação aos membros da EU que se destacam no tratamento de RSU, tem-se como principal a Alemanha, que atualmente é considerada líder mundial em tecnologias e políticas de resíduos sólidos, e possui, por consequência, os índices de reaproveitamento mais elevados do mundo.

Porém, o país ainda quer atingir metas ainda mais relevantes no cenário de tratamento dos RSU, pretendendo até o final desta década recuperar completamente os resíduos sólidos urbanos, prezando pela qualidade dos mesmos, erradicando dessa forma a necessidade de envio aos aterros sanitários. “Levando em consideração que hoje, o índice já é inferior a 1%,

pois desde junho de 2005, a remessa de lixo doméstico sem tratamento ou da indústria em geral para os aterros está proibida” (SENADO FEDERAL, 2014).

Portanto, entende-se que o país tem sido o pioneiro em vários tratamentos para os RSU, investindo dessa forma em tecnologias e que visam alcançar a melhor e mais sustentável maneira de lidar com os resíduos e preocupando-se com a deposição final do mesmo.

Entre 2002 e 2010, o total de resíduos urbanos domésticos produzidos pela Alemanha reduziu de 52,8 milhões para 49,2 milhões de toneladas. Em 2011, 63% de todos os resíduos urbanos foram reciclados na Alemanha (46% por reciclagem e 17% por compostagem), contra uma média continental de 25%. Se entre seus vizinhos 38% dos resíduos acaba em aterros sanitários, na Alemanha a taxa é virtualmente zero, em grande parte, devido ao fato de que 8 em cada 10 quilos de resíduos não reaproveitados são incinerados, gerando energia (SENADO FEDERAL, 2014).

Outro país que tem mostrado empenho no tratamento dos resíduos é a Suíça, segundo Mannarino *et. al.* (2016), o país tem investido na conscientização de sua população, estimulando a adoção de comportamentos sustentáveis e desestimulando práticas que afetem negativamente o meio natural, como exemplo, “cada saco de 35 litros custa entre 2 e 3 Francos Suíços, ou aproximadamente 6,08 a 9,11 reais, o valor elevado de cada saco de resíduos incentiva à população a separar os resíduos recicláveis e tratáveis biologicamente, reduzindo os gastos para o recolhimento dos resíduos gerados”.

Uma outra ferramenta tem sido utilizada para promover a ideia sustentável e a responsabilidade da população sobre os resíduos, é a taxa de eliminação antecipada ou contribuição antecipada para reciclagem. Esta taxa é adicionada ao valor que o consumidor paga por alguns produtos. Por fim, Esta taxa é recolhida pelos comerciantes com o intuito financiar o sistema de coleta seletiva (MANNARINO *et al.*, 2016).

Na Suíça paga-se, cerca de 5,5 centavos de Real, em cada garrafa plástica; 2,6 centavos em cada lata de até 1,5 litros; R\$ 3,65 por lâmpada fluorescente; R\$ 1,82 por garrafa de vidro; R\$ 24,32 em cada impressora e 15 centavos em cada pilha AA. O Instituto Federal do Meio Ambiente da Suíça - OFEV, no ano de 2012, apresentou receita da taxa de eliminação antecipada para pilhas foi de R\$ 42.560.000,00, o que contribuiu para o recolhimento e reciclagem de 2.500 toneladas de pilhas (OFEV, 2013).

Partindo para o continente Asiático temos o Japão, que segundo a Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco - FADE/UFPE (2014) “é

conhecido por sua característica no avanço da área tecnológica e ambiental, é também um dos países líderes no mundo nas práticas de gestão e nas tecnologias empregadas no tratamento dos resíduos sólidos”. Em 1971, foi criada a Agência Ambiental Japonesa (JEA), cujo objetivo era comandar a gestão de resíduos sólidos no país, esse órgão tem caráter regulatório, ademais planifica os dispositivos normativos, que são cruciais no auxílio ao bom funcionamento do gerenciamento dos resíduos naquele país (FADE, 2014).

Ainda de acordo com a referida fonte, atualmente o quadro legislativo de gestão de RSU no país baseia-se em três legislações relevantes, derivadas da lei maior, a Lei Básica de Meio Ambiente:

- * A Lei de Gestão de Resíduos e Limpeza, que é regularmente revista desde 1970;
- * A Lei para a Promoção da Utilização Eficiente de Recursos, aplicada em 1991;
- * A Lei Fundamental do Ciclo de Vida dos Materiais, aplicada em 2000.

Por fim, o Japão apresenta atualmente indicadores elevados de reciclagem dos mais diversos tipos de materiais, fazendo uso do processo de incineração para a redução do volume de resíduos sólidos. O modelo japonês é considerado como bastante avançado quando comparado aos demais países, especialmente no aspecto administrativo, como a descentralização e ao sistema de regulação, pois “a legislação japonesa se ajusta fortemente à questão territorial daquele país, com indicações tecnológicas voltadas à redução do volume de resíduos, implicando o uso intensivo da incineração” (FADE, 2014).

Outro país que se destaca em termos de iniciativa e tecnologias a respeito de tratamentos dos RSU é a Suécia, seu desenvolvimento e suas riquezas fizeram com que o país se tornasse um grande gerador de resíduos sólidos (1,6 kg por dia per capita). Em decorrência da alta produção de RSU, o gerenciamento dos mesmos é tratado como prioridade das autoridades (SENADO FEDERAL, 2014).

Ainda de acordo com a revista citada, em 1961 se deu início uma iniciativa que posteriormente tornou-se o símbolo dessa nova perspectiva a respeito dos resíduos. Na cidade de Estocolmo, a capital, existe o sistema Envac, que atende as residências da cidade, domicílios estes que contam com coleta seletiva, o referido sistema que possui lixeiras acopladas em uma rede de tubos, há um sensor instalado que percebe quando a lixeira está cheia, conduzindo assim os resíduos até uma área de coleta. Esse processo de transporte acontece por vácuo, ou seja, os resíduos são sugados e guiados para o local de acumulação de resíduos, onde é realizada a coleta seletiva.

O Envac também pode ser visto pelas ruas de Estocolmo e de outras cidades importantes, atendendo prédios comerciais e áreas públicas. Atualmente, são mais de 700 sistemas instalados em diversos países, atendendo locais como hospitais, aeroportos, cozinhas industriais e fábricas. As vantagens são evidentes: os diferentes tipos de resíduos não são misturados durante a coleta; o número de caminhões de resíduos em circulação é menor; a poluição sonora e atmosférica é reduzida; e, finalmente, há uma economia de 30% a 40% dos gastos municipais com o serviço de coleta (SENADO FEDERAL, 2014).

Em decorrência da adoção dessa nova perspectiva sobre os resíduos sólidos, cresce o número de Estados-membros da UE que elevaram seus índices no que diz respeito a reciclagem de resíduos urbanos, isso abrange também a compostagem, nos últimos cinco a dez anos. Países como a Irlanda, Itália, Portugal e Reino Unido, que são os que mostram as menores taxas, apresentaram crescimento razoável dessa taxa desde 2000, de quase 1% ao ano. Os principais itens que se recicla nesses países são; papel, papelão, biorresíduos, vidro, plástico e metais (FADE, 2014).

No entanto, segundo a FADE (2014), países menores, que não são tão desenvolvidos economicamente, a exemplo da Letônia, Lituânia, Bulgária, Estônia, Malta e Grécia, ainda possuem dificuldades para organizar e desenvolver dispositivos que adequem a hierarquia na gestão dos tratamentos dos resíduos para, enfim, alcançar as metas impostas pela UE, pois ainda depositam grande parte de seus resíduos em aterros.

Por fim, na América do Norte o principal destaque no tratamento dos RSU é a cidade San Francisco (EUA), contudo sua meta pretende zerar, até 2020, a remessa de resíduos sólidos para os aterros sanitários. Para isso, “a cidade também implantou programas para reciclagem e compostagem de quase todo o resíduo produzido, introduzindo incentivos econômicos, sendo as sacolas de plástico proibidas no comércio” (SENADO FEDERAL, 2014).

Ainda de acordo com a revista citada, a meta é efetivar “a coleta seletiva e programas de compostagem e reciclagem a 350 mil domicílios e 65 mil estabelecimentos comerciais”, e para atingir esse objetivo a cidade firmou com a prefeitura uma parceira, que tem assegurado retorno financeiro. Ademais, há uma parceria público-privada na cidade de San Francisco, com a empresa Recology, responsável pela gestão do nosso Programa Lixo Zero (SENADO FEDERAL, 2014).

2.2.2. Tratamento de RSU no Brasil

Segundo Mersoni e Reichert (2017), a PNRS possibilitou a abertura de um espaço para que os municípios brasileiros repensassem o modo de executar a limpeza urbana e o manejo de resíduos. Ademais possui o intuito de implantar a responsabilização e as ações impostas pela lei, reformulando as alternativas de tratamento e disposição final dos resíduos sólidos urbanos.

Como decorrência da Política Nacional de Resíduos Sólidos, têm sido estruturadas ações no nível federal de apoio e incentivo à gestão adequada dos resíduos sólidos no país, com destaque para a destinação final em aterros sanitários e as tratativas para elaboração dos acordos setoriais para a logística reversa. Percebe-se ainda uma participação maior dos estados na transferência de recursos para os municípios e na busca de estruturação de soluções consorciadas. Algumas mudanças já podem ser percebidas em dados consolidados por pesquisas realizadas na área (MANNARINO *et al.*, 2016).

De acordo com dados apresentados no diagnóstico do manejo de RSU, pela ABRELPE (2016), os números referentes à geração de RSU revelam um total anual de quase 78,3 milhões de toneladas no país. O montante coletado em 2016 foi de 71,3 milhões de toneladas, índice de cobertura de coleta de 91%.

Ainda de acordo com o diagnóstico, a opção pelos aterros sanitários ainda é mais procurada no que diz respeito ao destino dos RSU, já com relação ao mais recorrente tipo de tratamento, predominam as unidades de triagem e compostagem. “Do total coletado em 2014, somente 3,9% seguiram para unidades de triagem e de compostagem, dos 81,7% com informações sobre destinação e tratamento, restando uma parcela de 18,3% sem informação” (BRASIL, 2016).

Porém, ainda há obstáculos que impedem uma efetiva execução de um sistema de reciclagem de materiais no Brasil que atue de maneira efetiva, podem ser citados: i) a falta de adesão da população à coleta seletiva; ii) pouca participação do setor industrial no desenvolvimento de um sistema de logística reversa; iii) inexistência de locais adequados para separação dos resíduos por tipo de material; e iv) em muitos casos, as longas distâncias entre os centros geradores de resíduos e as indústrias de processamento e reciclagem de materiais concentradas, principalmente, nas regiões Sul e Sudeste do país (MANNARINO *et al.*, 2016).

O fato de existir uma legislação própria sobre a coleta e o destino dos RSU mostra a preocupação e o cuidado com que o tema passou a ser tratado. A legislação mencionada

abarcas as diretrizes direcionadas para a coleta, tratamento e disposição, ademais estuda alternativas para a diminuição dos resíduos. Contudo, ainda que haja expectativas quanto a consolidação das tecnologias de tratamento dos RSU, ainda prevalece a existência de lixões, pois o que se encontra na grande maioria das cidades do país são resíduos sendo descartados sem os cuidados necessários com sua disposição final, dessa maneira surge a preocupação com a saúde pública e ao meio ambiente (FADE, 2014).

A alternativa de disposição final de resíduos sólidos mais comum adotada pelo Brasil ainda se centra nos aterros sanitários, e isso envolve vários fatores, como o baixo custo e a disponibilidade de áreas. Porém, essa prática tem trazido ações inadequadas entre as regiões, “principalmente em virtude da escassez de recursos financeiros pelas prefeituras, acarretando em falhas de gestão e ineficiência do sistema. Em consequência, há aterros controlados e lixões que possuem alto potencial de poluição” (SOARES et al., 2017).

Por fim, o processo de incineração é também um destino para os RSU, no entanto, essa prática ainda é pouco utilizada no Brasil, pois esse procedimento apenas ocorre com resíduos classificados como perigosos. A explicação que se apresenta é em virtude do alto preço que esse método apresenta. “Portanto, o tratamento dado aos RSU no Brasil ainda causa impactos ambientais, econômicos e sociais relativamente negativos quando comparados aos impactos causados por parte dos países desenvolvidos” (SOARES et al., 2017).

Quanto ao TMB, alvo desta pesquisa, o mesmo vem surgindo no país, igualmente as demais tecnologias, principalmente em decorrência da PNRS, para atender às suas determinações. Essa tecnologia aparece como alternativa para a gestão de RSU, principalmente para municípios de médio e grande porte, ou até mesmo para os consórcios intermunicipais, já que se trata de uma tecnologia robusta, tendo capacidade de atender a grande montante de resíduos diariamente. Porém, possui custos mais elevados que a simples disposição de resíduos. Em contrapartida, o tratamento possibilita o retorno de parte dos custos por meio da venda dos produtos gerados com o processo, dessa forma, tornando-se um dos pontos fortes para a atual disseminação nacional.

2.3. TRATAMENTO MECÂNICO-BIOLÓGICO

Entende-se como Tratamento Mecânico-Biológico o processamento de resíduos, fazendo uso de uma combinação de processos mecânicos e biológicos de forma a atingir uma

diversidade de objetivos. Desta maneira os sistemas de Tratamento Mecânico-Biológico divergem em sua complexidade e funcionalidade (LIMA N., 2014).

O processo divide-se em duas etapas: a primeira chamada de fase mecânica é o estágio onde acontece a diferenciação dos resíduos e remoção de algumas frações, tornando possível a obtenção de material passível de ser reciclado; a segunda fase conhecida como biológica, é onde ocorre a estabilização da fração orgânica, que objetiva tornar as suas características razoáveis para a utilização. Essa estabilização ocorre por meio de processos tanto aeróbios quanto anaeróbios, nos quais transformam a fração de resíduos biodegradáveis em composto (Digestão Aeróbia) ou em Biogás (Digestão Anaeróbia) (LIMA N., 2014).

Ainda segundo a mesma autora, as vantagens e desvantagens de tais tratamentos, são listadas na Tabela 2:

Tabela 2 - Vantagens e desvantagens do Tratamento Mecânico-Biológico

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Tratamento adequado para grandes quantidades de resíduos; • Resíduos de embalagem são encaminhados para reciclagem; • Fonte de recuperação de metais para reciclagem; • Encaminhamento dos rejeitados para Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR) e valorização energética; • Redução da disposição dos resíduos em aterro, contribuindo para o cumprimento das metas de deposição; • Diminuição do lixiviado devido a uma maior densidade do composto produzido; • Aproveitamento do biogás contribuindo para a produção de eletricidade; • Criação de postos de trabalho; • Tecnologia fiável e menor risco econômico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Custos operacionais elevados; • Quantidade significativa de resíduo estabilizado pode exigir o envio para aterro; • É possível que ocorra odores desagradáveis no aterro caso os resíduos não fiquem totalmente estabilizados. Além disso, poderá decorrer emissões de metano; • Poderá ocorrer um aumento de ruído derivado ao transporte e descarga de resíduos; • Emissões de efluentes líquidos provenientes do tratamento biológico e lixiviados do aterro; • Caso as medidas de prevenção e tratamento de emissões atmosféricas e líquidas não forem tomadas, este tratamento poderá provocar problemas na saúde pública.

Fonte: Lima N., (2014).

Nos últimos anos, o interesse pela tecnologia de Tratamento Mecânico-Biológico tem crescido consideravelmente, sendo que a mesma é capaz de reduzir a dependência do uso do aterro e ao, mesmo tempo, evita a necessidade de incineração. Esses procedimentos são

utilizados em muitos países, acarretando evoluções, desenvolvimento e potencialização na última década (LIMA N., 2014).

2.3.1. Planta de TMB

As plantas de TMB são projetadas e construídas segundo especificações prévias, sendo destinadas a funcionar com a finalidade de integração entre diferentes equipamentos e processos, de forma a tratar os RSU de maneira mais completa que as tecnologias isoladas. As mesmas são capazes de englobar a triagem, separação, trituração, secagem, digestão anaeróbia, compostagem e aproveitamento energético. Uma esquematização da linha que segue os processos pode ser observada na Figura 2.

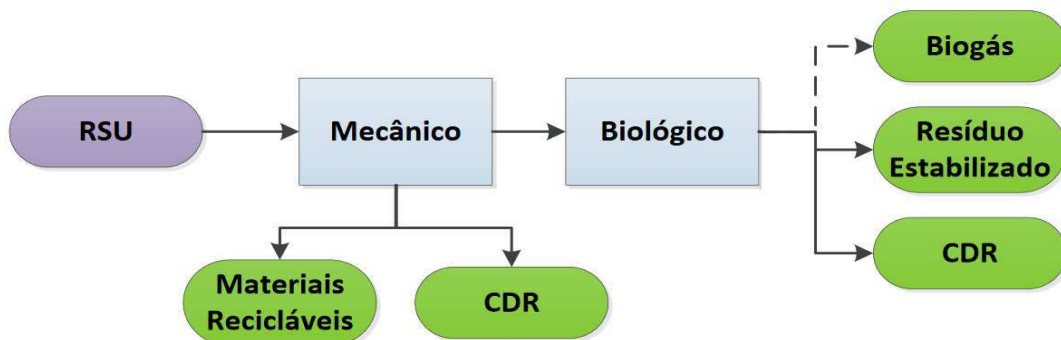


Figura 2 - Fases do TMB

*CDR é referente a combustíveis derivados de resíduos

Fonte: Prates (2016).

Existem vários tipos de configurações de plantas, segundo fatores como: i) a quantidade de resíduos que será tratado em um período de tempo determinado, em geral medido diariamente ou anualmente; ii) os custos de instalação e operação; iii) as diferenças entre tipos de biodigestores e composteiras; iv) a forma de reaproveitamento do biogás gerado, dentre outras. Um exemplo de uma planta de tratamento mecânico-biológico pode ser esquematizado de acordo com a Figura 3.

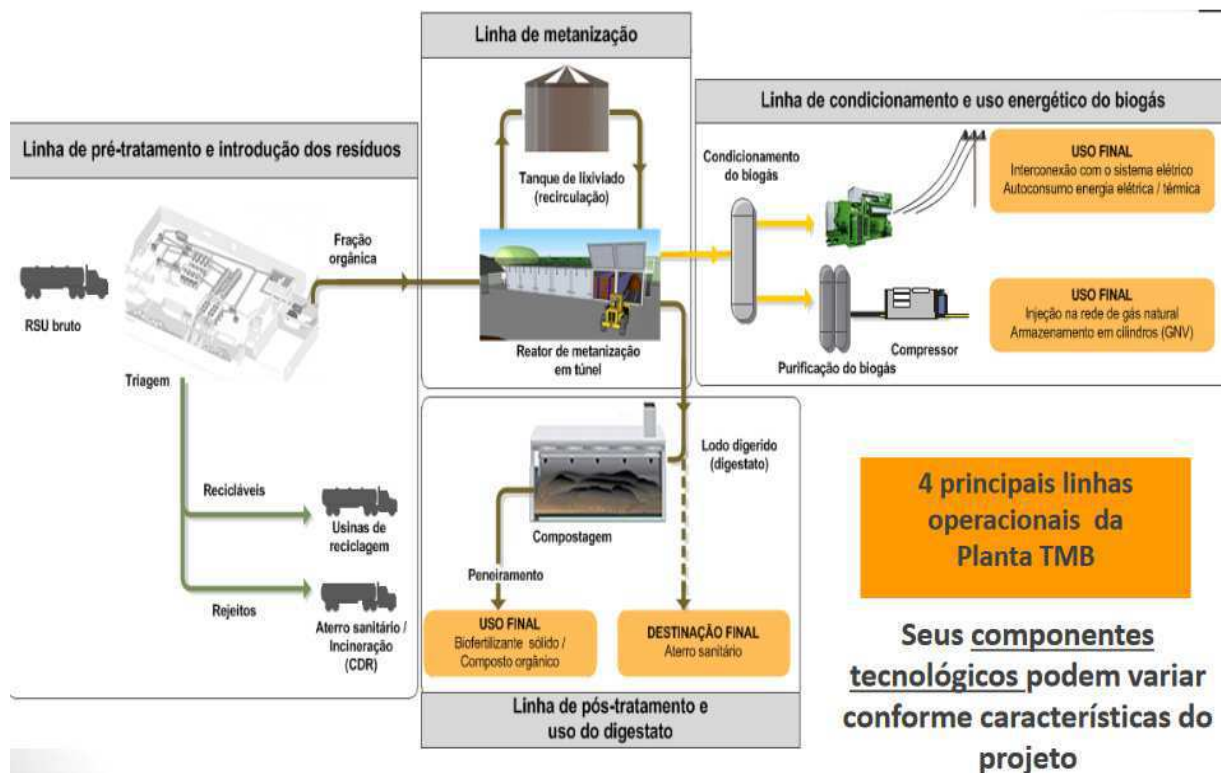


Figura 3 - Planta TMB - integração de tecnologias e processo

Fonte: Colturato (2017)

A planta exemplificada na Figura 3 é dividida em quatro linhas operacionais principais. A primeira é a linha de pré-tratamento e introdução dos resíduos, na qual os RSU chegam em caminhões compactadores para a seção de triagem, onde serão separados entre rejeitos, que seguirão para aterro sanitário ou incineração; recicláveis, destinados às usinas ou associações de catadores; e a fração orgânica, que seguirá o caminho mais longo até o uso final.

A segunda linha é a de metanização, na qual a fração orgânica é alimentada em reatores com tanques de recirculação. Após a DA, haverá como resultado o biogás e o lodo digerido. A terceira linha é a de pós-tratamento e uso do digestato, onde parte do lodo proveniente da fase anterior será destinado a um aterro sanitário, e a outra parcela passa por compostagem e peneiramento, para ser utilizado como composto orgânico.

A quarta linha é a de condicionamento e uso energético do biogás, onde o mesmo pode se transformar em energia elétrica, térmica, ser injetado em redes de gás natural ou ser armazenado em cilindros para ser utilizados como Gás Natural Veicular (GNV). Vale

salientar que o próprio consumo de energia demandado pela operacionalização da planta pode ser suprido com a utilização do biogás nas formas térmica e/ou elétrica.

Como esse tipo de planta permite o tratamento biológico posterior ao mecânico, através da digestão anaeróbica e da compostagem, essas plantas são capazes de compor os benefícios desses dois tipos de tecnologias e trazer impactos positivos à agricultura, à geração de energia térmica ou elétrica por meio de uma fonte de renovável e de baixo impacto ambiental. Além disso, o gás carbônico produzido pode retornar para a indústria, além da possível venda de créditos de carbono.

2.3.2. Tratamento Mecânico

Neste tipo de tratamento há execução de métodos que englobam objetivos como a redução de tamanho, separação e recuperação de recicláveis a partir dos resíduos urbanos alimentados ao sistema. Além do mais, preparam o fluxo de detritos para as fases a jusante (DEFRA 2013b; GUINAN *et al.*, 2013).

Os estágios descritos caracterizam um processo que objetiva a aquisição de um *output* valorizado. No entanto, se o objetivo apenas visa à estabilização dos resíduos para posteriormente envio à aterros, provavelmente não existe qualquer processo de separação ou recuperação (DEFRA, 2013b).

Inicialmente a elaboração do tratamento decorre, geralmente, da retirada de detritos de grandes dimensões como é o caso de colchões, carpetes, rodas e outros materiais. Caso contrário, implicariam em resultados que dificultariam o pleno funcionamento nas etapas seguintes (DEFRA, 2013b).

Após o estágio de remoção, há uma ação adicional, que tem por objetivo ofertar todo o conteúdo alimentado ao sistema. Isto se dá através da fragmentação dos recipientes, que em sua maioria acomodam os resíduos. Conforme as tipologias de processo escolhido, existem procedimentos que visem à diminuição de calibre e homogeneização dos resíduos para preparar para etapas seguintes (SILVA e JOÃO, 2016).

Diante do exposto pode-se particularizar o processo dependendo da meta a alcançar, pois os métodos e equipamentos utilizados também irão alternar. A separação do material é realizada de acordo com as características e os comportamentos do material de que é constituído, como a densidade, peso, condutividade elétrica, forma, magnetismo, entre outros

(DEFRA, 2013b). A Tabela 3 apresenta outros equipamentos que são, usualmente, utilizados no processo de tratamento mecânico.

Tabela 3 - Equipamentos utilizados no tratamento mecânico

EQUIPAMENTO	FUNÇÃO	OPERAÇÃO
Abre sacos	Tornar acessíveis às operações de separação a jusante os materiais que são alimentados ao sistema	Funcionamento mecânico por meio de discos rotativos cortantes, por exemplo, ou por termofusão do plástico
Separadores magnéticos	Permitem a recuperação de metais ferrosos do fluxo dos resíduos, por meio das propriedades magnéticas	Envolve a correta seleção da força do campo magnético – função do peso dos resíduos e da distância ao magneto – a aplicar por forma a vencer a altura e peso dos resíduos e retirar os metais ferrosos do fluxo
Separadores de metais não ferrosos	Permitem a recuperação de metais não ferrosos do fluxo dos resíduos	Envolve a geração de campos magnéticos repulsivos para os metais não-ferrosos a partir de correntes elétricas induzidas por um campo magnético variável
Mesas de triagem	Permitem a recuperação de materiais a serem definidos no processo	Permite obter materiais separados com menor teor de contaminantes. Porém, conduz a maiores quantidades de rejeitos, já que alguns materiais não são facilmente identificados, prejudicando a sua separação na mistura

Fonte: Adaptado de Piedade & Aguiar (2010)

2.3.2.1. Reciclagem

O processo de separação e triagem dos resíduos sólidos urbanos ocorre após os procedimentos de coleta e transporte. A realização da coleta indiferenciada ou diferenciada é fator crucial para especificar o tipo de triagem que será utilizada (UNEP, 2011).

A coleta pode ser realizada de maneira convencional (também chamada de indiferenciada, pois o administrador disponibiliza os resíduos sem uma separação anterior dos diversos tipos de resíduos) ou diferenciada, quando há separação prévia do resíduo realizada pelo próprio gerador MMA (2017a).

Desde a implementação da Lei 12305/10, muito tem se avançado quando se trata de reciclagem. A cada ano, novos municípios aderem a algum tipo de iniciativa, seja de forma generalizada ou pontual, antes ou após o transporte. Como pode-se observar em dados fornecidos pela ABRELPE (2015), houve um acréscimo de 117 novas iniciativas de 2014 para 2015, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Quantidade de município com iniciativa de coleta seletiva nos anos 2014 e 2015

Região	Norte		Nordeste		Centro-Oeste		Sudeste		Sul		BRASIL	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
Sim	239	258	767	884	175	200	1.418	1.450	1.009	1.067	3.608	3.859
Não	211	192	1.027	910	292	267	250	218	182	124	1.962	1.711
Total	450		1.794		467		1.668		1.191		5.570	

Fonte: Adaptado ABRELPE (2015).

A partir dos números apresentados na Tabela 4, pode-se observar que os municípios que possuem algum tipo de iniciativa de coleta seletiva, antes ou após o transporte, atingem quase 90% nas regiões Sul e Sudeste, porém, no Centro-Oeste e Nordeste, esses valores são inferiores a 50% dos municípios. Enquanto isso, a média Nacional é de 69,3%.

Porém, vale salientar que parte dos números referentes às iniciativas de coletas seletivas, citados na Tabela 4, levam em consideração gestores que declaram a existência de programas, quando os mesmos nem sempre são realizados da forma que deveriam ou funcionam apenas de maneira informal, por meio de iniciativa de catadores de materiais recicláveis, ou ainda, simplesmente a implantação de coletores seletivos, não sendo aplicadas iniciativas de conscientização e educação ambiental junto à população, estando dessa forma, em desacordo do que determina a legislação vigente.

Os materiais passíveis de serem reciclados são os denominados secos, o que segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA), englobam os metais (como aço e alumínio), papel, papelão, tetrapak, plásticos e vidro. E os rejeitos, que representam os resíduos que não podem ser reciclados, abrangem principalmente os resíduos de banheiros e outros resíduos de limpeza (MMA, 2017a).

De acordo com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada os materiais secos recuperados geralmente posteriores à coleta, são transportados para unidades ou centrais de triagem a fim de serem separados dos materiais específicos, a limpeza e o

enfardamento/acondicionamento dos materiais para serem devidamente comercializados (IPEA, 2012).

As unidades possuem esteiras ou mesas de catação, além de prensas, para diminuir o volume dos materiais secos. Desta maneira sua estocagem e transporte são facilitados. Uma das principais estratégias para a redução da quantidade de resíduos dispostos nos aterros sanitários dos municípios é a criação de sistemas de coleta seletiva (IPEA, 2012).

No Brasil, verifica-se que o serviço de coleta seletiva é operado pelos próprios municípios, de forma terceirizada, ou em parceria com catadores organizados em associações/cooperativas de trabalho, que ainda têm uma participação pequena no total de resíduos recuperados (MMA, 2013).

No país, os catadores de materiais recicláveis são essenciais na gestão de resíduos sólidos. Atuando de modo informal ou organizado, esses trabalhadores, antes de uma definição de políticas públicas para a gestão de resíduos sólidos no país, já realizavam trabalho de grande importância ambiental, de modo a contribuir significativamente para o retorno de diferentes materiais ao ciclo produtivo, o que ocasiona grande economia de energia e de matéria prima. Por fim, e talvez sua finalidade mais importante, a não disposição de vários materiais em aterros sanitários ou lixões (GOUVEIA, 2012).

A contribuição do trabalho dos catadores pode ser vista em três dimensões: i) social, pois garante a sobrevivência e recupera cidadania; ii) econômica porque gera renda e diminui custos de gestão de resíduos sólidos; e iii) ambiental, quando poupa recursos naturais, economiza energia e reduz emissão de gases de estufa (GUTBERLET, 2015).

Segundo Gutberlet (2015), existem 211 postos de trabalho em cooperativas para 10.000 toneladas de materiais processadas ao ano, “isto se baseia no cálculo: 225 ton/mês, 25% de rejeito, 57 catadores/as em base de dados da cooperativa Cooperação”.

Apesar dos significativos avanços da coleta seletiva, com inclusão de catadores no país, nos últimos 20 anos, ainda existem desafios para sua consolidação como um modelo sustentável de gestão de resíduos sólidos (BESEN *et al.*, 2014).

De acordo com Ribeiro e Besen (2006), a separação dos materiais recicláveis cumpre um papel estratégico na gestão integrada dos resíduos sólidos sob vários aspectos: estimula o hábito da separação de resíduos para seu aproveitamento, promove a educação ambiental voltada para a redução do consumo e desperdício, gera trabalho e renda, além de possibilitar o reaproveitamento da matéria orgânica para tratamentos.

Diversos benefícios advêm da reciclagem dos resíduos sólidos urbanos, alguns deles são: a possibilidade de sua valoração, a redução da necessidade de extração de novas matérias-primas e a possibilidade de economia de recursos naturais renováveis e não-renováveis, diminuindo o consumo energético para a manufatura de novos produtos industrializados (PASCHOALIN FILHO *et al.*, 2014).

Ribeiro e Besen (2006) afirmam que a reciclagem colabora para a sustentabilidade urbana, promovendo inclusão social e criação de renda para parcelas excluídas no que diz respeito ao acesso ao mercado formal de trabalho.

Na Tabela 5 é possível observar os tipos de materiais secos que podem ser reciclados, os úmidos que não podem ser reciclados e os cuidados que se deve ter com cada categoria (papel, metal, plástico e vidro) de resíduos que serão destinados à reciclagem.

Tabela 5 - Materiais recicláveis e não recicláveis

	Recicláveis (seco)	Não Recicláveis (Úmido)	Cuidados
Papel	Folhas e aparas de papel, jornais, revistas, caixas, papelão, formulários de computador, cartolinas, cartões, envelopes, rascunhos escritos, fotocópias, folhetos, impressos e tetra pak	Adesivos, etiquetas, fita crepe, papel carbono, fotografias, papel toalha, papel higiênico, papéis engordurados, metalizados, parafinados, plastificados, papel de fax	Devem estar secos, limpos (sem gordura, restos de comida, graxa) As caixas de papelão devem estar desmontadas por uma questão de otimização do espaço no armazenamento
Metal	Latas de alumínio, latas de aço, ferragens, esquadrias, arame	Clipes, grampos, esponja de aço, latas de tinta ou veneno, latas de combustível, pilhas e baterias	Devem estar limpos e, se possível, reduzidos a um menor volume (amassados)
Plástico	Copos descartáveis, tampas, potes de alimentos, garrafas pet, sacos e sacolas, recipientes de limpeza, canos e tubos pvc, brinquedos, baldes	Cabos de panela, tomadas, adesivos, espuma, teclados de computador, acrílicos, fraldas descartáveis, isopor tem reciclagem em alguns lugares	Potes e frascos limpos e sem resíduos para evitar animais transmissores de doenças, próximo ao local de armazenamento
Vidro	Potes de vidro, copos, garrafas, embalagens de molho, frascos de vidro	Espelhos, lâmpadas, cerâmicas, porcelanas, cristal	Devem estar limpos e sem resíduos. Podem estar inteiros ou quebrados. Se quebrados devem ser embalados em papel grosso ou cartolina

Fonte: CISBRA (2013)

2.3.3. Tratamento Biológico

De acordo com este tratamento a fração orgânica obtida dos resíduos urbanos que, mesmo já estando pré-tratada, pode abrigar diversos elementos. Restos de alimentos e resíduos verdes são majoritariamente indicados para este tipo de procedimento. No entanto em resíduos urbanos que provêm de recolhimento indiferenciado apresentam na sua constituição itens como papel e cartão que, ainda que biodegradáveis, precisam de mais tempo e implica uma redução na eficiência e qualidade do processo (DEFRA, 2013a).

O tratamento biológico tem como finalidade a conversão de matéria orgânica em um material mais estável, e tal processo pode se dar tanto em condições aeróbias (compostagem), como em anaeróbias (biodigestão) (GUINAN et al., 2013).

Tomando como exemplo a compostagem para tratamentos aeróbios, a mesma apresenta como saída ao processo, adubo orgânico, utilizado para fertilização ou correção de solos. Já no tratamento anaeróbio, a biodigestão resulta em biogás, o qual oferece as possibilidades de geração de energia elétrica, calor ou a própria utilização em substituição ao gás natural, por exemplo.

São três os principais modos de tratamento que utilizam a vertente biológica em seus processos, quais sejam: i) a estabilização aeróbia, também conhecida como compostagem; ii) a digestão anaeróbia ou biodigestão; e iii) a bio-secagem (DEFRA, 2013b; GUINAN et al., 2013).

Os modos apresentados acima são centrados na decomposição da matéria biodegradável por ação de microrganismos, bactérias e fungos, e para isso, fazem uso de resíduos de teor orgânico a servirem como substrato aos mesmos, e dessa forma, garante-se a reprodução e crescimento das colônias (DEFRA, 2013a).

2.3.3.1. Resíduos Orgânicos

Os resíduos orgânicos são constituídos, em sua maioria, por restos de animais ou vegetais. É possível observar suas diversas origens, como doméstica ou urbana, agrícola ou industrial (resíduos de agroindústria alimentícia), de saneamento básico (lodos de estações de tratamento de esgotos), entre outras (MMA, 2017b).

Esses resíduos, se encontrados em espaços naturais equilibrados, decompõem-se de maneira espontânea e reciclam os nutrientes nos procedimentos da natureza. No entanto, se

provenientes das ações humanas, em especial ambientes urbanos, representam um grave problema ambiental, pela quantidade de volume produzido e pelos locais inadequados em que são armazenados ou dispostos. Quando dispostos de maneira inadequada, os resíduos orgânicos geram lixiviado, emissão de metano na atmosfera e favorece a proliferação de vetores de doenças. Dessa forma é necessária a implementação de métodos adequados de administração e tratamento destes grandes volumes de resíduos (MMA, 2017b).

As pequenas parcelas de resíduos orgânicos são passíveis de tratamento de maneira doméstica ou comunitária. Por outro lado, as grandes quantidades podem ser tratadas em plantas industriais. Os métodos mais comuns de reciclagem de resíduos orgânicos são a compostagem e a biodigestão. Ambos buscam criar as condições ideais para que a degradação e a estabilização dos resíduos orgânicos realizados por diferentes organismos decompositores presentes na natureza ocorra em condições controladas e seguras para a saúde humana. A adoção destes tipos de tratamento viabiliza a produção de fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo, incentivando a reciclagem de nutrientes, a proteção do solo contra erosão e perda de nutrientes e diminuindo o uso de fertilizantes minerais (MMA, 2017b).

Com a aprovação da PNRS (BRASIL, 2010), aconselha-se a redução do encaminhamento de resíduos orgânicos biodegradáveis para aterros sanitários (Art. 7º, XIV), acarretando assim a investigação dos métodos de beneficiamento, tratamento e reaproveitamento energético e material dos resíduos biodegradáveis. Três demandas reafirmam isso: a primeira, de obter a independência energética das fontes fósseis; a segunda, de produção alimentos para uma disponibilidade de área agricultável *per capita* que reduz na medida em que a população cresce; e a terceira, de realizar gestão dos resíduos sólidos orgânicos e águas residuais. Por fim, emerge como objetivo geral o reaproveitamento energético e de material dos resíduos biodegradáveis (PUCCI, 2016).

A Lei 12.305/2010 previu, no art. 36, inciso V, que seria necessária a instituição, pelos titulares dos serviços, “de sistemas de compostagem para resíduos sólidos orgânicos e articulação com os agentes econômicos e sociais formas de utilização do composto produzido”. Portanto, é possível observar que o estímulo da compostagem da fração orgânica dos resíduos, assim como o incentivo a coleta seletiva e da alocação final de modo adequado dos rejeitos, faz parte da pauta de condições dos municípios instituída pela PNRS.

A partir dos conceitos de reciclagem e rejeitos da PNRS (Art. 3º, incisos XIV e XV), infere-se que procedimentos que oportunizam a conversão de resíduos orgânicos, adubos e fertilizantes, como a compostagem, são também compreendidos como processos de

reciclagem. Assim, resíduos orgânicos não devem ser classificados indistintos como rejeitos, pois esforços para incentivar sua reciclagem carecem ser elemento indispensável das estratégias de administração da gestão de resíduos em qualquer proporção, podendo ser domiciliar, comunitária, institucional, industrial, municipal. (BRASIL, 2010).

2.3.3.2. Biodigestão Anaeróbia

2.3.3.2.1. Etapas da Biodigestão

A biodigestão de forma controlada ocorre em equipamentos denominados biodigestores. É um processo anaeróbio que se divide em quatro fases, quais sejam: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Após as etapas citadas, a biomassa ou matéria orgânica resulta em dois principais subprodutos: o biogás, que pode ser utilizado como fonte de energia, e biofertilizante, podendo ser usado como adubo para o solo. Na Figura 4 é esquematizado o processo de forma geral.

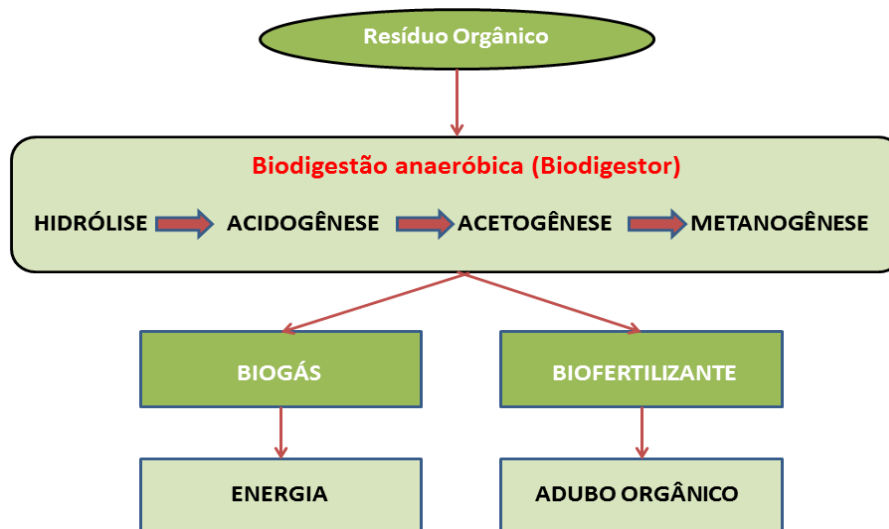


Figura 4 - Etapas da biodigestão

Fonte: Adaptada de Silva, José, (2016).

Hidrólise - a fase inicial da digestão anaeróbia (DA) é a hidrólise. É uma etapa importante, na qual o material orgânico é disposto ao processo de digestão, sendo necessário que seja reduzido em pequenas moléculas, assim servirão de alimentos para os microrganismos. Estes, por sua vez, estão disponíveis no biodigestor e também separam enzimas capazes de romper as moléculas de proteína e as transformam em aminoácidos, os

hidratos de carbono em açúcares simples, e os alcoóis e graxas em ácidos graxos. As moléculas da biomassa, ao serem quebradas, fazem com que os microrganismos consigam absorver pequenos elementos do material orgânico e assim tirem proveito da energia que nelas estão abrigadas. A velocidade do processo depende do tipo de material e de como esse é estruturado (KARLSSON et al., 2014).

Acidogênese - a partir dessa etapa da biodigestão, chamada de fermentação, diversos compostos complexos, após serem transformados em moléculas mais simples de material orgânico são novamente transformados em compostos que englobam alcoóis, ácidos (láticos ou graxos voláteis), hidrogênio, CO₂, e novas células bacterianas. Conforme Heberle (2013).

“A acidogênese é efetuada por um grande e diverso grupo de bactérias fermentativas, a exemplo das espécies *Clostridium* e *Bacteroids*. As primeiras constituem uma espécie anaeróbia que forma esporos, podendo dessa forma, sobreviver em ambientes totalmente adversos. As *Bacteroids* encontram-se comumente presentes nos tratos digestivos, participando da degradação de açúcares e aminoácidos. A maioria das bactérias acidogênicas são anaeróbias estritas, mas cerca de 1% consiste de bactérias facultativas que podem oxidar o substrato orgânico por via oxidativa” (HEBERLE, 2013).

Acetogênese - a presente etapa antecede a formação de gás metano. As moléculas rompidas ao longo das fases anteriores continuam a se romper em partes ainda menores, este processo ocorre na oxidação. Os microrganismos acetogênicos são agentes transformadores do material orgânico degradado nos estágios anteriores em ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono. Porém, os mesmos não possuem resistência diante de altas quantidades de hidrogênio. Por esse motivo, é de suma importância que as bactérias metanogênicas consumam rapidamente o hidrogênio (GALBIATTI et al., 2010).

Metanogênese - nessa fase ocorre à formação do metano, vale salientar que é o produto da reação que mais importa. Os microrganismos metanogênicos são os produtores de metano, e necessitam de produtos formados nos estágios anteriores, como ácido acético e CO₂ para sua formação. Não são resistentes a influências bruscas naturais do processo, como por exemplo, às perturbações de alterações no pH e possíveis substâncias tóxicas carregadas juntamente com as biomassas (SOUZA et al., 2008; VIANA, 2011).

Importante frisar que o processo depende de microorganismos vivos em boas condições, pois são responsáveis pela produção do gás metano, gerando assim maior eficácia no processo (ANDRADE et al., 2010).

2.3.3.2.2. Fatores que influenciam na digestão anaeróbia

O processo envolvendo a digestão anaeróbia dos resíduos sólidos orgânicos é complexo e envolve várias etapas de degradação diferentes. Os participantes desse processo, ou seja, os microorganismos são particulares de cada fase, assim possuem requisitos ambientais diferentes (SILVA, 2016).

Diversas são as influências que atuam no processo de tratamento anaeróbio dos resíduos sólidos orgânicos, Viriato (2013) e Abdelgadir (2014) alegam que para se obter um tratamento eficaz vários parâmetros precisam ser avaliados. Os autores listam como principais parâmetros, aqueles relacionados com as condições de funcionamento do reator como umidade, nutrientes, temperatura, concentração de sólidos totais, granulometria e pH.

Umidade - a umidade é tida como fator primordial para a decomposição dos resíduos sólidos orgânicos, levando em conta o conteúdo de umidade e de matéria orgânica, pois possuem as principais condições básicas para o início do crescimento dos microorganismos (SILVA, 2016).

As maiores concentrações de carboidratos solúveis são encontradas geralmente nos resíduos vegetal, além de possuírem altíssimo teor de umidade que é capaz de favorecer a biodegradação do substrato e aumento da produção de CH₄ (MAZARELI, 2015). A digestão anaeróbica pode ter maior sucesso em ambientes em que teores de umidade estiverem elevados proporcionando aos micro-organismos maior atividade. Vale recordar que altos teores de umidade podem dissolver com facilidade matéria orgânica passível de degradação, podendo ocasionar inibição das fases iniciais de solubilização do processo (SILVA, 2016).

Nutrientes - há necessidade da existência de uma relação de carbono e nitrogênio situada na faixa de 20:1 a 30:1, para a obtenção do desenvolvimento metabólico no processo anaeróbio. É recomendável para o melhor funcionamento anaeróbio que essa relação esteja em torno de 25:1. Relações inadequadas tendem a resultar em acúmulo de produtos intermediários no digestor, como nitrogênio amoniacal, e ácidos graxos voláteis (AGV), otimizando a inibição do processo através da redução de sua atividade metanogênica. A relação C/N ideal varia com o tipo de substrato a ser digerido (LI et al., 2011).

A relação C:N é um processo vital bioestabilização da matéria putrescível. Se porventura essa relação for muito pequena, o carbono, que é a fonte de energia dos microorganismos, pode ser insuficiente na conversão do nitrogênio, acaba sendo perdido nesse processo. No entanto, se essa relação ocorrer de forma muito baixa, poderá ocorrer toxicidade

provocada pela amônia. Quando a relação C:N aponta valores acima da faixa de 30:1, levar-se-á mais tempo para reduzi-la a um valor desejável, devido às suas altas concentrações de nitrogênio (SILVA, 2016).

Temperatura - segundo Menezes (2012), a temperatura é um fator importante a ser analisado na DA, pois é capaz de modificar o funcionamento metabólico dos microrganismos, influenciando assim as taxas das reações enzimáticas e desnaturar enzimas e proteínas em geral.

Um digestor com sua temperatura mantida em níveis ótimos, mesofílico (25 – 36 °C) ou termofílico (55 – 65 °C), pressupõe uma produção de gás constante, sendo evitada qualquer oscilação de temperatura muito brusca ($\sim 1^{\circ}\text{C}.\text{dia}^{-1}$), diminui a possibilidade de choque dos microrganismos, levando assim a parada de produção de biogás do biodigestor. É relativamente fácil manter a temperatura do reator nos seus níveis ótimos em ambientes quentes. No entanto, em climas temperados e polares é geralmente comum a necessidade da adição ao projeto do reator sistemas de serpentinas com aquecimento, fazendo uso do próprio gás gerado e/ou energia térmica solar e paredes com espaço interno preenchido com material isolante como palha, serragem, espumas e/ou lã de vidro, o que tende a evitar temperaturas muito baixas, que tornariam a biometanização impraticável (PUCCI, 2016).

Concentração de sólidos totais - as etapas de DA de resíduos orgânicos podem ser divididas em processos via seca e úmida. Isso depende da concentração de sólidos totais (ST) no interior do reator. Uma importante diferença entre os dois processos reflete o grau de complexidade do sistema de pré-tratamento dos resíduos, etapa que é tida como entrada adequada para a formulação de digestão e qual o tipo de digestor usar (LIMA N., 2014).

Os biodigestores por via úmida atuam com teores de sólidos totais abaixo de 15%, enquanto os por via seca com teores de sólidos totais superiores a 15%. Os processos por via seca revelam menores níveis de efluentes líquidos produzidos, instalação de menor porte e melhor número de equipamentos de gestão do fluxo de efluentes. Porém, não é possível uma remoção de contaminantes de maneira eficiente como os processos por via úmida. Os processos por via úmida otimizam a dissolução de compostos inibidores. Todavia, exibem maior nível de reatores, assim é possível que aconteça a formação de espuma à superfície, impedindo a saída do biogás (LIMA N., 2014).

Granulometria - está relacionada às dimensões de partículas sólidas. Sua execução ocorre a partir da quantificação de matéria que ultrapassa as aberturas de malhas de peneiras, sendo o tamanho da partícula definido através de peneiras que possuem diâmetros com

diferentes tamanhos com padrão internacional (CAPUTO, 1996). Os RSU são constituídos de forma heterogênea, é possível que variem muito com relação a tamanhos de partículas e reatividade com o meio (LIMA L., 2014). Sendo uma propriedade física dos RSU, a granulometria é considerada interveniente nos sistemas anaeróbios, já que pode limitar, a fase de hidrólise e diminuir a eficiência do sistema de tratamento (LEVINE, 1991).

pH - indicativo do equilíbrio entre o sistema e da estabilidade do digestor. As bactérias anaeróbias metanogênicas são classificadas como suscetíveis às condições ácidas do reator, podendo ser inibidas. Dessa forma, um pH ótimo para as bactérias metanogênicas fica entre 6 e 8 e para bactérias acidogênicas varia entre 5 e 6. Para o processo de digestão anaeróbia correr sem impedimentos o pH situa-se entre 6,5 e 7,6 (LIMA N., 2014).

2.3.3.2.3. O biogás

O biogás é formado na digestão anaeróbia de materiais orgânicos que se desenvolve na ausência de oxigênio. Esse é um processo em que alguns microrganismos anaeróbios, degradam as estruturas de materiais orgânicos complexos, produzindo compostos mais simples como o gás metano (CH₄) e o dióxido de carbono (CO₂). Outros gases, como o sulfeto de hidrogênio (H₂S), o nitrogênio (N₂), o hidrogênio (H₂) e o monóxido de carbono (CO) também compõem o biogás. Esses microrganismos produzem a energia e os nutrientes necessários para o seu próprio crescimento e reprodução (NASCIMENTO e ACÁCIO, 2014).

A porcentagem dos gases que formam o biogás varia de acordo com os resíduos e as condições utilizadas no processo de biodigestão. Na Tabela 6, apresenta-se a composição do biogás.

Tabela 6 - Percentagem de gases no biogás

Composição	Porcentagem (base seca)
Metano (CH ₄)	55 – 75
Dióxido de carbono (CO ₂)	25 – 45
Nitrogênio (N ₂)	0 – 3,0
Oxigênio (O ₂)	0 – 0,1
Enxofre, mercaptanas	0 – 1,0
Amônia (NH ₃)	0,1 – 1,0
Hidrogênio (H ₂)	0 – 2,0
Monóxido de carbono (CO)	0 – 0,2
Gases em menor concentração	0,01 – 0,6

Fonte : Adaptado de Tchobanoglous et al, 1993

O estudo e as formas de produção do biogás estão crescendo tanto no Brasil quanto mundialmente, por representar uma fonte renovável e de baixo teor poluente, capaz de amenizar duas grandes problemáticas mundiais, quais sejam: o aumento na geração de resíduos sem adequado tratamento e a busca por fontes renováveis de energia, que possam suprir a escassez das tradicionais. Além de disso, o biogás, segundo Nascimento e Acácio (2014) apresenta mais vantagens que desvantagens tanto para os seres humanos quanto para o meio ambiente, como apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - Vantagens e desvantagens na produção de biogás

Vantagens	Desvantagens
I. Apesar de emitir resíduos poluentes, o biogás é considerado uma fonte limpa de energia, pois a emissão dos gases poluentes é bem menor em comparação com a queima de combustíveis fósseis	I. O sistema de armazenamento é complexo e de valor elevado, pois necessita de compartimentos de armazenamento com preços altos
II. Pode ser usado para geração de energia elétrica através de geradores;	II. Por ser uma fonte renovável em ascensão o sistema tem alto custo no Brasil
III. É um ótimo substituto para os combustíveis derivados de petróleo, gasolina, diesel e gás liquefeito de petróleo (GLP)	III. Como toda queima de combustível emite Dióxido de Carbono (CO ₂)
IV. O processo permite a geração de fertilizantes	
V. Pode ser instalado em propriedades rurais gerando uma fonte de renda para agricultores, que podem utilizar ou vender o biogás	
VI. Instalado nos aterros sanitários, apresenta uma finalidade útil ao resíduo orgânico	
VII. Se utilizado um Biodigestor, os resíduos podem ser utilizados como fertilizante agrícola	

Fonte: Nascimento e Acácio (2014).

O biogás pode ser dado em valores equivalentes a outras fontes energéticas, utilizando-se valores fornecidos por Deganutti et al. (2002). Na Tabela 8 é apresentada a equivalência entre 1 m³ de biogás comparado a outros tipos de combustíveis. Pode-se notar que o biogás equivale a menos de 1 litro dos derivados de petróleo, menos de 0,5 kg de gás liquefeito, porém a mais de 1,5 kg de lenha e mais de 1,4 kwh de energia elétrica.

Tabela 8 - Comparação entre biogás e outros combustíveis

Combustível	Quantidade Equivalente
Gasolina	0,61 L
Querosene	0,57 L
Óleo Diesel	0,55 L
Gás Liquefeito	0,45 Kg
Etanol	0,79 L
Lenha	1,538 Kg
Energia Elétrica	1,428 kwh

Fonte: Deganutti et al. (2002).

Sendo um combustível inflamável, tal tipo de gás oferece condições para três situações possíveis de aproveitamento. A primeira delas é o aproveitamento térmico através da queima direta para produção de calor. O segundo é a conversão do biogás em eletricidade e a terceira é a purificação para utilização como combustível veicular (KONRAD *et al.*, 2016).

Outro tipo de tratamento biológico é a compostagem, que diferente da digestão anaeróbica, acontece na presença de oxigênio. A mesma é tratada no item seguinte.

2.3.3.3. Compostagem

A compostagem é um dos tipos de tratamentos biológicos, no qual há a decomposição biológica da matéria orgânica por microrganismos, em presença de oxigênio. Não se constitui em um processo de recuperação energética, mas apresenta grande importância na gestão dos resíduos em todo o mundo e, portanto, deve ser considerada. A compostagem quando realizada em sistemas de gestão integrada, apresenta-se como uma sequência da biodigestão anaeróbia, e tem por finalidade estabilizar o lodo produzido e transformá-lo em biofertilizante (SILVA, 2015).

A compostagem apresenta quatro fases principais: i) fase mesófila – nessa etapa há o aumento da temperatura devido à degradação da matéria orgânica pela atividade dos microrganismos; ii) fase é termófila, nesse estágio as temperaturas estão entre 45 a 60°C, mantendo-se durante mais ou menos 4 dias, isso permite a higienização do composto; iii) fase do arrefecimento acontece com a redução da atividade microbiana, diminui a temperatura, a quarta fase é a de maturação, matéria orgânica estabilizada (LIMA N., 2014).

O produto da compostagem é chamado de húmus e tem aparência similar ao próprio solo, tanto em cor como em odor, e a sua qualidade final se relaciona diretamente tanto com o rigor no controle do processo como com a qualidade dos resíduos que serão utilizados no

sistema. Esses dois aspectos representam uma importante ferramenta em procedimentos de biorremediação e de melhoria das características físicas, químicas e biológicas dos solos por proporcionarem fonte de nutrientes aos mesmos (BENLBOUKHT et al., 2016).

O Brasil, assim como a maioria dos países subdesenvolvidos, possui na composição do resíduo sólido, na sua maioria, materiais orgânicos biodegradáveis ou compostáveis, sendo esses representados por mais de 50% da massa coletada e disposta em aterros sanitários ou lixões no país. Apenas pouco mais de 1,5% é aproveitada em processos de compostagem para ser usada como condicionador de solo (adubo) (RIBEIRO e BESEN, 2006).

Esses dados entram em confronto com o fato de o país ser predominantemente agrícola e que, por isso, haver a necessidade de enormes quantias gastas em adubos e fertilizantes químicos utilizados por agricultores no país. O composto orgânico proveniente de uma compostagem bem feita poderia ser uma alternativa econômica e ambiental para melhorar as características físicas e químicas do solo agriculturável brasileiro. E mais, as próprias cidades poderiam usá-lo para a manutenção das suas áreas verdes, parques, praças, etc. (PEREIRA e CURI, 2015).

Segundo EDS Norte, as principais vantagens e limitações da compostagem são mostradas na Tabela 9 abaixo (EDS, 2014):

Tabela 9 - Vantagens e desvantagens da compostagem

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Durante o processo de compostagem ocorre apenas a formação de CO₂, H₂O e biomassa. É um processo de fermentação que ocorre com presença de O₂, permitindo a não formação de CH₄ • A aplicação no solo e consequente redução dos resíduos sólidos em aterro, aumentando a sua vida útil • Melhoria na estrutura do solo, contribuindo para a vitalidade do solo e das plantas • Eliminação de fungos, bactérias e parasitas presentes na matéria-prima • Redução da necessidade de herbicidas e pesticidas químicos, aumentando a resistência das plantas a doenças e pragas • Ativação da vida microbiana no solo • Redução da contaminação e poluição nos solos e atmosférica • Sustentabilidade no uso e melhoramento da fertilidade do solo • Promove a reciclagem de nutrientes 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de mão-de-obra e de maquinarias especializadas • Necessidade de uma maior área de terreno, comparada a outros processos de tratamentos • Exige vigilância e manutenção das pilhas de compostagem, uma vez que existem fatores determinantes como a temperatura, humidade, presença de pequenos animais, etc

Fonte: Adaptado de EDS (2014).

Mesmo sendo a degradação biológica um processo natural ao meio ambiente, com a compostagem é possível otimizá-la, já que é capaz de alterar fatores como a velocidade de degradação e qualidade do produto final, o que é possível através do controle de alguns parâmetros como: pH, temperatura, presença de microrganismos, umidade, razão carbono/azoto (C/N) e arejamento do sistema. Dessa forma, pode-se garantir que se chegue às condições ótimas para a degradação da matéria orgânica (DMO) que será realizada pelos microrganismos existentes no meio. Ocorrendo a alteração de tais parâmetros ao decorrer da DMO, isso afetará a qualidade do produto final (LI *et al.*, 2013).

Na Tabela 10 é resumida a influência que cada parâmetro descrito desempenha no processo de estabilização aeróbia.

Tabela 10 - Parâmetros relevantes que afetam o processo de compostagem

Fator	Relevância	Valores médios aconselháveis
Temperatura	Indica o equilíbrio biológico e eficiência do processo. Garante higienização	Deve situar-se entre 50-60°C durante 1 semana para eliminação dos organismos patogênicos
Umidade	Garante a atividade dos microrganismos para realizarem a decomposição da matéria orgânica	45-60%
pH	Garante a atividade dos microrganismos e controla produção de amônia	Deve situar-se entre 6 e 8
Relação Carbono -Azoto	Garante à população de microrganismos condições nutricionais e metabólicas não limitantes	20:1 /25:1
Tamanho das partículas	Menor o tamanho significa maior área superficial em contato com os microrganismos, sendo necessário manter níveis adequados de porosidade	Função do material a ser compostado; entre 13mm e 15cm
Arejamento	Afeta atividade microbiana e consequente degradação de matéria orgânica. Permite controle da distribuição da temperatura	Concentração de oxigênio inferior a 10% implica anaerobiose, níveis ótimos entre 14-17%

Fonte: Adaptado de Couth e Trois (2012), Diaz et al. (2002), Li et al. (2013)

De acordo com o Manual Básico de Compostagem oferecido pela Universidade de São Paulo (USP, 2009), tem-se diversos tipos de composteiras, conforme exemplos listados a seguir:

Composteira em caixote e cercado: facilmente construída, tamanho suficiente para armazenar os resíduos de cozinha e jardim. É importante uma tampa para protegê-la de

animais, além disso, é possível acoplar mais de uma composteira para facilitar a maturação e o reviramento.

Galão rotacional: capacidade de abrigar grande quantidade de resíduos de cozinha e jardim, tornando o revolvimento fácil e rápido, pode durar por muitos anos.

Composteira em leiras: ideal para muito material e bastante espaço disponível. É dimensionável de acordo com a quantidade de resíduos. É recomendável que cada leira tenha até 1,5m de altura para evitar compactação, o exemplo de modelo aberto facilita sua operação.

Composteira de folhas: deverá receber, em sua maioria, resíduos castanhos, como folhas, ramos pequenos e podas em geral. Sugestão de local amplo e arejado, protegido de ventos fortes. Seus requisitos são um espaço maior, dá menos problemas (insetos e moradia de animais) e precisa de menos manutenção. Quanto a seu período de decomposição apresenta um tempo mais prolongado com cerca de 6 meses.

Composteiras em espaços mínimos: pode ser construído de diversas maneiras, em caixa, tambor, necessitando, porém, atender as condições básicas: a delimitação de um espaço para os resíduos e a circulação do ar. É necessário um cuidado maior, levando em consideração à proximidade da cozinha ou área de serviço, pois o odor pode incomodar as pessoas em volta. É necessário adicionar um volume superior de compostos castanhos para suavizar odores desagradáveis. Temos um processo mais lento que o usual, que é de 3 meses.

Composteira em tambor: ótima para apartamentos, seu formato em tambor é suficiente para apartamento de 3 a 4 pessoas. São necessários furos (aproximadamente 1 cm de diâmetro) ao redor do tambor, a fim de permitir a passagem de oxigênio no interior, evitando assim possível vazamento de compostos, uma sugestão que se dar é seu envolvimento com uma “tela de mosquiteiro”, essa ação também é eficaz como prevenção a geração de moscas.

Composteira em caixa: também ideal para apartamentos, a composteira em caixa pode ser montada em caixas de madeira, além de caixotes de feira ou mesmo em gavetas. Podendo ser mais demorado devido ao seu tamanho reduzido.

2.3.4. Experiência de tratamentos mecânico-biológico em países europeus

Segundo Vale (2014), no cenário europeu, os esforços que a UE está realizando, são ações que levam a Europa a afastar-se do sistema linear atual, em que os produtos são fabricados, usados e jogados fora, e adotar-se um modelo de negócio circular em que se dá uma nova finalidade aos produtos. Foram registrados aumentos significativos no volume de

plástico recolhido para reciclagem na UE. Contudo a um nível mais global a taxa ainda se mantém em apenas 24%.

A Europa não pode, por isso, desperdiçar os cerca de 76% que não estão sendo aproveitados e que assim estarão a ser depositados em aterros. Essa realidade tem que ser alterada, até porque a UE pretende eliminar a disposição de plásticos em aterros até 2020. Por fim, ainda uma análise feita pela Plastic Recyclers Europe (associação europeia de recicladores de plástico) veio demonstrar que uma meta de 62 % é exequível até 2020 e, economicamente, viável. Tal meta desviaria mais de 24 milhões de toneladas de plásticos do aterro, colocaria 11 milhões de toneladas de plásticos reciclados no mercado, pouparia mais de 4,5 bilhões ao substituir plástico virgem e criaria cerca de 360 000 empregos.

Mais precisamente em Portugal, segundo o Eurostat (2011) foram produzidos no país, aproximadamente 503 kg/pessoa de RSU, dos quais 486 kg/pessoa foram tratados. Dos resíduos tratados, 37% foram enviados para o aterro, 23% foram incinerados, 25% foram reciclados e 15% reencaminhados para a compostagem. Esses valores tornam-se positivos quando se comparam aos valores de 2001 (56% enviados para aterro, 17% incinerados, 17% reciclados e 10% enviados para a compostagem).

No referido país, o Tratamento Mecânico-Biológico vem sofrendo importante evolução, desenvolvimento e aperfeiçoamento na última década. Em estudos realizados por Lima (2014) foram analisadas as contribuições desse tipo de tratamento para o alcance das metas de reciclagem e aterro relativamente aos resíduos urbanos até 2050. Este estudo é realizado apenas para Portugal Continental e são consideradas todas as unidades de tratamento mecânico-biológico (UTMB) que estão em funcionamento e as que estão em construção.

Segundo PERSU (2014), a produção anual de resíduos sólidos urbanos em Portugal para o ano de 2012 tem uma meta de 5,078 milhões de toneladas. Assumindo valores intermédios de 0,2% até 2050, e considerando cada vez mais um aumento da tendência de uma gestão de resíduos mais tradicional, verificou-se que a quantidade de RSU processados é de apenas 1,026 milhões de toneladas.

Já na Alemanha, que é considerado um país pioneiro nesse tipo de tratamento, Fricke et al. (2007) afirma que o TMB ganhou importância considerável a partir do final da década de 90, para logo depois se disseminar pelo restante da Europa. O tratamento responde por cerca de 25,0% do total de resíduos tratados, devido ao apoio governamental e a inovações de processo.

Segundo Prates (2016), no citado país aparecem como principais estações de tratamento mecânico-biológico as seguintes plantas:

* TMB Aurich-Großefehn capacidade: 47.600 Mg/ano

* TMB Münster capacidade: 70.000 Mg/ano

* TMB Kahlenberg capacidade: 110.000 Mg/ano

* TMB Hannover capacidade: 315.000 Mg/ano

O sistema de TMB é altamente flexível, possui custos variáveis de acordo com tecnologia adotada, além de não ser conflitante com coleta seletiva e ainda há margem para melhora pois a tecnologia ainda está em desenvolvimento.

De acordo com Caracol (2016) os refugos resultantes do Tratamento Mecânico - Biológico, dependendo da sua constituição e custo de cada solução de gestão de resíduos, poderão ser utilizados na produção de combustível derivado de resíduo, valorizados energeticamente ou encaminhados para aterro desde que previamente estabilizados.

Segundo Cuperus (2011) a produção de CDR a partir dos resíduos está bastante desenvolvida no contexto europeu, Áustria, Finlândia, Itália, Holanda e Suécia, seguindo-se a Bélgica e Reino Unido ainda num processo de consolidação.

Por fim, Costa (2010) cita algumas unidades TMB internacionais instaladas no continente europeu localizadas na: Austrália (Sidney), Israel (Tel Aviv), Bélgica (Flandres), Espanha (Vitoria-Gasteiz e Madrid) e França (Launay – Lantic). Ademais, foram também identificadas tecnologias bastante inovadoras, tais como a separação dos resíduos através de via úmida (sistema hidromecânico) seguido de digestão anaeróbia da fração orgânica (Australia e Israel) ou a separação dos resíduos após processo de autoclavagem (Barcelona – Espanha). De um modo geral pode-se considerar que a percentagem de reciclagem que se obtém nos TMB, a nível internacional está muito dependente da realidade do país.

Tendo em consideração a informação coletada sobre as melhores práticas de triagem em TMB a nível internacional, ressalta-se um aspecto fundamental: existe tecnologia disponível que permite taxas globais de reciclagem nos TMB superiores a 50%, e taxas de recicláveis no TM superiores a 10%. Os plásticos são uma das categorias de materiais para reciclagem que o TMB mais pode ajudar (COSTA, 2010).

2.4. DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS

São três, as principais formas de disposição final de resíduos sólidos urbanos: os lixões, os aterros controlados e os aterros sanitários, sendo as duas primeiras formas não indicadas, por conta dos impactos socioambientais gerados. Já os aterros sanitários é a única modalidade de disposição indicada pelas legislações vigentes, pelo fato de possuir menor potencial de degradação. A distribuição de cada modalidade de destinação é apresentada na Tabela 11, tomando por base dados da ABRELPE (2016).

Tabela 11 - Quantidade de municípios por tipo de disposição final adotada em 2016

Disposição Final	2016 – Regiões e Brasil						Brasil 2015
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	Brasil	
Aterro Sanitário	92	458	161	822	706	2.239	2.244
Aterro Controlado	112	500	148	644	368	1.772	1.774
Lixão	246	836	158	202	117	1.559	1.552
Brasil	450	1.794	467	1.668	1.191	5.570	5.570

Fonte: ABRELPE (2016)

No Brasil, segundo dados da ABRELPE (2016), a região com a maior porcentagem de municípios que ainda tem como destinos finais os lixões e os aterros controlados são o nordeste, seguido da região Norte. Esse fator é preocupante, devido aos impactos que esses tipos de disposição são capazes de gerar, tanto ambientais quanto na saúde da população. Outro ponto demonstrado é o crescimento no número de lixões e redução de aterros sanitários, entre 2015 e 2016.

Segundo o Internacional Solid Waste Association (ISWA) os lixões recebem cerca de 40% dos resíduos sólidos do planeta e tem previsão de até 2025 ser responsável por 8 a 10% das emissões de gases de efeito estufa. A associação ainda define os lixões como: “local no qual ocorre disposição indiscriminada de resíduos sólidos no solo, com nenhuma ou, no máximo, algumas medidas bem limitadas de controle das operações e proteção do ambiente do entorno” (ISWA, 2017).

Já os aterros controlados são aqueles que, em geral, não dispõem de adequada impermeabilização de base, o que gera risco de contaminação das águas subterrâneas, assim como, não se trata o lixiviado ou dispersão dos gases gerados pela digestão das frações

orgânicas. Os aterros controlados decorrem, em sua maioria, de lixões adaptados, na tentativa de aumentar o controle ambiental, porém, não obtendo bons resultados como os vistos nos aterros sanitários. Assim, a nomenclatura se tornou obsoleta pela PNRS, tornando-se sinônimo de lixões, já que não possuem métodos para evitar os impactos ambientais causados pela destinação dos resíduos (BRASIL, 2010).

Os aterros sanitários representam maior interesse de estudo nessa pesquisa, em relação aos lixões e aterros controlados, e por isso, serão melhores explanados no item 2.4.1.

2.4.1. Aterro sanitário

Seguindo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): qualquer projeto de aterro sanitário deve ser elaborado de acordo com suas normativas. No caso dos aterros sanitários para RSU, a norma a ser seguida é a de número NBR 8419/NB 843, que descreve diretrizes técnicas, tais como impermeabilização da base e superior, monitoramento ambiental e geotécnico, sistemas de drenagem (lixiviados e gases), exigência de células especiais para resíduos de serviços de saúde, apresentação do manual de operação do aterro e destinação da área após encerramento das atividades (ABNT, 1992).

Mesmo sendo o aterro sanitário a opção de disposição final mais adequada ambientalmente, a PNRS institui os mesmos como a última opção na hierarquia de destinação de resíduos, levando a esse somente o que ainda não foi possível retornar ao meio ambiente, o que não ocorre na maioria dos municípios brasileiros, já que na maioria não há processos de tratamentos e recuperação de resíduos.

De acordo com Rouquayrol (2012), uma das atividades que exigem maior controle é a disposição final em aterros. Isso acontece na tentativa de evitar a poluição ambiental, repassando medidas a serem adotadas para reduzir seus impactos: a distância de sua localização de áreas urbanas e de recursos hídricos; impermeabilização do fundo do aterro; espaço adequado entre o fundo do aterro e o lençol freático; coleta, tratamento e destinação correta dos lixiviados; coleta, tratamento e aproveitamento dos gases resultantes da decomposição dos resíduos; compactação e cobertura diária dos resíduos.

O processo de decomposição dos RSU em aterros sanitários é regida em três etapas bem delimitadas, quais sejam: i) fase aeróbia, ii) fase acetogênica e iii) fase metanogênica. Esta divisão em fases permite o melhor entendimento do processo da decomposição da massa de resíduos em aterros e a possível produção de lixiviado, assim como a composição das

emissões gasosas. Todavia, na prática, esses estágios não são bem delimitadas durante a vida útil do aterro, pois existe grande variação na idade da massa de resíduos aterrada, em função da disposição desta em sucessivas camadas (CEMPRE, 2010).

Composto por diversos gases, o gás de aterro é constituído em grandes quantidades por metano e o dióxido de carbono e outros em quantidades em traços. Os gases presentes nos aterros de resíduos incluem o metano (CH_4), o dióxido de carbono (CO_2), a amônia (NH_3), o hidrogênio (H_2), o gás sulfídrico (H_2S), o nitrogênio (N_2) e o oxigênio (O_2). O metano e o dióxido de carbono são os principais gases provenientes da decomposição anaeróbia dos compostos biodegradáveis dos resíduos orgânicos e sua distribuição exata irá variar conforme a idade do aterro. A composição dos resíduos dispostos, a umidade, o tamanho das partículas, a temperatura, o pH, a idade dos resíduos, o projeto do aterro e sua operação são fatores que podem influenciar a produção de biogás (MMA, 2013).

De modo geral, a base do aterro sanitário deve conter uma camada de solo compactado (para evitar o vazamento de material líquido e consequente contaminação do lençol freático), acima deste solo é necessária uma camada impermeável de polietileno de alta densidade – P.E.A.D, sucedida de um sistema de drenagem de chorume que deve ser tratado e reinserido ao aterro, desta forma obtêm-se um menor volume de poluição ao meio ambiente MASTERGEO (2017).

O aterro sanitário deve possuir em seu interior um sistema de drenagem de gases que torne possível a coleta do biogás formado pela decomposição dos resíduos. Esses efluentes gasosos devem ser prioritariamente beneficiados na produção de energia, todavia, se não for possível, podem ser queimados na atmosfera. Ao produzir e utilizar o biogás inclui a possibilidade de recompensa financeira a compensação por créditos de carbono ou CER's do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, conforme previsto no Protocolo de Quioto (MASTERGEO, 2017).

Por fim, sua cobertura é composta por um sistema de drenagem de águas pluviais para diminuir a infiltração da água da chuva no interior do aterro, geralmente constituído por uma camada de argila compactada. É importante que um aterro sanitário possua um sistema para a realização de monitoramento ambiental periódico, com intenção de verificar as condições do solo e das águas subterrâneas, e pátio de estocagem de materiais (MASTERGEO, 2017).

2.5. MECANISMOS DE DESENVOLVIMENTO LIMPO (MDL) E MERCADO DE CRÉDITOS DE CARBONO

Segundo Alves (2015), ocorreu recentemente em Paris, a COP-21, com o objetivo de produzir um novo acordo global a fim de reduzir emissões de gases de efeito estufa (GEE), com o intuito de limitar o aumento da temperatura global em 2° C até 2100. Todavia, a conclusão foi que não há base suficiente para alcançar essa meta até o final do século, pois o parâmetro para alcançá-la é que o mundo poderia somente emitir 1.000 giga toneladas (Gt) de CO₂, entre 2012 e 2100. Os dados do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), diz que o mundo emitiu 49 Gt de GEE em 2010 e precisaria baixar para 11,3 Gt de CO₂ por ano até 2100.

Dentre os procedimentos de mercado para alcançar as metas internacionais sobre sustentabilidade, tem-se o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), criado com o Protocolo de Kyoto (PK) para auxiliar os países a cumprirem com suas condições e exercer uma espécie de incentivo ao setor privado, além oferecer suporte a países em desenvolvimento para que contribuam com os esforços na redução de GEE. Conforme o art. 12 do PK, o MDL é uma ferramenta que apresenta duas faces, projetado para alcançar reduções de emissões de GEE e promover o desenvolvimento sustentável nos países em desenvolvimento (ENI-IBUKUN, 2013; TORVANGER et al., 2013). O art. 12 coloca em pauta a igualdade entre os dois objetivos do MDL, não somente porque ambos se aplicam a países em desenvolvimento, mas, também, porque poderiam ser perseguidos simultaneamente (TORVANGER et al., 2013).

No mercado de créditos de carbono existem os mercados mandatários, que são aqueles que estabelecem metas obrigatórias de reduções para GEE, nos moldes do Protocolo de Kyoto, e os mercados voluntários, que não possuem essa obrigatoriedade para a redução (WORD BANK, 2014).

Por fim, pode-se atentar como o maior mercado mandatário o European Union Emission Trading Scheme (EU ETS) e, como mercados voluntários, adotaram iniciativas em países como Estados Unidos, Austrália, Canadá, Índia, China e, mais recentemente, no Brasil. As negociações se dão por meio de mecanismos centralizados com organizações de bolsas de mercadorias e de futuros. Essa estratégia assemelha-se às negociações tradicionais para *commodities* agrícolas, de energia e financeiro (DIAS, 2016). Na Figura 5 é representado como se organiza as negociações do representativo do mercado de carbono.

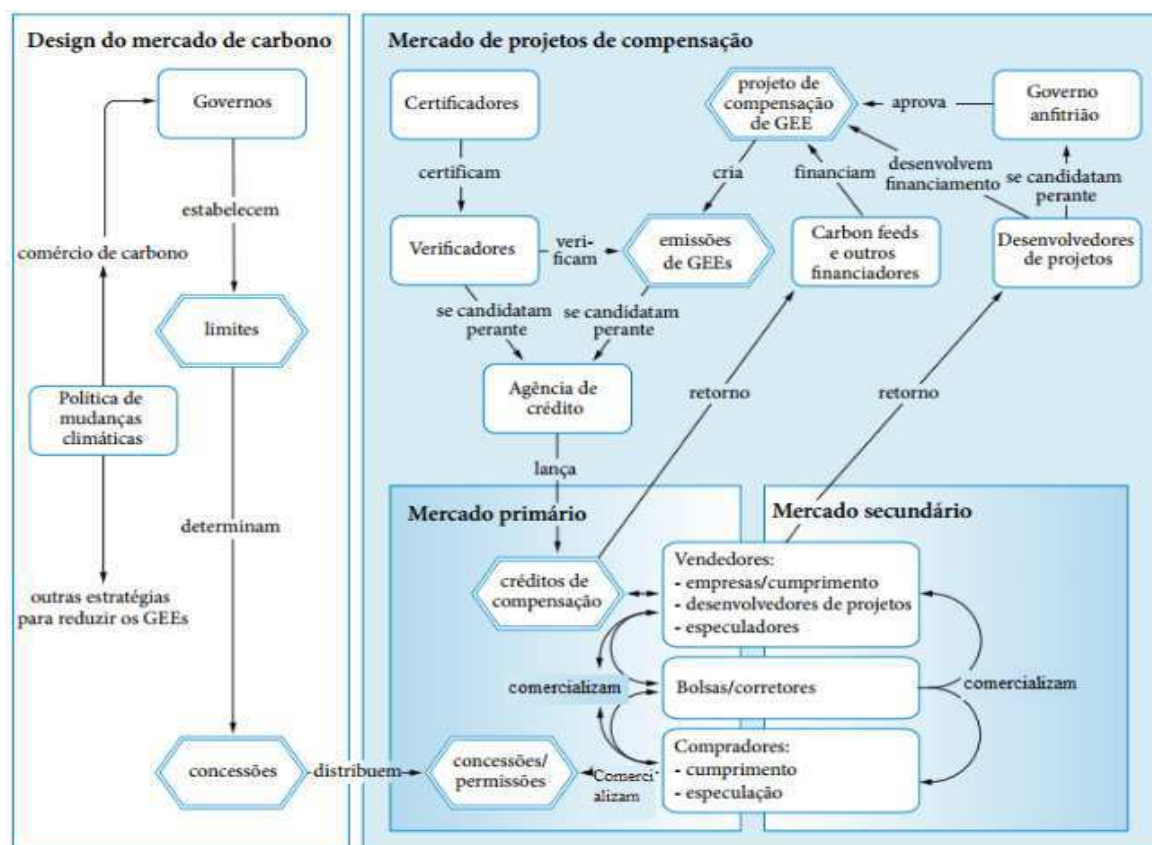


Figura 5 - Organograma representativo do mercado de carbono

Fonte: Adaptado de Kill et al. (2012)

Segundo Silva e Andrade (2011), desde seu surgimento, o mercado de carbono vem sendo cenário de relações comerciais internacionais intensificadas entre os agentes vendedores, detentores dos créditos e os compradores interessados na aquisição desses créditos para atingir suas metas.

Quanto ao Brasil, o mesmo apresenta estimativa de diminuição de emissões no que tange aos projetos de MDL registrados até dezembro de 2014, 372,6 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq). Os projetos da área hidroelétrica contribuem com 37,0% do total de redução de emissões, seguido pelos projetos de gás de aterro (23,6%), de decomposição de N₂O (12,1%) e de usinas eólicas (11,0%). Projetos que envolvem a produção de biogás e metano evitado, apesar de virem crescendo ao longo dos anos, ainda são mais incipientes no país, conforme ilustrado na Tabela 12.

Tabela 12 - Potencial de redução de emissão de gás carbônico dos projetos de MDL brasileiros, registrados até dezembro de 2014

Tipo de Projeto	Redução de Emissão de (tCO₂e)	Participação (%)
Hidroelétrica	137.877.368	37,0
Gás de Aterro	88.066.690	23,6
Decomposição de N₂O	44.911.888	12,1
Usina Eólica	40.963.868	11,0
Biogás	25.239.844	6,8
Biomassa Energética	16.091.394	4,3
Metano Evitado	8.221.417	2,2
Outros	11.247.648	3,0
Total	372.620.117	100

Fonte: Adaptado de Ministério de Ciência e Tecnologia (2015).

Apresentado como um país com grandes condições de influenciar na extensão dessa transferência tecnológica, o Brasil é visto com certa expectativa no que diz respeito à implementação de novas ferramentas de redução de gases. Isso também acontece devido à suas características naturais (vasto patrimônio ambiental e a maior diversidade biológica do planeta). Dessa forma, os projetos do mercado de carbono incentivariam o desenvolvimento conjunto de tecnologias mais limpas, com a intenção também de prevenir a poluição, e não somente no controle da poluição sem nenhum conteúdo de inovação tecnológica (BATISTA, 2013).

2.5.1. Energia renovável no Brasil

O Brasil possui diversas alternativas e disponibilidade de recursos naturais para diversificar sua fonte de energia, o que poderia ser visto como uma vantagem em relação a outros países. A matriz energética brasileira é, em sua maioria, renovável e apresenta cerca de 74,6% da oferta interna de eletricidade. Conforme Figura 6, é possível observar a estrutura brasileira de oferta de eletricidade em 2014, tendo destaque a geração hidráulica, que corresponde a 65,2%, seguido pela biomassa, com 7,3% (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2015a).

Surgindo como alternativa para a produção de energia, a biomassa apresenta potencial de crescimento nos próximos anos. A mesma passa a ser considerada como uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética e menor dependência dos

combustíveis fósseis. A biomassa pode oferecer substitutos ao óleo diesel e gasolina, que são os biocombustíveis (biodiesel e etanol), além da energia elétrica (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2015b).

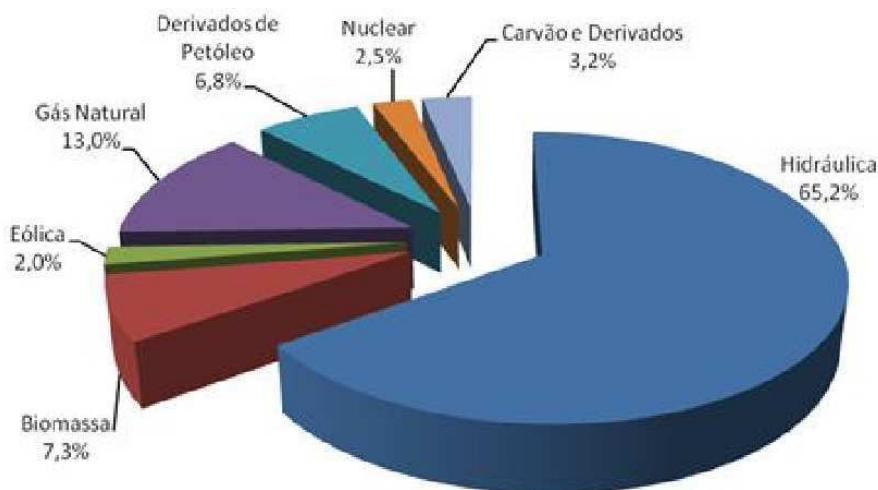


Figura 6 - Oferta de energia elétrica brasileira por fonte

Fonte: Adaptado de Empresa de Pesquisa Energética (2015)

Desde o século passado até os dias atuais são utilizados enormes volumes de combustíveis fósseis. No entanto os mesmos geram consequências extremamente negativas ao nosso ambiente e, por isso, tem-se a necessidade de substituí-los, além de representarem fonte de energia esgotável (KARLSSON et al., 2014). Além de suas contribuições ambientais, o biogás reduz a emissão dos gases do efeito estufa, por meio da conversão do metano gerado em dióxido de carbono (ABREU, 2014).

A depender do tipo de biomassa, podem ser utilizadas diversas tecnologias para a conversão desta em outra forma de energia, como combustível líquido ou biogás. Pode-se citar a biodigestão anaeróbia como um dos diferentes procedimentos existentes para tratamento de resíduos, além de representar uma alternativa bastante atrativa, já que promove a produção de biogás e do biofertilizante, que pode ser usado na adubação de culturas vegetais, como nas pastagens, em lavouras de milho e de soja (JUNQUEIRA, 2011).

2.6. LICENCIAMENTO AMBIENTAL

Com o intuito de autorizar e acompanhar a realização de atividades que envolvem o meio ambiente, poder público implantou o Licenciamento Ambiental. Este dispositivo se trata de uma exigência legal, que auxilia órgãos ambientais a acompanhar a implantação e

operacionalização dos serviços que empregam recursos naturais, porém atuam em casos em sejam consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras. Já o empreendedor tem a obrigação desde as primeiras etapas do seu planejamento, está devidamente licenciado junto ao órgão competente. (MMA, 2004).

De acordo com a FEPAM (2016), o licenciamento ambiental é o procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente, que pode ser federal, estadual ou municipal, licencia a localização, instalação, ampliação e operação de empreendimentos. O local pretendido será avaliado para que ocorra a menor degradação ao meio ambiente.

Os empreendimentos que necessitam de licenciamento ambiental são determinados por resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), resolução CONAMA 237 de 1997, e dentre eles estão os empreendimentos ligados à gestão de resíduos (BRASIL, 1997).

O CONAMA através do dispositivo 001/86 exigiu que ainda na etapa de planejamento para um futuro empreendimento, seja realizado Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA). Esta ferramenta fornece segundo a legislação, “uma perspectiva do local, mais precisamente no solo, água e ar para verificar se a área contém algum passivo ambiental além de prever como o meio sócio-econômico-ambiental será afetado pela implantação do empreendimento.” (BRASIL, 1986).

Segundo a Central de Tratamento de Resíduos (2016), o Estudo de Impacto Ambiental é um estudo técnico realizado por profissionais de diferentes campos do conhecimento, que apresenta uma investigação detalhada da situação ambiental atual da área que irá receber o projeto. Com base na situação atual e nas características do projeto é possível prever os impactos possíveis de ocorrer com a implantação do empreendimento e, assim, propor medidas que visem potencializar os impactos positivos de forma breve e acessível, as conclusões dos estudos do EIA.

Já o RIMA, destina-se também à qualificação do debate público de interesse da sociedade, constituindo-se em um instrumento de esclarecimento à população. O EIA e o RIMA compõem o processo de licenciamento ambiental, procedimento administrativo em que o órgão ambiental avalia as questões sociais e ambientais que poderão ser afetadas pelo empreendimento. Após a análise, o órgão decide se concede ou não as licenças ambientais.

Sendo positivo o parecer dado após realizado os procedimentos de Estudo de Impacto Ambiental e do Relatório de Impacto Ambiental, os órgãos competentes passam à expedir as licenças, que de acordo com o FEPAM (2016), existem três fases:

1) Licença prévia - LP

É a primeira licença ambiental a ser solicitada na fase preliminar do licenciamento ambiental de planejamento do projeto, que avaliará a viabilidade ambiental do local proposto para a implantação ou ampliação do empreendimento.

2) Licença de instalação - LI

É a licença ambiental que permite o início das obras devendo ser solicitada após a emissão da LP, juntamente com a apresentação dos projetos e programas ambientais relativos à atividade ou empreendimento proposto.

3) Licença de operação - LO

É a licença ambiental que deve ser solicitada após o término das obras de instalação do empreendimento, na qual estarão estabelecidas condicionantes ambientais para a sua operação.

De acordo com a Sindusfarma (2016), concedida na fase de planejamento, aprova a localização e a concepção tecnológica, portanto atesta a viabilidade ambiental e tem validade 2 anos para solicitar a LI. Já a LI, que autoriza a instalação do empreendimento ou atividade em conformidade com os planos, tem validade anos e 2 anos para parcelamentos do solo e condomínios e pôr fim a LO que autoriza o funcionamento do empreendimento, através da vistoria técnica ao local e avaliação do cumprimento das exigências técnicas.

O licenciamento ambiental é considerado importante instrumento da Política Nacional de Meio Ambiente (Lei 6.938/81), pois através do licenciamento, o Poder Público exerce o controle necessário sobre aquelas atividades que interferem de forma lesiva ao meio ambiente (BRASIL, 1981).

A Resolução CONAMA nº 237/97, atribuí aos municípios à competência do licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades de impacto ambiental local. A Lei nº 6.938, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e de outras providências (BRASIL, 1981). Sobre o licenciamento ambiental afirma que:

* Compete ao CONAMA, de acordo com o art. 8º:

Estabelecer, mediante proposta do IBAMA, normas e critérios para o licenciamento de atividades efetiva ou potencialmente poluídas, a ser concedido pelos Estados e supervisionado pelo IBAMA

* Compete ao CONAMA, de acordo com o art. 10º.

A construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental dependerão de prévio licenciamento ambiental.

2.7. INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE SOBRE GESTÃO DE RESÍDUOS

Segundo Veiga (2014), os indicadores de sustentabilidade são extremamente importantes em qualquer planejamento, pois norteiam a maneira como se comunicam as ideias, pensamentos e valores. Portanto, fornecem condições eficazes para simplificar, clarear e apresentar as informações. Por fim, são importantes métodos para mensurar e avaliar, tornando-se muito importantes para desenvolver o planejamento de políticas públicas e o processo de tomada de decisão (VAN BELLEN, 2005).

Os principais traços que os indicadores necessitam possuir como parte da moderação de processo de desenvolvimento sustentável são: i) reconhecer metas e objetivos, analisando se as condições das finalidades de gestão estão sendo atingidas e satisfeitas; ii) sinalizar a necessidade de ações corretivas da estratégia de gestão; iii) subsidiar a tomada de decisão, fornecendo informações relevantes para amparar a implantação de políticas em diferentes instâncias; iv) tornar-se ferramentas para o gerenciamento de impactos ambientais; v) proporcionar a reflexão de um sistema de uma forma global, mas permitir uma análise comparativa no tempo e no espaço; vi) antecipar situações de riscos e conflitos (PHILIPPI E MALHEIROS, 2013c).

Para Philippi e Malheiros (2013b), no aspecto ambiental, os indicadores apresentam o cenário em que se encontram “os recursos do meio físico, do meio biótico frente às atividades humanas, de forma a realçar a capacidade de autodepuração dos ecossistemas”. Já segundo Veiga (2014), o aspecto ambiental pode ser apresentado através dos seguintes dispositivos: “pela massa diária *per capita* coletada de RSU, pela massa diária *per capita* de materiais recicláveis coletados pela coleta seletiva, pelo percentual da população atendida pelo serviço de coleta dos RSU, dentre outros”.

Já os indicadores sociais contribuem para alcançar um estágio o mais próximo possível de equidade social, atuando no favorecimento de uma distribuição de renda mais justa, possibilitando a oportunidade de emprego pleno e/ ou autônomo, além de oportunizar a igualdade no acesso aos recursos e serviços. “A sustentabilidade deve promover uma

distribuição de renda mais equitativa, a fim de reduzir as diferenças sociais e melhorar as condições de vida das populações e o bem-estar humano” (SACHS, 2009).

Dessa forma os indicadores podem ser caracterizados e reconhecidos no planejamento do desenvolvimento sustentável da seguinte forma: i) pelo número de postos de trabalho gerados pelo manejo do RSU; ii) número de postos de trabalho gerados pela coleta seletiva; iii) percentual da população participante de programas de coleta seletiva – população que separa seus resíduos- em relação a população atendida por esses programas; iv) percentual de catadores organizados – cooperativas, associações- que trabalham na coleta seletiva; e v) percentual de catadores formais que atuam na coleta seletiva, dentre outros (VEIGA, 2014).

Por fim, na dimensão econômica os indicadores associam-se aos efeitos das organizações e dos sistemas econômicos, buscando entender informações ligadas “ao desempenho econômicos, as políticas, práticas e proporções de gastos, e também aos impactos econômicos diretos ou indiretos que afetam a sociedade” (SILVA e SOUZA-LIMA, 2010).

Philippi e Malheiros (2013a) asseguram que ao se construir indicadores de desenvolvimento sustentável, a dimensão econômica possui mesmo que em diferentes escalas, o objetivo de busca pela eficiência dos processos produtivos, se constituindo nas iniciativas que envolvem os aspectos financeiras, como também o consumo de recursos naturais e energia.

Por fim, Veiga (2014) elenca diversos indicadores, que vão desde a “despesa *per capita* com todas as fases do manejo do RSU em relação a população urbana, custo unitário médio do serviço de coleta dos RSU, ao custo anual *per capita* com coleta seletiva, custo unitário médio de transporte de rejeitos, dentre outros. ”

2.8. FERRAMENTA DE ANÁLISE

2.8.1. Método Benchmarking

Como relatado anteriormente por Milutinović (2016), as avaliações da sustentabilidade de sistemas para gestão de resíduos se tornam uma problemática de alta complexidade, já que nesse meio estão inseridas avaliações por vários vieses, seja por viabilidades ambientais, econômicas, de aceitabilidade social, assim como os fatores tecnológicos e operacionais.

Por isso, faz-se necessária a utilização de ferramentas que possam avaliar as diferentes vertentes que possam gerar influência. Dessa forma, buscando caracterizar e avaliar de

maneira mais completa os empreendimentos ligados a gestão de resíduos sólidos urbanos. Uma dessas ferramentas, que é utilizada de maneira genérica por uma infinita variedade de empreendimentos, é o Benchmarking.

O Benchmarking teve início através de um estudo realizado pela empresa Xerox Corporation, que tinha como intuito, conhecer as práticas de empreendimento japonesas, para poder replicar em sua empresa. Isso ocorreu no final da década de 1970, e acabou se consolidando como uma filosofia, que possui como meta, procurar as melhores práticas que conduzam a empresa à maximização de seu desempenho (RAMOS, 2013).

Com o passar dos anos, o Benchmarking se tornou uma ferramenta de avaliação usada em empresas, tendo como principais objetivos: comparar processos, produtos e serviços para planejar as organizações de forma estratégica, o que servirá como ferramenta para ajudar a organização a tomar ações para melhorar o seu desempenho (LEMA e PRICE, 1995; SPENDOLINI, 1994).

Assim, periodicamente, as empresas que utilizam o Benchmarking, analisam os seus processos organizacionais visando estar melhorando sempre, já que buscam aperfeiçoar seus produtos e processos em curto, médio e longo prazo. Os processos organizacionais ou empreendimentos são comparados com aqueles que apresentam similaridades, porém de empresas distintas, que não necessariamente precisam ser de igual segmento ou setor (CARPINETTI, 2010).

No mundo das organizações e empreendimentos, a aplicação do Benchmarking passou de uma atividade opcional para necessária, já que com o passar dos anos as mudanças ocorrem cada vez mais em um curto espaço de tempo, que aliado a uma competição global crescente, acelera, em consequência, a necessidade de atualização dos empreendimentos, e por isso, resta cada vez menos espaço para a ineficiência ou falta de eficácia. Sendo assim, é necessária a comparação do desempenho de uma empresa com a performance de outras no mesmo setor ou competidores de classe mundial.

Zago *et. al.* (2015) acrescenta que o Benchmarking propicia aos administradores dos empreendimentos, um caminho para a inspiração e para o desenvolvimento de novas habilidades, do mesmo modo em que faz com que os administradores passem a enxergar o mercado sob novos ângulos, através de alguns processos ou empreendimentos que se destacam no cenário analisado, que passam a servir como parâmetro de comparação com as práticas de seu empreendimento, avaliar as situações atuais e identificar as áreas que necessitam de mudança.

Chiavenato (2000), afirma que essa “comparação costuma ser um saudável método didático”, já que o Benchmarking permite o aprendizado a partir dos erros e dos acertos dos outros, o que otimiza o aprendizado, além de poupar tempo e recursos destinados a tentativas e erros nos processos dentro da organização.

Segundo o Sindicato Nacional das Concessionárias Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto – SINDCON (2017), “a técnica de Benchmarking tem sido empregada habitualmente para medir, comparar e estabelecer o nível de desempenho alcançado por uma empresa, sistema ou produto”. É assim vista, como uma técnica comparativa que possui capacidade de analisar, dentre outros exemplos:

- a) gestão da empresa e práticas operacionais;
- b) processos e melhores práticas;
- c) nível tecnológico e melhores técnicas disponíveis;
- d) planejamento de recursos e organização da empresa;
- e) programas ambientais: controle e fiscalização ambiental.

Segundo Shetty (1993), o processo de Benchmarking é dividido em seis etapas de acordo com a sequência apresentada na Figura 7:

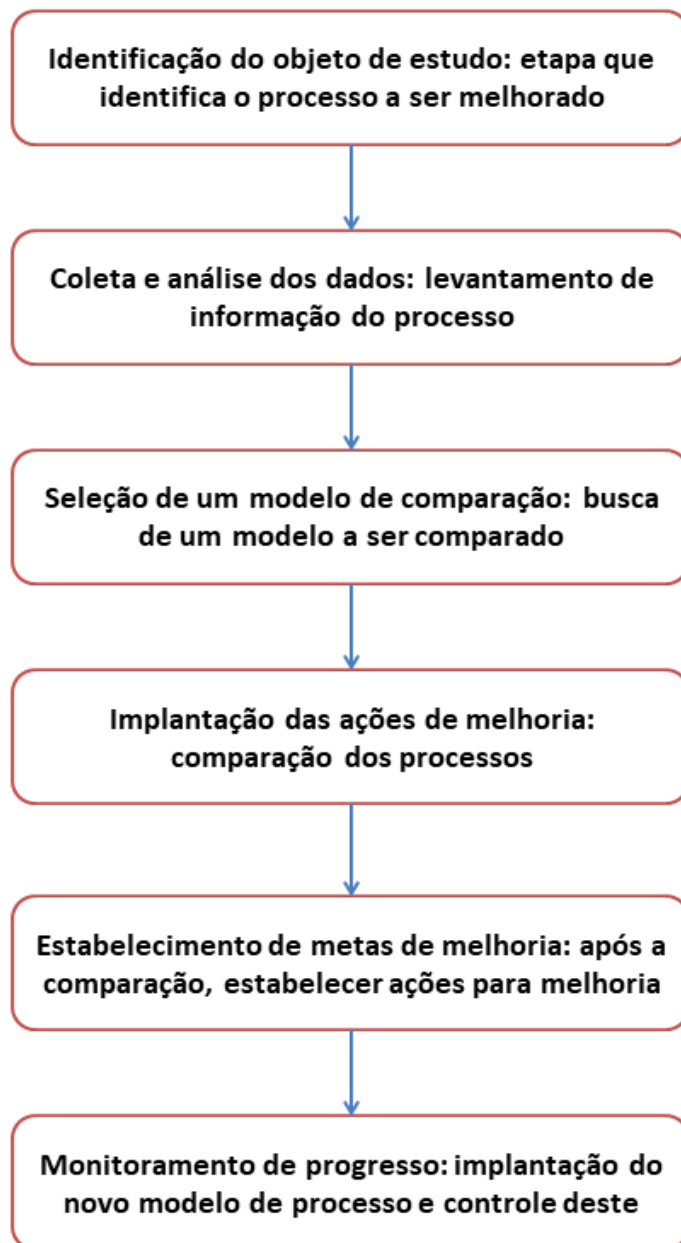


Figura 7 - Etapas do processo Benchmarking

Fonte: Adaptado de Shetty (1993)

A aplicação de forma contínua dos seis passos listados na Figura 8, permite que o processo seja continuamente melhorado, visando sempre ao alcance de melhores desempenhos para a tipologia de empreendimento estudado, seja ele qual for.

Os passos propostos por Shetty (1993) podem ser adaptados, dependendo da finalidade do estudo, como feito por Alcantara (2016), que utilizou em seus estudos, a etapas de: identificação do objeto de estudo; coleta e análise de dados; seleção de um modelo de comparação; e comparação dos processos.

A adaptação realizada por Alcantara (2016) será a utilizada nesta pesquisa, já que não visa a aplicação de melhorias, e nem o monitoramento de progresso, mas apenas o comparativo de desempenho entre os empreendimentos, buscando servir como base para estudos futuros sobre a tecnologia de tratamento mecânico-biológico.

Essa comparação de níveis de desempenho é tida para Stapenhurst (2009), como uma das duas fases críticas do método Benchmarking, já que é nela que se consegue determinar as diferenças entre “nós” e o “melhor”, assim como define onde as demais organizações devem angariar esforços para melhorar. “A segunda dessas fases é estudar como o melhor, ou melhores, atingem o seu desempenho superior e, adaptando essa(s) prática(s) de forma apropriada”.

A comparação de valores feitas a partir da fase de análise de desempenhos, torna possível a formação de rankings relativamente às organizações ou empreendimentos que competem nos mesmos setores (KEENAN e KASHMANIAN, 2012).

3. METODLOGIA

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa será realizada a partir de dados nacionais, sendo analisado o território brasileiro. O Brasil é o sexto país mais populoso do mundo, e de acordo com estimativa realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, a sua população é de aproximadamente 207.660.929 habitantes (IBGE, 2017).

Já em extensão, o Brasil possui a quinta colocação, ocupando uma área de 8.515.759,09 km², e está situado na América do Sul, fazendo fronteira com 10 países, quais sejam: Guiana Francesa, Suriname, Guiana, Venezuela, Colômbia, Peru, Bolívia, Paraguai, Argentina e Uruguai (IBGE, 2018). A localização geográfica do país é apresentada na Figura 8:



Figura 8 - Localização geográfica do Brasil

Fonte: IBGE (2018).

O Brasil é territorialmente dividido em 26 estados mais o Distrito Federal, sendo nesse último, onde se encontra a capital federal, Brasília. E segundo o IBGE, é constituído por 5570 municípios.

Em relação aos resíduos sólidos urbanos, o país é dotado de organismos que gerenciam ou acompanham as ações, seja à nível nacional ou estadual. Em nível nacional, têm-se órgãos como o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), Associação Brasileira de Empresas e Limpeza Pública e Serviços Especiais (ABRELPE), além do organismo responsável pelos licenciamentos federais de atividades que incluem aquelas relacionadas ao gerenciamento de RSU, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), além dos órgãos estaduais para licenciamento.

Com base nos dados fornecidos pela ABRELPE (2016), os números referentes à geração de RSU revelam um total anual de quase 78,3 milhões de toneladas no país. O montante coletado em 2016 foi de 71,3 milhões de toneladas, índice de cobertura de coleta de 91%. A disposição final dos RSU coletados demonstrou 58,4% ou 41,7 milhões de toneladas enviadas para aterros sanitários. E mais de 29,7 milhões de toneladas de resíduos, 41,6% do coletado em 2016, foram parar em lixões ou aterros controlados, que não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessários para proteção do meio ambiente contra danos e degradações.

Os recursos aplicados pelos municípios em 2016 para fazer frente a todos os serviços de limpeza urbana no Brasil foram, em média, de cerca de R\$9,92 mensais por habitante. E a geração per capita foi de 1,04 kg.hab⁻¹.dia⁻¹. A composição gravimétrica dos resíduos gerados pode ser observada na Figura 9:

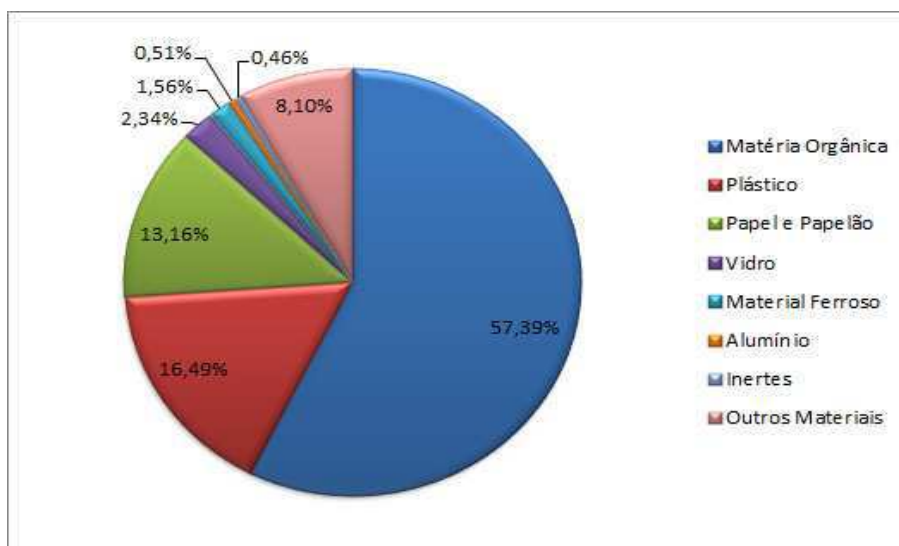


Figura 9 - Composição gravimétrica dos RSU gerados no Brasil

Fonte: Adaptado pela autora (2018) com base nos dados do IPEA (2017)

E quanto ao tratamento dos resíduos gerados dados do Instituto de Pesquisas Econômica Aplicada - IPEA (2017) estimam que, no Brasil, 30% a 40% dos resíduos são passíveis de reaproveitamento e reciclagem. Mas que, apenas 13% desses resíduos são encaminhados para a reciclagem.

3.2. CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

De acordo com Gerhardt e Silveira (2009) a pesquisa pode ser denominada como quali-quantitativa em relação à abordagem, já que se baseará tanto em aspectos numéricos quanto descritivos; de natureza aplicada, já que, objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos, envolvendo verdades e interesses locais; quanto aos objetivos, é do tipo exploratória, já que será baseada em revisão bibliográfica e estudo de caso; quanto aos procedimentos, será do tipo bibliográfico e documental, por se basear na pesquisa tanto em referências teóricas analisadas e publicadas.

A presente pesquisa foi centrada no estudo do Tratamento Mecânico-Biológico de resíduos sólidos urbanos, tendo como foco o cenário nacional. O TMB foi selecionado por se tratar de uma tecnologia já consolidada em países mais desenvolvidos na questão de tratamento e disposição de RSU, como os países Europeus, e por a mesma se encontrar em processo de expansão mundial, como é o caso do Brasil, onde diversas usinas se encontram em processo de contratação ou de implantação.

A pesquisa foi dividida em três partes. Na primeira parte foi feita a catalogação das usinas em processo de implantação ou que já estejam em funcionamento no país. Na segunda parte foi uma análise da adequação das usinas de TMB já operantes no Brasil, em relação à Política Nacional dos Resíduos Sólidos. E a terceira consistiu da coleta de dados junto aos órgãos ou empresas responsáveis pelo TMB em municípios nos quais a tecnologia já foi implementada, havendo um comparativo de desempenho entre as mesmas, através da metodologia Benchmarking.

Com os dados coletados nas etapas citadas, houve uma discussão e sugestões baseada nos resultados obtidos, procurando apontar aspectos para o melhoramento da eficiência da tecnologia e o alcance dos objetivos almejados pelo país no que cabe ao tratamento e destinação de resíduos.

3.3. ETAPAS DA PESQUISA

A metodologia da pesquisa se procedeu visando responder a questionamentos prévios, quais sejam: i) essa tecnologia possui visibilidade nacional, estando dentro dos estudos estatísticos para tratamento de resíduos, caso não, como cataloga-las; ii) como avaliar as usinas que já estejam em operação, e como incentivar o aprimoramento da tecnologia no Brasil; iii) a tecnologia advinda de outros países se adapta ao que preconiza a PNRS; iv) qual é o nível de atendimento da tecnologia;

Buscando responder aos questionamentos supracitados, a metodologia da presente pesquisa será dividida em três principais partes como mostrado na Figura 10, e que serão detalhadas nos itens 3.3.1 a 3.3.3.

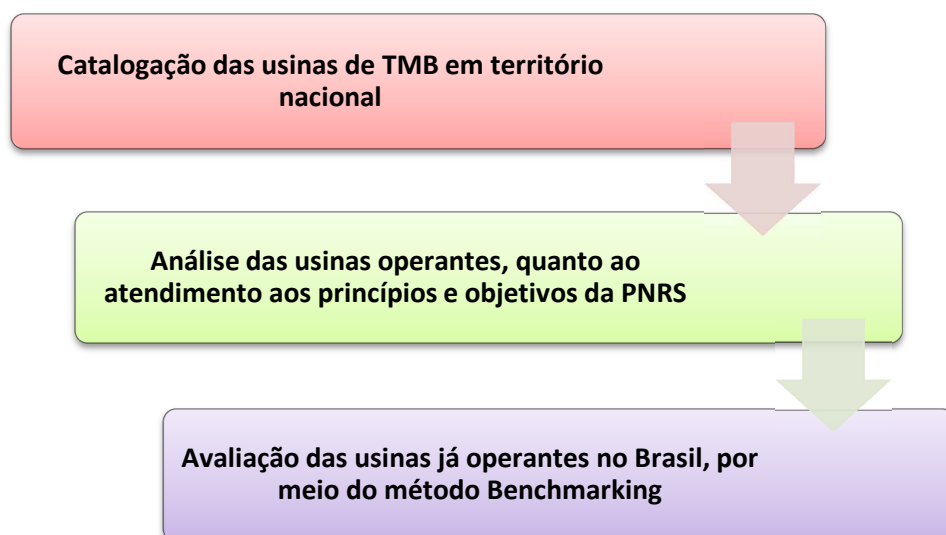


Figura 10 - Esquema da Metodologia

3.3.1. Catalogação das usinas no país

Em um primeiro momento, para a realização da pesquisa, tratou-se da busca por usinas de TMB em processo de implantação ou que já estivessem em funcionamento dentro do território nacional. Tal busca se baseou principalmente nas licenças expedidas para tal atividade. E desse modo, essa parte da pesquisa foi direcionada aos sites dos órgãos estaduais, responsáveis pelo licenciamento ambiental, ao site do Portal Nacional do Licenciamento Ambiental (PNLA), aos Diários Oficiais Estaduais. Foram consideradas apenas as licenças dentro do prazo de validade.

Como primeiro passo para a catalogação das usinas, fez uma busca inicial no site da PNLA e seus respectivos status quanto aos tipos de licenças expedidas. Em seguida, buscou-se para os 26 estados brasileiros, além do Distrito Federal, os órgãos responsáveis pela emissão de licenças ambientais.

Os dados dos órgãos estaduais estão discriminados na Tabela 13, que contém a unidade federativa; o órgão responsável pelo licenciamento ambiental; a sigla do respectivo órgão e o site onde as informações são encontradas. Os dados da Tabela 13 foram confirmados ou atualizados, tomando como base nos sites do IBAMA e do PNLA.

Tabela 13 - Órgãos responsáveis pelos licenciamentos ambientais em cada estado

UF	Órgão	Sigla	Site
AC	Instituto de Meio Ambiente do Acre	IMAC	http://www.imac.ac.gov.br/
AL	Instituto do Meio Ambiente de Alagoas	IMA	http://www.ima.al.gov.br/
AP	Instituto do Meio Ambiente e de Ordenamento Territorial do Amapá	IMAP	http://www.imap.ap.gov.br/
AM	Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas – IPAAM	IPAAM	http://www.ipaam.am.gov.br/
BA	Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos	INEMA	http://www.inema.ba.gov.br/
CE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente	SEMACE	http://www.semace.ce.gov.br/
DF	Instituto Brasília Ambiental	IBRAM	http://www.ibram.df.gov.br/
ES	Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos	IEMA	https://iema.es.gov.br/
GO	Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Recursos Hídricos	SECIMA	http://www.secima.go.gov.br/
MA	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais	SEMA	http://www.sema.ma.gov.br/
MG	Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável	SEMAD	http://www.meioambiente.mg.gov.br/
MS	Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul	IMASUL	http://www.imasul.ms.gov.br/
MT	Secretaria de Estado do Meio Ambiente	SEMA	http://www.sema.mt.gov.br/
PA	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade	SEMAS	https://www.semas.pa.gov.br/
PB	Superintendência de Administração do Meio Ambiente	SUDEMA	http://sudema.pb.gov.br/
PE	Companhia Pernambucana de Recursos Hídricos	CPRH	http://www.cprh.pe.gov.br
PI	Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Piauí	SEMAR	http://www.semar.pi.gov.br/
PR	Instituto Ambiental do Paraná	IAP	http://www.iap.pr.gov.br/
RJ	Instituto Estadual do Ambiente	INEA	http://www.inea.rj.gov.br

RN	Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente	IDEMA	http://www.idema.rn.gov.br/
RO	Secretaria do Estado do Desenvolvimento Ambiental	SEDAM	http://www.sedam.ro.gov.br/
RR	Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos	FEMARH	http://www.femarh.rr.gov.br/site/
RS	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler	FEPAM	http://www.fepam.rs.gov.br/
SC	Fundação do Meio Ambiente	FATMA	http://www.fatma.sc.gov.br/
SE	Administração Estadual do Meio Ambiente	ADEMA	http://www.adema.se.gov.br/
SP	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo	CETESB	http://cetesb.sp.gov.br/meio-ambiente/
TO	Instituto Natureza do Tocantins	NATURATINS	https://naturatins.to.gov.br/

Fonte: Elaborado pela Autora (2018) com base em IBAMA (2017) e PNLA (2018).

Além dos sites dos organismos legisladores, também foram buscadas indicações sobre a existência ou a possibilidade de contratação de empresas para realizar o TMB de resíduos, havendo como filtro apenas textos gerados no Brasil, e que contivessem os termos “tratamento mecânico-biológico de resíduos sólidos urbanos”, o que gerou diversos resultados, os mesmos foram analisados, e dentre eles foram encontradas indicações de usinas já contratadas ou em processo de contratação. Assim, seguiu-se a uma busca mais aprofundada para a checagem dos fatos indicados, buscando suas devidas licenças.

No processo de checagem, foram verificados também, sites de prefeituras, de empresas responsáveis por realizar TMB, outras foram vistas diretamente em dados de pregões e nos diários de notícias estaduais e municipais em diversas regiões do país.

Após a coleta desses dados, foi montada uma tabela contendo o nome do município onde a usina está instalada ou em processo de instalação, o estado da federação na qual se encontra, a empresa responsável pela usina e o status de cada uma. Esse último indica se para a usina já foi expedida a licença prévia, de instalação ou de operação, ou ainda, se estão sendo realizados os estudos relativos aos possíveis impactos ambientais gerados pela obra (EIA/RIMA). E por último, os respectivos números das licenças para facilitar a checagem.

Os dados coletados nessa etapa foram utilizados para construção de tabelas e gráficos, que serviram de embasamento para discussões sobre o processo de implementação e expansão da tecnologia no país.

3.3.2. Análise quanto à PNRS

Em um segundo momento, realizou-se, uma análise da adequação das usinas operantes, encontradas a partir da catalogação, quanto ao que dispõe a legislação brasileira pertinente à gestão de Resíduos Sólidos Urbanos, a Lei 12.305/2010, por meio de alterações realizadas sobre o modelo proposto por Oliveira e Galvão Junior (2016).

Para a realização dessa análise, foram selecionados os incisos pertencentes aos princípios e objetivos descritos na PNRS. Posteriormente, tanto os princípios quanto os objetivos foram descritos à luz da literatura, para maiores esclarecimentos quanto ao conteúdo de cada inciso. Logo após, foram elaboradas duas listas de verificações, a primeira delas contendo os princípios da lei e a segunda contendo os objetivos. Em seguida, foram atribuídos os valores "1"; "0,5" e "0" para cada inciso analisado, para o caso do TMB e da disposição em aterro: atender à legislação, atender em partes, ou não atender à legislação, respectivamente.

Ao final da análise, em cada uma das tabelas, foi realizado o somatório da pontuação obtida em cada um dos itens, assim, para cada uma das usinas foi possível calcular a porcentagem de atendimento da tecnologia à PNRS.

De posse de tais resultados, foi possível observar o grau de adequação de tal tecnologia ao país em questão, além da identificação de pontos negativos e a proposição de adaptações com o intuito de alcançar melhores níveis de gestão dos RSU onde o TMB possa ser implantado.

3.3.3. Avaliação de desempenho das usinas

O terceiro passo foi a coleta de dados de usinas já em operação no Brasil, para analisar o grau de desempenho de cada uma frente às outras. A avaliação desenvolvida foi baseada em pesquisa realizada por Alcantara (2016), a qual utilizou o método Benchmarking.

As adaptações realizadas a partir da metodologia utilizada por Alcantara (2016), refere-se aos Indicadores utilizados, já a que a autora se utiliza de uma quantidade mais reduzida dos mesmos para avaliação de usinas operantes em Portugal, aqui houve um acréscimo de indicadores, visando aumentar o grau de caracterização das usinas brasileiras.

Para a aplicação do método Benchmarking, foram traçados indicadores e critérios que serão abordados nos parágrafos seguintes. Aliado a isso, foi realizada nesta pesquisa uma

revisão bibliográfica relacionada às usinas localizadas no Brasil, que são operados por meio da tecnologia de TMB dos RSU, buscando por dados relativos às mesmas. A partir disso, essas informações foram tratadas, possibilitando a avaliação destas tecnologias.

Conforme aplicado por Alcantara (2016), para a análise desse estudo, foram utilizados símbolos como critérios de avaliação, aplicados em uma matriz de critérios pré-estabelecidos, conforme explicitado na Tabela 14.

Tabela 14 - Tipologia de sinais utilizados no método Benchmarking

Tipologia do Sinal	
++	Simbologia dada para a máxima pontuação obtida dentre as opções analisadas, com relação ao critério avaliado
+	Simbologia dada para uma boa pontuação obtida dentre as opções analisadas, com relação ao critério avaliado, no entanto menor pontuação que o sinal (++)
0	Simbologia dada para representar a indiferença com relação ao critério avaliado, dentre as opções analisadas
-	Simbologia que representa uma baixa avaliação dentre as opções analisadas, com relação ao critério avaliado, no entanto superior à pontuação do sinal (- -)
--	Simbologia que representa a pior avaliação com relação ao critério avaliado, dentre as opções analisadas

Fonte: Adaptado de Alcantara (2016)

Os critérios descritos na Tabela 14 serão utilizados no método Benchmarking para pontuar os diferentes indicadores selecionados, segundo o desempenho de cada usina analisada frente às demais, e o seu somatório revelará um ranking de desempenho das usinas.

Para a aplicação dos critérios expostos na Tabela 14, foram previamente selecionados indicadores que pudessem servir como base para a avaliação das diferentes usinas por meio do método Benchmarking.

Os indicadores foram selecionados visando abarcar de forma mais geral os diferentes aspectos relacionados ao funcionamento das usinas, levando em consideração, no entanto, a possibilidade de encontrar esses dados na literatura.

Por meio dos indicadores selecionados, buscou-se englobar, de forma geral, os aspectos econômicos, operacionais, ambientais e sociais, que se subdividem ao final, em oito indicadores, detalhados na Tabela 15.

Tabela 15 - Descrição dos indicadores para o método Benchmarking

	Indicadores	Descrição	Forma de avaliação
Operacionais	I1 – Capacidade total de processamento (ton.dia ⁻¹)	Informa a capacidade total de processamento, instalada nas usinas avaliadas, que são medidas em toneladas por dia	A avaliação a partir dos sinais será mais positiva, quanto maior for a capacidade instalada, já que será capaz de atender a uma maior quantidade de pessoas, e talvez, expandir para atender à outros municípios
	I2 – Capacidade atual de Processamento (ton.dia ⁻¹)	Informa a quantidade de resíduos efetivamente processados pelas usinas avaliadas, que são medidos em toneladas por dia	A avaliação a partir dos sinais será mais positiva, quanto maior for o processamento atual frente a capacidade instalada, já que demonstra que os investimentos realizados estão sendo adequadamente aproveitados
Econômicos	I3 – Investimento (R\$. ton ⁻¹)	Informa a quantidade de capital investido para a instalação do empreendimento, frente à capacidade instalada para processamento, os valores são medidos em Reais por toneladas de resíduos	A avaliação a partir dos sinais será mais positiva, quanto menor for o capital investido para a instalação do empreendimento frente à capacidade de processamento instalada, o que demonstra maior economia, tornando o processo mais viável economicamente, além de mais atrativo para ser replicado em outras localidades, ou ser ampliado no local de estudo
	I4 – Custo operacional (R\$. ton ⁻¹)	Informa a quantidade de capital utilizado para operacionalizar o empreendimento frente ao processamento atual da usina, os valores são medidos em Reais por toneladas de resíduos	A avaliação a partir dos sinais será mais positiva, quanto menor for o custo operacional do empreendimento para manter o processamento atual, já que, que demonstra maior economia, tornando o processo mais viável economicamente, além de mais atrativo para ser replicado em outras localidades, ou ser ampliado no local de estudo
Ambientais	I5- Composto (ton.dia ⁻¹)	Informa, caso exista no processo analisado, a quantidade de composto orgânico gerado por quantidade de resíduos processados, os valores são medidos em toneladas por dia	A avaliação a partir dos sinais será mais positiva, quando haja produção de composto pelo processo avaliado, e quanto maior for essa produção anual, o que demonstra o maior reaproveitamento das frações orgânicas presentes nos resíduos urbanos
	I6- Energia (KWh)	Informa, caso exista no processo analisado, a quantidade de energia gerada através da biodigestão da fração orgânica, os valores são medidos em KWh	A avaliação a partir dos sinais será mais positiva, caso haja a geração de energia, e quanto maior for a produção anual energética, o que demonstra o maior reaproveitamento das frações orgânicas presentes nos resíduos urbanos
	I7 – Recicláveis (ton.dia ⁻¹)	Informa a quantidade de materiais recicláveis que são recuperados no processo, frente ao processamento efetivo, os valores são medidos em toneladas por dia	A avaliação a partir dos sinais será mais positiva, quanto maior for quantidade anual de recuperação de materiais recicláveis, o que demonstra o maior reaproveitamento dessas frações de materiais, presentes nos resíduos urbanos
Sociais	I8 – Aspectos sociais.	Informa, caso existam, os benefícios sociais, gerados a partir da instituição do empreendimento, neste indicador não há unidade de medidas, apenas a listagem dos benefícios.	A avaliação a partir dos sinais será mais positiva, quanto maior for a quantidade de benefícios sociais gerados, indicando que o empreendimento pode ser um aliado social, e traz benefícios a população a que atende

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CATALOGAÇÃO DAS USINAS NO PAÍS

O tratamento mecânico-biológico tem entrado em processo de expansão no Brasil, sofrendo influencia do estilo Europeu para a gestão de resíduos. Tal tecnologia está sendo vista como uma das alternativas de melhoria no desempenho nacional quanto ao tratamento de resíduos, e sendo seu crescimento relativamente recente.

O tipo de tecnologia já possui algumas usinas contratadas e outras em processo de contratação. Porém, faz-se necessário que haja uma catalogação das mesmas, e que sejam estudados suas características e seus desempenhos, já que esses seriam os primeiros passos para que a tecnologia possa cada vez mais evoluir, buscando sempre a otimização de seus processos e a redução dos impactos.

4.1.1. Análise do site do PNLA

Nas buscas realizadas no site do Portal Nacional do Licenciamento Ambiental, sobre empreendimentos envolvendo resíduos, foram retornados cerca de 54.000 resultados envolvendo os 26 estados da federação mais o DF. E para a seleção inicial dos empreendimentos que se enquadrariam em usinas de TMB, foram encontrados 10 diferentes tipos de dificuldades à realização da pesquisa no site como mostra a Figura 11. A identificação dessas dificuldades pode servir como base para o melhoramento do site, assim como, para orientar quem deseje pesquisar por empreendimentos no PNLA.

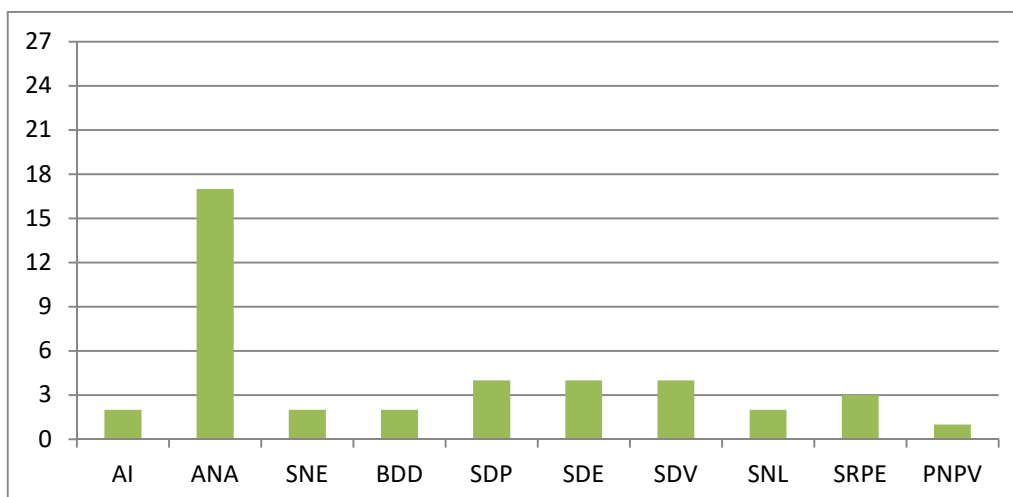


Figura 11 - Problemáticas encontradas nas busca por licenciamentos ambientais no PNLA

Legenda: AI – Arquivos Inacessíveis; ANA – Arquivos Não Anexados; SNE – Situação Não Especificada; BDD – Banco de Dados Desatualizado; SDP – Sem Data de Protocolização; SDE – Sem Data de Emissão; SDV – Sem Data de Vencimento; SNL – Sem Número de Licença; SRPE – Sem Resultado Para o Estado; PNPV – Processo Não Pode ser Visualizado.

A partir da pesquisa realizada no site da PNLA, e como demonstrado na Figura 11, observou-se o seguinte: dois estados possuíam arquivos inacessíveis, apesar de que demonstravam ter arquivos referentes ao empreendimento anexados: o Acre e São Paulo. Já 17 estados apresentaram em seus processos arquivos não anexados: Alagoas, Amapá, Amazonas, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Maranhão, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Pará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Paraná, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

No Amazonas e no Distrito Federal, em relação às licenças, a situação não é especificada. Piauí e Amapá apresentam seus bancos de dados desatualizados. Amazonas, Bahia, Rio de Janeiro e Rio Grande do Norte se encontram sem data de protocolização. Alagoas, Bahia, Distrito Federal e Santa Catarina estão sem data de emissão em seus processos. Alagoas, Bahia, Distrito Federal e São Paulo estão sem data de vencimento em seus processos.

Já o Distrito Federal e Minas Gerais se encontram sem o número das licenças, dificultando o processo de busca pelas mesmas em outros locais. Rondônia, Roraima e Tocantins estão sem resultados para o estado, significando que o site da PNLA não apresenta nenhum dado sobre licenciamentos desses três estados, sendo necessário dirigir as buscas por licenças para os sites dos órgãos de licenciamentos estaduais, nos estados citados. Por fim, apenas para Sergipe o processo não pode ser visualizado.

Todas as dificuldades anteriormente citadas tornam o processo de busca mais demorado, principalmente devido a grande quantidade de dados a serem analisados, levando-se em consideração de que esses dados são referentes ao licenciamento de empreendimentos ligados a resíduos provenientes de todos os estados do Brasil, um país que está entre os maiores em extensão territorial e em questão populacional.

Conforme ilustrado na Figura 14, a dificuldade mais recorrente é a falta de arquivos anexados aos processos, e também pode ser vista como a fonte de maior retardamento nas buscas, já que tendo os arquivos anexados, seria possível a realização de uma primeira filtragem das licenças, deixando para uma checagem mais aprofundada, apenas os processos que envolvessem o Tratamento Mecânico-Biológico. Em alguns casos, seria possível até mesmo a confirmação de determinados empreendimentos já nessa primeira fase de buscas.

Outro ponto que chama atenção é o fato de que alguns estados, nem ao menos tem seus processos catalogados no site destinado justamente à catalogação de licenças à nível nacional. Isso enfraquece a proposta de se ter um site unificado para todos os licenciamentos ambientais realizados no Brasil.

Visto o que foi abordado, seria necessário o investimento para tornar o site da PNLA mais completo, sendo capaz de catalogar os processos e licenças de todos os estados, assim como, apresentar dados mais completos destes. Tudo isso facilitaria as buscas no site para pesquisadores, gestores públicos e para a população em geral. Tornaria o site uma ferramenta mais segura e completa de catalogação de licenciamentos ambientais.

Ainda é possível frisar que os bancos de dados são ferramentas importantíssimas para as pesquisas realizadas em um país, e quanto mais completos forem estes bancos de dados, mais confiáveis serão os estudos realizados por meio deles, tornando-se mais sólidas as pesquisas em um determinado país.

4.1.2. Análise dos sites de licenciamentos estaduais

Além da realização de buscas no site do Portal Nacional do Licenciamento Ambiental, foram necessárias pesquisas também nos diferentes sites Estaduais de licenciamentos, em partes porque o PNLA não detinha dados de processos de alguns estados. Em outros, pelo fato de que os dados estavam incompletos, ou até para confirmação de determinados dados. Alguns comentários sobre os sites estaduais de licenciamentos ambientais são realizados na Tabela 16.

Tabela 16 - Comentários à respeito dos órgãos estaduais de licenciamento ambiental

UF	Sigla	Comentários
AC	IMAC	A busca por andamento de processos só pode ser realizada por pessoa física ou jurídica que deu entrada. Não há uma listagem no site das licenças expedidas, impossibilitando o processo de busca.
AL	IMA	Há lista de licenças liberadas por períodos, porém, não há arquivos anexados. Não há possibilidade de filtrar as licenças por tipologia de empreendimentos, nem por número de processo ou de licença. A busca por andamento de processos só pode ser realizada por pessoa física ou jurídica que deu entrada.
AP	IMAP	Não foram encontrados links dentro do site para consulta de licenciamentos, seja por listagem ou por meio de filtros para processos específicos.
AM	IPAAM	Não foram encontrados links dentro do site para consulta de licenciamentos, seja por listagem ou por meio de filtros para processos específicos.
BA	INEMA	Apesar de o site possuir local para pesquisa dos processos, não foi possível a visualização dos mesmos.
CE	SEMACE	Nas consultas, os processos são divididos por municípios, e ainda por licenças expedidas ou processos protocolados. Os arquivos referentes às licenças se encontram anexados aos processos.
DF	IBRAM	Há uma listagem de licenças expedidas, que são divididas primeiramente por período anual e, posteriormente, por tipologia de licença. Os arquivos referentes ao processo se encontram anexados.
ES	IEMA	As consultas podem ser realizadas a partir do fornecimento do número do processo ou da licença. Os arquivos não se encontram anexados aos processos, apesar de haver uma descrição resumida da licença.
GO	SECIMA	As consultas podem ser realizadas a partir do fornecimento do número do processo. Os arquivos não se encontram anexados aos processos, apesar de haver uma descrição resumida da licença.
MA	SEMA	As consultas podem ser realizadas a partir do fornecimento do número do processo ou da licença. Os dados da licença são mostrados de forma on-line, na própria página de consulta.
MG	SEMAD	Possui um sistema de consultas onde às licenças podem ser buscadas a partir: do número do processo, número da outorga, CPF ou CNPJ do empreendedor, nome ou razão social do empreendedor, CPF ou CNPJ do empreendimento, nome ou razão social do empreendimento, município, ou atividade do empreendimento. Os arquivos se encontram anexados aos processos para serem consultados.
MS	IMASUL	As consultas podem ser realizadas a partir do fornecimento de dados, como: número do processo, tipo de licença, tipo de empreendimento, nome do empreendedor, município, por período de data de emissão, por período de data de validade, dentre outros. Os arquivos não se encontram anexados aos processos.
MT	SEMA	Possui um sistema de consultas onde as licenças podem ser buscadas a partir: do número do processo, tipo do processo, situação do processo, nome ou razão social do empreendimento, nome do interessado, CNPJ do empreendimento, ou município do empreendimento. Os arquivos não se encontram anexados aos processos.
PA	SEMAS	As licenças são apresentadas em listas divididas por tipologia e para serem acessadas necessitam: número do título, número do processo, nome do empreendimento ou do município. Os arquivos referentes à licença se encontram anexados ao processo.
PB	SUDEMA	No site, podem-se pesquisar as licenças a partir do número dos processos, porém, os

		arquivos referentes à licença não se encontram anexados.
PE	CPRH	No site, podem-se pesquisar as licenças a partir do número dos processos, porém, os arquivos referentes à licença não se encontram anexados.
PI	SEMAR	A busca por andamento de processos só pode ser realizada por meio do número do processo e senha.
PR	IAP	Possui um sistema de consultas, onde as licenças podem ser buscadas através do número do processo. As licenças estão anexadas ao processo, com suas devidas descrições.
RJ	INEA	No site se pode pesquisar as licenças a partir do número dos processos, e os arquivos referentes aos pareceres se encontram anexados.
RN	IDEMA	Possui um sistema de consultas próprio, onde os dados são listados por intervalos de tempo, ou de status do processo, porém, não está funcionando corretamente. Em contrapartida, as licenças podem ser vistas no site do órgão, podendo ser filtrados por: tipo de processo, divisão de atividade, grupo atividade, e período de conclusão do processo.
RO	SEDAM	Os processos /licenças podem ser consultados através do número do processo, nome do interessado, ou CPF /CNPJ. Não há arquivos anexados aos processos.
RR	FEMARH	Os processos /licenças podem ser consultados através do número do processo, nome ou CPF/CNPJ. Não há arquivos anexados aos processos.
RS	FEPAM	Os processos /licenças podem ser consultados através do número do processo. Há arquivos referentes ao licenciamento anexados.
SC	FATMA	Possui um sistema para consultas próprio, onde são necessários o número do processo e número da licença. Não apresenta arquivos anexados, apesar de fazer um resumo dos principais pontos da licença.
SE	ADEMA	A busca por andamento de processos só pode ser realizada por pessoa física ou jurídica que deu entrada. Não foram encontradas as licenças já emitidas pelo órgão.
SP	CETESB	Há lista de licenças liberadas por períodos, porém, não há arquivos anexados. Não há como filtrar os processos /licenças por tipologia de empreendimentos.
TO	NATURATINS	O site possui um Sistema de Gestão Integrada que possibilita a pesquisa por empreendimentos de várias formas, como por meio do: número do processo, da licença, do requerimento, data de cadastro ou de vencimento. Não há arquivos anexados aos processos. Não há como filtrar os processos /licenças por tipologia de empreendimentos.

Assim como o site da PNLA, a problemática mais recorrente nos sites de licenciamentos estaduais é a falta das licenças anexadas aos processos, o que dificulta muito a busca por informações concretas sobre as mesmas, sendo necessário, para muitos estados, recorrer a pesquisas em sites de Prefeituras, das empresas responsáveis pelos empreendimentos, ou ainda, pesquisas em buscadores comerciais. Mesmo assim, essa busca não garante que as informações sejam encontradas. Isso torna a busca informatizada limitada, quando deveria facilitar as pesquisas em qualquer lugar.

Um segundo problema que dificulta bastante o processo de busca e análise das licenças é o fato de que alguns estados só permitem o acompanhamento de processos para as

pessoas ou empresas que deram entrada, o que fere um dos princípios da PNRS, que prevê em seu inciso X, o direito da sociedade à informação e ao controle social. Também há diante deste mesmo fato, o prejuízo de pesquisadores, que possam utilizar os sites de licenciamentos como ferramentas de pesquisa.

Um terceiro problema recorrente, dentre os observados, é a impossibilidade de filtrar processos, e os mesmos serem dispostos em arquivos que são formados por períodos de licenciamento. Por exemplo, são redigidos arquivos que possuem todas as licenças emitidas pelo estado no período de um mês, o que torna a pesquisa mais demorada, e impossibilita anexar os arquivos referentes a cada licença.

Ainda, dentre os sites consultados, foi observado que os sites de licenciamentos de dois Estados, Amapá e o Amazonas não é apresentado sequer possibilidade de consulta dos processos, o que deixa subentendido, que para realizar a pesquisa, seria necessário se dirigir fisicamente até o órgão responsável, o que gera um grave prejuízo à informação e torna o site de pouca valia quanto a transparência dos empreendimentos que estão sendo realizados nos respectivos estados.

De um modo geral, a maioria dos sites de licenciamentos estaduais precisam ser revistos para serem sistematizados de modo à se tornarem mais completos, facilitando a busca tanto de pessoal da sociedade civil, como governantes, empreendedores ou pesquisadores. Incentivando dessa forma, o uso dos sites como ferramentas de buscas, que proporcionassem constante evolução, o que se tornaria de fundamental importância, tendo em vista, que a cada dia mais se almeja um controle ambiental mais rígido.

4.1.3. Catalogação das usinas

Visando a catalogação das usinas de TMB brasileiras, inicialmente foram consultados no site do PNLA, empreendimentos de usinas de tratamento mecânico-biológico em todos os estados. Porém, devido à ausência das licenças anexadas aos processos, para a maioria dos estados, foi realizada uma segunda verificação para melhor filtrar os resultados encontrados no site de licenciamento nacional.

Para a busca nos sites dos órgãos de licenciamento ambiental estaduais, em busca de licenças expedidas, foram utilizados dados, em sua maioria, encontrados no PNLA, como número do processo, número da licença, nome do município, etc. Alguns dados complementares, por vezes, não contemplados nos sites nacional ou estaduais, foram

buscados a partir de dados das próprias Prefeituras ou das próprias empresas, como planos ou relatórios.

Com as diferentes etapas de buscas, foi possível filtrar os resultados, que eram inicialmente mais de 54.000 empreendimentos relacionados à resíduos, para um número bastante reduzido, relacionado apenas a usinas de tratamento mecânico-biológico, implantadas ou em fase de implantação em território nacional.

Dentre os dados mais gerais que foram possíveis coletar dessas usinas, foram: o município de localização, o estado federativo, a empresa que se responsabilizará pelo tratamento dos resíduos, o tipo de licença obtida, assim como, o número de cada licença. Tais dados foram resumidos na Tabela 17.

Tabela 17 - Status das usinas de tratamento mecânico-biológico em fase de implantação no Brasil

Nº	Município	UF	Empresa	Status	Nº da Licença
1	Jacareí	SP	Concessão Ambiental Jacareí Ltda	LO*	91303652
2	Piracicaba	SP	Piracicaba Ambiental S.A.	LO	21006369
3	Embu das Artes	SP	Embú Ecológica e Ambiental S/A	LO*	91276077
4	Igaratá	SP	COMG Sustentabilidade Ltda	LP	57000332
5	Brasília (Asa Sul)	DF	Sustentare Saneamento S/A (período provisório)	LO	002/2017
6	Brasília (Ceilândia)	DF	Valor Ambiental LTDA (período provisório)	LO	045/2017
7	Paulista	PE	I9 Paulista Gestão de Resíduos S.A.	LO**	03.18.04.001201-4
8	Araucária	PR	CTDA - Centro de Desenvolvimento de Tecnologias Ambientais LTDA.	LP	41556
9	Fazenda Rio Grande	PR	Estre Ambiental S/A	LP	9696
10	Santa Maria	RS	Companhia Riograndense de Valorização de Resíduos	n.e.	n.e.

Legenda: n.e. = não encontrado; *licença de operação emitida, porém, parte da usina ainda está terminando de ser implantada; **existe mais de uma licença em vigor para o empreendimento.

Com a catalogação das usinas, observou-se a existência de 3 delas já sendo operacionalizadas de maneira integral e mais 7 usinas em diferentes estágios de implantação. Também é possível perceber que do total de empreendimentos identificados, aproximadamente 40% se encontram no estado de São Paulo, 20% no Distrito Federal, 20% no Paraná, 10% no estado de Pernambuco e 10% no estado do Rio Grande do Sul.

Após a catalogação das usinas em processo de implantação ou que já se encontram em funcionamento, foi possível realizar uma análise mais aprofundada dessas, para buscar caracterizar a abrangência que o tratamento mecânico-biológico já possui no país, e qual a

previsão de crescimento para os anos seguintes, para isso, primeiro serão explanadas de forma resumida cada uma das usinas identificadas.

4.1.3.1. Caracterização das usinas

Jacareí: o Centro de Tratamento de Resíduos de Jacareí, também conhecido como Eco Parque compreende: Aterro Sanitário; URRCC – Usina de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil; autoclave – Sistema de Tratamento de Resíduos de Serviços de Saúde; UTMB – Usina de Tratamento Mecânico e Biológico (usina de biogestão em fase de construção), setor de triagem de material Reciclável operado por cooperativa de catadores; sistema de armazenamento de líquidos percolados (lixiviado), onde é transportado diariamente para tratamento adequado (PREFEITURA DE JACAREÍ, 2018).

Cerca de 400 funcionários da Concessionária Ambiental trabalham nas atividades compreendidas no Eco parque, que está sediado no bairro Cidade Salvador. O Local já recebe aproximadamente mensal 4 mil toneladas de resíduos úmidos (lixo domiciliar), 740 toneladas de entulhos de construção civil e 300 toneladas de resíduos secos destinados a reciclagem (PREFEITURA DE JACAREÍ, 2018).

Segundo estimativas feitas no relatório Jacareí, com o tratamento, estima-se que do total da massa de entrada dos resíduos, 42,1% irão continuar sendo destinados ao Aterro Sanitário e 47,9% serão tratado na usina. Estima-se que cerca de 11% do total recebido na TMB será passível de reciclagem e serão encaminhados para a cooperativa Jacareí Recicla, também implantada nas dependências da Central de Tratamento de Resíduos (CTR-Jacareí) (PREFEITURA DE JACAREÍ, 2018).

Uma observação a ser feita, é que no caso específico de Jacareí, apesar da licença de operação já haver sido expedida, a parte do Eco Parque, destinada ao tratamento biológico, ainda se encontra em estágio de implantação, com previsão de funcionamento para o ano de 2019. Por essa razão, o Eco Parque de Jacareí não será considerado como operacional para o restante dos estudos da pesquisa.

Piracicaba: o Eco parque das Palmeiras localizado no município de Piracicaba, no estado de São Paulo, já se encontra instalado e operante. A caracterização do Eco Parque Palmeiras foi baseada em dados fornecidos pela própria prefeitura de Piracicaba, por meio das referências: Prefeitura do Município de Piracicaba - PMP (2015) e PMP (2018) e pelo Relatório de Impactos Ambientais do empreendimento.

O Eco Parque localizado no município de Piracicaba, no Estado de São Paulo, nasceu de uma Parceria Pública Privada (PPP) em 2012, entre a Prefeitura de Piracicaba e Piracicaba Ambiental/ENOB para realização da gestão dos resíduos sólidos domiciliares, no qual, por forma de contrato, a empresa que venceu o processo licitatório é responsável pela execução de várias ações: execução de serviços de limpeza pública e manejo de resíduos sólidos através da coleta, transporte, tratamento e destinação final de resíduos sólidos domiciliares, implantação da Central de Tratamento de Resíduos Palmeiras e também de um aterro sanitário para os rejeitos, encerramento do Aterro Pau Queimado, coleta seletiva, varrição, etc.

Para atender todas as determinações contratuais, foi construído o complexo Eco Parque, onde está instalado o Central de Tratamentos de Resíduos - CTR Palmeiras, uma usina de processamento das diferentes frações de resíduos sólidos domiciliares e o aterro para aterrar os rejeitos.

O Eco parque, da empresa Piracicaba Ambiental, foi construído para ter capacidade de processamento de até 2000 toneladas/dia. Hoje, porém, processa apenas 400 toneladas diárias de resíduos domiciliares, o que atende a 100% da demanda municipal. O excedente em capacidade torna o Eco Parque apto a receber resíduos de outras localidades, o que está em fase de fechamento com municípios vizinhos.

Com 55 hectares de área construída e modernas instalações, a CTR teve um investimento inicial de R\$ 250 milhões. Já o valor do contrato da PPP, iniciada em 2012, é de R\$ 1,8 bilhão por 20 anos.

O Eco parque foi construído com tecnologia europeia, tendo equipamentos modernos para realizar a disposição, compactação e cobertura adequada de acordo com os padrões técnicos da CETESB. Na área de aterro de rejeitos, a empresa processa os resíduos domésticos que são coletados nas ruas de Piracicaba.

A fração orgânica (resíduo úmido) passa por processo de fermentação, transformando em composto orgânico (que poderá ser usado como fertilizante) e em matéria prima para geração de energia, por meio da biodigestão. A fração seca, que não foi coletada seletivamente porta-a-porta é separada.

Os materiais que podem ser reciclados, como papel, papelão, plásticos, vidros, dentre outros, são encaminhados para separação. A parte que não é reciclada e que possui poder calorífico é transformada em matéria para geração de energia. Por fim, uma pequena fração, chamada de rejeito, que não pode ser nem tratada biologicamente ou reciclada, é encaminhada para o aterro de rejeitos.

Embú das Artes: apesar da identificação da licença de operação expedida pela CETESB, não foram encontrados mais dados a respeito da usina, havendo a possibilidade que a mesma ainda não tenha sido totalmente implantada. A usina é inclusive citada no site da ENOB, porém sem relatar funcionamento. A ENOB é responsável pela coleta e destinação dos resíduos do município, que possui parceria com a Embú Ecológica e Ambiental S/A para a completa gestão dos resíduos. Desse forma, a usina também não será considerada para a aplicação do método Benchmarking.

Igaratá: a usina está sendo implantada, a partir de uma parceria público privada entre a Prefeitura de Igaratá e a COMG Sustentabilidade Ltda, com o intuito de transformar o aterro sanitário do município, em um centro de processamento de resíduos na RMVale.

A usina será implantada na própria área do aterro, tendo sido destinada pela prefeitura, e os equipamentos já se encontram no local. O empreendimento será operacionalizado para fazer a triagem e a reciclagem de resíduos recicláveis, além da compostagem dos materiais orgânicos e o reaproveitamento do lixiviado. Apesar de ter maquinário com capacidade para processar até 100 toneladas de resíduos por dia, inicialmente processará apenas os resíduos do município, que giram em torno de 10 toneladas por dia.

Asa Sul e Ceilândia: assim como o Eco Parque das palmeiras, em Piracicaba, as Usinas de Asa Sul e Ceilândia já foram implantadas e estão em pleno funcionamento.

Os dados obtidos para as usinas do Distrito Federal (Asa Sul e Ceilândia), foram coletados através do relatório anual de atividades da SLU (Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal) (SLU, 2017).

O sistema de tratamento de RSU no Distrito Federal teve início com a inauguração da usina de tratamento mecânico-biológico e Compostagem Dinamarquesa (DANO), em 1963, localizada em Asa Sul. Possuía inicialmente capacidade para tratar até 100 toneladas/dia. Com o crescimento da população e aumento no consumo, e conseqüentemente, na geração de RSU, a usina foi ampliada em 1972 com a construção de mais duas linhas de processamento, aumentando sua capacidade para 250 toneladas/dia.

Uma segunda usina de tratamento mecânico-biológico e compostagem foi instalada no Distrito Federal, em 1985 em Ceilândia. Essa usina possuía tecnologia Francesa (TRIGA), com capacidade de processamento de até 600 toneladas/dia.

Devido ao grande período de funcionamento das usinas de Asa Sul e Ceilândia, essas usinas sofreram grande modificação no sistema de tratamento de resíduos sólidos em 2000,

com reforma e adaptações das instalações e equipamentos, buscando melhorar a eficiência do processo e aumentar a capacidade de processamento da usina da Asa Sul.

As duas usinas ainda se encontram em atividade, porém, a Asa Sul vem funcionando de forma mais precária. Já Usina de TMB de Ceilândia está funcionando de forma mais eficiente, devido a melhores manutenções de equipamentos e o melhoramento do processo operacional, inclusive da compostagem em pátios impermeabilizados.

Apesar das dificuldades encontradas, o Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal vem controlando a quantidade de resíduos sólidos processados nas Usinas de Asa Sul e Ceilândia, para evitar sobrecarga. Nesse sentido, também vem tentando melhorar os processos de triagem dos resíduos sólidos secos para reciclagem, melhorar a seleção das frações orgânicas para compostagem e, o mais importante, reduzir o montante de rejeitos após o processamento dos resíduos, o que se traduz em melhor desempenho operacional e redução dos custos.

Em 2017, foram recebidos pela SLU aproximadamente 60 mil toneladas de composto cru, que após as perdas de processamento resultaram em 35,9 mil toneladas de compostos. Nas duas usinas do DF, a produção foi, em sua quase totalidade, doada a pequenos agricultores da região, que têm direito a uma cota de 90 toneladas/ano, conforme instrução normativa conjunta do SLU e da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Distrito Federal (Emater). Tal ação é capaz de incentivar a utilização de adubos orgânicos, o que substitui os adubos químicos. Após o processo de compostagem, os rejeitos que sobram após o beneficiamento do composto são encaminhados para o Aterro Sanitário de Brasília (SLU, 2017).

Por meio do relatório é possível verificar que diversas associações e cooperativas de materiais recicláveis fazem parte tanto da coleta seletiva, quanto da devida separação, empacotamento e venda. Essas associações e cooperativas passaram a ter remuneração fixa, ao contrário do que acontecia, quando suas rendas eram apenas fruto do que conseguiam lucrar a partir da venda dos recicláveis (SLU, 2017).

Ainda quanto às questões sociais, o governo apresenta programas voltados à educação ambiental dos seus cidadãos. Tais atividades são realizadas pela Asgam (Assessoria de Gestão Ambiental) do Estado, e se desenvolvem por meio de: palestras, contação de história, teatro, criação de um portal voluntariado, visitação a aterros sanitários e às unidades de Tratamento Mecânico-Biológico, cursos de capacitação, mobilizações para coleta seletiva, dentre outros (SLU, 2017).

Paulista: para a implantação da usina, 70% do investimento inicial foi financiado a partir do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES. Dados coletados a partir das licenças ambientais emitidas demonstram que o empreendimento possui áreas destinadas a: unidade de tratamento mecânico de RSU não perigosos do município de Paulista; área para compostagem de resíduos de podas, capinação e feiras livres (até 5 toneladas por dia); assim como unidade de transbordo (acima de 100 toneladas).

Apesar de a usina já ter tido sua licença de operação expedida pelo órgão estadual, não foram encontrados dados suficientes da mesma para sua análise a partir do método Benchmarking.

Araucária: empreendimento constituído de área de recepção e triagem dos resíduos, unidade de biodigestão, estação de tratamento de efluentes (ETE), barracão de compostagem do material digerido, unidade de cogeração (composta de purificação do biogás, cogador e queimador de segurança), sistema de biofiltro, unidade de purificação do biogás para geração de biometano.

Recebimento de 360 ton.dia⁻¹ de resíduo bruto não perigoso Classe II, conforme ABNT NBR 10004:2004, com características orgânicas. A capacidade máxima após segregação no sistema de triagem será de 150 ton.dia⁻¹. A capacidade de geração de energia elétrica através da combustão será de 1,56 MW com comercialização do excedente. A massa orgânica estabilizada será enviada para aterro sanitário.

Fazenda Rio Grande: farão parte do empreendimento: unidade de triagem e tratamento de RSU; unidade de triagem, beneficiamento e armazenamento de RCC - Resíduos da Construção Civil; unidade de tratamento de RSS - Resíduos de Serviço de Saúde; e unidade de compostagem de resíduos orgânicos.

Não poderá ser excedida a quantidade máxima de 2.500 ton.dia⁻¹ (75.000 ton.mês⁻¹) a ser disposta na área do aterro sanitário, sendo que deverá ser dada prioridade ao recebimento de resíduos sólidos urbanos municipais. Essa quantidade é de 40% da capacidade de processamento da usina.

Santa Maria: segundo a Companhia Riograndense de Valorização de Resíduos (CRVR), a Central de Tratamento de Resíduos possui capacidade para atender os municípios da região central do estado. Opera em uma área de 24 hectares e tem capacidade para receber 2,5 milhões de tonelada de resíduos. Sua vida útil é estimada em 30 anos. A central é composta pelas unidades de triagem, compostagem, tratamento de efluentes, além do aterro sanitário e infraestrutura administrativa (CRVR, 2018).

Apesar da usina já ser mostrada e explicada no site da CRVR, e ter o empreendimento também no site de licenciamento estadual FEPAM, seu número de licença não foi demonstrado, e nem a própria licença. Dessa forma, mesmo que esteja em operação, a usina não pode ser considerada para a análise do Benchmarking.

A partir da breve caracterização das usinas, procedeu-se a catalogação de dados referentes às capacidades de processamento (ton.dia^{-1}). Foram incluídos, além da capacidade total das plantas, previsões na produção de compostos orgânicos, de energia e de recuperação de materiais recicláveis. A Tabela 18 apresenta dados referentes tanto às usinas já instaladas, como daquelas em processo de instalação.

Devido a dificuldade de encontrar informações referentes a algumas usinas, quanto a capacidade de processamento, tais capacidade foram estimadas, levando em consideração a população do município onde a mesma será instalada e a produção média de resíduos por habitante por dia, que gira em torno de 1 kg.

Tabela 18 - Avaliação das usinas de TMB implantadas ou em processo de implantação no Brasil

Nº	Município	Status	Capacidade (ton.dia^{-1})	Composto	Energia	Recicláveis
1	Jacareí	Em instalação	200	Não	Sim	Sim
2	Piracicaba	Em operação	2000	Sim	Sim	Sim
3	Embu das Artes	Em instalação	250*	Sim	Não	Sim
4	Igaratá	Em instalação	100	Sim	Não	Sim
5	Brasília (Asa Sul)	Em operação	250	Sim	Não	Sim
6	Brasília (Ceilândia)	Em operação	600	Sim	Não	Sim
7	Paulista	Em instalação	350*	Sim	Não	Sim
8	Araucária	Em instalação	360	Não	Sim	Sim
9	Fazenda Rio Grande	Em instalação	6250**	Sim	Sim	Sim
10	Santa Maria	Em instalação	300	Sim	Não	Sim

*Estimativa, levando em consideração a população do município; ** dados não incluem apenas os RSU

A partir da Tabela 18, percebe-se que todas as usinas, sejam elas já operantes ou em fase de implantação, possuem, em seus processos, previsão para a separação de materiais recicláveis. Quanto à produção de composto, apenas Jacareí e Araucária não apresentam previsão para sua produção. Já com relação à produção de energia, atualmente, apenas o Eco Parque das Palmeiras, localizado em Piracicaba, porém, Jacareí, Araucária e Fazenda Rio

Grande, possuem essa previsão em seus projetos. No caso de Jacareí, a parte do Eco Parque destinado à produção de energia já possui previsão de funcionamento para 2019.

Quanto à capacidade das plantas já operantes e aquelas em estágios de implantação, um comparativo é feito na Figura 12.

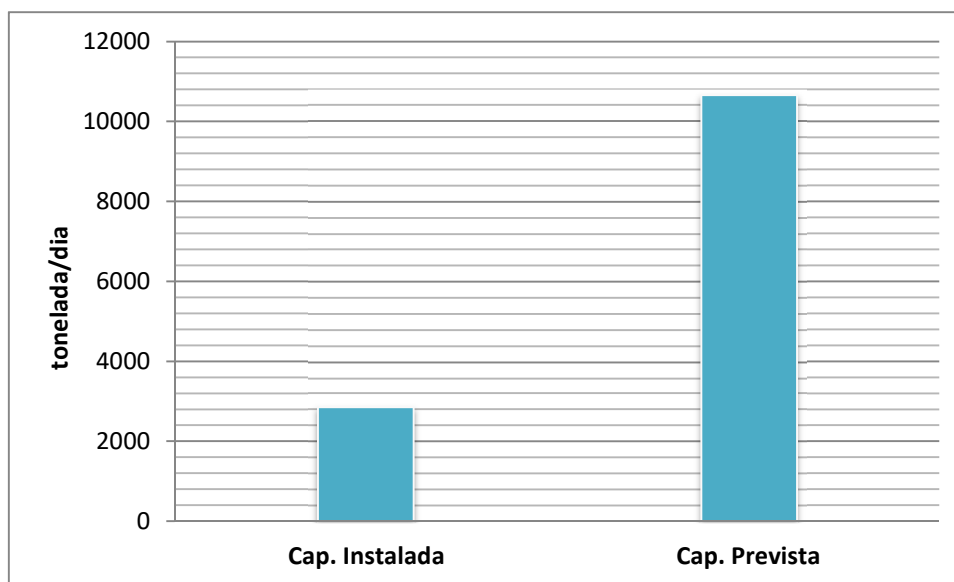


Figura 12 - Capacidade instalada e capacidade prevista em toneladas por dia

Pela Figura 12 é possível observar que atualmente a capacidade instalada, referente às usinas de TMB no Brasil, encontradas através da pesquisa realizada, é de aproximadamente 2850 toneladas por dia. Já a capacidade de tratamento prevista, para as usinas que foram encontradas pela pesquisa, em diferentes estágios de implantação, somadas às que já se encontram em operação, somam para os próximos anos patamares aproximados de 10660 toneladas por dia, demonstrando um elevado crescimento em capacidade de processamento dessa tipologia de usinas nos próximos anos.

Transformando as capacidades instaladas e previstas para unidades de tratamento em toneladas por ano, e comparando esses valores com a produção nacional de resíduos divulgada por estudos da ABRELPE (2016), a capacidade atual é capaz de tratar 1,33% de todo o RSU gerado no país, sendo dividido em apenas 3 usinas (Eco parque Palmeiras, Asa Sul e Ceilândia). Já com a estimativa da capacidade prevista para os próximos anos, esse valor chegaria a aproximadamente 4,9% em 10 usinas, considerando nesse caso, o não crescimento na geração de RSU no Brasil.

Deve-se salientar, porém, que grande parte da capacidade instalada prevista advém dos dados referentes ao município de Fazenda Rio Grande, que considera o tratamento de resíduos de construção civil, sendo desconhecido os dados que se refiram apenas aos RSU.

4.1.3.2.Previsões de usinas ainda não licenciadas

Apesar dos altos custos para instalação e manutenção das usinas, já que necessitam de maquinários e uma boa extensão de área, o que pesa principalmente para municípios de pequeno porte, com orçamento mais restrito à grandes investimentos, pode-se observar que é possível a associação, formando consórcios que permitem a divisão de despesas. Esses consórcios são realizados em muitos aterros sanitários, que passaram a funcionar após a Lei nº 12305 de resíduos sólidos.

Outros municípios, apesar de ainda não terem concretizado a implantação de tal forma de tratamento de resíduos, já possui estudo municipal direcionado à implementação de usinas, como é o caso do Rio Branco-AC. Esse município possui uma unidade de tratamento de resíduos, porém, que atua de forma manual, e se prevê sua modernização para a implementação de equipamentos mecânicos, com vistas a melhorar a eficiência do processo e ao atendimento de expansão de capacidade dos resíduos a serem tratados.

Os custos monetários para a modernização da usina em Rio Branco-AC, inclusive já estão previstos pelo atual prefeito. Além da dotação monetária, o município também possui projeto para implantação, que contará com unidade de triagem mecanizada, de compostagem e de biodigestão, buscando o máximo tratamento dos resíduos.

O município do Rio de Janeiro também tem o planejamento da implantação de uma central de tratamento de resíduos denominada, Eco Parque do Cajú que incluirá: unidade de tratamento mecânico biometanização, pátio de compostagem, unidade de processamento de resíduos de poda, e tratamento de resíduos de construção civil (MANGUEIRA, 2017).

O tratamento de resíduos através do Eco Parque do Cajú terá como principais objetivos: a utilização do composto gerado para reflorestamento, crescimento de produção de energia limpa para a matriz energética brasileira, a inclusão de catadores informais de materiais recicláveis no processo, a redução de milhares de toneladas de CO₂ emitidas todos os anos, e o aumento da vida útil do aterro sanitário (MANGUEIRA, 2017).

O município de Bertioga, no estado de São Paulo é mais um dos que estão dedicando estudos para a implantação do TMB como forma de gerir os resíduos do município. Por isso,

Bertioga montou uma planta piloto para realização de estudos e adequação dos parâmetros para melhor atender as necessidades da localidade. A planta piloto conta com separação de recicláveis, que estão sendo doados para cooperativas de catadores, além de compostagem e biodigestão das frações orgânicas (CETESB, 2018).

Com isso, é possível ter a expectativa de que um maior número de municípios possam, nos próximos anos, aderir ao TMB dos resíduos gerados, e acarretando conseqüentemente, em uma tendência ao crescimento da capacidade de toneladas tratadas à nível nacional, principalmente na próxima década, já que o país passa por grande transformação quanto à gestão de resíduos, o que se deve em grande parte pela busca de adequação às legislações vigentes.

4.2. ANÁLISE QUANTO A PNRS

Com a implementação da Política Nacional dos Resíduos Sólidos, além do incentivo ao crescimento da destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos aos aterros sanitários, sejam estes construídos por cada município ou em forma de consórcios, há também o incentivo pela disseminação e aprimoramento de tecnologias que possam ser capazes de promover o reaproveitamento dos mesmos, e uma dessas tecnologias que nos últimos anos vem ganhando seu espaço em cenário Nacional é o Tratamento Mecânico-Biológico.

Para que uma tecnologia esteja apta a ser utilizada em um determinado país, faz-se necessário que a mesma seja analisada de acordo com a legislação vigente, o que também deve ser válido para o tratamento de resíduos sólidos urbanos. No caso do Brasil, desde 2010, há de se respaldar na Lei 12305/2010, a qual apresenta uma série de princípios e objetivos a serem atendidos para a adequada gestão dos RSU.

Inicialmente, para que tal análise seja realizada, faz-se necessário compreender o que quer dizer cada um dos incisos contidos dentro dos princípios e objetivos determinados pela Política Nacional dos Resíduos Sólidos. Assim, foram confeccionadas as Tabelas 19 e 20, cada uma delas contendo os incisos e suas respectivas explicações, uma para explanar sobre os princípios e a outra sobre os objetivos da referida política, respectivamente.

As explicações sobre os incisos da PNRS foram buscadas à luz da literatura, por meio de autores que estudaram a fundo a respeito do tema, buscando um embasamento concreto antes das posteriores análises.

Tabela 19 - Incisos referentes aos princípios da PNRS e suas respectivas explicações

Princípios (PNRS)	Explicação
I - a prevenção e a precaução	“[...] a prevenção trata de riscos, impactos, perigos certos, já conhecidos pela ciência, já a precaução trata de riscos incertos ou inconclusivos pela informação científica.” (MURARI, 2013)
II - o poluidor-pagador e o protetor-recebedor	O causador da poluição suportará com os custos para minoração, eliminação ou neutralização do dano ambiental. (RANGEL, 2014). Ao passo que haverá compensação financeira como incentivo pelo serviço de proteção ambiental prestado (BECHARA, 2013).
III - a visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública	"Assim, a visão sistêmica está ligada a uma sociedade mais igualitária e ética, de modo que o desenvolvimento econômico não ocorra a qualquer custo, atingindo a coletividade local e causando consequências globais. Desta forma, deve harmonizar os fatores econômicos, sociais e ambientais, as decisões políticas e os anseios do setor privado" (GRO et. al., 2012).
IV - o desenvolvimento sustentável	"o desenvolvimento sustentável é aquele e que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras de atenderem às suas próprias necessidades. A sustentabilidade também envolve resolver a questão do consumo de recursos naturais e consequente geração de resíduos de todos os tipos." (OLIVEIRA et. al., 2014).
V - a ecoeficiência, mediante a compatibilização entre o fornecimento, a preços competitivos, de bens e serviços qualificados que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida e a redução do impacto ambiental e do consumo de recursos naturais a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada do planeta	"Transparência das ações, baseada em sistemas de informações e processos decisórios institucionalizados." (FAILA, 2014). "A ecoeficiência diz respeito ao processo de produção mais eficiente na utilização dos recursos materiais e energéticos visando reduzir custos econômicos e impactos ambientais" (ROSA e ANDRADE, 2016).
VI - a cooperação entre as diferentes esferas do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade	"A administração pública tem a responsabilidade de gerenciar toda a trajetória dos resíduos, ou seja, desde a coleta até a disposição final, posto que a inadequada coleta e destinação podem gerar problemas complexos de contaminação, enchentes, entre outros" (JACOBI e BESEN, 2011). "[...] propõe incentivos à formação de consórcio público entre os municípios e cria mecanismos para inserção dos catadores de materiais recicláveis, dando importância aos demais pilares sustentáveis" (JACOBI e BESEN, 2011).
VII - a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos	"[...] infere-se que este princípio impõe responsabilidade a todos aqueles que estão envolvidos pelo ciclo de vida dos produtos, desde os fabricantes até os consumidores, o que é notável, visto que ações isoladas, ainda que benéficas, não são suficientes para resolver o problema que traz o mau manejo dos resíduos sólidos, sobretudo, ao meio ambiente e ao ser humano" (CUTRIM et al., 2016).
VIII - o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania	"[...] sobre as formas de manejo dos resíduos sólidos urbanos (RSUs) que devem priorizar a coleta de materiais recicláveis, a reutilização dos produtos e a reciclagem" (SANTOS, 2011). "[...] Além de representar uma conquista dos movimentos sociais, a participação do catador e da catadora nos sistemas de gestão integrada dos resíduos sólidos é

	fundamental para a qualidade e eficiência desse serviço público" (IPEA, 2015).
IX - o respeito às diversidades locais e regionais	"Adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as características e peculiaridades dos locais e regiões." (FAILA, 2014).
X - o direito da sociedade à informação e ao controle social	"O direito da sociedade a informação se refletirá nos diagnósticos dos cenários dos planos nacionais, estaduais e municipais de resíduos sólidos e suas publicizações" (FEDDERSEN, 2016). "[...] efetiva participação popular e mecanismos democráticos viabilizadores do exercício da cidadania, capazes de atender aos objetivos propostos, deve garantir, além de publicidade, o controle social quando for operacionalizado" (RODRIGUES, 2002).
XI - a razoabilidade e a proporcionalidade	"A razoabilidade aplica-se no sentido de compreender as diferenças existentes ao longo do território nacional, buscando um equilíbrio entre os critérios e a realidade apresentada, por assim aplicar a lei baseado em critérios que delimitam e estabelecem formas justas para a sociedade específica, por não haver regra expressa e clara" (MACHADO, 2012). "Quanto a proporcionalidade entende-se pelas métricas utilizadas, afim de garantir a aplicação justa dos requisitos legais, para que a norma possa ser aplicada diante da realidade exposta, e dirimir situações similares, garantido a igualdade de direitos" (ROSA e ANDRADE, 2016).

Tabela 20 - Incisos referentes aos objetivos da PNRS e suas respectivas explicações

Objetivos (PNRS)	Explicação
I - proteção da saúde pública e da qualidade ambiental	"Os impactos que a má gestão dos resíduos sólidos pode causar à saúde pública e à qualidade do meio ambiente, mas vale lembrar que os resíduos sólidos, quando destinados um lixão, podem causar contaminação dos lençóis subterrâneos de água, contaminação de cursos d'água, contaminação do solo com produtos corrosivos, reativos, tóxicos, patogênicos, carcinogênicos, mutagênicos, além de outros problemas ambientais" (IESB, 2017).
II - não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos	"A não geração representa a possibilidade de se evitar o consumo daquilo que é supérfluo, reutilização é o processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química. Já a reciclagem é o processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas. A disposição final ambientalmente adequada diz respeito a distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos" (FIEP, 2014).
III - estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços	"Produção e consumo de bens e serviços de forma a atender as necessidades das atuais gerações e permitir melhores condições de vida, sem comprometer a qualidade ambiental e o atendimento das necessidades das gerações futuras" (VENTURA, 2010).
IV - adoção, desenvolvimento e	"A adoção e o aprimoramento de tecnologias limpas tem

aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais	o intuito de minimizar os impactos ambientais e o tratamento, reutilização, redução dos resíduos sólidos. Dessa forma objetiva-se alinhar tecnologias amigáveis ligadas aos resíduos sólidos de modo geral, utilizando tecnologias as quais visam o descarte adequado, tratamento e inclusive a reutilização dos resíduos sólidos" (COSTA et al., 2016).
V - redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos	"Envolve diretamente outro princípio, o da Responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, objetivando assim a redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos e tendo como instrumentos os inventários e o sistema declaratório anual de resíduos sólidos" (SCHUELER et al., 2018).
VI - incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados	"Incentivo a coleta seletiva, aos sistemas de logística reversa e outras ferramentas relacionadas à implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos" (ECOGERMA, 2014).
VII - gestão integrada de resíduos sólidos	"Conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultura e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável" (FIEP, 2014).
VIII - articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos	"Deverá ser realizada a integração da gestão dos resíduos sólidos, agregando informações da União, Estados, Distrito Federal e Municípios. Coletar e sistematizar dados sobre a prestação de serviços públicos e privados de gestão e gerenciamento de resíduos, promover a organização, acesso e disseminação das informações de acordo com a importância e confidencialidade necessárias, disponibilizar estatísticas, indicadores e informações" (SILVA., 2017).
IX - capacitação técnica continuada na área de resíduos sólidos	"Os órgãos públicos envolvidos com o manejo de resíduos sólidos devem oferecer aos seus funcionários cursos periódicos de capacitação e aprofundamento em determinados temas que integram o seu dia-a-dia no trabalho, garantindo a reciclagem constante dos profissionais" (PMGIRS, 2016).
X - regularidade, continuidade, funcionalidade e universalização da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, com adoção de mecanismos gerenciais e econômicos que assegurem a recuperação dos custos dos serviços prestados, como forma de garantir sua sustentabilidade operacional e financeira, observada a Lei nº 11.445, de 2007	"[...] através das suas ferramentas de gestão, o conceito de sustentabilidade econômico – financeira como uma premissa indispensável para o alcance de uma gestão eficiente e eficaz. Portanto para se alcançar a almejada sustentabilidade financeira devem ser estabelecidos critérios, dentre os quais se destacam a necessidade de uma análise financeira e de uma apropriação de custos para se implantar um sistema de custeio com o uso de preços públicos, tarifas ou taxas" (CAMPANA, 2014).
XI - prioridade, nas aquisições e contratações governamentais, para: a) produtos reciclados e recicláveis; b) bens, serviços e obras que considerem critérios compatíveis com padrões de consumo social e ambientalmente sustentáveis	"[...] a Administração Pública, oferecendo aos gestores e aos servidores envolvidos no processo de compras, informações, ferramentas e condições para a implementação efetiva das licitações sustentáveis. Portanto que respeitem os aspectos ambientais - menor impacto sobre recursos naturais como flora, fauna, ar, solo e águas -; sociais- condições de trabalho e remuneração justas; ausência de trabalho infantil e/ou degradante – e econômicos - maior vida útil e menor custo de operação e manutenção do bem e da obra" (ALMEIDA, 2015).
XII - integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que	"Buscando inserir os catadores de materiais recicláveis na gestão integrada de resíduos sólidos dos municípios,

envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos	define a prioridade de acesso aos recursos da União para os municípios que em seu serviço de gerenciamento dos resíduos implantarem a coleta seletiva com participação de cooperativas ou outras formas de organizações de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis, formada por pessoa física de baixa renda" (IPEA, 2013).
XIII - estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto	"Diz respeito a avaliação sobre o impacto ambiental associado a qualquer atividade de uma cadeia de produção, desde a obtenção da matéria-prima, passando pelos processos de produção, pela distribuição, embalagem, até o seu consumo, quando todos os rejeitos retornam ao meio ambiente. Este conceito é conhecido como análise do berço ao túmulo" (comissão do meio ambiente do CRQ IV, 2015).
XIV - incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético	"[...]harmonia entre crescimento econômico e proteção ao meio ambiente decorre do compromisso entre pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, de maneira conjunta e pode ser alcançada por meio da gestão integrada de resíduos sólidos, através da redução da produção e eliminação dos resíduos, a coleta seletiva, recuperação, a reciclagem ou reaproveitamento sustentável, e aproveitamento energético"(DORNAUS, 2014).
XV - estímulo à rotulagem ambiental e ao consumo sustentável	"[...] estimular a indústrias a adequarem seus produtos dentro de critérios de sustentabilidade. Estes critérios são estabelecidos por empresas que emitem certificados a fim de esclarecer ao consumidor que este produto se enquadra dentro de determinados critérios e normas estabelecidas pelo certificado ou selo; o que significa que sua produção gerou o mínimo impacto ambiental possível" (IESB, 2017).

Após o entendimento quanto ao que diz tanto os princípios quanto os objetivos da PNRS, pode-se fazer uma análise quanto à adequação TMB (tecnologia de tratamento em expansão), tomando como base, as usinas que já se encontram em operação, e com dados disponíveis no país.

A análise a ser abordada a seguir, foi feita a partir da atribuição de valores quanto à adequação total (1), parcial (0,5), ou a inadequação (0) da tecnologia quanto o que determina os incisos referentes tanto aos princípios quanto aos objetivos da Lei 12.305/2010. Após a atribuição de valores, os mesmos foram somados para cada uma das usinas, e a relação entre a pontuação total possível e a obtida pela atribuição de valores, gera a porcentagem de atendimento da tecnologia aos preceitos da PNRS.

As análises realizadas nas Tabelas 21 e 22 foram realizadas de acordo com as informações apresentadas nas Tabelas 19 e 20, que serviram como base de interpretação dos incisos. Em conjunto com os conceitos de cada inciso, buscou-se dados à respeito das usinas operantes para a possível valoração do atendimento total, parcial ou não atendimento aos princípios e objetivos da PNRS.

A Tabela 21 apresenta a proporção na qual as usinas de TMB operantes em território nacional (Asa Sul, Ceilândia e Piracicaba) são capazes de atender aos princípios designados pela PNRS, em seu capítulo II e artigo 6º, para a adequada gestão dos resíduos sólidos urbanos.

Após isso, será realizada uma análise a partir da Figura 13, que demonstra a porcentagem de atendimento aos princípios de cada uma das usinas avaliadas.

Tabela 21 - Análise do atendimento do TMB e Aterros Sanitários aos Princípios da PNRS

Princ. (PNRS)	Asa Sul		Ceilândia		Piracicaba	
	Atende	Motivo	Atende	Motivo	Atende	Motivo
I	1	O tratamento realizado na usina visa prevenção de impactos conhecidos, assim como, precaver-se daqueles que ainda não o são, como impactos ambientais e à saúde, à medida que busca evitar disposições inadequadas, e fomentando o reaproveitamento de materiais prejudiciais ao meio ambiente e à população;	1	O tratamento realizado na usina visa prevenção de impactos conhecidos, assim como, precaver-se daqueles que ainda não o são, como impactos ambientais e à saúde, à medida que busca evitar disposições inadequadas, e fomentando o reaproveitamento de materiais prejudiciais ao meio ambiente e à população;	1	O tratamento realizado na usina visa prevenção de impactos conhecidos, assim como, precaver-se daqueles que ainda não o são, como impactos ambientais e à saúde, à medida que busca evitar disposições inadequadas, e fomentando o reaproveitamento de materiais prejudiciais ao meio ambiente e à população;
II	1	O município recolhe taxa da população para serviços de coleta e tratamento de RSU, enquadrando-se no princípio do poluidor-pagador. A empresa ou órgão responsável pelos serviços receberão pelos serviços, o que se enquadraria no princípio do protetor-recebedor;	1	O município recolhe taxa da população para serviços de coleta e tratamento de RSU, enquadrando-se no princípio do poluidor-pagador. A empresa ou órgão responsável pelos serviços receberão pelos serviços, o que se enquadraria no princípio do protetor-recebedor;	1	O município recolhe taxa da população para serviços de coleta e tratamento de RSU, enquadrando-se no princípio do poluidor-pagador. A empresa ou órgão responsável pelos serviços receberão pelos serviços, o que se enquadraria no princípio do protetor-recebedor;
III	1	O tratamento realizado na usina possui preocupação com a proteção ambiental e a saúde pública, além de ter sido adaptada para a localidade instalada, que levou em consideração aspectos econômicos, tecnológicos, sociais e culturais;	1	O tratamento realizado na usina possui preocupação com a proteção ambiental e a saúde pública, além de ter sido adaptada para a localidade instalada, que levou em consideração aspectos econômicos, tecnológicos, sociais e culturais;	1	O tratamento realizado na usina possui preocupação com a proteção ambiental e a saúde pública, além de ter sido adaptada para a localidade instalada, que levou em consideração aspectos econômicos, tecnológicos, sociais e culturais;
IV	1	A usina trata resíduos e proporciona o seu reaproveitamento, o que gera uma diminuição no consumo de matérias primas, contribuindo assim, para a sustentabilidade e o não comprometimento das gerações futuras;	1	A usina trata resíduos e proporciona o seu reaproveitamento, o que gera uma diminuição no consumo de matérias primas, contribuindo assim, para a sustentabilidade e o não comprometimento das gerações futuras;	1	A usina trata resíduos e proporciona o seu reaproveitamento, o que gera uma diminuição no consumo de matérias primas, contribuindo assim, para a sustentabilidade e o não comprometimento das gerações futuras;
V	0,5	A usina reaproveita materiais, recicláveis e matéria orgânica, procurando diminuir impactos ambientais, e reduzindo a utilização de materiais para produzir novos plásticos, papéis, papelões, vidros, etc.	0,5	A usina reaproveita materiais, recicláveis e matéria orgânica, procurando diminuir impactos ambientais, e reduzindo a utilização de materiais para produzir novos plásticos, papéis, papelões, vidros, etc.	1	A usina reaproveita materiais, recicláveis e matéria orgânica, procurando diminuir impactos ambientais, e reduzindo a utilização de materiais para produzir novos plásticos, papéis, papelões, vidros, etc.

		Além da redução da utilização de energia no processo, fazendo da reciclagem e reutilização, processos mais eficientes e sustentáveis. Porém, não aproveita o potencial de geração de biogás;		Além da redução da utilização de energia no processo, fazendo da reciclagem e reutilização, processos mais eficientes e sustentáveis. Porém, não aproveita o potencial de geração de biogás;		Além da redução da utilização de energia no processo, fazendo da reciclagem e reutilização, processos mais eficientes e sustentáveis;
VI	1	Na usina há a contratação de empresa terceirizada para assumir a coleta e tratamento dos resíduos. A supervisão é realizada pelo poder público, e tudo pode ser controlado pela população, por meio da transparência. Na usina também há a integração dos catadores de resíduos no processo de tratamento.	1	Na usina há a contratação de empresa terceirizada para assumir a coleta e tratamento dos resíduos. A supervisão é realizada pelo poder público, e tudo pode ser controlado pela população, por meio da transparência. Na usina também há a integração dos catadores de resíduos no processo de tratamento.	0,5	Na usina há a contratação de empresa terceirizada para assumir a coleta e tratamento dos resíduos. A supervisão é realizada pelo poder público, e tudo pode ser controlado pela população, por meio da transparência. Na usina, porém, não há a integração dos catadores de resíduos no processo de tratamento.
VII	0	Tal inciso leva à reflexão de questões que vão além de apenas o tratamento de RSU, já que nesse ponto podem ser englobados os resíduos com maior grau de periculosidade como são os industriais, por exemplo, e nesse caso, não devem sofrer o mesmo tipo de tratamento e destinação que os domésticos, devendo seguir legislação específica para cada tipologia;	0	Tal inciso leva à reflexão de questões que vão além de apenas o tratamento de RSU, já que nesse ponto podem ser englobados os resíduos com maior grau de periculosidade como são os industriais, por exemplo, e nesse caso, não devem sofrer o mesmo tipo de tratamento e destinação que os domésticos, devendo seguir legislação específica para cada tipologia;	0	Tal inciso leva à reflexão de questões que vão além de apenas o tratamento de RSU, já que nesse ponto podem ser englobados os resíduos com maior grau de periculosidade como são os industriais, por exemplo, e nesse caso, não devem sofrer o mesmo tipo de tratamento e destinação que os domésticos, devendo seguir legislação específica para cada tipologia;
VIII	1	A usina trabalha na separação entre resíduos e rejeitos. Os primeiros passam por processos visando a sua melhor recuperação e reinserção no mercado, além do fato de possibilitar que pessoas como catadores de materiais recicláveis possam ser inseridos nos processos, os resíduos passam assim, a ser vistos como bens de valor econômico e social;	1	A usina trabalha na separação entre resíduos e rejeitos. Os primeiros passam por processos visando a sua melhor recuperação e reinserção no mercado, além do fato de possibilitar que pessoas como catadores de materiais recicláveis possam ser inseridos nos processos, os resíduos passam assim, a ser vistos como bens de valor econômico e social;	1	A usina trabalha na separação entre resíduos e rejeitos. Os primeiros passam por processos visando a sua melhor recuperação e reinserção no mercado. E mesmo que os catadores não sejam diretamente inseridos no processo, são indiretamente, e há a geração de empregos diretos e indiretos, os resíduos passam assim, a ser vistos como bens de valor econômico e social;
IX	1	A usina foi implantada e vem sofrendo mudanças à fim de melhorar seu desempenho, levando em consideração suas peculiaridades, como fatores econômicos, operacionais, sociais, seja por fatores ambientais, ou seja, por quaisquer	1	A usina foi implantada e vem sofrendo mudanças à fim de melhorar seu desempenho, levando em consideração suas peculiaridades, como fatores econômicos, operacionais, sociais, seja por fatores ambientais, ou seja, por quaisquer	1	A usina foi implantada e vem sofrendo mudanças à fim de melhorar seu desempenho, levando em consideração suas peculiaridades, como fatores econômicos, operacionais, sociais, seja por fatores ambientais, ou seja, por quaisquer

		outros fatores, a tecnologia poderá buscar melhor adaptação para o município;		outros fatores, a tecnologia poderá buscar melhor adaptação para o município;		outros fatores, a tecnologia poderá buscar melhor adaptação para o município;
X	0,5	O direito à informação pública se dá através das publicações do tipo: transparência na prestação de contas, nos diagnósticos dos cenários dos planos de resíduos sólidos, relatórios, dentre outros. Quanto ao controle social, é inerente ao grau de abertura adotado pelo poder público para a efetiva participação da sociedade nas decisões;	0,5	O direito à informação pública se dá através das publicações do tipo: transparência na prestação de contas, nos diagnósticos dos cenários dos planos de resíduos sólidos, relatórios, dentre outros. Quanto ao controle social, é inerente ao grau de abertura adotado pelo poder público para a efetiva participação da sociedade nas decisões;	0,5	O direito à informação pública se dá através das publicações do tipo: transparência na prestação de contas, nos diagnósticos dos cenários dos planos de resíduos sólidos, relatórios, dentre outros. Quanto ao controle social, é inerente ao grau de abertura adotado pelo poder público para a efetiva participação da sociedade nas decisões;
XI	1	A usina vem se adaptando para melhor atender as necessidades intrínsecas do município, o que envolve diversas vertentes, seja quanto a capacidade de tratamento, seja de cunho operacional, econômico, social, o projeto vem sendo adaptado para melhor se adaptar de forma razoável e proporcional à realidade.	1	A usina vem se adaptando para melhor atender as necessidades intrínsecas do município, o que envolve diversas vertentes, seja quanto a capacidade de tratamento, seja de cunho operacional, econômico, social, o projeto vem sendo adaptado para melhor se adaptar de forma razoável e proporcional à realidade.	1	A usina foi construída, visando atender as necessidades intrínsecas do município, o que envolve diversas vertentes, seja quanto a capacidade de tratamento, seja de cunho operacional, econômico, social. O projeto da usina visou se adaptar de forma razoável e proporcional à realidade.

De acordo com a Tabela 21 é possível observar que as três usinas de TMB catalogadas conseguem atender grande parte dos princípios designados pela Política Nacional dos Resíduos Sólidos. A Figura 13 mostra a porcentagem total atingida por cada uma das tecnologias avaliadas.

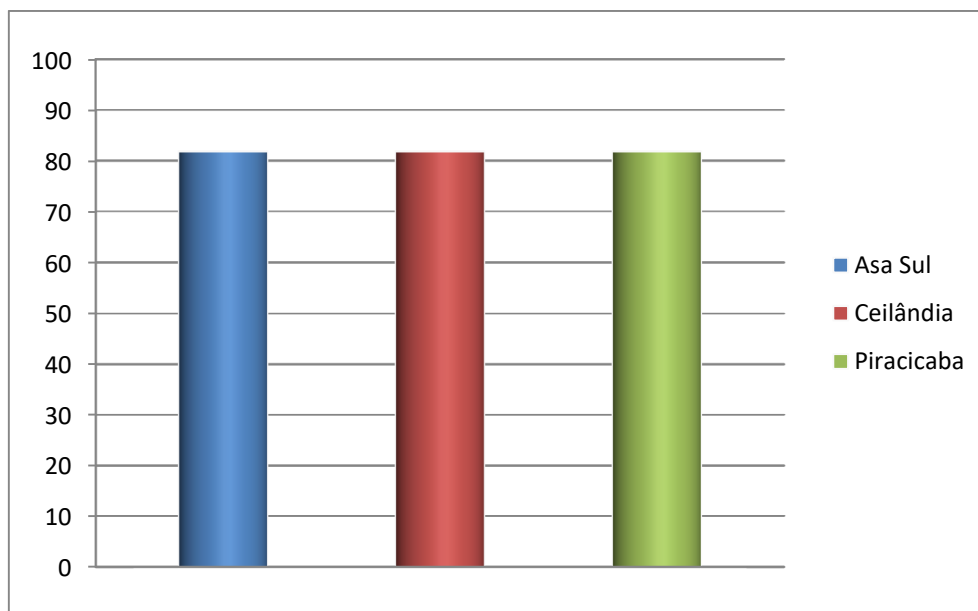


Figura 13 - Porcentagem do atendimento das usinas de TMB aos Princípios da PNRS

As usinas de Asa Sul e Ceilândia apresentam comportamento similar, quanto aos incisos que atendem ou até que medida, já que ambas possuem configurações e formas de gerenciamentos muito parecidas, uma das suas principais diferenças encontram-se apenas na capacidade de processamento e no desempenho.

Tanto a usina de Asa Sul quanto a de Ceilândia se destacam por incluírem os catadores e cooperativas no seu processo de tratamento de resíduos, atitude que visa a maior inclusão e melhores condições de vida para essas classes. A atividade de catação de boa parte desses profissionais seria prejudicada caso não houvesse a inclusão, já que, grande parte dos resíduos são diretamente recolhidos e destinados às usinas.

Enquanto as duas primeiras usinas citadas anteriormente incluem os catadores em seu processo de tratamento, Piracicaba não o faz, apesar de que os materiais recicláveis recuperados são doados às cooperativas e catadores, o que pode gerar igualmente maior renda e qualidade de vida.

A não inclusão dos catadores diretamente no processo da usina de Piracicaba pode estar relacionado ao maior grau de tecnologia aplicada nessa usina, em relação às demais, o que seria justificado a aplicação de mão de obra mais especializada.

Em relação à inclusão dos catadores no processo de tratamento dos resíduos, Figueiredo (2013) ressalta que uma sociedade que pretende ou se faz justa, ou ainda, aquela que visa a sustentabilidade, deve encontrar um meio de incluir os seus cidadãos, por conseguinte aparece a necessidade de uma gestão compartilhada de resíduos que tenha como premissa a inclusão socioeconômica de catadores.

Quanto ao inciso que trata sobre a gestão compartilhada pelo ciclo de vida do produto, nenhuma das usinas pontuou, isso se deve ao fato que este ponto precisa levar em consideração uma abrangência global desde a produção de determinado produto, até sua disposição e decomposição ao longo do tempo. As usinas se destinam apenas ao tratamento e destinação.

Sendo recentes as legislações que regulam tanto os resíduos sólidos como a utilização de resíduos sólidos urbanos para produção de energia, o país vem se aperfeiçoando, principalmente pelo fato de que se possa tanto reduzir grandes quantidades de resíduos, em especial nas grandes cidades, como uma nova fonte alternativa de energia para o país (CAMPOS; GALIZA, 2015).

Desse modo, em 2014, o governo federal criou o programa PROBIOGÁS, que objetiva ampliar o uso do biogás e biometano, com vistas a inserir na matriz energética do país e, conseqüentemente, reduzir a emissão de gases poluentes. Incluindo para isso, a capacitação de profissionais brasileiros para fortalecer esse viés do mercado energético (PROBIOGÁS, 2015).

Se por um lado tanto as usinas de Asa Sul como a de Ceilândia trabalham por meio da inserção de catadores em seu processo, por outro, não aproveitam todo o potencial de reaproveitamento dos resíduos orgânicos, já que, não realiza a biodigestão para geração de biogás. Isso aumentaria os benefícios ambientais, financeiros e sociais do processo, o que seria traduzido em maior ecoeficiência, inciso em que ambas pontuaram apenas parcialmente em relação ao atendimento.

A Tabela 22 apresenta a proporção na qual o TMB e a disposição em aterros sanitários são capazes de atender aos objetivos designados pela PNRS para a adequada gestão dos resíduos sólidos urbanos, sendo da mesma forma, definido como: 1 (os incisos atendidos); 0,5 (os parcialmente atendidos) e 0 (os incisos não atendidos).

Tabela 22 - Análise do atendimento do TMB e Aterros Sanitários aos Objetivos da PNRS

Objetivos (PNRS)	Asa Sul		Ceilândia		Piracicaba	
	Atende	Motivo	Atende	Motivo	Atende	Motivo
I	1	A usina busca por meio do tratamento de resíduos a diminuição de impactos ambientais, assim como, de possíveis danos à saúde da população, alcançando isso por meio da reciclagem e reaproveitamento de RO, havendo menor destinação de rejeitos;	1	A usina busca por meio do tratamento de resíduos a diminuição de impactos ambientais, assim como, de possíveis danos à saúde da população, alcançando isso por meio da reciclagem e reaproveitamento de RO, havendo menor destinação de rejeitos;	1	A usina busca por meio do tratamento de resíduos a diminuição de impactos ambientais, assim como, de possíveis danos à saúde da população, alcançando isso por meio da reciclagem e reaproveitamento de RO, havendo menor destinação de rejeitos e emissão de gases;
II	0,5	A usina cumpre com ações de: reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Não fica ao seu alcance a não geração e a redução;	0,5	A usina cumpre com ações de: reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Não fica ao seu alcance a não geração e a redução;	0,5	A usina cumpre com ações de: reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Não fica ao seu alcance a não geração e a redução;
III	0,5	A usina incentiva a reciclagem e o reaproveitamento de materiais, trabalhando de maneira a minimizar impactos, assim com busca contribuir para melhores condições devida para as gerações futuras, já que busca diminuir a utilização de matérias primas que possam ser não renováveis, cada vez mais escassas. No entanto, falha por não gerar biogás a partir da biodigestão de resíduos orgânicos;	0,5	A usina incentiva a reciclagem e o reaproveitamento de materiais, trabalhando de maneira a minimizar impactos, assim com busca contribuir para melhores condições devida para as gerações futuras, já que busca diminuir a utilização de matérias primas que possam ser não renováveis, cada vez mais escassas. No entanto, falha por não gerar biogás a partir da biodigestão de resíduos orgânicos;	1	A usina incentiva a reciclagem e o reaproveitamento de materiais, trabalhando de maneira a minimizar impactos, assim com busca contribuir para melhores condições devida para as gerações futuras, já que busca diminuir a utilização de matérias primas que possam ser não renováveis, cada vez mais escassas. Realizando inclusive a geração de biogás a partir da biodigestão de resíduos orgânicos;
IV	1	A usina foi desenvolvida baseada em uma tecnologia limpa, e se encontra em aprimoramento para cada vez mais, buscar reduzir impactos	1	A usina foi desenvolvida baseada em uma tecnologia limpa, e se encontra em aprimoramento para cada vez mais, buscar reduzir impactos	1	A usina foi desenvolvida baseada em uma tecnologia limpa, e se encontra em aprimoramento para cada vez mais, buscar reduzir impactos

		ambientais provenientes dos RSU em sua localidade.		ambientais provenientes dos RSU em sua localidade.		ambientais provenientes dos RSU em sua localidade.
V	0	Os resíduos classificados como perigosos não devem possuir o mesmo tipo de tratamento que os resíduos sólidos urbanos, devendo seguir legislação própria para o seu tratamento ou seu descarte, onde na maioria dos casos fica por conta do fabricante;	0	Os resíduos classificados como perigosos não devem possuir o mesmo tipo de tratamento que os resíduos sólidos urbanos, devendo seguir legislação própria para o seu tratamento ou seu descarte, onde na maioria dos casos fica por conta do fabricante;	0	Os resíduos classificados como perigosos não devem possuir o mesmo tipo de tratamento que os resíduos sólidos urbanos, devendo seguir legislação própria para o seu tratamento ou seu descarte, onde na maioria dos casos fica por conta do fabricante;
VI	1	A usina possibilita a reciclagem dos materiais reutilizáveis, que podem assim, voltar para o processo produtivo como matéria-prima ou insumos, cumprindo o papel no incentivo à utilização de materiais recicláveis;	1	A usina possibilita a reciclagem dos materiais reutilizáveis, que podem assim, voltar para o processo produtivo como matéria-prima ou insumos, cumprindo o papel no incentivo à utilização de materiais recicláveis;	1	A usina possibilita a reciclagem dos materiais reutilizáveis, que podem assim, voltar para o processo produtivo como matéria-prima ou insumos, cumprindo o papel no incentivo à utilização de materiais recicláveis;
VII	1	A usina faz parte da gestão integrada de RSU, já que busca uma solução sustentável para os resíduos do município, a partir do reaproveitamento, e ao mesmo tempo, levando em consideração fatores: econômicos, políticos, sociais e ambientais.	1	A usina faz parte da gestão integrada de RSU, já que busca uma solução sustentável para os resíduos do município, a partir do reaproveitamento, e ao mesmo tempo, levando em consideração fatores: econômicos, políticos, sociais e ambientais.	1	A usina faz parte da gestão integrada de RSU, já que busca uma solução sustentável para os resíduos do município, a partir do reaproveitamento, e ao mesmo tempo, levando em consideração fatores: econômicos, políticos, sociais e ambientais.
VIII	1	A usina funciona através de parceria público-privada, onde a empresa oferece a técnica, e retorno financeiro é prestado pelo poder público. O pagamento é oferecido em prol da gestão dos resíduos, configurando uma relação técnico-financeira, para a gestão dos resíduos;	1	A usina funciona através de parceria público-privada, onde a empresa oferece a técnica, e retorno financeiro é prestado pelo poder público. O pagamento é oferecido em prol da gestão dos resíduos, configurando uma relação técnico-financeira, para a gestão dos resíduos;	1	A usina funciona através de parceria público-privada, onde a empresa oferece a técnica, e retorno financeiro é prestado pelo poder público. O pagamento é oferecido em prol da gestão dos resíduos, configurando uma relação técnico-financeira, para a gestão dos resíduos;
IX	1	A capacitação técnica continuada é realizada dentro do ambiente da usina, e inclui-se ainda, atividades de educação ambiental, voltadas para a população em geral;	1	A capacitação técnica continuada é realizada dentro do ambiente da usina, e inclui-se ainda, atividades de educação ambiental, voltadas para a população em geral;	1	A capacitação técnica continuada é realizada dentro do ambiente da usina, com vistas ao adequado treinamento dos funcionários a atuarem eficientemente os

						maquinários.
X	0,5	A usina é capaz de recuperar parte do investimento financeiro da coleta e tratamento dos RSU, partir da venda de materiais recicláveis e de composto orgânico, porém, opta-se pela doação à pequenos produtores, dos compostos produzidos;	0,5	A usina é capaz de recuperar parte do investimento financeiro da coleta e tratamento dos RSU, partir da venda de materiais recicláveis e de composto orgânico, porém, opta-se pela doação à pequenos produtores, dos compostos produzidos;	0,5	A usina é capaz de recuperar parte do investimento financeiro da coleta e tratamento dos RSU, partir da venda de composto e biogás. Quanto aos materiais recicláveis, são doados às cooperativas de catadores do município;
XI	1	O investimento da administração pública em licitações com a usina, a qual torna capaz o aumento da quantidade de material recuperado através dos resíduos, seja por meio da reciclagem ou dos produtos da biodigestão, e a possibilidade da reinserção no mercado, incentivando seu consumo podem ser vistos como investimentos em obras para gerar bens e serviços sustentáveis;	1	O investimento da administração pública em licitações com a usina, a qual torna capaz o aumento da quantidade de material recuperado através dos resíduos, seja por meio da reciclagem ou dos produtos da biodigestão, e a possibilidade da reinserção no mercado, incentivando seu consumo podem ser vistos como investimentos em obras para gerar bens e serviços sustentáveis;	1	O investimento da administração pública em licitações com a usina, a qual torna capaz o aumento da quantidade de material recuperado através dos resíduos, seja por meio da reciclagem ou dos produtos da biodigestão, e a possibilidade da reinserção no mercado, incentivando seu consumo podem ser vistos como investimentos em obras para gerar bens e serviços sustentáveis;
XII	1	Os catadores ou as cooperativas São integrados nos processos dentro da usina, o que além de incentivar a empregabilidade, lhes fornece melhores condições de trabalho, com adequados treinamentos e utilização de equipamento de proteção individual, além de suprimir a necessidade dos mesmos irem às ruas para realizarem a atividade de catação;	1	Os catadores ou as cooperativas São integrados nos processos dentro da usina, o que além de incentivar a empregabilidade, lhes fornece melhores condições de trabalho, com adequados treinamentos e utilização de equipamento de proteção individual, além de suprimir a necessidade dos mesmos irem às ruas para realizarem a atividade de catação;	0,5	Os catadores ou as cooperativas não são diretamente incluídos nos processos da usinas, apesar de que o material reciclável é destinado aos grupos de catadores ou cooperativas do município, para que possam revender e melhorar sua rentabilidade e condições de vida, já que será reduzida sua necessidade de realizar catação nas ruas;
XIII	0	Não foram encontrados estudos do ciclo de vida do produto em relação à usina em questão;	0	Não foram encontrados estudos do ciclo de vida do produto em relação à usina em questão;	1	Os estudos relativos ao ciclo de vida do produto foram realizados desde os estudos de impactos ambientais, prévios à instalação da usina;
XIV	0,5	A usina trabalha em uma parceria entre poderes públicos e privados visando o desenvolvimento da tecnologia. O reaproveitamento de	0,5	A usina trabalha em uma parceria entre poderes públicos e privados visando o desenvolvimento da tecnologia. O reaproveitamento de	1	A usina trabalha em uma parceria entre poderes públicos e privados visando o desenvolvimento da tecnologia. O reaproveitamento de

		resíduos sólidos realizados inclui a recuperação de recicláveis, produção de composto através da matéria orgânica, porém, não há o aproveitamento energético através da produção de biogás derivado dos resíduos tratados;		resíduos sólidos realizados inclui a recuperação de recicláveis, produção de composto através da matéria orgânica, porém, não há o aproveitamento energético através da produção de biogás derivado dos resíduos tratados;		resíduos sólidos realizados inclui a recuperação de recicláveis, produção de composto através da matéria orgânica, e há ainda, o aproveitamento energético através da produção de biogás derivado dos resíduos tratados;
XV	1	Os produtos gerados passam por processo de análise de qualidade e em seguida, de embalagem e distribuição. Assim, recicláveis e compostos, podem voltar de forma segura ao mercado de consumo, o que leva ao incentivo à participação popular no processo e à expansão do tratamento de RSU, visando a maior sustentabilidade;	1	Os produtos gerados passam por processo de análise de qualidade e em seguida, de embalagem e distribuição. Assim, recicláveis e compostos, podem voltar de forma segura ao mercado de consumo, o que leva ao incentivo à participação popular no processo e à expansão do tratamento de RSU, visando a maior sustentabilidade;	1	Os produtos gerados passam por processo de análise de qualidade e em seguida, de embalagem e distribuição. Assim, recicláveis e compostos e o biogás, podem voltar de forma segura ao mercado de consumo, o que leva ao incentivo à participação popular no processo e à expansão do tratamento de RSU, visando a maior sustentabilidade;

De acordo com a Tabela 22 é possível observar que as três usinas de TMB catalogadas conseguem atender grande parte dos objetivos designados pela Política Nacional dos Resíduos Sólidos. A Figura 14 mostra a porcentagem total atingida por cada uma das tecnologias avaliadas.

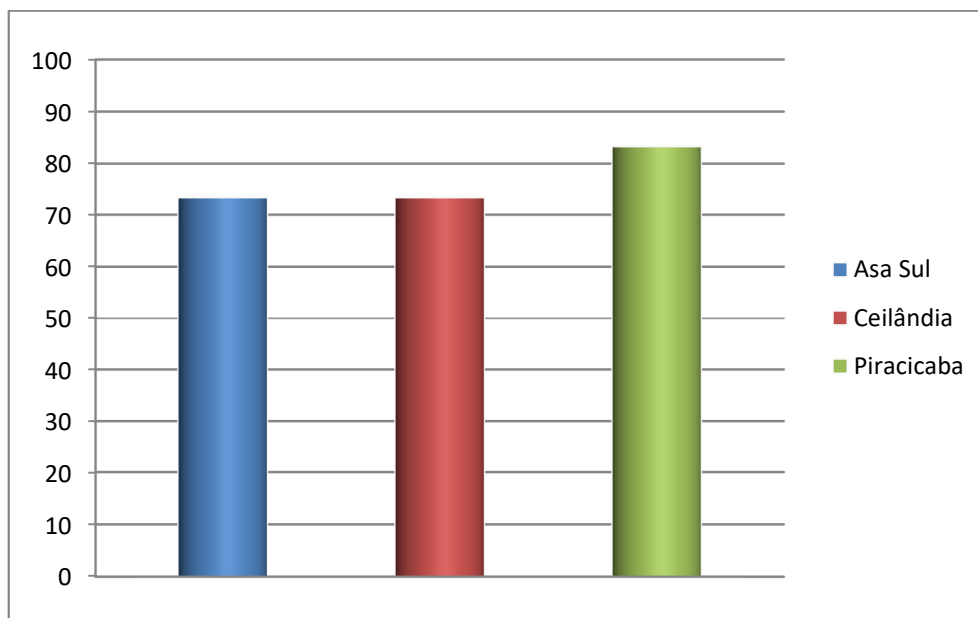


Figura 14 - Porcentagem do atendimento das tecnologias aos Objetivos da PNRS

Como observado acima, percebe-se que as usinas de Asa Sul e Ceilândia obtiveram a mesma porcentagem de atendimento, enquanto Piracicaba conseguiu melhor resultado frente as demais.

A não geração e redução de resíduos são objetivos que devem estar ligados à forma de vida da população, que deve utilizar da conscientização para diminuir costumes consumistas, por isso, nenhuma das usinas pode atender a esses pontos trazidos pelo inciso II dos objetivos.

Quanto ao estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços, Asa Sul e Ceilândia atendem apenas parcialmente, já que não geram biogás através dos resíduos orgânicos, como é o caso de Piracicaba.

Nenhuma das usinas se destina a tratar resíduos perigosos, sendo a seu cargo apenas o tratamento dos RSU, portanto, elas não pontuam neste inciso. Os resíduos perigosos possuem legislação específica, como a determinada pelo CONAMA em sua Resolução N°23, de 1996, que dispõe sobre as definições e o tratamento a ser dado aos resíduos perigosos, conforme as normas adotadas pela Convenção da Basileia sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito (CONAMA, 1996).

Em relação ao retorno financeiro para operacionalidade das usinas, Asa Sul e Ceilândia arrecadam parte do montante com a venda de recicláveis, o composto orgânico por outro lado, em sua grande maioria é doado a pequenos produtores, como forma de incentivar a agricultura familiar. Já a usina de Piracicaba o bem maior retorno ao vender o biogás e composto, sendo doado os materiais recicláveis à cooperativas de catadores.

As doações de compostos orgânicos ou de materiais recicláveis fazem parte de ações sociais, que visam à melhoria de vida de populações com menores padrões de vida. O núcleo, ou foco principal de ações como essas, é o de assistir a famílias vulnerabilizadas pela pobreza e exclusão social. Focaliza-se o grupo familiar e a comunidade por serem espaços sociais naturais de proteção e inclusão social (PIRES, 2018).

O incentivo a agricultura familiar se mostra importante, pois ela contribui para a erradicação da fome e da pobreza, para a proteção ambiental e para o desenvolvimento sustentável. E tendo suas atividades geridas e conduzidas por uma família, contando predominantemente com mão de obra familiar. Apenas no Brasil, existe mais de 4 milhões de estabelecimentos familiares rurais. A renda obtida nessa modalidade de agricultura responde por 33% do Produto Interno Bruto (PIB) agropecuário e por 74% da mão de obra empregada no campo (MDA, 2018).

A integração dos catadores de materiais recicláveis é feita nas usinas de Asa Sul e Ceilândia, porém em Piracicaba, eles não são incluídos diretamente no processo, apesar de os materiais recicláveis obtidos no empreendimento serem doados aos mesmos, por isso, Piracicaba obteve pontuação apenas parcial nesse quesito.

Não foram encontrados dados em relação a avaliação do ciclo de vida do produto para as usinas de Asa Sul e Ceilândia, assim, as mesmas não pontuaram nesse quesito. E segundo Romanelli (2017):

Análise do ciclo de vida (ACV) é um método para a avaliação dos sistemas de produção ou serviços que considera os aspectos ambientais em todas as fases da sua vida, estabelecendo vínculos entre esses aspectos e categorias de impacto potencial, ligados: ao consumo de recursos naturais, à saúde humana e à ecologia. A ACV é regulada por normas internacionais como a série ISO 14040 de Gestão ambiental (ROMANELLI, 2017).

No inciso relativo ao incentivo de desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético, as usinas de Asa Sul e Ceilândia cumprem apenas parcialmente, já que não possuem reaproveitamento

energético. Ponto bastante negativo, já que não permite o máximo aproveitamento dos resíduos orgânicos.

4.3. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DAS USINAS

4.3.1. Aplicação do método Benchmarking

Com a catalogação das usinas que estão em processo de implantação no país, foram observadas aquelas que já estão com suas licenças de operação expedidas, e buscou-se dados das mesmas para que pudessem ser analisadas de acordo com o seu desempenho e realizada assim, uma ordem de desempenho ou ranking, com vistas à incentivar o estudo para a otimização das usinas que ainda serão implantadas, ou que estão em processo de implantação, assim como, da reavaliação e possível melhora das que já se encontram em operação.

A avaliação a ser aplicada foi uma adaptação baseada em pesquisa realizada por Alcantara (2016), a qual utilizou o método Benchmarking, por meio de indicadores e de critérios pré-estabelecidos, quais empreendimentos apresentam melhor desempenho, frente aos demais, podendo assim, servir de exemplo à melhoria dos demais empreendimentos.

Com isso, busca-se o incentivo a constante melhoria de aplicação da tecnologia de TMB no país, o que irá propiciar cada vez melhores desempenhos seja no campo ambiental, econômico, operacional ou social.

Já que incentivará o aperfeiçoamento para propiciar: maiores taxas de reaproveitamento dos resíduos; menores quantidades de materiais sendo depositadas em aterros; maior quantidade de energia renovável sendo produzida, procurando se adequar ao mercado que hoje tenta alternativas para minimizar o uso de combustíveis fósseis; maior produção de compostos orgânicos para adubação do solo, em substituição aos adubos químicos; maior reciclagem de materiais, reduzindo a aplicação de derivados de petróleo para sua produção, assim como consumo de energia, e outras matérias primas; além de propiciar melhores condições de vida aos catadores de materiais recicláveis, ao inseri-los no processo, e o maior engajamento da população como um todo em um projeto ambiental em grande escala.

Os indicadores utilizados foram divididos em 4 categorias, que se subdividem em 8 tipos de indicadores, como demonstrado na Tabela 15 da Metodologia. As categorias são: i) operacionais, que se subdivide em, I1 – capacidade de processamento (ton.dia^{-1}) e I2 – capacidade atual de Processamento (ton.dia^{-1}); ii) econômicos, que se subdivide em, I3 –

investimento para implantação ($\text{R}\$.\text{ton}^{-1}$), e I4 – custo operacional ($\text{R}\$.\text{ton}^{-1}$); iii) ambiental, que se subdivide em I5 - composto ($\text{ton}.\text{dia}^{-1}$), I6 - energia (Kwh) e I7 – recicláveis ($\text{ton}.\text{dia}^{-1}$); e iv) sociais, representados por I8 – aspectos sociais.

Das usinas catalogadas, apenas o Eco Parque das Palmeiras, em Piracicaba, as usinas de Ceilândia e da Asa Sul, seguiram para análise a partir do método benchmarking, pois foram as únicas, que se demonstraram, dentro das pesquisas realizadas, realmente operantes, em meio às usinas catalogadas que possuíam licença de operação expedidas, com dados disponíveis. A análise é realizada na Tabela 23.

Tabela 23 - Aplicação do método Benchmarking para usinas de TMB em operação no Brasil

USINAS	CRITÉRIOS								TOTAL
	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	
Asa Sul (DF)	250	151	Não encontrado	60,10	43,8	Não possui reaproveitamento energético	8	Doação de composto a pequenos produtores Inclusão de catadores Incentivo à Educação ambiental	(++) = 2 (+) = 2 (0) = 1 (-) = 3 (--) = 0
	-	+	0	++	+	-	-	++	Total = +3
Ceilândia (DF)	600	490	Não encontrado	65,30	52	Não possui reaproveitamento energético	22,5	Doação de composto a pequenos produtores Inclusão de catadores Incentivo à Educação ambiental	(++) = 2 (+) = 3 (0) = 1 (-) = 2 (--) = 0
	+	++	0	+	-	-	+	++	Total = +5
Eco Parque Piracicaba	2000	400	125000	123,30	100*	Possui reaproveitamento energético	35,6	Doação dos recicláveis para cooperativas Geração de emprego	(++) = 3 (+) = 3 (0) = 0 (-) = 2 (--) = 0
	++	-	+	-	++	+	++	+	Total = +9

Legenda: I1 – capacidade de processamento (ton.dia⁻¹); I2 – capacidade atual de processamento (ton.dia⁻¹); I3 – investimento para implantação (R\$.ton⁻¹); I4 – custo operacional (R\$.ton⁻¹); I5 - composto (ton.dia⁻¹); I6 - energia (kwh); I7 – recicláveis (ton.dia⁻¹); e I8 – aspectos sociais.

* Estimado de acordo com o RIMA

4.3.3. Análise dos resultados do método Benchmarking

A partir da avaliação realizada pelo método Benchmarking, é possível se ter uma visualização mais ampla de como as usinas de TMB operantes no país tem resultados diferentes a partir dos processos que levam a cabo, o que resulta justamente, da diferença de seus processos, de suas capacidades de investimento e manutenção, da tecnologia aplicada, de seus objetivos iniciais, e de tantos outros fatores.

Apesar de que as análises não puderam ser mais aprofundadas e ricas em dados por conta da escassez de informações sobre as usinas na literatura, mas foram buscados ao menos variáveis mais fundamentais para suas avaliações.

De acordo com os dados analisados através da Tabela 23, pode-se chegar a um ranking de desempenho das usinas operantes no Brasil. O Eco parque Palmeira em Piracicaba, apresenta o melhor desempenho dentre as 3 usinas analisadas, tem pontuação de 9 pontos positivos; em segundo lugar ficou o a usina de Ceilândia com 5 pontos positivos; e como última colocada, a usina de Asa Sul, com 3 pontos positivos.

Para enriquecer a análise a partir do método Benchmarking, foram serão realizadas abaixo, apontamentos sobre os fatores observados nas usinas, sendo separados aqueles considerados bons, e que são indicados para a replicação, e aqueles considerados ruins, e que não são indicados para replicação nos demais empreendimentos, já instalados, em processo de instalação, ou aqueles que venham a ser planejados e executados.

Fatores para replicação

Serão aqui realizadas observações positivas após a aplicação do método Benchmarking, com o objetivo de que os pontos positivos observados nessas usinas possam servir de exemplo para melhoria das demais, assim como de base para as que serão implantadas posteriormente.

➤ Doação de composto orgânico

A doação de composto orgânico para pequenos agricultores incentiva o uso de materiais naturais para fertilização do solo, em substituição dos adubos químicos, ajuda nos custos de produção desses produtores, incentivando a agricultura familiar, assim como, pode gerar incentivo ao aumento do engajamento da população para realizar a separação entre a

fração orgânica e os demais materiais recicláveis, otimizando o processo e gerando material de maior qualidade para a reinserção na cadeia produtiva.

➤ **Inclusão dos catadores de materiais recicláveis**

A inclusão dos catadores nos processos envolvendo o tratamento e destinação de resíduos é um dos preceitos da PNRS. Tal atitude propicia melhores condições de vida para uma parcela da população que ainda, em grande número, vivem na informalidade, recebendo renda, em geral, bem abaixo do mínimo nacional. A inserção e formalização dos catadores dentro das usinas pode gerar, além de melhores condições salariais, laborais, já que os mesmos devem passar a usar Equipamentos de Proteção Individual (EPI), também sociais, já que não trabalharão mais de forma isolada, e passariam a ter maior visibilidade social.

➤ **Incentivo à Educação Ambiental**

O incentivo à Educação Ambiental é fundamental para se alcançar os objetivos Nacionais de melhorias quanto às condições ambientais no país, já que não adianta investir em tecnologias de remediação, se a população não contribui para o bem de todos, ou seja, não adianta o trabalho de poucos se muitos forem os que poluem. Assim, todos de determinada maneira necessitam conhecer a importância da preservação ambiental, para que possam se sentir pertencentes a uma causa maior, e com o tempo, tornarem disso um hábito.

➤ **Doação de Materiais Recicláveis para Cooperativas**

Ainda que o empreendimento não inclua os catadores e cooperativas diretamente como força de trabalho, é importante que os mesmos sejam beneficiados com a doação de materiais recicláveis obtidos através do processamento dos resíduos, isso será capaz de aumentar a rentabilidade das cooperativas, e conseqüentemente, dos catadores que estão vinculados a elas.

Fatores para não-replicação

Alguns fatores vistos com a avaliação do método aplicado, não são aqui aconselhados para serem replicados por outros empreendimentos, por entender que estes não contribuem para a maximização de rendimento:

➤ **Operação da usina com capacidade muito abaixo da instalada**

A operacionalização do empreendimento com capacidade muito abaixo da instalada, significa perda de investimento em maquinários e instalações, que atuando muito abaixo do rendimento esperado, geram menor retorno financeiro do que inicialmente esperado, e demorando mais anos para se ter o retorno inicialmente aplicado para a sua instalação, além de custos elevados para manutenção, com entradas de caixa baixas. Isso torna o processo a longo prazo, economicamente inviável.

➤ **O não-reaproveitamento da matéria orgânica para geração de energia**

De modo geral, é possível perceber, que com exceção do Ecoparque em Piracicaba, atualmente, nenhuma das outros empreendimentos possuem o reaproveitamento da matéria orgânica para geração de energia, através do biogás, o que significa perda de maior aproveitamento dessa fração, que representa mais da metade da massa dos resíduos gerados no país. Isso também impacta a possibilidade de aumentar a geração de energia renovável proveniente de biomassa no Brasil, sendo até hoje, mais expressiva a partir do reaproveitamento do bagaço da cana-de-açúcar.

➤ **Baixa capacidade Instalada**

Maiores capacidades instaladas pode servir de incentivo à que outros municípios ou consórcios passem a enviar seus resíduos para tratamento no empreendimento, como acontece com os aterros sanitários de grande porte. Isso traz maiores investimentos ao município, seja na forma de incentivos fiscais, seja como pagamento pelo serviço prestado. Além disso, contribui para maior capacidade de tratamento de resíduos à nível Nacional, a medida que ajuda outros municípios a darem melhor destino a seus resíduos.

➤ **Ineficiência no processo causando grandes perdas**

Os empreendimentos devem passar por constantes melhoras para evitar grandes perdas durante o processo de tratamento dos resíduos, como é observado principalmente na usina de Ceilândia e Asa Sul, relativamente as perdas geradas na produção de composto orgânico e de recicláveis, isso compromete a viabilidade do projeto como um todo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da pesquisa, é possível perceber, que apesar do esforço para realizar a catalogação das usinas com a maior precisão, é possível que algumas delas não tenham sido contempladas, devido principalmente à escassez de dados na literatura. Essa escassez de dados também compromete a melhor análise das mesmas.

Em relação aos sites dos órgãos Nacionais e Estaduais de licenciamentos ambientais, percebe-se uma deficiência de informações, principalmente pela falta das licenças anexadas aos processos, e conseqüentemente, a ausência de suas descrições mais detalhadas, o que prejudica e retarda o processo de investigação.

Com a catalogação das Usinas de TMB, constata-se que 3 delas já se encontram em efetiva operação, tendo sido licenciadas pelos respectivos órgãos de licenciamentos Estaduais, e ainda que mais 7 usinas se encontram em processo de implantação.

Ao se avaliar as usinas operantes quanto ao atendimento dos princípios e objetivos da política nacional dos Resíduos Sólidos, percebe-se que todas apresentam o mesmo desempenho em relação aos princípios, havendo melhor desempenho da usina localizada em Piracicaba em relação aos objetivos.

A partir dos dados coletados, estima-se que atualmente à nível Nacional, a capacidade instalada de processamento de RSU é de cerca de 2850 toneladas por dia, ou 1,04 milhões de toneladas por ano, e que essa capacidade tende a crescer no decorrer dos próximos anos para aproximadamente 10660 toneladas por dia, ou 3,89 milhões de toneladas por ano, demonstrado que a tecnologia se encontra em processo de expansão, e que atualmente já é responsável por tratar aproximadamente 1,33% dos RSU gerados no país.

Com a aplicação do método Benchmarking para as usinas operantes, e a avaliação de seus desempenhos, constatou-se que o Eco parque das Palmeiras teve desempenho superior à demais, seguindo da usina de Ceilândia como segunda colocada, e por último, a usina de Asa Sul com o pior desempenho.

A partir da análise final realizada, constata-se que é necessário investir em empreendimentos com maior capacidade instalada, porém que essa capacidade seja realmente utilizada, que possua equilíbrio entre preço e abrangência de tratamento, que possa aproveitar ao máximo as frações, diminuindo o desperdício e aterramento, e por fim, que sirvam como exemplo de cuidado ambiental e de inclusão social.

5.1. Recomendações

Como sugestões para trabalhos futuros, que possam dar continuidade ao trabalho iniciado, recomendam-se:

- Consultar pesquisadores que já trabalharam com a temática de Tratamento Mecânico-Biológico de resíduos, e que a estes especialistas sejam aplicados questionários para avaliar seus pareceres, quanto à adequação da tecnologia aos preceitos da PNRS;
- Realizar visitas *in loco* nas usinas operantes, para que seja feita uma verificação mais segura dos dados coletados, também para poder fazer uma coleta de dados que envolvam mais variáveis, ampliando a dimensão do Benchmarking realizado;
- Realizar experimentos que possam coletar ainda mais dados específicos, que não foram possíveis de encontrar nos documentos analisados, como emissões de gases, ruídos, poluição do solo, condições de trabalho, dentre outras. Esses experimentos permitiriam caracterizar ainda mais como a tecnologia está se desenvolvendo no país;
- Utilizar outras ferramentas e métodos de análise, para ampliar as formas de avaliação do Tratamento Mecânico-Biológico;
- Buscar formas de disseminar as informações coletadas e os experimentos realizados sobre a tecnologia, para dar mais visibilidade e poder incentivar aos órgãos públicos e aos próprios pesquisadores, o aprofundamento de estudos relacionados ao TMB à nível local e nacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELGADIR, A. *et al.* Characteristics, process parameters, and inner components of anaerobic bioreactors. **BioMed Research International**, 2014.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos: procedimentos**. Rio de Janeiro, 1992.

ABREU, F. V. de. **Biogás: economia, regulação e sustentabilidade**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2014.

ALCANTARA, K. D. da S. **Experiências de Portugal visando à gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos do Aterro Municipal de Santo André**. 2016. Dissertação (Mestrado em energia) - Programa de Pós-graduação em Energia. Universidade Federal do ABC, Santo André - SP, 2016.

ALMEIDA, A. C. **Módulo Execução: Elaboração do Termo de Referência**. In: Workshop de contratação sustentável. 25 de novembro de 2015. Brasília. Centro de Formação, Capacitação e Treinamento - CEFOR da Câmara dos Deputados, 2015. 24 p. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/a-camara/programas-institucionais/inclusao-social-e-equidade/ecocamara/areas-tematicas/licitacao-sustentavel/Workshopcontrataaosustentavel_anacarla2.pdf>. Acesso em: 04 de maio de 2018.

ALMEIDA, A. T. **Conhecimento e uso de métodos multicritério de apoio a decisão**. [S.l]: Editora Universitária, 2009.

ALVES, J. E. D. Os 70 anos da ONU e a agenda global para o segundo quinquênio (2015-2030) do século XXI. **R. bras. Est. Pop.**, Rio de Janeiro, v.32, n.3, p.587-598, set./dez, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-30982015000000035>>. Acesso em: 19 de abril de 2017.

ANDRADE, J. DE A.; AUGUSTO, F.; JARDIM, I. C. F. S. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. **Revista Eclética Química**, v. 35, n. 3, 2010, p. 17-43.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2012**. São Paulo: ABRELPE, 2012, 116 p. Disponível em: <<http://a3p.jbrj.gov.br/pdf/ABRELPE%20%20Panorama2012.pdf>>. Acesso em: 20 de Março de 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama Dos Resíduos Sólidos no Brasil 2014**. São Paulo: ABRELPE, 2015, 120 p. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>>. Acesso em: 8 de Março de 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2016**. São Paulo: ABRELPE, 2016. 64 p. Disponível em:

<<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf>>. Acesso em: 11 de Março de 2018.

BATISTA, F. G. de A.; LIMA, V. L. A.; SILVA, M. M. P. Avaliação de riscos físicos e químicos no trabalho de catadores de materiais recicláveis – Campina Grande, Paraíba. **Revista Verde**, Mossoró, v. 8, n. 2, abr/jun. 2013, p. 284 – 290.

BECHARA, E. (Org.). *et al.* Aspectos relevantes da Política Nacional de Resíduos Sólidos. São Paulo: Atlas, 2013. p. 01-30.

BENLBOUKHT, F. *et al.* Biotransformation of organic matter during composting of solid wastes from traditional tanneries by thermochemolysis coupled with gas chromatography and mass spectrometry. **Revista Ecological Engineering**, v. 90, 2016, p. 87–95.

BESSEN, G. R. *et al.* Coleta Seletiva na Região Metropolitana de São Paulo: Impactos da Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Revista Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 17, n. 3, jul/set. 2014, p. 259-278.

BIAŁOWIEC, A.; WOJNOWSKA-BARYŁA, I. MBT- technological determinants. In: Municipal Review, **Magzine Abrys.**, Poznań, v. 2, 2012, p. 34-37.

BRASIL. CONAMA 237 de 19 de dezembro de 1997. **Disposição Sobre o Licenciamento Ambiental**. LEX: Legislação Ambiental, Rio de Janeiro, 1997.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Lei nº. 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 02 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 14 de Maio de 2017.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 1, de 23 de janeiro de 1986. Disposição sobre o Licenciamento Ambiental: Legislação Ambiental. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8902>>. Acesso em Setembro de 2018.

BRITO, A. P. **Análise Econômica Preliminar da Implantação de Incinerador de Resíduos Sólidos Urbanos na Região de Bauru**. 2013. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Faculdade de Engenharia. Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2013.

CAMP, R. Benchmarking: the search for industry best practices that lead to superior performance. **ASQC Quality Press**, 1989.

CAMPANA, H. A. **Guia de apropriação dos custos nos serviços de manejo dos resíduos sólidos urbanos municipais**. 2014. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas e Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

CAMPOS, A. F.; GALIZA, J. J. M. Regulação de resíduos sólidos urbanos para geração de energia a partir do biogás: estudo de viabilidades em regiões da grande Vitória-ES. *Revista Augustus*, v. 20, n. 40, p.56-69, 19 jan. 2016. Sociedade Unificada de Ensino Augusto Motta – UNISUAM.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. Rio de Janeiro: Editora Livros Técnicos e Científicos LTC, 6ª ed., 1996, 234 p.

CARACOL, P. M. O. **Avaliação da viabilidade dos combustíveis derivados de resíduos: Caso de estudo da indústria cimenteira**. 2016. 102 f. Dissertação (Engenharia Civil) – Técnico Lisboa, Lisboa, 2016.

CEMPRE - COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 3ª ed. São Paulo: Editora Revista e Ampliada, 2010.

CENTRAC - CENTRO DE AÇÃO CULTURAL. **Cooperativas de Catadores de Materiais Recicláveis de Campina Grande apresentam modelo de contrato de prestação serviço à Prefeitura Municipal**. 2016. Disponível em: <<http://centrac.org.br/2016/04/06/cooperativas-de-catadores-de-materiais-reciclaveis-de-campina-grande-apresentam-modelo-de-contrato-de-prestacao-servico-a-prefeitura-municipal/>>. Acesso em: 20 de Maio de 2017.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Biogás**. 2017. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/>>. Acesso em: 19 de Maio. 2017.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **IPT paulista inaugura em Bertioga usina de processamento do lixo e geração de energia elétrica**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/2018/07/14/ipt-paulista-inaugura-em-bertioga-usina-de-processamento-do-lixo-e-geracao-de-energia-eletrica/> Acesso em: 20 de Julho de 2018.

CHIAVENATO, I. **Introdução à teoria geral da administração**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2000.

CISBRA- CONSORCIO INTERNACIONAL DE SANEAMENTO BASICO DA REGIÃO DO CIRCUITO DAS ÁGUAS. **Tabela recicláveis**. 2013. Disponível em: <<http://www.cisbra.eco.br/content/tabela-recicl%C3%A1veis>>. Acesso em: 7 de Maio de 2017.

COLTURATO, L. F. (diretor executivo). **Biometanização: O tratamento da fração orgânica e seu potencial para valorização integral dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)**. In: Seminário Economia Circular e Sustentabilidade na Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos, 2016. Rio de Janeiro: Museu do Amanhã, 2016. 50 p. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/6458684/4173221/Biometanizacao_LuisFelipeColturato.pdf> Acesso em: 15 de Abril de 2017.

COMISSÃO DO MEIO AMBIENTE DO CRQ IV. **Aspectos Jurídicos e Técnicos da Política Nacional de Resíduos Sólidos**. [S.l]: Conselho Regional de Química da IV Região, 2015, 51 p. Disponível em: <https://www.crq4.org.br/sms/files/file/ctma_asp_jur_tec_pnrs_2015_final.pdf>. Acesso em: 04 de maio de 2018.

CONGRESSO ECOGERMA. **Informativo: Gestão Sustentável de Resíduos e Efluentes**. 2014. Manaus. Manaus: Centro de Convenções, 2014, 10 p. Disponível em: <http://www.ahkbrasilien.com.br/fileadmin/ahk_brasilien/portugiesische_seite/departamentos/Cooperacao_e_Desenvolvimento/Residuos_e_Fluentes.pdf> Acesso em: 09 de maio de 2018.

COSTA, B. S.; OLIVEIRA, L. P. S.; ARAÚJO, L. E. B. de. **Direito Agrário e Agroambiental**. In: XXV Encontro Nacional do CONPEDI, 25. 2016, Brasília. Florianópolis: CONPEDI, 2016. 21 p. Disponível em: <<https://www.conpedi.org.br/publicacoes/y0ii48h0/4uubp611/08yvtM647hqF3WqC.pdf>> Acesso em: 07 de maio de 2018.

COSTA, J. P. F. da. **Tratamento mecânico-biológico de resíduos sólidos urbano: Avaliação do seu potencial para recuperação de materiais recicláveis**. 2010. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Humana e Problemas Sociais Contemporâneos), Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2010.

COUTH, R.; Trois, C. Cost effective waste management through composting in Africa. **Waste Management**, v. 32, 2012, p. 2518–2525.

CRVR - Companhia Riograndense de Valorização de Resíduos. **Usina em Santa Maria**. Disponível em: <<http://crvr.com.br/area-de-atuacao/central-de-tratamento-de-residuos-de-santa-maria/>> Acesso em: 10 de Junho de 2018.

CUPERUS, G. (2011). SRF in Europe. Workshop Combustion of Solid Recovered Fuel.

CUTRIM, F. J.; SOUSA, W. K. B. de; NASCIMENTO, H. C. **O princípio da Responsabilidade compartilhada e a logística reversa na efetivação do desenvolvimento sustentável no Brasil**. 2016. Disponível em: <<https://jus.com.br/artigos/54159/o-principio-da-responsabilidade-compartilhada-e-a-logistica-reversa-na-efetivacao-do-desenvolvimento-sustentavel-no-brasil>>. Acesso em: 20 de Maio de 2018.

DEGANUTTI, R. *et al.* **Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada**. In: 4º Encontro de Energia no Meio Rural, 4. 2002, Campinas. Campinas: Centro de Convenções – Campus UNICAMP. 2002. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Biodigestores_000g76qdzev02wx5ok0wtedt3spdi71p.pdf>. Acesso em: 08 de Maio de 2018.

DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT FOOD & RURAL AFFAIRS - DEFRA. **Advanced Biological Treatment of Municipal Solid Waste**. 2013a.

DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT FOOD & RURAL AFFAIRS - DEFRA. **Mechanical Biological Treatment of Municipal Solid Waste**. 2013b.

DIAS, A. L. A. **Mercado Mundial dos Créditos de Carbono: Histórico e Estado da Arte**. 2016. 66 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

DIAZ, L.; Savage, G.; Golueke, C. **Handbook of Solid Waste Management: Composting of Municipal Solid Wastes**. 2ª ed., [S.l]: McGraw-Hill Handbooks, 2002, p. 12.1–12.13. Disponível em: <<http://doi.org/10.1036/0071356231>>. Acesso em: 06 de maio de 2018.

DORNAUS, V. P. da S. **Aspectos societários da política nacional de resíduos sólidos (Lei nº 12.305/2010)**. 2014. Disponível em: < <https://jus.com.br/artigos/34962/aspectos-societarios-da-politica-nacional-de-residuos-solidos-lei-n-12-305-2010>>. Acesso em: 04 de maio de 2018.

EDS - Energia e Desenvolvimento Sustentável na Região Norte (2014). Valorização de Resíduos Orgânicos.

ENI-IBUKUN, T. A. **International environmental law and distributive justice: the equitable distribution of CDM projects under the Kyoto Protocol**. 1ª ed. London: Routledge, 2013. 152 p.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **EUROSTAT: Environmental Data Centre on Waste**. 2014. Disponível em: <<http://ec.europa.eu/eurostat/portal/page/portal/waste/>> Acesso em julho de 2018.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **Managing municipal solid waste: a review of achievements in 32 European countries**. 2013. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/publications/managing-municipal-solid-waste>>. Acesso em: 9 de junho de 2018.

FADE/UFPE - 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**. Relatório Científico. Jaboatão dos Guararapes: CCS Gráfica Editora Ltda, 2014. 187 p. (Pesquisa Científica da chamada pública BNDES FEP Nº 02/2010).

FAILA, V. **Análise comparativa do plano nacional de resíduos sólidos e do plano nacional de saneamento básico quanto a gestão municipal dos resíduos sólidos**. 2014. 90 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2014.

FEDDERSEN, S. K. **Revisão Bibliográfica sistemática da política nacional de resíduos sólidos**. 2016. 64 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2016.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - FIESP. **Resíduos Sólidos**. 2017. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/temas-ambientais/ver-todos/residuos-solidos/>>. Acesso em: 30 de abril de 2017.

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. **Guia Básico do Licenciamento Ambiental**. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/licenciamento/documentos/Guia_Basico_Lic.pdf> Acesso em Setembro de 2018.

FIEP - Federação das Indústrias do Estado da Paraíba. **Política Nacional de Resíduos Sólidos: Guia Técnico de Conceitos para o Setor Produtivo**. 2014. Disponível em: <[http://www.fiepr.org.br/logisticareversa/uploadAddress/LR.Guia_Tecnico_Setor_Produtivo\[59891\].pdf](http://www.fiepr.org.br/logisticareversa/uploadAddress/LR.Guia_Tecnico_Setor_Produtivo[59891].pdf)>. Acesso em: maio de 2018.

FIGUEIREDO, F. F. **O Ambientalismo Econômico na Indústria da Reciclagem dos Materiais no Brasil**. In: Encontros de Socioeconomia do Meio Ambiente e Política Ambiental. Natal, RN: DPP/CCHLA, 2013, 11p.

FONTES, T. O. C. **Fortalezas e Fragilidades da Transferência do Aterro Controlado do Jóquei para o Aterro Sanitário de Brasília**. 2016. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso

(Bacharel em Saúde Coletiva) - Faculdade de Ceilândia, Universidade de Brasília, Ceilândia, 2016.

FRICKE, K., DICHTL, N., SANTEN, H., MUNNICH, K., BAHR T., HILLEBRECHT, K., SCHULTZ, O. **Aplicação do tratamento mecânico-biológico de resíduos no Brasil**. TU Braunschweig, 2007.

GENTIL-NUGENT, V. A.; PEREIRA FILHO, S. R. O Esverdeamento da Economia e as Tecnologias Verdes para os Resíduos: Um duro caminho rumo à sustentabilidade. **FRONTEIRAS: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, Anápolis-Goiás, v.3, n.1, jan.-jul. 2014, p.40-54.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa**. 1ª ed., Porto Alegre: Editora da FURGS, 2009. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>>. Acesso em: 24 de novembro de 2017.

GOUVEIA, N. Resíduos Sólidos Urbanos: Impactos Socioambientais e Perspectiva de Manejo Sustentável com Inclusão Social. **Revista Ciência e Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v.17, n.6, jun. 2012, p. 1503-1510.

GRO, H. B. *et al.* **Environment and Development Challenges: The Imperative to Act**. In: Concílio Governamental do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2012, Nairóbi. Blue Planet Laureates, 2012. Disponível em: <http://www.unep.org/pdf/pressreleases/Blue_Planet_synthesis_paper.pdf>. Acesso em: abril de 2018.

GUINAN, B. *et al.* Critical Analysis of the Potential of Mechanical Biological Treatment for Irish waste Management. **STRIVE Report**, n. 16, 2013.

GUTBERLET, J. **A importância das cooperativas de catadores e catadoras na coleta seletiva**. In: Seminário “Experiências da Coleta Seletiva e Subsídios para a Implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos”. 2015, Santo André. São Paulo: Universidade Federal do ABC, 2015. Disponível em: <http://www.coopcentabc.org.br/documentos/documentos_hangout_ufabc/05_Jutta_Gutberlet_A_importancia_cooperativas_catadores_catadoras_coleta_seletiva.pdf>. Acesso em 04 de setembro de 2017.

HEBERLE, A. N. A. **Biogás gerado a partir de lodo de estação de tratamento de efluentes suplementado com óleo vegetal residual**. 2013. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental), Centro Universitário Univates, Lajeado, 2013.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Competências do Ibama e dos Órgãos Estaduais de Meio Ambiente. **2017**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/flora-e-madeira/descentralizacao-da-gestao-florestal/competencias-do-ibama-e-dos-orgaos-estaduais-de-meio-ambiente>>. Acesso em: 02 de Maio de 2018.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativa populacional de Campina Grande**. 2015. Disponível em: <<ftp://ftp.ibge.gov>>.

br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2015/estimativa_dou_2015_20150915.pdf>.
Acesso em: 23 de Abril de 2017.

IESB - INSTITUTO DE EDUCAÇÃO SUPERIOR DE BRASÍLIA. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. 2017. Disponível em: <https://iesb.blackboard.com/bbcswebdav/institution/Ead/_disciplinas/FMC003/nova2/files/impresao/impresao.pdf>. Acesso em: maio de 2018.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos. Relatório de pesquisa**. Brasília, 2012. 82 p. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf>. Acesso em: 30 de Maio de 2018.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Apenas 13% dos resíduos sólidos urbanos no país vão para reciclagem**. 2017. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=29296>. Acesso em: 30 de Maio de 2018.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Boas práticas de gestão de resíduos sólidos urbanos e de logística reversa com a inclusão de catadoras e de catadores de materiais recicláveis aplicada. Relatório de pesquisa**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://rededegestoresecosol.org.br/wp-content/uploads/2015/11/livro_relatorio_boas_praticas_catadores1.pdf>. Acesso em: abril de 2018.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Situação Social dos catadores e catadoras de material reciclável e reutilizável**. 2013. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/situacao_social/131219_relatorio_situacao_social_mat_reciclavavel_brasil.pdf>. Acesso em: 03 de maio de 2018.

ISWA - INTERNATIONAL SOLID WASTE ASSOCIATION. **Roteiro para encerramento de lixões: Os lugares mais poluídos do mundo**. [S.l]: ABREPEL, 2017. 36 p. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/iswa_web3.pdf>. Acesso em: Maio de 2018.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos Avançados [online]**. São Paulo, v. 25, n. 71, jan/apr. 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142011000100010>>. Acesso em: abril de 2018.

JUNQUEIRA, J. B. **Biodigestão anaeróbia e compostagem com dejetos de bovinos confinados e aplicação do biofertilizante e do composto em área cultivada com *Panicum maximum* Jacq., CV Tanzânia**. 2011. 103 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária. Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2011.

KARLSSON, T. et al. **Manual Básico de Biogás**. 1ª ed. Lajeado: Editora da Univates, 2014.

KILL, J. *et al.* **O comércio de carbono: como funciona e por que é controverso**. Tradução Leandro Moura e Priscila Moura. Fundação Heinrich Böll. Reino Unido: FERN, 2012.

KONRAD, O. et al. **Atlas das biomassas do Rio Grande do Sul para produção de biogás e biometano**. 1. ed. Lajeado: Ed. Univates, 2016.

LEMA N.; PRICE A. "Benchmarking: Performance Improvement Toward Competitive Advantage". **J Manage Eng.**, v. 11, 1995, p.28-37.

LEVINE, A. D.; TCHOBANOGLOUS, G.; ASANO, T. Size distribution of particulate contaminants in wastewater and their impact on treatability. **Water Resource**, v. 25, ago. 1991, p. 911-922.

LI, Y.; STEPHEN, Y.; PARK, J. Z. Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. **Elsevier**, v. 15, jan. 2011, p. 821-826.

LIMA, J. D. de *et al.* Uso de modelos de apoio a decisão para análise de alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos na região do sul do Brasil. **Eng Sanit Ambient**, v. 19, n. 1, jan/mar. 2014, p. 33-42.

LIMA, N. S. **Estudo do Tratamento Mecânico-Biológico de Resíduos Sólidos Urbanos**. 2014. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente), Universidade De Lisboa, Lisboa, 2014.

MACHADO, P. A. L. Princípios da política nacional de resíduos sólidos. **Revista do Tribunal Regional Federal da 1ª Região**, v. 24, n. 7, jul. 2012.

MAFACIOLLI, D. **Produção de biogás através do processo de digestão anaeróbia utilizando dejetos de aves de postura com suplementação de glicerina bruta**. 2012. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental), Centro Universitário Univates. Lajeado, 2012.

MANGUEIRA, P. **Sistema de limpeza e serviços urbanos e gestão de resíduos sólidos**. In: *Workshop – A Evolução da Limpeza Pública (ABLP)*. 2017. Rio de Janeiro. Disponível em: <www.rio.rj.gov.br/documents/91370/3648679b-caf3-4f70-bcac-92c849916220> Acesso em: 22 de Junho de 2018.

MANNARINO, C. F.; FERREIRA, J. A.; GANDOLLA, M. Contribuições para a evolução do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil com base na experiência Européia. **Eng Sanit Ambient**, v. 21, n. 2, jun. 2016, p. 379-385.

MANNARINO, C. F.; FERREIRA, J. A.; GANDOLLA, M. Contribuições para evolução do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil com base na experiência europeia. **Eng Sanit Ambient [online]**, v.21, n.2, jun. 2016, p. 379-385. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/2016nahead/1809-4457-esa-S1413_41522016146475.pdf>. Acesso em: 8 de junho de 2018.

MASTERGEO ENGENHARIA. **Como funciona um aterro sanitário e a que tipo de resíduos se direciona?**. 2016. Disponível em: <<http://mastergeoengenharia.net/como-funciona-um-aterrosanitario-e-a-que-tipo-de-residuos-se-direciona/>>. Acesso em: 10 de Abril. 2017.

MAZARELI, R.C.S. **Co-digestão anaeróbia de resíduos vegetais e águas residuárias de suinocultura em reatores horizontais de leito fixo e alta taxa**. 2015. 91 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária), UNESP, Jaboticabal, 2015.

MDA – Ministério do Desenvolvimento Agrário. **Semana do agricultor: importância da agricultura familiar (2018)**. Disponível em: <<http://www.mda.gov.br/sitemda/noticias/semana-do-agricultor-importancia-da-agricultura-familiar>> Acesso em: Agosto de 2018.

MENEZES, J. M. C. **Influência da concentração de sólidos totais e temperatura na bioestabilização anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental), UEPB, Campina Grande, 2012.

MERSONI, C.; REICHERT, G. A. Comparação de cenários de tratamento de resíduos sólidos urbanos por meio da técnica da Avaliação do Ciclo de Vida: o caso do município de Garibaldi, RS. **Eng. Sanit. Ambient. [online]**. v. 22, n. 5, 2017, pp.863-875. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v22n5/1809-4457-esa-22-05-00863.pdf>>. Acesso em: julho de 2018.

MILUTINOVIC, B., *et al.* Sustainability assessment and comparison of waste management systems: The Cities of Sofia and Niš case studies. **Waste Management and Research**, v. 34, n. 9, 2016, p. 896-904.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Aproveitamento energético do biogás de aterro sanitário**. 2013. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/aproveitamento-energetico-do-biogas-de-aterro-sanitario>>. Acesso em: 13 de Maio de 2017.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Coleta Seletiva**. 2017a. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/catadores-de-materiais-reciclaveis/reciclagem-e-reaproveitamento>> Acesso em: 15 de Março de 2017.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Gestão de resíduos orgânicos**. 2017b. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/gestao-de-residuos-orgnicos>>. Acesso em: 11 de Fevereiro de 2017.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Manual de Licenciamento Ambiental: Guia de Procedimentos passo a passo.2004. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/cart_sebrae.pdf>. Acesso em dezembro de 2018.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2015**: ano base 2014. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética-EPE, 2015a. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-en/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario-Estatistico-de-Energia-Elétrica-2015.pdf>> . Acesso em: 16 de junho de 2018.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balço energético nacional 2015**: Ano base 2014. Relatório. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética-EPE, 2015b. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf>. Acesso em: 16 de junho de 2018.

NASCIMENTO, P. S. C.; ACÁCIO, L. C. **Soluções em energia – Projeto de Biodigestor Residencial**. Relatório para disciplina Projeto Integrador em Energia. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2014.

NASCIMENTO, A. A; OLIVEIRA, R. J.; MENEZES, J. E. A reciclagem do lixo urbano como fonte de renda, e a preservação dos recursos naturais e ambientais. **Revista Gestão Industrial**. Ponta Grossa, v. 13, n. 1, jan./mar. 2017 p. 22-37.

NOGUEIRA, L. M.; SILVEIRA, C. A.; FERNANDES, K. S. PERCEÇÃO DE QUALIDADE DE VIDA DE CATADORES DE MATERIAIS RECICLÁVEIS. **Revista de Enfermagem UFPE**. Recife.11(7) jul., 2017:2718-27.

OFEV. Ressources naturelles en Suisse: Dossier Efficacité des ressources. **Magazine environnement**, Suíça, march. 2013.

OLIVEIRA, L. H. de. *et al.* **Aspectos jurídicos, ambientais e da participação social na gestão de resíduos sólidos do município de Poços de Caldas-Mg**. In: Encontro internacional sobre gestão empresarial e meio ambiente-ENGEMA. 2014. São Paulo. 16 p. Disponível em: <<http://www.engema.org.br/XVIENGEMA/377.pdf>>. Acesso em: abril de 2018.

OLIVEIRA, T. B. de.; GALVÃO JUNIOR, A. C. de. Planejamento municipal na gestão dos resíduos sólidos urbanos e na organização da coleta seletiva. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 21, 2016, p.55-64.

PASCHOALIN FILHO, J. A. *et al.* Comparação entre as massas de resíduos sólidos urbanos coletadas na cidade de São Paulo por meio de Coleta Seletiva e Domiciliar. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**. v. 3, n. 3. Set./ Dez. 2014.

PEREIRA, S. S. **Aplicação de Método Multicritério e Multidecisor na Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos da Região Metropolitana de Campina Grande/PB**. 2014. 435 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.

PEREIRA, S. S.; CURI, R. C. **Gestão de Resíduos em um Contexto Multidisciplinar in: Gestão Ambiental: Uma Visão Multidisciplinar**. 1ª ed., Cajazeiras: Editora Real, 2015. P. 13-72. 288 p.

PERSU - Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos (2014). PERSU 2020 “**Uma fonte renovável de recursos**”. Disponível em: <http://www.apambiente.pt/_zdata/DESTAQUES/2014/RelatorioPropostaPERSU_Julho30_v3.pdf> Acesso em Maio de 2018.

PHILIPPI JR, A.; MALHEIROS, F. R. **Indicadores de sustentabilidade e gestão ambiental**. 1ª ed. São Paulo: Manole, 2013b. Cap.5, p. 125-158.

PHILIPPI JR, A.; MALHEIROS, F.R. **Indicadores de sustentabilidade e gestão ambiental**. 1ª ed. São Paulo: Manole, 2013c. Cap.10, p. 295-326.

PHILIPPI JR, A.; MALHEIROS, F.R. **Indicadores de sustentabilidade e gestão ambiental**. 1ª ed. São Paulo: Manole, 2013a, cap.2, p.31-87.

PIEIDADE, M.; AGUIAR, P. **Série Guia Técnicos: Opções de gestão de resíduos urbanos**. Lisboa: Editora Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, 2010.

PINTRE, D. **Tratamento mecânico e biológico de resíduos sólidos urbanos**. 2017. Disponível em: <http://www.wasteexpo.com.br/assets/david_pintre.pdf>. Acesso em outubro de 2017.

PIRES, M. I. S. **POLÍTICA NACIONAL DE ASSISTÊNCIA SOCIAL, SUAS e legislações pertinentes**. Disponível em: <http://www.desenvolvimentosocial.pr.gov.br/arquivos/File/Capacitacao/material_apoio/mariaizabel_suas.pdf> Acesso em Setembro de 2018.

PLANO MUNICIPAL DE GESTÃO INTEGRADA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS-PMGIRS. Rebouças. 2016. Disponível em: <http://reboucas.pr.gov.br/site/files/documentos/Plano_Municipal_de_Gestao_Integrada_dos_Residuos_Solidos-PMGRS/PMGIRS_AMCESPAR_REBOUCAS_Propostas.pdf>. Acesso em: 15 de maio de 2018.

PORTAL NACIONAL DO LICENCIAMENTO AMBIENTAL - PNLA. Disponível em: <<http://pnla.mma.gov.br/>>. Acesso em: 03 de Maio de 2018.

PORTELLA, O. P.; RIBEIRO, J. C. J. Aterros sanitários: aspectos gerais e destino final dos resíduos. **Revista Direito Ambiental e sociedade**. Caxias do Sul. v. 4, n. 1, 2014 p. 115-134.

PRATES, L. F. S. *et al.* **Resíduos Sólidos e Mudanças Climáticas: Experiência alemã com tratamentos mecânico-biológico de resíduos sólidos urbanos**. In: 7º Forum Internacional de Resíduos Sólidos. 2016. Porto Alegre-RS. Disponível em: <http://www.firs.institutoventuri.org.br/images/T017_EXPERI%C3%8ANCIA_ALEM%C3%83_COM_TRATAMENTO_MEC%C3%82NICO_BIOL%C3%93GICO_DE_RES%C3%8DUOS_S%C3%93LIDOS_URBANOS.pdf>. Acesso em: 27 de outubro de 2017.

Prefeitura de Jacareí. **Aterro Sanitário começa a receber resíduos de Salesópolis** (2018). Disponível em: Jacareí <http://www.jacarei.sp.gov.br/aterro-sanitario-comeca-receber-residuos-de-salesopolis/>. Acesso em: 20 de Julho de 2018.

Prefeitura do Município de Piracicaba (PMP). **CTR recebe grupo do Consimares** (2018). Disponível em: <http://www.piracicaba.sp.gov.br/ctr+recebe+grupo+do+consimares.aspx> Acesso em: 10 de Junho de 2018.

Prefeitura do Município de Piracicaba (PMP). **Piracicaba sai na frente com a instalação da Usina de Tratamento de Resíduos Sólidos** (2015). Disponível em: <http://www.piracicaba.sp.gov.br/piracicaba+sai+na+frente+com+a+instalacao+da+usina+de+tratamento+de+residuos+solidos.aspx>. Acesso em: 07 de Junho de 2018.

PUCCI, F. G. **Subsídios para o desenvolvimento de alternativas tecnológicas de aproveitamento de resíduos orgânicos em comunidades rurais e periurbanas**. 2016. 233 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

RAMOS, A. R. **Benchmarking da produção mais limpa para a análise de empresas de manufatura**. 2013. 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFSC, Florianópolis. 2013.

RANGEL, T. L. V. **Comentários ao Princípio do Poluidor-Pagador em sede de Política Nacional de Resíduos Sólidos: Singelo Painel**. 2014. Disponível em: <http://www.boletimjuridico.com.br/doutrina/texto.asp?id=3332>. Acesso em: 31 de maio de 2015.

RIBEIRO, H.; BESEN, G. R. Panorama da coleta seletiva no Brasil: Desafios e perspectivas a partir de três estudos de caso. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, v. 2, n. 4, 2006, p. 2-18.

RODRIGUES, M. A. **Instituições do Direito Ambiental**. v. 1. São Paulo: Editora Max Limonad. 2002, p. 255-256.

Thiago L. Romanelli. **Análise de Ciclo de Vida – ACV**. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2599129/mod_resource/content/1/Aula%208%20-%20ACV.pdf Acesso em: Setembro de 2018.

ROSA, D. S.; ANDRADE, J. de S. Gestão de resíduos sólidos no estado do Espírito Santo à luz da política nacional de resíduos sólidos. **INTELLETO**, v. 1, n. 1, maio/ago. 2016. p. 76-88. Disponível em: <http://faveni.edu.br/wp-content/uploads/2017/11/7-residuos-solidos-esv1-n1-2016.pdf>. Acesso em: maio de 2018.

ROUQUAYROL, M. Z.; GURGEL, M. **Epidemiologia e saúde**. 7ª Ed. [S.l]: Editora Medbook. 2012. 708 p.

SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. 4ª ed., Rio de Janeiro: Editora Garamond. 2009.

SANTOS, A. T. L. et al. Aproveitamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos para produção de composto orgânico. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**, Santos, v. 3, n. 1, 2014, p. 15-28.

SANTOS, L. D. B. dos. **Mudanças no atual papel do catador de materiais recicláveis na cadeia de gestão integrada de resíduos, em face das políticas públicas para o setor em um estudo de caso**. 2011. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Administração de Organização, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2011.

SCHALCH, V.; CASTRO, M. A. S.; CÓRDOBA, R. E. **Tratamento e disposição final ambientalmente adequada de resíduos sólidos**. 1ª ed., São Paulo: Editora EESC/USP, 2015.

SENADO FEDERAL. Resíduos sólidos: lixões persistem. **Revista em Discussão**, v. 5, n. 22, set. 2014, p. 48-58. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/emdiscussao/edicoes/residuos-solidos/@_@images/arquivo_pdf/>. Acesso em: julho de 2018.

SERVIÇO DE LIMPEZA URBANA - SLU. **Um ano de operação do Aterro Sanitário e tudo pronto para fechar o lixão**. Relatório Anual de Atividades. 2017. 114 p. Disponível em: <http://www.slu.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/relatorio_anual_de_atividades_slu_2017_final.pdf> Acesso em: 25 de Março de 2018.

SHUELER, A. S. de; KZURE, H.; RACCA, G. B. Como estão os resíduos urbanos nas favelas cariocas?. **Revista Brasileira de Gestão Urbana (Brazilian Journal of Urban Management)**, v. 10, n. 1, jan./abr. 2018, p. 213-230.

SILVA JÚNIOR, A.C; ANDRADE, J. C. S. Tecnologias Mais Limpas e Desenvolvimento Sustentável no Brasil: Contribuição de Projetos de MDL. RACEF - **Revista de Administração, Contabilidade e Economia da FUNDACE.** , v.4, 2011.

SILVA, C. L.; SOUZA LIMA, J. E. **Políticas públicas e indicadores para o desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Saraiva. 2010.

SILVA, E. R. **Estimativa do potencial energético dos resíduos sólidos urbanos por diferentes rotas de tratamento**. 2015. 204 f. Tese (Doutorado em Energia) - Programa de Pós-graduação em Energia, Universidade Federal do ABC, Santo André, 2015.

SILVA, J. D. P. Da. **Papel do tratamento mecânico e biológico na gestão de Resíduos**. 2016. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. Porto, 2016.

SILVA, J. N. **Energias Renováveis (Biogás)**. 2016. Disponível em: <http://deq.ufcg.edu.br/wp-content/uploads/2016/07/01_Aula_01.pdf> Acesso em: 30 de Março de 2017.

SILVA, M. M. C. Lei dos resíduos sólidos e a responsabilidade do Estado da disposição final de resíduos sólidos urbanos. **Revista Jus Navigandi**, Teresina, ano 22, n. 5034, abr. 2017. Disponível em: <<https://jus.com.br/artigos/36252>>. Acesso em: maio 2018.

SINDICADO NACIONAL DAS CONCESSIONÁRIAS PRIVADAS DE SERVIÇOS PÚBLICOS DE ÁGUA E ESGOTO - SINDCON. **Métodos, Sistemas e Gestão por Processos**. 2017. Disponível em: <<http://abconsindcon.com.br/acervo/gestao-por-processos/>>. Acesso em: 25 de Março de 2018.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS. **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos**. Brasília: MCIDADES. SNSA, 2016. 154 p.

SOARES, F. R.; MIYAMARU, E. S.; MARTINS, G. Desempenho ambiental da destinação e do tratamento de resíduos sólidos urbanos com reaproveitamento energético por meio da avaliação do ciclo de vida na Central de Tratamento de Resíduos – Caieiras. **Eng. Sanit. Ambient. [online]**, v. 22, n. 5, 2017, p. 993-1003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v22n5/1809-4457-esa-22-05-00993.pdf> >. Acesso em: julho de 2018.

SOUZA, C. DE F. et al. Produção volumétrica de metano: dejetos de suínos. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 1, 2008, p. 219–224.

SPENDOLINI, M. J. **Benchmarking**. 1ª ed., São Paulo: Makron Books do Brasil, 1994.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*. New York: Mcgraw-Hill, 1993. 978p.

THE WORD BANK. **State and Trend of the carbon market**: 2014. The World Bank institute. Washington D.C. 2014.

TORVANGER, A. et al. A two-track CDM: improved incentives for sustainable development and offset production. **Climate Policy**, v. 13, n. 4, 2013, p. 471-489.

UNEP - United Nations Environment Programme. 2010 ANNUAL REPORT. Disponível em: <<http://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/7915>> Acesso em: Março de 2017.

USP – Universidade de São Paulo. **Manual Básico de Compostagem** (2009). Disponível em: <https://usprecicla.files.wordpress.com/2011/03/apostila-compostagem.pdf> Acesso em maio de 2017.

VAN BELLEN, H. M. **Indicadores de Sustentabilidade**: Uma análise comparativa. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2005.

VAZ, S. J. **Avaliação dos Modelos de Gestão de Resíduos Sólidos de Santo André/SP e da região da grande Porto/PT utilizando conceitos da Análise Multicritério**. 2016. 157 f. Dissertação (Mestrado em Energia), Universidade Federal do ABC, Santo André, 2016.

VEIGA, T. B. **Indicadores de sustentabilidade na gestão de resíduos sólidos urbanos e implicações para saúde humana**. 2014. 263 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação de Enfermagem em Saúde Pública, Universidade de São Paulo, Ribeirão preto, 2014.

VENTURA, W. **Breves comentários à política nacional de resíduos sólidos: LEI Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. 2018. Disponível em: <<http://www.unaerp.br/revista->

cientifica-integrada/edicoes-anteriores/volume-2-edicao-1/1555--24/file>. Acesso em: maio de 2018.

VIANA, M. B. **Produção de biogás a partir de glicerol oriundo de biodiesel**. 2011. 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2011.

VIRIATO, C. L. **Influência da granulometria e da concentração de sólidos totais de resíduos sólidos vegetais no processo de bioestabilização anaeróbia**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2013.

VITALI, M. de C. **Estudo de alternativas de processos de coleta e separação de resíduos sólidos domiciliares para o município do Rio de Janeiro**. 2014. 95 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

WASTE TO ENERGY RESEARCH AND TECHNOLOGY COUNCIL – WTERT. **Progresso no gerenciamento sustentável de resíduos**. 2017. Disponível em: <<http://www.wtert.com.br/home2010/>>, Acesso em: 18 de maio de 2017.

WITZLER Recicla - **Tratamento de resíduos corresponde aos métodos, processos ou operações de como se aplica o gerenciamento de resíduos**. 2018. Disponível em: <<http://www.witzlerrecicla.com.br/2018/01/09/tratamento-de-residuos/>>. Acesso em: 15 de Junho de 2018.

ZAGO, C. A. *et al.* **Benchmarking: uma perspectiva de avaliação de desempenho logístico**. In: Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia - SEGeT, 2015.

ZAMBON, M. M. **Alternativas para a gestão dos resíduos orgânicos urbanos: um estudo de caso na cidade de Florianópolis**. 2017. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.