

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FLÁVIA VERONESI DEBONI

**LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE PLANTAS DE BIODIGESTÃO
DE RESÍDUOS - CRITÉRIOS E DIRETRIZES PARA O ESTADO
DO PARANÁ**

CURITIBA

2017

FLÁVIA VERONESI DEBONI

**LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE PLANTAS DE BIODIGESTÃO
DE RESÍDUOS - CRITÉRIOS E DIRETRIZES PARA O ESTADO
DO PARANÁ**

Dissertação apresentada como requisito parcial à
obtenção do grau de Mestre em Meio Ambiente
Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia da
Universidade Federal do Paraná

Orientador: Prof.^a M.Sc. Marielle Feilstrecker
Co-orientador: Prof. Dr. Paulo de Tarso

CURITIBA

2017

D2871

Deboni, Flávia Veronesi

Licenciamento ambiental de plantas de biodigestão de resíduos - critérios e diretrizes para o estado do Paraná / Flávia Veronesi Deboni. – Curitiba, 2017.

75 f. : il. color. ; 30 cm.

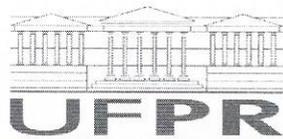
Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, 2017.

Orientador: Marielle Feilstrecker – Co-orientador: Paulo de Tarso.

Bibliografia: p. 71-75.

1. Digestão anaeróbia. 2. Resíduos orgânicos. 3. Biogás. I. Universidade Federal do Paraná. II. Feilstrecker, Marielle. III. Tarso Paulo de . IV. Título.

CDD: 628.354



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
Setor TECNOLOGIA
Programa de Pós-Graduação MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL

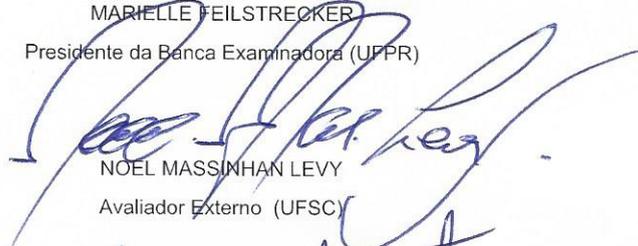
TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **FLAVIA VERONESI DEBONI** intitulada: **PROPOSTA DE RESOLUÇÃO ESTADUAL PARA ESTABELECIMENTO DE DIRETRIZES E CRITÉRIOS PARA LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE PLANTAS DE BIODIGESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua aprovação.

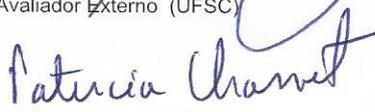
Curitiba, 26 de Abril de 2017.


MARIELLE FEILSTRECKER

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)


NOEL MASSINHAN LEVY

Avaliador Externo (UFSC)


PATRICIA CHARVET

Avaliador Interno (UFPR)

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Prof.^a M.Sc. Marielle Feilstrecker por todo conhecimento cedido, dedicação e paciência. Sua orientação foi fundamental na elaboração dessa dissertação.

Aos membros da banca de qualificação e defesa, em especial à Prof.^a Dra. Patrícia Charvet, ao Prof. Dr. Edson Peters e à Prof.^a Dra. Margarete Casagrande Lass Erbe pelas participações e ótimas sugestões. Ao Prof. Dr. Noel Massinhan Levy pela valiosa contribuição e pela disponibilidade em participar como membro externo da banca de defesa.

À UFPR, SENAI-PR e Universidade de Stuttgart e a todos os professores do Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial (PPGMAUI) pela estruturação de um programa tão completo, que serve de referência para outras instituições.

Aos amigos e colegas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, em especial à minha amiga Roberta H. Knopki, que como grande conhecedora do cenário de biogás e biodigestão de resíduos no Brasil, auxiliou muito na elaboração desta dissertação.

Aos meus amigos e ex-colegas Ivonete Chaves, Rossana Baldanzi, Altamir Hacke e Jefferson Yamashiro por todo o conhecimento repassado no período que estive no IAP e pelo grande aprendizado obtido em licenciamento ambiental, sem o qual essa dissertação não seria possível. Foi um privilégio trabalhar com vocês.

Aos meus colegas no CDTA - Centro de Desenvolvimento de Tecnologias Ambientais por me proporcionarem a oportunidade de trabalhar em um setor tão desafiador e promissor como o da biodigestão.

Por fim, à minha família, pelo amor e apoio incondicional.

RESUMO

A biodigestão, também denominada de digestão anaeróbia, tem sido amplamente aplicada em diversos países como forma de tratamento de resíduos sólidos orgânicos. No Brasil o processo ainda está em fase inicial de consolidação. Além de atender às diretrizes e exigências da Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei Federal 12.305/2010, a biodigestão também garante o aproveitamento energético, por meio do biogás gerado como produto do processo. Diversas resoluções e portarias estaduais dispõem sobre o licenciamento ambiental e controle ambiental de atividades de gerenciamento de resíduos sólidos no estado do Paraná, porém, esses instrumentos são voltados aos aterros sanitários, unidades de transbordo, atividades de transporte e triagem. Não há ainda no Paraná critérios específicos para a atividade de biodigestão de resíduos sólidos, que padronizem o processo de licenciamento dessas plantas. O estabelecimento de critérios que subsidiem instrumentos regulatórios é fundamental para consolidar a tecnologia no país e também fomentá-la. Esse estudo tem como objetivo não apenas reunir critérios já existentes na legislação, mas também propor novas diretrizes para o licenciamento. Primeiramente, foi avaliada a legislação federal e estadual aplicável à atividade de biodigestão e elaborada uma matriz orientativa com as normativas identificadas. Novos critérios e diretrizes faltantes, fundamentais ao licenciamento ambiental estadual em questão, como definição de porte, respectivas modalidades de licenciamento ambiental, exigência do EIA-RIMA e critérios locacionais, foram propostos. Espera-se que esses critérios e diretrizes possam servir de referência para uma Resolução do Conselho Estadual de Meio Ambiente do Paraná (CEMA-PR) acerca do tema. A existência de critérios específicos padroniza, desburocratiza e agiliza o processo de licenciamento ambiental de plantas de biodigestão, representando um ganho ambiental e social.

Palavras-chave: Digestão anaeróbia, tratamento, resíduos orgânicos, biogás, legislação.

ABSTRACT

Biodigestion, also called anaerobic digestion, has been widely applied in several countries for treatment of organic waste. In Brazil the process is at an initial stage of consolidation. The anaerobic digestion not only complies with all directives and requirements of the National Solid Waste Policy, established by Federal Law 12,305/2010, but also guarantees the energy utilization, through the biogas generated in the process. There are several resolutions and State regulations regarding environmental licensing and environmental control of waste management activities in the State of Paraná, but these instruments are aimed at common enterprises, such as landfill, temporary load units, transportation, and sorting activities. There is not yet a proper regulation for the environmental licensing of anaerobic digestion, which standardizes the licensing process of these plants. The existence of regulatory instruments is fundamental to consolidate the technology in the country and to promote it. This study aims not only to gather existing criteria in the legislation, but also to propose new guidelines for licensing. First, all the Federal and State legislation applicable to the biodigestion activity was evaluated and a guiding matrix was prepared with all the regulations identified. New criteria and missing guidelines were presented, such as definition of size, environmental licensing modalities, necessity of complete environmental studies and locational criteria. It is expected that the criteria could be used as a reference for a resolution of the State Environmental Council of Paraná. The existence of specific guidelines is essential to guarantee a standardized environmental licensing process, without so many difficulties and faster, which would represent a great environmental and social gain.

Key-words: Anaerobic digestion, treatment, organic waste, biogas, legislation.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - NÚMERO DE PLANTAS DE BIOGÁS EM OPERAÇÃO NOS PAÍSES AVALIADOS NO RELATÓRIO DO IEA (2014-15).....	16
FIGURA 2 - DISTRIBUIÇÃO DAS PLANTAS DE <i>UPGRADING</i> DE BIOGÁS EM OPERAÇÃO NOS PAÍSES AVALIADOS (2014-15).....	17
FIGURA 3 - ETAPAS DO PROCESSO.....	21
FIGURA 4 - GERAÇÃO DE ENERGIA CONFORME BIOMASSA UTILIZADA	24
FIGURA 5 - PRODUÇÃO DE BIOGÁS CONFORME TEMPO DE RETENÇÃO.....	26
FIGURA 6 – EXEMPLO DE USO DO BIOGÁS EM SISTEMA DE COGERAÇÃO....	29
FIGURA 7 - FLUXOGRAMA DE UM PROCESSO DE BIODIGESTÃO	30
FIGURA 8 – SISTEMA DE QUEIMADOR EMERGENCIAL	35
FIGURA 9 - TORRE DE DESSULFURIZAÇÃO	36
FIGURA 10 - ETAPAS DO PROCESSO E INSTALAÇÕES NECESSÁRIAS	38
FIGURA 11 – PRINCIPAIS ETAPAS DO ESTUDO	42
FIGURA 12 – CONSOLIDAÇÃO DOS CRITÉRIOS E DIRETRIZES	67

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - ASPECTOS AMBIENTAIS E RESPECTIVAS MEDIDAS E FORMAS DE CONTROLE AMBIENTAL.....	32
QUADRO 2 - MATRIZ COM A BASE LEGAL ESTADUAL E FEDERAL APLICÁVEL À ATIVIDADE DE BIODIGESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	Erro! Indicador não definido.
QUADRO 3 - CRITÉRIOS DE OUTROS ESTADOS PARA LICENCIAMENTO AMBIENTAL PARA PLANTAS DE BIODIGESTÃO FLUXOGRAMA COMPLETO	56
QUADRO 4 - CRITÉRIOS PARA PORTE E PROCEDIMENTOS ADMINISTRATIVO ESTABELECIDOS NO PARANÁ PARA OUTRAS ATIVIDADES	58
QUADRO 5 - CRITÉRIOS LOCACIONAIS ESTABELECIDOS	59
QUADRO 6 - DEFINIÇÃO DE PORTE E RESPECTIVAS MODALIDADES DE LICENCIAMENTO AMBIENTAL PARA ATIVIDADES DE BIODIGESTÃO NO ESTADO DO PARANÁ	61

LISTA DE SIGLAS

ABEMA	- Associação Brasileira de Entidades Estaduais de Meio Ambiente
ABiogás	- Associação Brasileira de Biogás e Biometano
ABRELPE	- Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
CDR	- Combustível Derivado de Resíduos
CEMA-PR	- Conselho Estadual de Meio Ambiente do Paraná
CHP	- <i>Combined Heat and Power</i>
CIBiogás	- Centro Internacional de Energias Renováveis
COVs	- Compostos Orgânicos Voláteis
DBO	- Demanda Biológica de Oxigênio
DQO	- Demanda Bioquímica de Oxigênio
EIA-RIMA	- Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto ao Meio Ambiente
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	- <i>U.S. Environmental Protection Agency</i>
FEAM	- Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais
GIZ	- <i>Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit</i>
IEA	- <i>International Energy Agency</i>
IPHAN	- Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
LAS	- Licença Ambiental Simplificada
LI	- Licença de Instalação
LO	- Licença de Operação
LP	- Licença Prévia
MAPA	- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
OECD	- <i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i>
PNRS	- Política Nacional de Resíduos Sólidos
RSU	- Resíduos Sólidos Urbanos
SANEPAR	- Companhia de Saneamento do Paraná
SEMA	- Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Paraná
STV	- Sólidos Totais Voláteis

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	OBJETIVOS.....	12
1.1.1	Objetivo Geral.....	12
1.1.2	Objetivos Específicos.....	12
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	13
2.1	PROCESSO DE BIODIGESTÃO.....	13
2.1.1	Histórico.....	14
2.1.2	Panorama Mundial.....	14
2.1.3	Panorama Brasileiro.....	17
2.1.3.1	Potencial de Aplicação.....	19
2.1.4	Descrição Geral.....	20
2.1.5	Fatores de Influência.....	22
2.1.5.1	Substratos.....	23
2.1.5.2	Temperatura e pH.....	24
2.1.5.3	Tempo de Retenção Hidráulica.....	25
2.1.5.4	Diferentes Tecnologias.....	26
2.1.6	Produtos do Processo.....	27
2.1.6.1	Biogás.....	28
2.1.6.2	Material Digerido.....	29
2.1.6.3	Fluxograma Entradas e Saídas.....	30
2.1.7	Medidas de Controle Ambiental.....	31
2.1.7.1	Esquema Ilustrativo das Medidas de Controle.....	38
3	METODOLOGIA.....	40
3.1	ELABORAÇÃO DA MATRIZ ORIENTATIVA.....	40
3.2	DEFINIÇÃO DE NOVOS CRITÉRIOS E DIRETRIZES ESPECÍFICOS.....	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43

4.1	MATRIZ DE APLICABILIDADE DOS CRITÉRIOS EXISTENTES	43
4.2	NOVOS CRITÉRIOS E DIRETRIZES	56
4.2.1	Critérios Existentes em Outros Estados para Licenciamento de Atividades de Biodigestão	56
4.2.2	Critérios Existentes no Paraná para Outras Atividades de Resíduos Sólidos	57
4.2.3	Critérios Locacionais Existentes	59
4.2.4	Definição dos Novos Critérios.....	60
4.2.4.1	Critério de Porte, Modalidade de Licenciamento e Necessidade de EIA-RIMA	60
4.2.4.2	Critérios Locacionais	62
4.3	CONSOLIDAÇÃO DOS CRITÉRIOS E DIRETRIZES	63
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	69
	REFERÊNCIAS.....	71

1 INTRODUÇÃO

A atividade de biodigestão como forma de tratamento de resíduos sólidos e geração de biogás é amplamente empregada em diversos países. Contudo, conforme Ostrem (2004), se consolidou sendo utilizada principalmente como forma de tratamento de esterco ou em sistema de tratamento de esgoto sanitário por digestão anaeróbia. Os países europeus foram pioneiros no seu uso com resíduos mais complexos, como resíduos agrícolas e industriais e frações orgânicos de resíduos sólidos urbanos. Essa aplicação não apenas criou um mercado totalmente novo como consagrou a biodigestão como forma ambientalmente viável de tratar os mais variados tipos de resíduos orgânicos.

O processo no Brasil ainda está em consolidação inicial. Justamente por se tratar de nova tecnologia no país, ainda precisam ser definidas e unificadas as diretrizes e os critérios para o licenciamento ambiental dessas plantas. Diversas Resoluções e Portarias Estaduais dispõem sobre o licenciamento ambiental e controle ambiental de atividades de gerenciamento de resíduos sólidos no estado do Paraná, porém, esses instrumentos são voltados principalmente às atividades já consagradas, como aterro sanitário, unidades de transbordo, coprocessamento, triagem, entre outras. Não existem ainda critérios próprios que possam subsidiar uma normativa para atividade de biodigestão de resíduos sólidos.

Conforme Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE, 2014), aproximadamente 41,6% dos resíduos sólidos gerados no Brasil são destinados de forma inadequada em lixões ou aterros controlados. Tendo em vista a necessidade de investimentos e regulamentação nessa área, em 02 de agosto de 2010, foi implementada a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída por meio da Lei Federal nº12.305, a qual estabelece a gestão integrada dos resíduos sólidos e reúne os princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações a serem adotadas pelo Governo Federal, isoladamente ou em conjunto com os estados e municípios. Essa política estabelece a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento ante a disposição final dos resíduos sólidos, subsidiando o incentivo ao desenvolvimento de sistemas de tratamento de resíduos e aproveitamento máximo dos respectivos subprodutos, reduzindo a necessidade de consumo de recursos naturais a partir da transformação de resíduo em matéria prima e do aproveitamento do potencial energético do processo de transformação.

As plantas de biodigestão, não só garantem o atendimento a todas as diretrizes e exigências da PNRS, mas também garantem o aproveitamento energético dos gases gerados como produto da digestão anaeróbica para a transformação em energia térmica e energia elétrica. Essa tecnologia também é condizente com o preconizado nas Resoluções do Conselho Estadual de Meio Ambiente do Estado do Paraná (CEMA) nº 090/2013 e (CEMA) nº 094/2014, as quais consideram a necessidade de priorização do aproveitamento energético e destinações alternativas em relação à disposição em aterros, sendo vedada a destinação integral da fração orgânica compostável para aterros desde agosto de 2014.

A definição de critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de plantas de biodigestão vai de encontro à necessidade de melhoria do atual cenário e contexto da destinação final de resíduos sólidos no país. Além de garantir agilidade por parte dos órgãos ambientais, permitirá que sejam contempladas, durante o processo de licenciamento, as medidas de controle ambiental adequadas, o que refletirá também na instalação e operação adequada desses empreendimentos.

Segundo a Associação Brasileira de Entidades Estaduais de Meio Ambiente (ABEMA, 2013), a falta de objetividade nos processos de licenciamento devido à ausência de regras claras e existência de normas imprecisas, prejudica o processo. Sugere-se o estabelecimento de nova classificação das atividades efetiva e potencialmente poluidoras, levando em conta as tipologias a serem reconfiguradas, conforme o porte, o potencial e a localização (ABEMA, 2013). Ao longo do tempo, os mesmos procedimentos foram adotados para atividades distintas, sendo que deveriam ser aplicados procedimentos diferentes, levando em conta, é claro, o grau de complexidade de cada tipo de atividade. Torna-se fundamental estabelecer critérios específicos para cada tipologia de atividade a ser licenciada e monitorada, de forma a desburocratizar e agilizar o processo, se propondo a oferecer aos técnicos responsáveis pela avaliação do licenciamento o embasamento necessário para avaliar os impactos seguindo os critérios e as diretrizes definidas para a atividade que estão avaliando.

Espera-se que os critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental estadual de plantas de biodigestão de resíduos sólidos, resultantes do presente estudo, possam servir de base ao CEMA-PR para uma futura normativa. A existência de uma resolução estadual acerca do tema possibilita alcançar os inúmeros benefícios citados, os quais dependem de um instrumento legal específico.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Propor critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de plantas de biodigestão de resíduos sólidos no estado do Paraná.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Elaborar uma matriz orientativa com a legislação aplicável à biodigestão;
- Estabelecer critérios e diretrizes faltantes, necessários ao licenciamento ambiental.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 PROCESSO DE BIODIGESTÃO

A biodigestão de resíduos sólidos, também chamada de digestão anaeróbia, não apenas representa uma solução de tratamento de resíduos orgânicos, como também garante o reaproveitamento dos produtos gerados, incluindo a recuperação energética. Apesar de pouco difundida no Brasil, o potencial de aplicação dessa tecnologia é grande e pode solucionar a problemática da destinação inadequada de resíduos sólidos em diversos municípios. Além disso, trata-se de uma tecnologia mais econômica do que outras, como a incineração e gaseificação. Conforme a *U.S. Environmental Protection Agency* (EPA) (2015) a biodigestão traz inúmeros benefícios:

- Reduz as ameaças do aquecimento global, por meio da redução da emissão dos gases de efeito estufa, principalmente o metano, e geração de energia renovável (substituição de combustíveis fósseis).
- Promove o desenvolvimento sustentável, já que conserva recursos e aumenta a gestão sustentável dos materiais, reduzindo, por exemplo, o volume de resíduos orgânicos descartados em aterros, que representam uma grande parcela dos resíduos descartados. A biodigestão gera produtos líquidos e sólidos que podem ser utilizados como fertilizantes ou condicionadores de solo, substituindo o uso de fertilizantes químicos convencionais.
- Previne a poluição, já que a biodigestão é uma forma de tratamento dos resíduos orgânicos e evita inúmeros impactos ambientais como os gerados nos aterros sanitários, e ainda gera compostos orgânicos que podem substituir os convencionais, evitando os impactos relacionados à sua produção e utilização.

A biodigestão atende plenamente as exigências da Política Nacional de Resíduos Sólidos, garantindo que sejam encaminhados para disposição final em aterros sanitários apenas os rejeitos e não o resíduo bruto (*in natura*), como ocorre hoje na maioria dos municípios brasileiros.

2.1.1 Histórico

Conforme Meynell (1976, citado por Luque, Campelo, e Clark, 2011) a tecnologia de biodigestão foi demonstrada pela primeira vez em Mumbai, na Índia, em 1859, por meio da construção de um digestor anaeróbio. Contudo, segundo Metcalf e Eddy (2003) o aproveitamento de biogás, oriundo de um processo biológico, ocorreu pela primeira vez no Reino Unido em 1895, em lâmpadas da iluminação pública em Exeter, na Inglaterra. Desde então, o processo de biodigestão foi desenvolvido e amplamente utilizado, principalmente para o tratamento de águas residuais e de estabilização de lodos.

A crise energética no início dos anos 70 trouxe uma nova consciência sobre o uso de combustíveis renováveis, incluindo biogás a partir de digestão anaeróbica. Nas últimas décadas, o interesse no biogás aumentou ainda mais devido aos esforços globais em substituir os combustíveis fósseis para produção de energia e a necessidade de encontrar soluções ambientalmente sustentáveis para o tratamento e reciclagem de resíduos orgânicos. As centrais de biogás para tratamento de substratos agrícolas, são algumas das aplicações mais importantes da biodigestão (SEADI et al., 2008).

Segundo Mahony et al., (2002), o conceito de unidade de biodigestão centralizada, foi desenvolvido na Dinamarca no final de 1980 e tem sido amplamente aplicado na Suécia, Itália, Alemanha e Reino Unido. Esse modelo centralizado foi desenvolvido para uma quantidade significativa de recebimento de resíduos e para utilização de substratos de diversas fontes, inclusive de resíduos sólidos urbanos, além de ter a vantagem de ser economicamente rentável (LUQUE, CAMPELO, E CLARK, 2011). A biodigestão centralizada garante a gestão eficiente dos resíduos sólidos, a reciclagem e a geração de energia renovável a partir de resíduos biodegradáveis em áreas geográficas definidas (MAHONY et al., 2002).

2.1.2 Panorama Mundial

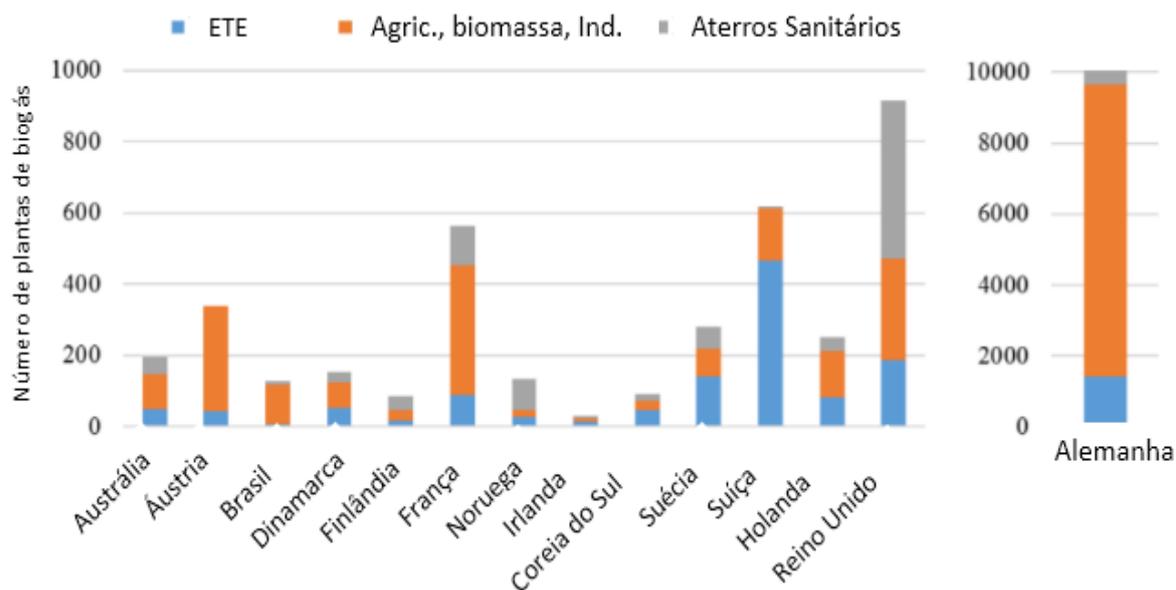
Conforme a *International Energy Agency* (IEA)(2016), a capacidade de geração de energia por meio de processos renováveis cresceu no ritmo mais rápido (até então registrado) em 2015, apoiado por políticas públicas impulsionadas principalmente pela segurança energética, preocupações com a poluição local e busca por benefícios

climáticos. Com as promessas ambiciosas apresentadas para a 21ª Conferência das Partes (COP21), em dezembro de 2015, em Paris e as recentes mudanças políticas em vários países, as perspectivas para as energias renováveis são bastante otimistas. Contudo, muitas outras ações são necessárias para enfrentar os desafios econômicos e os não econômicos para avançar com as energias renováveis. Conforme IEA (2016), em 2015, a geração global de eletricidade renovável aumentou cerca de 5% e representou cerca de 23% da geração total. A China continuou a ser o maior mercado, representando cerca de 23% da produção global de eletricidade renovável em 2015, seguida da União Europeia (17%) e dos Estados Unidos (11%).

Milhares de plantas de biogás estão em operação, principalmente na Europa e América do Norte, muitas delas utilizando as mais novas tecnologias disponíveis. Conforme a *German Biogas Association* (2016), o uso de biodigestão tem aumentado nos últimos 15 anos, especialmente na Alemanha. Em 2014, a maioria das plantas de digestão anaeróbia de culturas energéticas, esterco e resíduos orgânicos na União Europeia (sem incluir plantas de produção de aterros sanitários e de sistemas de tratamento de esgoto) estavam localizadas na Alemanha. Essas plantas de biodigestão suprem 5% da energia elétrica bruta produzida neste país. Elas também garantem parte do suprimento de energia térmica para casas, indústrias, fazendas, e outros locais. O biogás gerado pode ainda ser purificado para produção de biometano, combustível que substitui o gás natural (GERMAN BIOGAS ASSOCIATION, 2016).

A IEA publica anualmente um relatório sobre os desafios relacionados à sustentabilidade econômica e ambiental das plantas de produção de biogás por meio de digestão anaeróbica. Conforme dados do último relatório publicado, *Bioenergy Task 37 Country Reports Summary* (2015), a operação na grande maioria dos casos, consegue ser mantida com a ajuda de subsídios econômicos para ser capaz de competir com o setor industrial da energia fóssil. Existe uma clara necessidade de melhorar as etapas envolvidas no processo na cadeia de produção de biogás, a fim de reduzir os custos operacionais e os investimentos iniciais. A produção de biogás é dominada pela Alemanha, com mais de 10.000 plantas a biogás. Os outros países avaliados no relatório possuem todos menos que 10.000 plantas, conforme FIGURA 1.

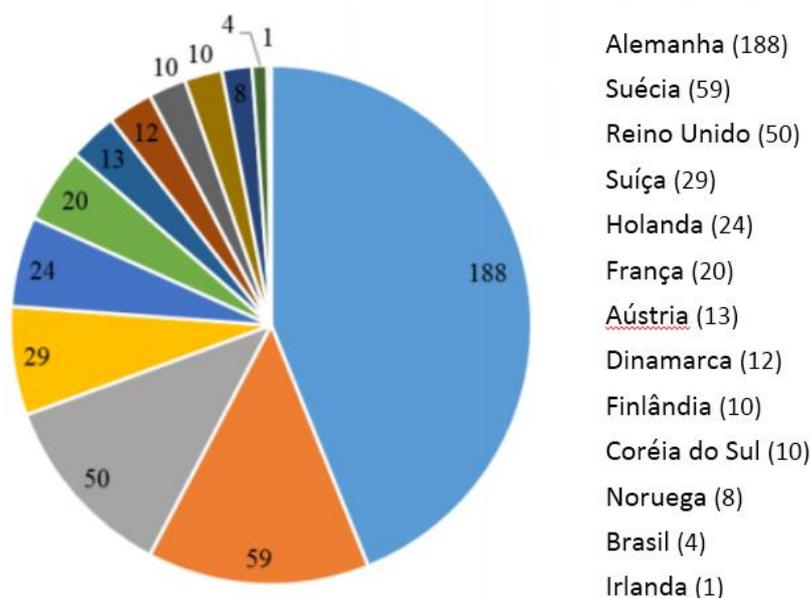
FIGURA 1 - NÚMERO DE PLANTAS DE BIOGÁS EM OPERAÇÃO NOS PAÍSES AVALIADOS NO RELATÓRIO DO IEA (2014-15)



FONTE: Adaptado de IEA (2015).

No relatório do IEA foram avaliados diferentes tipos de plantas de biogás (FIGURA 1), entre elas as plantas de biodigestão de resíduos agrícolas em áreas agrícolas (principalmente biomassas e esterco), de resíduos orgânicos (variados, ex: resíduos sólidos urbanos), de resíduos industriais (ex: indústrias alimentícias), e também plantas de recuperação de biogás proveniente de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto. Nos países pesquisados, o biogás produzido nessas instalações é usado principalmente para geração de energia elétrica e térmica. Outro uso que pode ser dado ao biogás gerado é a purificação para produção de biometano, chamada de *upgrading*. Na FIGURA 2 é apresentada a distribuição das 428 plantas de purificação (*upgrading*) de biometano existentes nos países avaliados.

FIGURA 2 - DISTRIBUIÇÃO DAS PLANTAS DE *UPGRADING* DE BIOGÁS EM OPERAÇÃO NOS PAÍSES AVALIADOS (2014-15)



FONTE: Adaptado de IEA (2015).

Apesar de menos comum quando comparada a geração de energia elétrica e térmica, a purificação para produção de biometano vem também aumentando (IEA, 2015). Conforme apresentado na FIGURA 2, a Alemanha domina a aplicação desta tecnologia. Dentre as 428 plantas de purificação existentes nos países pesquisados pela IEA, 188 plantas estão na Alemanha.

2.1.3 Panorama Brasileiro

Conforme a FEAM (2015) a implantação de usinas de biogás para tratamento de resíduos e efluentes já é uma realidade em diversos países do mundo, de forma a beneficiar setores industriais que geram resíduos e efluentes com alta carga orgânica. No Brasil, a digestão anaeróbia vem sendo empregada com maior expressividade para o tratamento de esgoto sanitário, tornando o país líder mundial na utilização de processos anaeróbios para o tratamento desse efluente. Outros setores, como indústria de bebidas e pecuária possuem menor expressão, mas já acumulam experiência com esta tecnologia. Entretanto, ainda são poucas as iniciativas brasileiras que realizam a utilização do biogás com finalidades energéticas. Esta situação pode ser atribuída, em parte, às barreiras econômicas, que limitam a

qualidade das instalações, que muitas vezes contam com reduzido controle operacional do processo, impactando conseqüentemente na produtividade e linearidade na geração de biogás e também pode ser atribuída às barreiras de cunho legal.

Conforme dados do Cadastro Nacional de Biogás, mantido pelo Centro Internacional de Energias Renováveis (CIBiogás) e do IEA (2015), no ano de 2015 existiam 127 plantas operando no Brasil, com uma produção total de biogás de aproximadamente 1,6 milhões de Nm³/dia, ou 3,835 GW/ano de potencial de energia. Os substratos mais utilizados são os agrícolas e resíduos industriais, com percentuais de 47% e 34%, respectivamente. Contudo, a maior quantidade de biogás gerada é em aterros sanitários, representando 43% do total gerado. O cadastro da CIBiogás classificou as unidades em 5 classes, conforme o tipo de instalação que produz o substrato para a biodigestão e conforme a própria fonte de substrato, sendo: Indústria (indústria sucroenergética, abatedouro de aves ou suínos, indústria de laticínios e indústria de alimentos e/ou bebidas); Agropecuária (suinocultura; avicultura de postura ou corte e bovinocultura de leite ou corte); Aterro sanitário (aterro sanitário); Estação de tratamento de esgoto (esgoto e lodo de esgoto); Codigestão (codigestão de resíduos e efluentes).

Segundo a Associação Brasileira de Biogás e Biometano (ABiogás, 2015) nos últimos cinco anos tem ocorrido um crescimento do biogás no cenário energético nacional. Nos âmbitos da pesquisa, desenvolvimento e difusão de referências tecnológicas, destacam-se as ações da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Há também a iniciativa de cooperação internacional coordenada pelo Ministério das Cidades com o projeto Probiogás, em cooperação com a agência alemã de cooperação internacional (GIZ). Adicionalmente, algumas iniciativas como a da Itaipu Binacional que instalou há 3 anos o Centro Internacional de Energias Renováveis - CIBiogás, para promover a difusão do biogás e biometano. Várias universidades têm também se dedicado ao tema.

No estado do Paraná existem algumas plantas dedicadas ao tratamento de resíduos agrícolas (principalmente suinocultura) e recuperação energética do biogás, porém, com tecnologias simplificadas, muitas vezes utilizando o modelo de lagoas cobertas. A Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) em parceria com a Cattalini Bioenergia está instalando a primeira planta para tratamento de lodo de esgoto, proveniente da ETE Belém, com codigestão de resíduos orgânicos de grandes

geradores. O biogás gerado pelo processo será integralmente utilizado na geração de energia elétrica, a potência instalada será de 2,8 MW. A planta está em fase de obras e deverá iniciar as atividades em 2017 (SANEPAR, 2016).

2.1.3.1 Potencial de Aplicação

Conforme a Abiogás (2015) o Brasil possui um grande potencial para uso do biogás como fonte energética, principalmente devido à disponibilidade em larga escala de biomassa e resíduos orgânicos e fatores ambientais positivos. As condições tropicais e subtropicais brasileiras conferem à produção do biogás e do biometano grande vantagem em relação a países frios, os quais necessitam otimizar ao máximo seus processos para alcançar a produção desejada, no entanto, o Brasil ainda não aproveita as vantagens que possui. A Abiogás (2015) estima o potencial de produção de biogás de maneira conservadora no Brasil em 23 bilhões de Nm³/ano, sendo 12 bilhões de cana-de-açúcar, 8 bilhões de alimentos e 3 bilhões de resíduos. Esse montante equivale a aproximadamente 11 milhões de toneladas equivalente de petróleo (tep) ao ano, ou 12 bilhões de litros equivalente de diesel.

A produção de biogás pode garantir o suprimento de energia em regiões não atendidas por gasodutos de gás natural. As redes de transporte de gás natural se concentram nas regiões costeiras e nos grandes centros urbanos, portanto, não acessível para grande parte do território nacional, principalmente as áreas de grande produção agrícola, um dos motores da economia nacional. O acesso ao gás natural nestas áreas se dá por transporte altamente custoso de GNC (gás natural comprimido). Outra fonte de combustível gasoso acessível para essas regiões é o GLP (gás liquefeito de petróleo), que tem o transporte feito por rodovias (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016b).

O uso de biometano como combustível para automóveis representa grande ganho ambiental e econômico. O Brasil possui uma frota de aproximadamente 1,7 milhões de carros movidos a GNV (Gás Natural Veicular), principalmente taxis e frotas de empresas, passível de ser substituído diretamente, sem necessidade de alteração nos respectivos motores. Este é um mercado já instalado e de grande porte (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016b). O biometano pode também substituir o diesel nas frotas de logística, permitindo reduzir a susceptibilidade à volatilidade dos preços do petróleo e do dólar, além de aumentar a competitividade do setor produtivo.

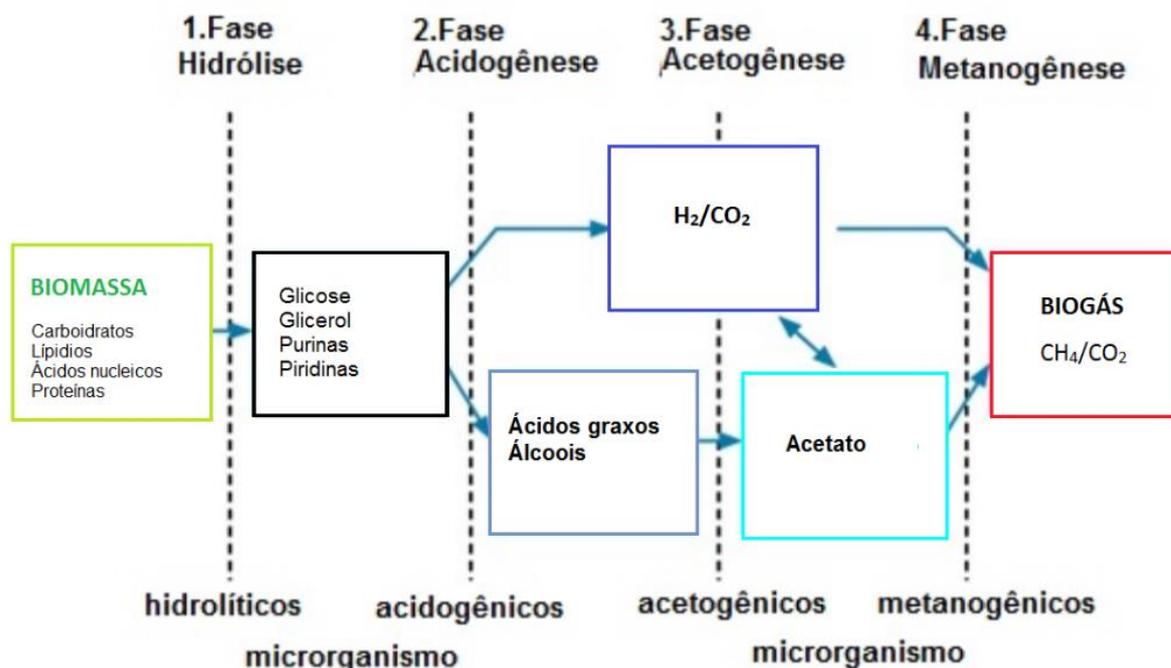
2.1.4 Descrição Geral

O processo da biodigestão de resíduos em digestores anaeróbios é similar ao processo que ocorre em aterros sanitários e em outros ambientes naturais com processos anaeróbios (PALMISANO E BARLAZ, 1996). A biodigestão consiste na fermentação anaeróbica de resíduos orgânicos úmidos para produzir metano e dióxido de carbono. Primeiramente ocorre a hidrólise dos polímeros, seguida por fermentação em ácidos orgânicos e biodegradação final em metano e CO₂. (OECD, 2010). Conforme Ostrem (2004) a hidrólise é a reação inicial que garante a sequência de todo processo, é quando ocorre a quebra dos resíduos orgânicos em açúcares simples, nesse caso glicose.

Uma grande diversidade de microrganismos está envolvida no processo anaeróbico. Na ausência de oxigênio em ambientes naturais, a decomposição do material orgânico se dá pela atividade coordenada e sequencial de um consórcio de bactérias anaeróbicas, resultando na conversão do material para metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂). Entre 70 a 80% da energia inicial dos compostos orgânicos é conservada em metano e no crescimento das bactérias, a produção de biomassa é conseqüentemente muito menor do que na decomposição aeróbica (MAHONY et al. 2002).

A biodigestão não apenas reduz o volume de resíduos orgânicos, como também produz biogás, uma fonte renovável de energia (KERROUM, MOSSAB E HASSEN, 2012). O processo ocorre em um reator selado e aquecido, chamado de digestor, onde bactérias fermentam o material orgânico na ausência de oxigênio. O aquecimento para o digestor é derivado de uma caldeira alimentada pelo metano do processo ou recuperado a partir do calor do sistema de cogeração (OECD, 2010). A biodigestão é o meio mais eficiente de geração de energia a partir de resíduos, com conteúdo de matéria seca inferior a 30% (de preferência na faixa de 5-12,5%), como esterco, lodo de esgoto, alimentos e outros resíduos úmidos orgânicos (OECD, 2010). De forma geral o processo ocorre por meio das seguintes etapas apresentadas na FIGURA 3.

FIGURA 3 - ETAPAS DO PROCESSO



FONTE: Adaptado de German Biogas Association, (2016).

Conforme FIGURA 3, Seadi et al. (2008) descrevem as etapas envolvidas no processo:

- **Hidrólise:** primeiro passo da biodigestão, durante o qual a matéria orgânica complexa (Polímeros) é decomposta em unidades menores. Durante a hidrólise, polímeros como carboidratos, lipídios, ácidos nucleicos e proteínas são convertidos em glicose, glicerol, purinas e piridinas. Microrganismos hidrolíticos excretam enzimas hidrolíticas, convertendo os biopolímeros em compostos mais simples e solúveis;
- **Acidogênese:** ocorre após a hidrólise, onde os produtos da hidrólise são convertidos pelas bactérias acidogênicas (fermentativas). Os açúcares simples, aminoácidos e ácidos graxos são degradados em acetato, dióxido de carbono e hidrogênio (70%), bem como em ácidos graxos voláteis e álcoois (30%);
- **Acetogênese:** os produtos de acidogênese, que não podem ser diretamente convertidos em metano pelas bactérias metanogênicas, são convertidos em substratos metanogênicos durante acetogênese.

Os ácidos graxos voláteis e álcoois são oxidados em substratos metanogênicos como o acetato, hidrogênio e dióxido de carbono;

- Metanogênese: durante a metanogênese, hidrogênio é convertido em metano. A acetogênese e metanogênese geralmente são executados em paralelo, como simbiose de dois grupos de organismos. A produção de metano e dióxido de carbono a partir de produtos intermediários é efetuada por bactérias metanogênicas. 70% do metano formado é originado a partir de acetato, enquanto o restante 30% é produzido a partir da conversão do hidrogênio (H) e do dióxido de carbono (CO₂).

A metanogênese é severamente influenciado pelas condições operacionais. A composição da matéria-prima, taxa de alimentação dos digestores, temperatura, e pH são exemplos de fatores que influenciam o processo metanogênese. Sobrecarga dos digestores, mudanças bruscas de temperatura ou grande entrada de oxigênio podem resultar no encerramento da produção de metano (SEADI et al., 2008).

2.1.5 Fatores de Influência

Conforme Ostrem (2004) o processo completo de digestão anaeróbica requer uma complexa interação de diversas variedades de bactérias que devem estar em equilíbrio para que o digestor permaneça estável. Mudanças nas condições operacionais e ambientais podem perturbar o equilíbrio e resultar na acumulação de compostos intermediários que podem inibir o processo global ou interrompê-lo completamente. É crucial utilizar tecnologias de controle contínuo do processo, para monitorar e ajustar o ambiente para evitar que isso ocorra. Conforme Seadi et al. (2008) os parâmetros que influenciam os processos são inúmeros, e nunca podem ser observados de forma isolada. A análise da performance de uma planta de biodigestão deve sempre ser realizada mediante uma avaliação de multicritérios.

Os fatores que afetam a produção de biogás baseiam-se principalmente nas condições de funcionamento do digestor, tais como pH e temperatura que influenciam diretamente os microrganismos (KERROUM, MOSSAB E HASSEN, 2012). A concentração de substrato e a sua composição também pode afetar o volume e a qualidade do biogás produzido.

2.1.5.1 Substratos

Os mais diversos tipos de substratos podem ser utilizados no processo de biodigestão. A única exigência é que sejam compostos por matérias orgânicas que possam ser degradadas pelos microrganismos presentes no processo (GERMAN BIOGAS ASSOCIATION, 2016). Uma grande vantagem da biodigestão é a possibilidade de uso de biomassas úmidas no processo, principalmente lodos de fontes diversas, com umidade maior que 60-70%. Recentemente, diversas culturas com potencial energético (como: grãos e milho), têm sido amplamente utilizadas como substratos para produção de biogás em países como Áustria e Alemanha (SEADI et al., 2008). Além de culturas com potencial energético, todos os tipos de resíduos agrícolas que não servem como alimento, muitas vezes devido a condições ambientais desfavoráveis e crescimento inadequado, podem ser utilizados para biodigestão.

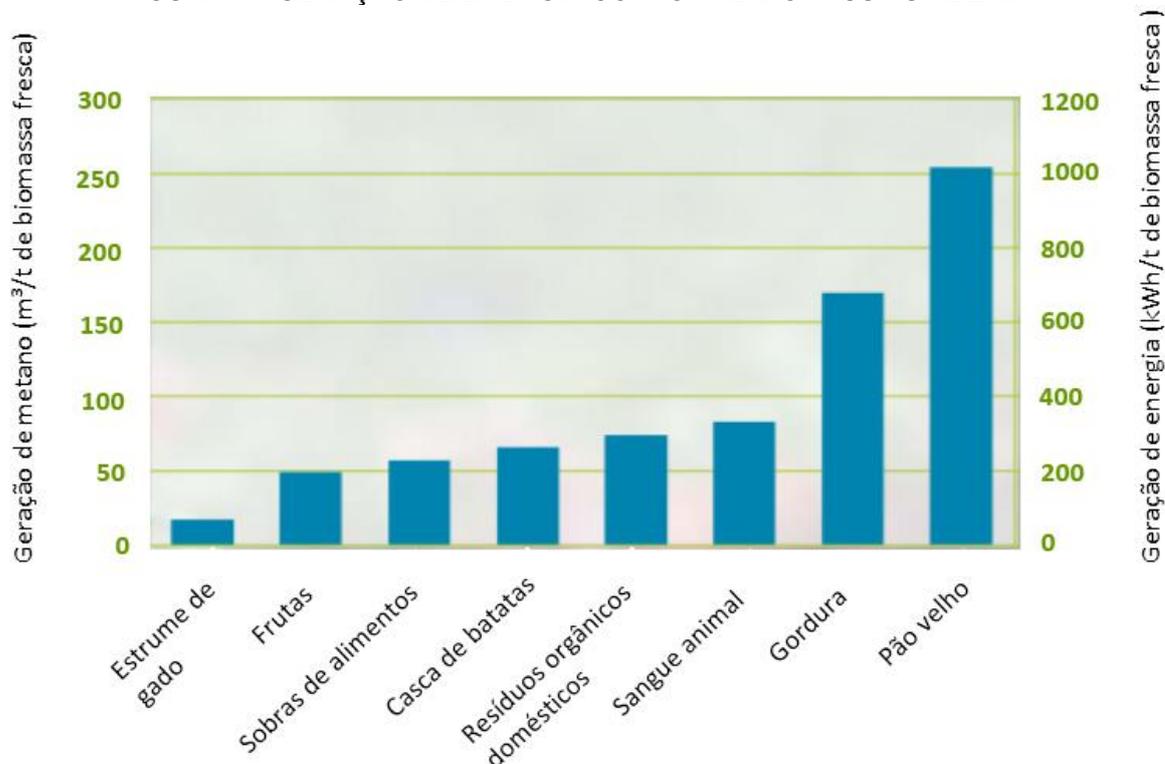
Conforme Seadi et al.(2008), uma grande variedade de substratos pode ser utilizada no processo de biodigestão. Os mais comuns são:

- Resíduos agrícolas e subprodutos (origem vegetal e animal);
- Resíduos orgânicos de indústrias alimentícias e de agroindústrias;
- Fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos e provenientes de grandes geradores (ex: shopping centers, hotéis, supermercados);
- Lodos de estações de tratamento de efluente;
- Culturas energéticas dedicadas (por exemplo: milho, trigo, girassol).

Afim de aumentar a produção de biogás no processo de biodigestão e melhorar a qualidade do resíduo do processo (material digerido), é necessário minimizar a ocorrência de componentes não-biodegradáveis e contaminantes no material a ser digerido, por meio da triagem e seleção dos resíduos (CECCHI et al. 1992). Conforme Kerroum, Mossaab e Hassen (2012) o tipo e a composição do substrato determinam diretamente a qualidade e quantidade do biogás gerado. Na biodigestão, o substrato é geralmente avaliado em função da DQO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) ou dos STV (Sólidos Totais Voláteis). A FIGURA 4 apresenta

a geração de metano e conseqüente geração de energia, em função da biomassa utilizada.

FIGURA 4 - GERAÇÃO DE ENERGIA CONFORME BIOMASSA UTILIZADA



FONTE: Adaptado de German Biogas Association (2016)

Observa-se que a geração de metano varia muito conforme a biomassa utilizada no processo. De acordo com a *German Biogas Association* (2016), a composição de cada biomassa, principalmente no que diz respeito à presença de proteínas, gorduras e carboidratos, impacta diretamente na geração de metano, como é o caso do pão, no qual a grande quantidade de carboidratos resulta em alta geração de metano por tonelada.

2.1.5.2 Temperatura e pH

A temperatura do processo é um dos fatores mais cruciais na geração de biogás. Existe distinção entre as diferentes faixas de temperatura que operam os sistemas. Entre 30 °C e 38 °C classifica-se como mesófilos, entre 50°C e 57°C como termófilos (Metcalf e Eddy, 2003). Conforme aumenta a temperatura, diminui-se o tempo de retenção no processo. Sistemas termofílicos garantem maior geração de

biogás, mas requer maior controle operacional, tecnologias mais caras e maior alimentação energética. Tipicamente em torno de 30-60% da massa de entrada é convertida em biogás, sendo que taxas maiores de conversão dependem de maior tempo de residência (OECD 2010). Uma vantagem do processo em temperaturas mais baixas é a economia de energia térmica a ser adicionada para que o processo ocorra, porém, o potencial de geração de metano é muito baixo. Conforme a *German Biogas Association* (2016) no caso de biodigestão de resíduos de origem animal, são necessárias altas temperaturas, acima de 50°C, durante o tempo de retenção do processo, para garantir a higienização de patógenos. Caso a biodigestão opere em faixas inferiores de temperatura, podem ser utilizados processos complementares, como a pasteurização com temperaturas acima de 70°C por pelo menos uma hora, ou ainda a compostagem, que usualmente atinge temperaturas acima de 50°C.

O pH, por sua vez, é um indicador primário do processo de biodigestão e varia em função das converções biológicas durante as etapas da biodigestão. Um pH estável indica equilíbrio e estabilidade do sistema. Um baixo pH pode indicar acúmulo de ácidos e instabilidade nos digestores. A variação na taxa de produção de biogás é o principal parâmetro que demonstra mais diretamente a instabilidade dos digestores do que a variação pH (OSTREM, 2004). O maior complicador que pode ocorrer, é o acúmulo de acidez no sistema. Conforme Kerroum, Mossaab e Hassen (2012) a faixa ideal de pH é entre 5,5 e 8,5. Quanto mais próximo do neutro, maior a chance das bactérias metanogênicas desempenharem da forma adequada seu papel.

2.1.5.3 Tempo de Retenção Hidráulica

Conforme Ostrem (2004) o tempo no qual o substrato permanece nos digestores é conhecido como tempo de retenção ou tempo de residência. Ele é determinado pela média de tempo que leva para que o material orgânico seja digerido, medido por meio do DQO e DBO do efluente gerado. Conforme Metcalf e Eddy (2003), as reações do processo estão diretamente ligadas ao tempo de retenção hidráulica. Existe um tempo de reação mínimo necessário para cada reação. Se esse tempo mínimo não é atendido, as bactérias não conseguem crescer o suficiente e a digestão será afetada. Quanto mais tempo o substrato é mantido sob condições adequadas de reação, mais completa será a degradação.

A taxa de reação, porém, diminuirá conforme é aumentado o tempo de reação, de forma a indicar que existe um tempo ideal que alcançará os benefícios da biodigestão de forma economicamente viável, já que isso interfere diretamente nas dimensões dos digestores. O tempo de retenção hidráulica ideal depende do substrato, das condições ambientais, e o uso pretendido a ser dado ao digestado (OSTREM, 2004). Diversas práticas são utilizadas para reduzir o tempo de retenção sem comprometer o resultado, entre elas a mistura contínua da massa dos digestores e o baixo percentual de sólidos na mistura de entrada no processo (SEADI et al., 2008).

FIGURA 5 - PRODUÇÃO DE BIOGÁS CONFORME TEMPO DE RETENÇÃO.



FONTE: Adaptado de Seadi et al. (2008)

Conforme FIGURA 5, a produção de biogás atinge seu máximo próximo ao sexto dia, após isso ocorre um decréscimo da produção, até estabilizar, próximo ao trigésimo dia de processo. Esse comportamento varia conforme o substrato utilizado. Por isso a necessidade de adaptar o tempo de retenção conforme a taxa em que o material é digerido (SEADI et al., 2008).

2.1.5.4 Diferentes Tecnologias

Conforme Bouallaguia et al. (2005), o *design* do reator tem um forte efeito sobre o desempenho do processo. Novos modelos de reatores foram adaptados e

desenvolvidos, permitindo uma taxa significativamente mais elevada de reação por unidade de volume de reator. Processos anaeróbios diferentes, tais como por batelada, fase única e contínua, e duas fases contínuas, com uma variedade de tipos de tanques como: reatores de mistura contínua (*Continuous Flow Stirred Tank Reactor* - CSTR), lagoas otimizadas, reator anaeróbio sequencial em batelada (*Advanced Sequencing Batch Reactor* - ASBR), reatores anaeróbios de manta de lodo e fluxo ascendente (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket* - UASB) e reatores de metanização seca (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016a). Estes processos diferem principalmente na maneira como os microrganismos são mantidos no biorreator e a separação entre as bactérias, de forma a reduzir as limitações da digestão anaeróbica (BOUALLAGUIA, 2005).

Conforme Arsova (2010) existem diferentes tecnologias disponíveis no mercado, aplicadas ao tratamento de resíduos através da biodigestão. Estes sistemas diferem de acordo com o *design* dos digestores e dos parâmetros operacionais. O design dos digestores depende dos resíduos que serão processados e varia entre sistemas muito simples e fáceis de manter, como os utilizados nas áreas rurais da China e Índia, até sistemas muito complexos e automáticos, utilizados para o tratamento de resíduos orgânicos. Os substratos determinam a necessidade e o tipo de pré-tratamento necessário ao processo de biodigestão. No caso de tratamento de resíduos sólidos urbanos o pré-tratamento é geralmente grande parte da planta, com alto investimento e é fundamental, a fim de separar a parcela orgânica para o processo da biodigestão, e garantir a seleção dos materiais recicláveis (ARSOVA 2010).

2.1.6 Produtos do Processo

O processo de biodigestão possui dois fluxos de saída (METCALF E EDDY, 2003):

- Biogás: mistura gasosa com alto potencial energético, que é coletada, processada e enviada para cogeração, com vistas a produção de energia elétrica e energia térmica, ou então para sistema de purificação e geração de biometano;
- Material digerido: formado pelo resultado da degradação da matéria orgânica por meio de processos biológicos realizados por microrganismos em ambiente anaeróbico.

2.1.6.1 Biogás

A quantidade de produção de biogás varia em função nos substratos utilizados, da operação e da concepção do processo. O biogás é um gás combustível constituído por metano e dióxido de carbono e uma pequena quantidade de outros gases e elementos traço. Dependendo do tipo de substrato utilizado, a quantidade de metano varia entre 50% a 70% do biogás e a quantidade de dióxido de carbono entre 30% a 45% do biogás. O restante é composto por pequenas quantidades de outros componentes como água, oxigênio, ácido sulfídrico e outros compostos de enxofre (GERMAN BIOGAS ASSOCIATION, 2016).

O biogás pode ser usado em uma variedade de formas: para gerar eletricidade, como combustível para caldeira, aquecedor, equipamento de refrigeração, automóveis ou para cozinhar (KERROUM, MOSSAB E HASSEN, 2012). A utilização do biogás gerado no processo requer ainda a sua limpeza, secagem ou outro processamento para atender a um uso específico. Caso o biogás não seja aproveitado deverá ser direcionado à queimadores emergenciais para abater o metano, e garantir a emissão apenas de CO₂ (EPA 2015). A utilização do biogás para geração de energia é realizada por meio do seu direcionamento à caldeiras, microturbinas ou sistema de cogeração, conforme FIGURA 6.

Caso o uso pretendido seja como combustível, ou seja, como biometano, então o biogás deverá passar pelo processo de purificação (*upgrading*). O processo de purificação do biogás em biometano exige um tratamento intenso do biogás para atender as exigências de comercialização do biometano. Ao contrário do processo de limpeza para aproveitamento para geração de energia, apenas a remoção de ácido sulfídrico (H₂S) não é suficiente para comercialização como biometano, sendo necessários sistemas que removam também compostos organo-halogenados, CO₂, amônia, O₂ e metais (VISMARA et al., 2011).

FIGURA 6 – EXEMPLO DE USO DO BIOGÁS EM SISTEMA DE COGERAÇÃO



FONTE: AMS Bioenergy (2016)

2.1.6.2 Material Digerido

O material digerido ou digestado, é o substrato decomposto, rico em macro e mini nutrientes. Mais de 90% dos nutrientes que entram nos digestores anaeróbicos ficam retidos nele, podendo, portanto, ser utilizado como um condicionador de solo e fertilizante agrícola (OECD, 2010). Entretanto, conforme Vallini et al. (1993), esse material geralmente deve passar por um processo de separação da fase líquida e sólida, para encaminhamento da fração sólida para um processo de compostagem aeróbia a fim de viabilizar o uso do composto final como corretor de solo ou fertilizante. Conforme a *German Biogas Association* (2016) o material digerido, como saí do processo, pode também ser aplicado diretamente como fertilizante líquido sem passar por um processo separação ou de compostagem da fração sólida, porém isso depende do substrato utilizado no processo de biodigestão (o que reflete diretamente na qualidade do material de saída), da legislação local e da cultura agrícola sob a qual será aplicado.

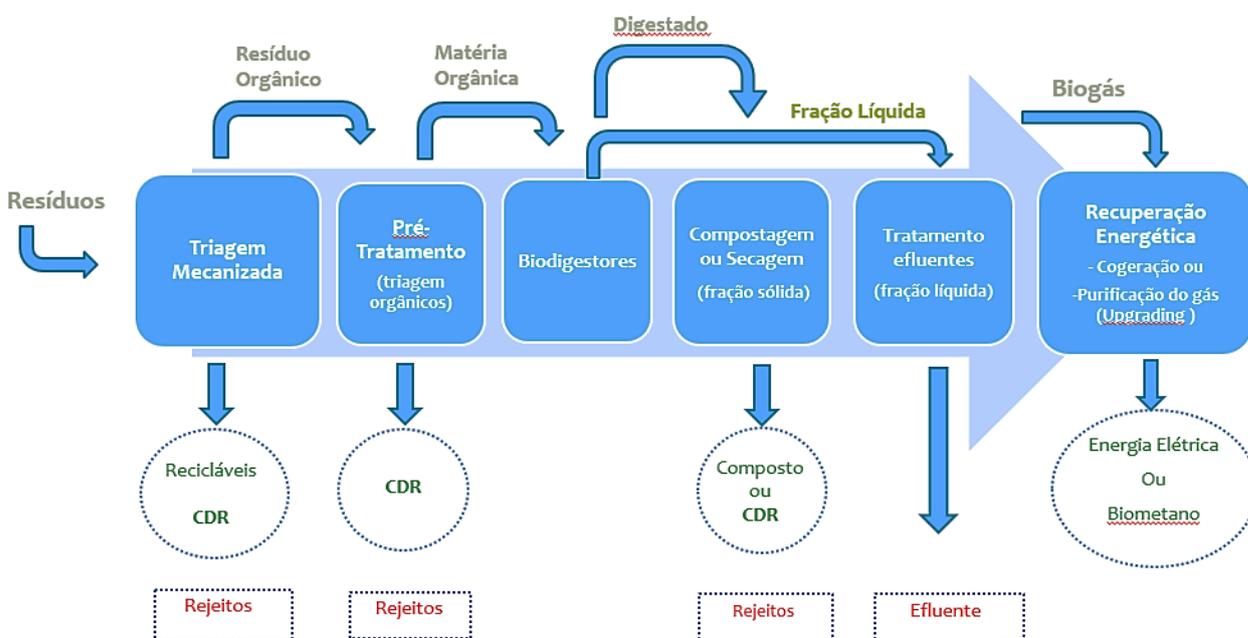
Na impossibilidade de se utilizar diretamente o material digerido, o processo de compostagem da fração sólida do mesmo poderá garantir que o material alcance os padrões ambientais e agrícolas exigidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Vale ressaltar que o processo de compostagem é apenas um processo complementar à degradação do material digerido, já que este material já terá

sido submetido ao tratamento biológico da biodigestão, conforme tempo de retenção adotado. Em caso de separação da fração líquida e sólida para realização de pós-tratamento da parcela sólida, a fração líquida deverá ser submetida ao tratamento antes de poder ser lançada em corpos hídricos (EPA, 2015). A biodigestão por si só não garante a produção de um efluente que atenda os padrões de lançamento estabelecidos na maioria dos países industrializados, principalmente devido à DQO e Nitrogênio (BOUALLAGUIA et al., 2005). Portanto, esse efluente deverá ser encaminhado à estação de tratamento de efluente para permitir o posterior lançamento em corpo hídrico, conforme padrões estabelecidos na legislação e no licenciamento ambiental.

2.1.6.3 Fluxograma Entradas e Saídas

A FIGURA 7 apresenta um fluxograma de entradas e saídas de um processo de biodigestão, contemplando etapa de triagem e pré-tratamento de resíduos:

FIGURA 7 - FLUXOGRAMA DE UM PROCESSO DE BIODIGESTÃO



FONTE: Autora (2017)

Nesse modelo é contemplada a etapa de triagem e pré-tratamento, prevendo recebimento de resíduos com alto grau de mistura e contaminação (ex: resíduos

sólidos urbanos), sendo necessário prévia separação do material orgânico para posterior encaminhamento do mesmo para os digestores. A fração líquida do material de saída dos digestores é destinada à estação de tratamento de efluentes para atender os limites de lançamento em corpos hídricos. Poderá ser utilizada como fertilizante líquido caso atenda aos padrões ambientais e agrícolas exigidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). A fração sólida do digestado é encaminhada para compostagem, com mistura com material verde para garantir o balanço de carbono e nitrogênio adequado para realização do processo. Podem ser aplicados outros processos de pós-tratamento dessa fração sólida, como a secagem. Nesse modelo também é prevista a seleção de materiais recicláveis para a comercialização ou então produção de Combustível Derivado de Resíduos (CDR). Além dos produtos do processo (biogás e digestado), são gerados rejeitos e efluentes na etapa de triagem, pré-tratamento, compostagem e ETE.

Ao longo do processo, podem ocorrer variações de entradas e saídas, que dependem principalmente dos substratos admitidos na planta, da concepção do projeto e dos usos pretendidos e permitidos aos materiais de saída.

2.1.7 Medidas de Controle Ambiental

Conforme Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais (FEAM, 2015), a implantação e operação de uma planta de biodigestão é uma atividade potencialmente poluidora. Trata-se de uma instalação industrial que associa a recepção e o tratamento de resíduos sólidos e líquidos, a produção e valorização energética do biogás e o processamento e expedição do material digerido. Os projetos devem ser cuidadosamente desenvolvidos e a operação deve ser realizada de forma adequada, de modo a reduzir os possíveis impactos ambientais. Por isso a importância do licenciamento ambiental como instrumento de controle ambiental.

Uma planta completa de biodigestão de resíduos possui diversos pontos de geração de resíduos sólidos, emissões atmosféricas, efluentes e ruídos. A conservação e manutenção dos tanques, tubulações, máquinas e equipamentos é fundamental para garantir que não ocorram vazamentos e conseqüente contaminação ambiental. Durante a operação devem ser realizadas inspeções periódicas para avaliar a necessidade de manutenções ou reparos (FEAM, 2015).

As etapas do processo devem ser avaliadas de forma cuidadosa, para definição das medidas de controle necessárias. O QUADRO 1 apresenta o resumo dos aspectos ambientais, dos pontos e fontes de geração, medidas de controle necessárias e formas de implementação dessas medidas. Vale ressaltar que foram levantados os possíveis pontos de geração, para uma planta completa de biodigestão para tratamento de resíduos sólidos.

QUADRO 1 - ASPECTOS AMBIENTAIS E RESPECTIVAS MEDIDAS E FORMAS DE CONTROLE AMBIENTAL

Continua

Aspectos Ambientais	Fontes Geração	Medidas de Controle	Formas/Estruturas de Controle
Emissões Atmosféricas	Odor: <ul style="list-style-type: none"> • Manipulação e o armazenamento do substrato (Triagem, Pré-tratamento, tanque de carga) • Manipulação e o armazenamento do material digerido (compostagem ou secagem composto) 	<ul style="list-style-type: none"> • Confinamento dos pontos de geração, sucção do ar atmosférico dessas áreas e direcionamento a um sistema de tratamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Barracões/galpões ou utilização de reservatórios fechados. • Tratamento por oxidação térmica, biofiltração ou oxidação química (lavadores de gases).
	Demais emissões atmosféricas: <ul style="list-style-type: none"> • Pontos de queima do biogás (queimadores das caldeiras, CHP, Microturbina) • Queimador de segurança (flare). • Sistema de <i>upgrading</i> (purificação do biogás em biometano) • Sistema de secagem do digestado (composto orgânico) • Circulação de veículos e maquinários 	<ul style="list-style-type: none"> • Minimização e abatimento das emissões: <ul style="list-style-type: none"> ○ material particulado ○ monóxido de carbono ○ óxidos de nitrogênio ○ dióxido de enxofre ○ hidrocarbonetos. • Sistemas de tratamento de emissões • Umidificação das vias de acesso 	<ul style="list-style-type: none"> • Limpeza do biogás antes do envio para recuperação energética (por meio de torre de dessulfurização, e/ou filtros de carvão ativado) • Equipamentos de queima do biogás (queimadores das caldeiras, CHP, Microturbina) regulados e calibrados • Queimador de segurança adequado • Tratamento dos gases nas saídas do sistema de <i>upgrading</i> e secador do digestado (através de oxidação química /lavadores de gases ou separação por membrana, filtração por carvão ativado) • Veículos e maquinários adequados, com manutenção e revisões em dia

continuação

Aspectos Ambientais	Fontes Geração	Medidas de Controle	Formas/Estruturas de Controle
Efluentes	<ul style="list-style-type: none"> • Saída Digestores • Lixiviado das áreas de estocagem e pré-tratamento dos resíduos orgânicos • Lixiviado vindo da área de armazenamento do material digerido • Águas de lavagem das áreas de armazenamento e serviços; • Lixiviado dos biofiltros ou outros sistemas de tratamento de gases (odor); • Condensado proveniente das torres de lavagem/limpeza de biogás. • Condensado do lavador de gases (secador do digestado) • Condensado do lavador de gases (<i>upgrading</i>) • Esgoto sanitário de estruturas auxiliares (ex: vestiário, laboratório, refeitório, prédio administrativo) 	<ul style="list-style-type: none"> • Máxima recirculação possível de efluentes no próprio processo (minimização da geração de efluentes) • Tratamento dos efluentes • Direcionamento dos lixiviados ricos em matéria orgânica para tanques de biodigestão, para incorporação no próprio processo. • Efluentes da lavagem de piso e equipamentos contaminados com óleos, sabão, e outros materiais que devem ser evitados na biodigestão, deverão ser enviados diretamente ao sistema de tratamento de efluentes do processo • Efluentes da torres de lavagem serão encaminhados para a compostagem , já que são ricos em NH3 e sulfatos. • Esgoto sanitário: encaminhamento para a rede de tratamento público ou em caso de inexistência de rede deverá ser instalado sistema de tratamento no local 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de coleta e drenagem de efluentes • Realização de inspeções e manutenções periódicas nas tubulações e bombas de condução de líquidos • Sistema de tratamento de esgoto sanitário • Estação de Tratamento de Efluentes
Resíduos/ Rejeitos	<ul style="list-style-type: none"> • Resíduos da triagem • Resíduos do pré-tratamento • Digestado - Saída Digestores • Lodo – Estação de Tratamento de Efluente • Resíduos da compostagem (inertes) • Resíduos sanitários e de escritórios de estruturas auxiliares (ex: vestiário, laboratório, refeitório, prédio administrativo) • Resíduos da manutenção de equipamentos 	<ul style="list-style-type: none"> • Acondicionamento e armazenamento adequados • Minimização de resíduos • Produção de CDR – Combustível Derivado de Resíduos • Produção de composto orgânico • Reaproveitamento do lodo da ETE no processo (ex: compostagem) ou destinação ambientalmente adequada • Destinação final ambientalmente adequada dos demais rejeitos 	<ul style="list-style-type: none"> • Armazenamento em locais locais cobertos com piso impermeabilizado e em containers/recipientes adequados • Destinação de rejeitos à aterros sanitários ou industriais licenciados • CDR da triagem ou composto orgânico seco destinado para coprocessamento ou outras formas de aproveitamento energético licenciadas • Uso agrícola (composto orgânico)

conclusão

Aspectos Ambientais	Fontes Geração	Medidas de Controle	Formas/Estruturas de Controle
Ruídos	<ul style="list-style-type: none"> • Movimentação de veículos pesados • Operação de equipamentos: <ul style="list-style-type: none"> ○ Compressores ○ Bombas ○ Equipamentos de queima do biogás 	<ul style="list-style-type: none"> • Minimização dos ruídos • Distanciamento máximo dos locais com concentração maior de funcionários ou dos locais próximos das residências do entorno 	<ul style="list-style-type: none"> • Instalação de cortina vegetal • Uso de equipamentos mais silenciosos e de cabines acústicas. • Uso de protetores auriculares (segurança dos operadores da planta) • Manutenção periódica e lubrificação das engrenagens de correias transportadoras, pontes rolantes e outros equipamentos para a movimentação de cargas

FONTE: Adaptado de GIZ (2010), FEAM (2015), e German Biogas Association (2016).

Conforme apresentado no QUADRO 1, o controle do odor pode ser feito por meio do tratamento por oxidação térmica, biofiltração ou oxidação química. De acordo com FEAM (2015) na oxidação térmica, ocorre a queima dos compostos causadores de odor, porém é uma tecnologia geralmente aplicada para controle de odores gerados por compostos orgânicos voláteis (COVs). Já a biofiltração remove o odor capturando os compostos odoríferos num leito filtrante onde são oxidados por microrganismos. Biofiltros são os equipamentos mais utilizados nas usinas de biogás para controle de odor, geralmente é utilizada uma combinação de meio suporte orgânico e inorgânico, sendo a parte orgânica usualmente composta por turfa, cavaco de madeira ou fibra de coco e a parte inorgânica geralmente por brita. Já o processo de desodorização por oxidação química remove uma grande variedade de compostos que causam odor, sendo realizada com a utilização de lavadores de gases (leito fixo, névoa ou Venturi) projetados de modo a maximizar o contato entre os compostos odoríferos do fluxo de ar/gás com a solução química (GERMAN BIOGAS ASSOCIATION, 2016).

O controle de emissões atmosféricas do processo em si, por sua vez, é realizado nas saídas de sistemas *upgrading*, de secagem do digestado e na saída dos motores de queima (quando existentes). O controle nas saídas do *upgrading* do

biogás e secagem do digestado é realizado geralmente através da utilização de processos como oxidação química por meio de lavadores de gases ou separação por membrana, ou filtração por carvão ativado, entre outros (GIZ, 2010). Já o controle das emissões dos motores de queima é realizado a partir da limpeza prévia do biogás para posterior queima nos equipamentos adequados (queimadores das caldeiras, *Combined Heat and Power*, Microturbina), regulados e calibrados, provendo a quantidade ideal de oxigênio no processo de queima e com componentes necessários para abatimento e minimização de possíveis emissões. Qualquer excedente de biogás deve ser enviado para um sistema de queimador de segurança (FIGURA 8) para queima em situações esporádicas, como manutenção do motor do cogenerador ou situações emergenciais. Deve ser controlada a eficiência e funcionamento do queimador, a fim de garantir a queima e abatimento do metano.

FIGURA 8 – SISTEMA DE QUEIMADOR EMERGENCIAL



FONTE: AMS Bioenergy (2016).

O sistema de limpeza do biogás baseia-se na purificação por um sistema de remoção de sulfeto de hidrogênio (H_2S), por meio da dessulfurização biológica (FIGURA 9), química ou com sistema de adsorção através de carvão ativado ou outra

estrutura adsorvente (VISMARA et al., 2011). Este passo é crítico para garantir a longevidade do motor utilizado. A remoção do H_2S elimina os efeitos corrosivos que seriam gerados no motor e evita a produção de dióxido de enxofre (SO_2) durante a combustão (PROBIOGÁS, 2015). Outro gás que pode vir a ser formado no processo de biodigestão e que pode danificar o motor durante a combustão é o siloxano (subgrupo de compostos de sílica). A geração de siloxanos está associada à processos de biodigestão que contemplam o recebimento de resíduos do setor de cosméticos como shampoos, pastas de dentes, cremes, entre outros. Caso necessária a remoção de siloxanos, a mesma pode ser realizada por meio de filtros de carvão ativado (VISMARA et al. 2011).

FIGURA 9 - TORRE DE DESSULFURIZAÇÃO



FONTE: AMS Bioenergy (2016).

A transformação da energia química do biogás em energia mecânica, térmica e/ou elétrica, como ocorre nos motores utilizados para queima, diminui o potencial poluidor do biogás, já que o metano é convertido em dióxido de carbono. Entretanto, os motores são fontes de emissão de poluentes atmosféricos como material particulado, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, dióxido de enxofre e

hidrocarbonetos (FEAM, 2015). Deverão ser atendidos os limites de emissão desses parâmetros, conforme legislação vigente.

No que diz respeito ao digestado, saída principal do processo de biodigestão, conforme já citado no capítulo anterior, esse material deverá passar por processo de separação da fase líquida e sólida, caso não seja possível a aplicação do digestado bruto como fertilizante. No caso da fração líquida, esta deverá ser submetida à processo de tratamento adequado, já que terá alta concentração de nutrientes como nitrogênio (N) e fósforo (P), que podem causar crescimento acelerado de algas e consequente eutrofização de corpos hídricos caso descartados de forma irregular no ambiente (EPA 2015). A etapa de tratamento do efluente gerado deve ser vista com cuidado para garantir sua eficácia. O sistema de tratamento por *Sequency Batch Reaction* (SBR) ou Tratamento Sequencial por Batelada pode ser aplicado de forma satisfatória para remover a alta carga orgânica e de Nitrogênio (BOUALLAGUIA et al., 2005)

No caso da fração sólida, obtida após a separação, as principais formas de utilização desse material são o uso agrícola, uso energético ou disposição final em aterros. O uso agrícola pode ser considerado a forma mais sustentável, pois promove a reciclagem de nutrientes, a reincorporação ao solo e reduz a demanda por fertilizantes minerais extraídos de fontes não renováveis. Contudo, o uso agrícola só é viável muitas vezes com o pós-tratamento aeróbio por compostagem, já que esse processo permite atender os parâmetros agrônômicos necessários (VALLINI et al., 1993). O composto final deve ser controlado para garantir a qualidade do material quanto aos teores de matéria orgânica, concentração de nutrientes e ausência de patógenos e metais pesados (DI CIAULA et al., 2015).

Dependendo do substrato utilizados (como: matadouros, frigoríficos, processamento de leite) um dos pontos mais críticos para garantir a qualidade do material final é certificar-se que ocorreu a higienização e eliminação de possíveis organismos prejudiciais à saúde. Conforme Ministério das Cidades (2016a) o processo de higienização pode ser feito por meio da inclusão de um tratamento térmico antes ou depois da digestão anaeróbia. A compostagem do digestado pode alcançar altas temperaturas, sendo algumas vezes utilizada também como técnica para eliminação de patógenos. Outros usos possíveis para aproveitamento desse material caso não se alcance os padrões ambientais e agrícolas exigidos pelo MAPA é o uso de secador para produção de digestado seco para uso energético como

Combustível Derivado de Resíduos (CDR), ou como cobertura das células de aterros sanitários. Caso nenhum dos usos descritos seja possível, o material digerido deverá ser destinado para aterros licenciados para disposição final como rejeito.

Outro controle ambiental necessário na atividade de biodigestão é o controle de ruído. Os equipamentos de aproveitamento energético e de queima do biogás representam um ponto significativo de geração de ruídos. Nesse sentido, o local para instalação dos equipamentos mais críticos deve ser cuidadosamente avaliado, para evitar distúrbios aos próprios funcionários e a possíveis residências próximas (FEAM 2015).

2.1.7.1 Esquema Ilustrativo das Medidas de Controle

Para ilustrar as medidas de controle ambiental é apresentado um esquema ilustrativo das etapas e estruturas/instalações necessárias em uma planta de biodigestão de resíduos sólidos, contemplando desde a recepção até o tratamento necessário às saídas do processo (FIGURA 10).

FIGURA 10 - ETAPAS DO PROCESSO E INSTALAÇÕES NECESSÁRIAS



FONTE: Adaptado de German Biogas Association, (2016).

Vale ressaltar que existem diferentes tecnologias disponíveis no mercado para processo de biodigestão, com diversas variantes operacionais, conforme já descrito no item 2.1.3. Essas variantes fazem com que o processo de biodigestão não seja único, e que as saídas previstas e medidas de controle ambiental necessárias possam ser muitas vezes simplificadas, quando comparadas ao QUADRO 1, sendo fundamental uma análise caso a caso. Os dados encontrados na bibliografia para tratamento de resíduos por biodigestão na sua maioria detalham a aplicação de sistemas úmidos e processos contínuos e centralizados. Os sistemas úmidos são operados com baixa porcentagem de sólidos totais, e acarretam na maior geração de efluentes. Portanto, o esquema ilustrativo da FIGURA 10 e o QUADRO 1 se baseiam em sistemas completos, com alto nível de controle ambiental. Os levantamentos realizados e os critérios e diretrizes elaborados, contemplaram os impactos ambientais e medidas de controle necessárias, prevendo as situações mais críticas.

3 METODOLOGIA

3.1 ELABORAÇÃO DA MATRIZ ORIENTATIVA

Inicialmente, foi realizado o levantamento dos aspectos técnicos do processo de biodigestão de resíduos sólidos, principalmente no que diz respeito a forma como ocorre o processo, as estruturas necessárias e as entradas e saídas, para então determinar os aspectos e impactos ambientais inerentes à atividade e as medidas de controle ambiental necessárias.

Após a avaliação do processo e das medidas de controle ambiental necessárias foi pesquisada a legislação vigente Estadual (Paraná) e Federal aplicável à biodigestão de resíduos sólidos. A pesquisa foi realizada online, em *sites* de busca e nos *sites* dos órgãos estaduais e federais responsáveis pelos instrumentos legais. Uma relação dos pontos legais a serem observados durante a concepção, instalação e operação de uma planta de biodigestão foi então obtida, visando sua avaliação e controle.

A legislação aplicável foi dividida em cinco áreas:

- Geral - Contexto do empreendimento (Resíduos sólidos/ saneamento/ energia renovável);
- Licenciamento ambiental (Critérios/ Diretrizes Gerais);
- Controle ambiental: emissões atmosféricas, efluentes, ruídos e resíduos;
- Aspectos locacionais: fauna, flora, arqueologia, zoneamento municipal;
- Regulamentação dos subprodutos (composto orgânico, CDR biogás/biometano e energia elétrica).

A legislação levantada foi então incluída em uma matriz orientativa. Na última coluna da matriz foi detalhada a forma de aplicabilidade de cada uma das normativas listadas. Para as normativas com critérios mais genéricos, que não são diretamente aplicáveis à digestão anaeróbia de resíduos sólidos, foi inserido o texto “critérios gerais”. Para as normativas que possuem diretrizes e critérios de ordem ambiental, diretamente aplicáveis ao licenciamento ambiental de plantas de biodigestão, foi detalhado no campo de aplicabilidade a forma como se dá essa aplicação. Nesta etapa do estudo, utilizou-se como referência a Resolução mais recente do Conselho

Estadual de Meio Ambiental (CEMA), que estabelece diretrizes e critérios para licenciamento ambiental de uma atividade específica, como é o caso desse estudo. Utilizou-se então a Resolução CEMA nº 094/2014, que é a mais recente e que dispõe sobre o licenciamento de aterros sanitários. Com base nessa Resolução foi possível entender quais critérios devem necessariamente ser incluídos e contemplados para o licenciamento ambiental de plantas de biodigestão.

Vale ressaltar que a matriz criada tem um uso e aplicação ainda mais amplo do que apenas subsidiar a definição dos critérios a serem propostos para o licenciamento ambiental estadual, já que reúne toda a base legal acerca do tema e serve de base para interessados e envolvidos na atividade de biodigestão, indicando todos os pontos que devem ser atendidos.

3.2 DEFINIÇÃO DE NOVOS CRITÉRIOS E DIRETRIZES ESPECÍFICOS

Com base na Resolução CEMA nº 094/2014 e na matriz elaborada, foi possível, na sequência, identificar os critérios e diretrizes inexistentes e faltantes, que deveriam ser elaborados, sendo eles os seguintes:

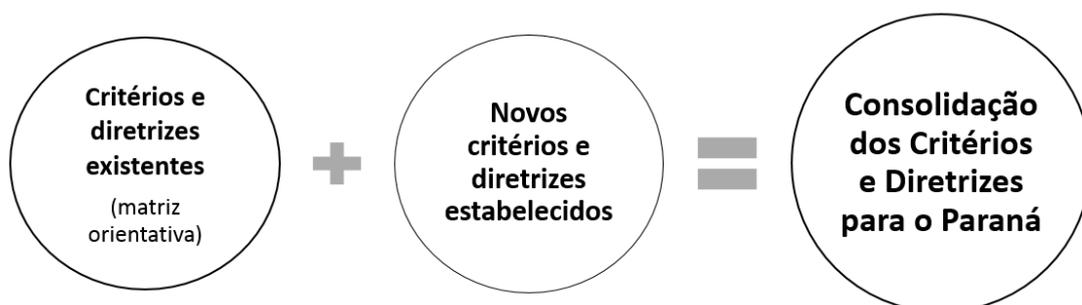
- Definição de critérios para porte (micro, pequeno, médio, grande, excepcional);
- Definição das modalidades do licenciamento (procedimento administrativo);
- Definição da necessidade de EIA-RIMA;
- Definição de critérios locacionais.

Para a elaboração desses novos critérios foi pesquisada a legislação de outros estados a fim de avaliar se existiam critérios para esses itens faltantes, que pudessem ser utilizados como referência. No que diz respeito à definição de porte, suas respectivas modalidades de licenciamento e exigência de EIA-RIMA foram utilizados como base principalmente os critérios existentes na Bahia e em Santa Catarina, que são específicos para atividade de tratamento biológico e biodigestão de resíduos respectivamente. Além da avaliação em outros estados, foi realizado o levantamento de possíveis definições existentes no estado do Paraná, voltadas à outras atividades de tratamento e disposição final de resíduos sólidos, porém, que também poderiam servir de base para estabelecer os critérios específicos para biodigestão. Também

foram pesquisadas as licenças ambientais já emitidas no estado do Paraná para plantas de biodigestão de resíduos, para avaliação das quantidades máximas diárias licenciadas de resíduos sólidos sem exigência de EIA-RIMA.

Por fim, foram unificados os critérios aplicáveis já existentes (conforme matriz orientativa elaborada) com os novos critérios e diretrizes estabelecidos com base nas referências encontradas, viabilizando então a consolidação e listagem de todos os pontos necessários para o licenciamento ambiental de plantas de biodigestão no estado do Paraná. A FIGURA 11 apresenta um esquema com as principais etapas descritas na metodologia.

FIGURA 11 – PRINCIPAIS ETAPAS DO ESTUDO



FONTE: Autora (2017)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MATRIZ DE APLICABILIDADE DOS CRITÉRIOS EXISTENTES

A matriz orientativa elaborada, com a relação de leis, decretos, resoluções, instruções normativas, portarias e demais instrumentos legais aplicáveis às plantas de biodigestão no estado do Paraná é apresentada no QUADRO 2.

QUADRO 2 - MATRIZ COM A BASE LEGAL ESTADUAL E FEDERAL APLICÁVEL À ATIVIDADE DE BIODIGESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

continua

Contexto	Área	Legislação	Descrição	Aplicabilidade
Geral - Contexto empreendimento	Resíduos/ Saneamento/ Energia Renovável	Lei Estadual nº 12493/1999	Estabelece princípios, procedimentos, normas e critérios referentes a geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos no Estado do Paraná (Política Estadual De Resíduos Sólidos).	Critérios gerais
		Decreto Estadual nº 6674/2002	Aprova o Regulamento da Lei n 12.493, de 1999, que dispõe sobre princípios, procedimentos, normas e critérios referentes à geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final dos Resíduos Sólidos no Estado do Paraná, visando o controle da poluição, da contaminação e a minimização de seus impactos ambientais e adota outras providências.	Quando da solicitação de licenciamento ambiental ou de sua renovação junto ao Instituto Ambiental do Paraná – IAP, deverá a atividade geradora de resíduos sólidos apresentar Plano de Gerenciamento, contemplando as atividades de geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, reutilização, reciclagem, tratamento e/ou destinação final dos resíduos sólidos.
		Resolução CEMA nº 050/2005	Proíbe, no Estado do Paraná, o armazenamento, o tratamento e/ou a disposição final de resíduos radioativos e explosivos; o armazenamento, o tratamento, o coprocessamento em fornos de cimento e/ou a disposição final de quaisquer tipos de resíduos de organoclorados, agrotóxicos e domissanitários, seus componentes e afins oriundos de outros Estados da Federação e/ou de outros Países.	Critérios gerais
		Lei Federal 11.445/2007	Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979; 8.036, de 11 de maio de 1990; 8.666, de 21 de junho de 1993; 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.	Critérios gerais

Contexto	Área	Legislação	Descrição	Aplicabilidade
Geral - Contexto empreendimento	Resíduos/ Saneamento/ Energia Renovável	Lei Federal nº 12305/2010	Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis.	Critérios gerais
		Decreto Federal nº 7404/2010	Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa	Critérios gerais
		Decreto Federal nº 7405/2010	Institui o Programa Pró-Catador, denomina Comitê Interministerial para Inclusão Social e Econômica dos Catadores de Materiais Reutilizáveis e Recicláveis o Comitê Interministerial da Inclusão Social de Catadores de Lixo	Critérios gerais
		Decreto nº 11.671/2014	Dispõe sobre o Programa Paranaense de Energias Renováveis – Iluminando o Futuro e prevê medidas de incentivo à produção e uso de energia renovável.	Define que será dado tratamento prioritário de parte da administração pública direta e indireta do Estado aos empreendimentos de geração de energias renováveis, resguardadas suas Condições técnicas, operacionais e financeiras de atendimento, nos processos de licenciamento ambiental junto ao Instituto Ambiental do Paraná – IAP.

continuação

Contexto	Área	Legislação	Descrição	Aplicabilidade
Licenciamento Ambiental	Critérios/Diretrizes Gerais	Lei Federal 6.938/81	Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências	Critérios gerais
		Resolução Conama 01/86	Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental	Critérios gerais
		Decreto Federal 99.274/90	Regulamenta a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõem, respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências.	Critérios gerais
		Resolução CONAMA nº 237/1997	Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente	Critérios gerais
		Resolução SEMA nº 031/1998	Dispõe sobre o licenciamento ambiental, autorização ambiental, autorização florestal e anuência prévia para desmembramento e parcelamento de gleba rural	Critérios gerais
		Resolução CEMA 65/2008	Dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece critérios e procedimentos a serem adotados para as atividades poluidoras, degradadoras e/ou modificadoras do meio ambiente e adota outras providências	Critérios gerais
		Lei Complementar 140/2011	Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981.	Critérios gerais

Contexto	Área	Legislação	Descrição	Aplicabilidade
Licenciamento Ambiental	Critérios/Diretrizes Gerais	Resolução CEMA n°88/2013	Estabelece critérios, procedimentos e tipologias para o licenciamento ambiental municipal de atividades, obras e empreendimentos que causem ou possam causar impacto de âmbito local e determina outras providências.	Critérios gerais
		Resolução CEMA 94/2014	Estabelece diretrizes e critérios orientadores para o licenciamento e outorga, projeto, implantação, operação e encerramento de aterros sanitários	Critérios gerais
		Portaria IAP n° 202/2016	Estabelece os critérios para exigência e emissão de Autorizações Ambientais para as Atividades de Gerenciamento de Resíduos Sólidos.	Revogou Portaria IAP n° 224/2007. O recebimento dos resíduos (dependendo da origem e tipologia) para tratamento anaeróbico, e a destinação dos subprodutos a serem gerados no processo, está sujeito à Autorização Ambiental a ser expedida pelo IAP.
Controle Ambiental/Padrões	Efluente/Recursos Hídricos	Portaria SUREHMA n° 020 de 1992	Enquadrar os cursos d'água da Bacia do Rio Iguaçu, de domínio do Estado do Paraná	Critérios gerais
		Resolução CONAMA n.º 357 de 2005	Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento	Parâmetros de referência conforme a classificação do corpo hídrico e padrões para o lançamento de efluentes em corpos hídricos.
		Resolução do CONAMA n° 396/2008	Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências	Controle da poluição das águas subterrâneas, poderá ser solicitado pelo órgão ambiental, caso julgue necessário.
		Resolução CEMA 81/2010	Dispõe sobre Critérios e Padrões de ecotoxicidade para o Controle de Efluentes Líquidos lançados em águas superficiais no Estado do Paraná	Definição dos padrões de ecotoxicidades e metas

Contexto	Área	Legislação	Descrição	Aplicabilidade
Controle Ambiental/Padrões	Efluente/Recursos Hídricos	Resolução CONAMA n.º 430 de 2011	Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes	Os efluentes oriundos de sistemas de disposição final de resíduos sólidos de qualquer origem devem atender às condições e padrões definidos artigo 16.
		Portaria IAP n.º 256/2013	Estabelece o sistema de automonitoramento e a declaração de carga poluidora	Defini a classificação para Automonitoramento, periodicidade, parâmetros e forma de entrega ao IAP.
		Decreto Estadual 9957/2014	Dispõe sobre o regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos e adota outras providências.	Define as competências, finalidades da outorga, dos usos e procedimento administrativo.
	Emissões Atmosféricas	Lei Estadual n.º 13806/2002	Dispõe sobre as atividades pertinentes ao controle da poluição atmosférica, padrões e gestão da qualidade do ar, conforme especifica e adota outras providências.	Critérios gerais
		Resolução CONAMA n.º 382/2006	Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas	Critérios gerais
		Resolução SEMA n.º 016 de 2014	Define critérios para o Controle da Qualidade do Ar, padrões de emissão e critérios de atendimento para fontes industriais, comerciais e de serviços	Unidades de biodigestão devem atender os artigos 12, 22 – item VIII (motores Estacionários a biogás), artigos 58, e 72 da Resolução SEMA 16/14.
	Ruídos	Resolução CONAMA n.º 001/1990	Dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas.	Esta resolução recorre à NBR 10.151 – Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade, que estabelece metodologia de medição de ruídos para comparação com limites, ou Níveis de Critério de Avaliação (NCA), definidos para seis diferentes tipologias de áreas habitadas e períodos (diurno/noturno),

Contexto	Área	Legislação	Descrição	Aplicabilidade
Aspectos Locacionais	Flora	CONAMA nº 02/1994	Define formações vegetais primárias e estágios sucessionais de vegetação secundária, com finalidade de orientar os procedimentos de licenciamento de exploração da vegetação nativa	Critérios gerais
		Resolução CONAMA nº 369/2006	Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente-APP	Caso haja necessidade de intervenção em área de preservação permanente, para implantação de emissário para lançamento de efluentes
		Resolução conjunta SEMA/IAP nº 21/2007	Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental de intervenções de baixo impacto ambiental em Área de Preservação Permanente - APP localizadas nas margens e no espelho d'água das águas interiores do Estado do Paraná destinadas ao acesso de pessoas e embarcações de pesca para prática de esporte, lazer, turismo e atividades econômicas.	Caso haja necessidade de intervenção em área de preservação permanente, para implantação de emissário para lançamento de efluentes
		Lei Federal nº 12.651/2012	Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa	Estabelece que os imóveis rurais devem manter área com cobertura de vegetação nativa, a título de Reserva Legal, observado o percentual mínimo de 20% em relação à área do imóvel quando localizado no Bioma Mata Atlântica.
		Portaria IAP nº 97/2014	Estabelece que os licenciamentos ambientais sejam emitidos com a condicionante de que o imóvel efetue o registro no Sistema de Cadastro Ambiental Rural – SICAR-PR, até 05 de maio de 2016.	Cadastrar e manter o Cadastro Ambiental Rural – CAR, caso aplicável

Contexto	Área	Legislação	Descrição	Aplicabilidade
Aspectos Locacionais	Fauna	IN nº 146/2007 do IBAMA	Estabelece os critérios para procedimentos relativos ao manejo de fauna silvestre (levantamento, monitoramento, salvamento, resgate e destinação) em áreas de influência de empreendimentos e atividades consideradas efetiva ou potencialmente causadoras de impactos à fauna sujeitas ao licenciamento ambiental, como definido pela Lei nº 6938/81 e pelas Resoluções Conama nº 001/86 e nº 237/97.	Critérios gerais
		Portaria IAP nº 097/2012	Dispõe sobre conceito, documentação necessária e instrução para procedimentos administrativos de Autorizações Ambientais para Manejo de Fauna em processos de Licenciamento Ambiental	
	Patrimônio Cultural Arqueologia	IPHAN - Instrução Normativa nº 001/2015	Estabelece procedimentos administrativos a serem observados pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional nos processos de licenciamento ambiental dos quais participe.	Atender as exigências dessa IN em processos de licenciamento ambiental em face da possível existência de bens culturais acautelados em âmbito federal.
	Municipal Uso e Ocupação do Solo Zoneamento	Lei Municipal	Plano Diretor - estabelecimento dos parâmetros de uso e ocupação do solo do município.	Atender os requisitos de uso e ocupação do solo. Variável conforme município a ser instalada a planta.
Regulamentação Subprodutos	Composto	Lei nº 6.894/ 1980	Dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura, e dá outras providências.	Critérios gerais

Contexto	Área	Legislação	Descrição	Aplicabilidade
Regulamentação Subprodutos	Composto	Decreto Federal MAPA nº 4954/2004	Regulamenta a Lei Federal nº 6894/1980- dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura.	Critérios gerais
		IN MAPA nº 27/2006	Estabelece limites no que se refere às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas.	Estabelece limites máximos de contaminantes (Anexo V) metais pesados e agentes patogênicos admitidos em condicionadores do solo e fertilizantes orgânicos, os quais devem ser considerados para o uso agrícola do material digerido.
		IN MAPA nº 25/2009	Aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura.	Defini as especificações, garantias e característica agrônômicas que os Fertilizantes Orgânicos Simples, Mistos e Compostos, e os fertilizantes organominerais devem atender para aplicação no solo e comercialização. Anexo III – tabela com as exigências para Fertilizantes Orgânicos Simples, Mistos e Compostos.
		Resolução CEMA nº 90/2013	Estabelece condições, critérios e dá outras providências, para empreendimentos de compostagem de resíduos sólidos de origem urbana e de grandes geradores e para o uso do composto gerado.	Exigências técnicas em unidades de compostagem, exigências quanto aos processos administrativos de Autorização Ambiental e limite máximo de contaminantes admitidos no composto final (copiado da IN 27/2006 do MAPA- Anexo IV e V).

Contexto	Área	Legislação	Descrição	Aplicabilidade
Regulamentação Subprodutos	Composto	IN MAPA n° 53/2013	Estabelece as disposições e critérios para as definições, a classificação, o registro e renovação de registro de estabelecimento, o registro de produto, a autorização de comercialização e uso de materiais secundários, o cadastro e renovação de cadastro de prestadores de serviços de armazenamento, de acondicionamento, de análises laboratoriais, de empresas geradoras de materiais secundários e de fornecedores de minérios, a embalagem, rotulagem e propaganda de produtos.	Critérios gerais
	CDR	Resolução CONAMA 264/99	Coprocessamento em Fornos de Clínquer: Define procedimentos, critérios e aspectos técnicos específicos de licenciamento ambiental para o coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de clínquer para a fabricação de cimento	Critérios gerais
		Resolução CONAMA 316/02	Sistemas de Tratamento Térmico: Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos	Critérios gerais
		RESOLUÇÃO CEMA 076/2009	Estabelece a exigência e os critérios na solicitação e emissão de Autorizações Ambientais para coprocessamento de resíduos em fornos de cimento, com fins de substituição de matéria prima ou aproveitamento energético.	No caso de produção de CDR e coprocessamento de resíduos em fornos de cimento deverá atender às exigências e procedimentos dessa resolução.
	Biogás/Bio metano	Resolução ANP n° 41/2007	Regulamenta as atividades de distribuição e comercialização de gás natural comprimido (GNC) a Granel.	Caso seja feita a compressão e comercialização a granel de biometano. Aplica-se ao biometano.

Contexto	Área	Legislação	Descrição	Aplicabilidade
Regulamentação Subprodutos	Biogás/Bio metano	Resolução ANP nº 16/2008	Estabelece a especificação do gás natural, nacional ou importador, a ser comercializado em todo território nacional	Caso opte-se pela utilização do biometano como Gás Natural Veicular (GNV) devem observadas as especificações estabelecidas pela ANP
		Resolução ANP nº 41/2013	Ficam estabelecidos, pela presente Resolução, os requisitos necessários à autorização para o exercício da atividade de revenda varejista de combustíveis automotivos e a sua regulamentação.	Caso seja feita a comercialização do biometano como combustível automotivo.
		Resolução ANP nº08/2015	Estabelece a especificação do Biometano oriundo de produtos e resíduos orgânicos agrossilvopastoris e comerciais destinado ao uso veicular (GNV) e às instalações residenciais e comerciais.	Autoriza e regulamenta a venda do biometano para uso veicular, em instalações comerciais e residenciais e para geração de energia. Está Resolução alterou e acrescentou alguns incisos e artigos nas resoluções anteriores, já que essas todas que anteriormente já tratavam do Gás Natural passaram a englobar o biometano ou a mistura de ambos nas mesmas aplicações.
	Energia Elétrica	Lei nº 9.074/1995	Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências.	Critérios gerais
		Lei nº 10.848/2004	Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nos 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências.	Critérios gerais

Contexto	Área	Legislação	Descrição	Aplicabilidade
Regulamentação Subprodutos	Energia Elétrica	Decreto nº 5.163/2004	Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências	Critérios gerais
		Resolução Normativa ANEEL nº 77/2004	Estabelece os procedimentos vinculados à redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, para empreendimentos hidrelétricos e aqueles com base em fonte solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada	Critérios gerais
		Resolução Normativa ANEEL nº 167/2005	Estabelece as condições para a comercialização de energia proveniente de Geração Distribuída	Critérios gerais
		Resolução Normativa ANEEL nº 390/2009	Estabelece os requisitos necessários à outorga de autorização para exploração e alteração da capacidade instalada de usinas termelétricas e de outras fontes alternativas de energia, os procedimentos para registro de centrais geradoras com capacidade instalada reduzida e dá outras providências.	Critérios gerais
		Resolução Normativa ANEEL nº 506/2012	Estabelece as condições de acesso ao sistema de distribuição por meio de conexão a instalações de propriedade de distribuidora e dá outras providências.	Critérios gerais
		Resolução Normativa ANEEL 482/2012	Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.	Critérios gerais

Contexto	Área	Legislação	Descrição	Aplicabilidade
Regulamentação Subprodutos	Energia Elétrica	Norma técnica Copel - NTC 905100/2010 - Acesso de Geração Distribuída ao Sistema da Copel (com comercialização de energia)	Fornecer os requisitos para acesso de geradores de energia elétrica ao sistema elétrico de distribuição da Copel em Média Tensão - MT (13,8 e 34,5 kV) e em Alta Tensão - AT (69 e 138 kV)	Critérios gerais
		Resolução Conjunta SEMA/IAP nº005/2010.	Dá nova redação a Resolução Conjunta SEMA/IAP nº005/2010, estabelecendo procedimentos para licenciamentos de unidades de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica no Estado do Paraná.	Aplica-se aos geradores de energia elétrica que pretendem implantar empreendimentos de geração conectando-se ao sistema de distribuição da Copel para comercialização da energia. Critérios para licenciamento das linhas de transmissão/distribuição.
		Constituição do Estado do Paraná	Observada a legislação federal pertinente, a construção de centrais termoelétricas, hidrelétricas e a perfuração de poços de extração de gás de xisto pelo método de fraturamento hidráulico da rocha dependerá de projeto técnico de impacto ambiental e aprovação da Assembleia Legislativa; a de centrais termonucleares, desse projeto, dessa aprovação e de consulta plebiscitária. (Art. 209.)	Em caso de cogeração ou geração de energia deverá ser solicitada aprovação da Assembleia Legislativa.

FONTE: A autora (2017).

Vale ressaltar que, no que diz respeito à compostagem de resíduos sólidos, existe uma proposta do CONAMA em discussão no Portal do Ministério do Meio Ambiente (MMA). Portanto, deve ser acompanhada a elaboração dessa proposta para possíveis implicações na produção de composto em plantas de biodigestão de resíduos sólidos.

4.2 NOVOS CRITÉRIOS E DIRETRIZES

4.2.1 Critérios Existentes em Outros Estados para Licenciamento de Atividades de Biodigestão

Apesar de o Paraná ainda não possuir legislação específica para licenciamento ambiental de plantas de biodigestão de resíduos sólidos, outros estados já possuem alguns critérios. O QUADRO 3 apresenta quais são as legislações estaduais já existentes com critérios aplicáveis à digestão anaeróbia, que podem e servir de base para o Paraná.

QUADRO 3 - CRITÉRIOS DE OUTROS ESTADOS PARA LICENCIAMENTO AMBIENTAL PARA PLANTAS DE BIODIGESTÃO FLUXOGRAMA COMPLETO

Estado	Normativa	Código	Atividade	Unidade de medida aplicada ao critério	Critério para determinação de Porte
SC	Resolução CONSEMA 13/12	34.41.17	Unidade de biodigestão anaeróbica de resíduos	QT = quantidade de resíduos (t/dia)	<ul style="list-style-type: none"> • Porte: $0,5 < QT \leq 30$ pequeno (RAP) • $30 < QT \leq 50$: médio (RAP) • $QT > 50$: grande (EAS)
BA	Decreto estadual nº 11.235/2008	40.1	Estações centralizadas de tratamento biológico	Capacidade de processamento (t/ano)	<ul style="list-style-type: none"> • Micro < 10.000 • Pequeno $> 10.000 < 30.000$ • Médio $> 30.000 < 80.000$ • Grande $> 80.000 < 150.000$ • Excepcional > 150.000
MG	DN COPAM nº 74/2004	C-04-05-7	Produção de biogás	Produção (Nm ³ /dia)	<ul style="list-style-type: none"> • < 600 (dispensa) • 600 até 3.000 Nm³/d (pequeno) • 3.000 até 20.000 Nm³/d (médio) • Acima de 20.000 Nm³/d (grande)
		E-02-02-1	Produção de energia termoelétrica a gás natural ou biogás	Capacidade instalada (MW)	<ul style="list-style-type: none"> • Até 10 MW (pequeno) • 10 até 100 MW (médio) • Acima de 100 MW (grande)

FONTE: A autora (2017).

O QUADRO 3 relaciona os critérios existentes nas legislações mais recentes. Existem outros estados com critérios vinculados principalmente à produção de energia

termoelétrica, ou até mesmo à produção de biogás ou energia proveniente da queima do biogás, porém para biogás proveniente de áreas de disposição final de resíduos e não de atividades de tratamento biológico como a biodigestão.

Os estados que já possuem enquadramento como atividades de tratamento de resíduos, por meio da biodigestão, são apenas Santa Catarina e Bahia. Minas Gerais possui critério de licenciamento com base na produção de biogás, sendo também aplicável para plantas de biodigestão. Na mesma Resolução existe outro critério (código E-02-02-1), para produção de energia termoelétrica a partir do biogás, porém se considerarmos a possível geração de energia, o critério vinculado ao código C-04-05-7 é mais restritivo se avaliada a possível geração de energia e a respectiva quantidade de biogás necessária.

Pode-se observar no QUADRO 3 que apenas SC estabelece o estudo específico a ser apresentado, conforme o porte. Tanto BA quanto MG não relacionam os estudos atrelados ao processo de licenciamento, uma vez que a análise do potencial poluidor depende de avaliação específica da atividade e regulamentação própria. Apenas SC possui essa definição, provavelmente pelo fato de ser o único estado que tem critério específico para a atividade de biodigestão anaeróbica de resíduos. O EIA-RIMA não está relacionado nos estudos, sendo que o estudo indicado para o porte grande é o Estudo Ambiental Simplificado – EAS e para pequeno e médio porte o RAP – Relatório Ambiental Preliminar. Conforme Resolução CONSEMA Nº 001/2006, que estabelece os critérios gerais de licenciamento ambiental de atividades potencialmente causadoras de degradação ambiental em SC, o EAS deverá ser elaborado por equipe multidisciplinar composta por profissionais legalmente habilitados, e abordará a interação entre os elementos do meio físico, biológico e socioeconômico, buscando a elaboração de um diagnóstico integrado da área de influência do empreendimento. Entretanto, poderá ser exigido um estudo mais aprofundado, como o EIA-RIMA, caso o órgão ambiental julgue necessário, após avaliação caso a caso.

4.2.2 Critérios Existentes no Paraná para Outras Atividades de Resíduos Sólidos

No estado do Paraná existem legislações com critérios de licenciamento para atividades de tratamento e disposição final de resíduos sólidos, que podem servir de

base para estabelecer os critérios necessários à atividade de biodigestão, conforme o QUADRO 4.

QUADRO 4 - CRITÉRIOS PARA PORTE E PROCEDIMENTOS ADMINISTRATIVO ESTABELECIDOS NO PARANÁ PARA OUTRAS ATIVIDADES

Normativa	Descrição	Unidade Utilizada	Critério para determinação de Porte e Estudo Ambiental	Procedimento administrativo
CEMA 94/2014	Estabelece diretrizes e critérios orientadores para o licenciamento e outorga, projeto, implantação, operação e encerramento de aterros sanitários	QT = quantidade de resíduos (t/dia)	<ul style="list-style-type: none"> • Até 20 t/dia (RAP) • Acima de 20 t/dia (EIA-RIMA) 	LP/LI/LO (sempre)
CEMA 90/2013	Estabelece condições, critérios e dá outras providências, para empreendimentos de compostagem de resíduos sólidos de origem urbana e de grandes geradores e para o uso do composto gerado.	QT = quantidade de resíduos (t/dia)	<ul style="list-style-type: none"> • <10 Micro (PCA) • 10<QT<20 Pequeno (Memorial Descritivo) • 21<QT<30 Médio (Memorial Descritivo) • 31<QT<40 Grande (Memorial Descritivo) • >40 Excepcional (EIA/RIMA) 	<p>Micro: (LAS)</p> <p>Pequeno, Médio, Grande e Excepcional: (LP.LI.LO)</p>

FONTE: A autora (2017).

Conforme indicado no QUADRO 4, as quantidades diárias de recebimento de resíduos a partir das quais é exigido o EIA-RIMA, no caso de aterro sanitário e unidades de compostagem de resíduos, são bastante baixas. Muito diferente do limite de outros estados que já possuem legislação específica para biodigestão (QUADRO 3), nos quais as quantidades para enquadramento são bastante superiores. Não se pode utilizar critérios como os de compostagem ou aterro sanitários, já que a biodigestão é uma atividade muito mais controlada, do ponto de vista ambiental, do que aterros sanitários ou atividades de compostagem, além de possuir uma capacidade de processamento muito maior que a compostagem.

4.2.3 Critérios Locacionais Existentes

Por fim, também foram pesquisados os critérios locacionais estabelecidos no estado do Paraná para atividades de gerenciamento de resíduos, e critérios locacionais existentes em outros estados, porém específico para biodigestão (tratamento anaeróbico). O QUADRO 5 apresenta os critérios existentes encontrados.

QUADRO 5 - CRITÉRIOS LOCACIONAIS ESTABELECIDOS

continua

Normativa	Descrição	Critério Locacional
CEMA 94/2014	Estabelece diretrizes e critérios orientadores para o licenciamento e outorga, projeto, implantação, operação e encerramento de aterros sanitários	<p>Artigo 15. O aterro sanitário deverá:</p> <p>a) localizar-se fora da área de influência direta do manancial de abastecimento público;</p> <p>b) manter sua área de disposição final a uma distância mínima de 200 (duzentos) metros de rios, nascentes e demais corpos hídricos, respeitando distâncias maiores estabelecidas em normas específicas referente às áreas de preservação permanente;</p> <p>c) localizar-se a uma distância mínima de 1.500 (mil e quinhentos) metros de núcleos populacionais, a partir do perímetro da área</p> <p>d) localizar-se a uma distância mínima de 300 (trezentos) metros de residências isoladas, a partir do perímetro da área;</p> <p>e) localiza-se a uma distância mínima de aeródromos, conforme determinado pelo órgão federal de controle</p>
CEMA 90/2013	Estabelece condições, critérios e dá outras providências, para empreendimentos de compostagem de resíduos sólidos de origem urbana e de grandes geradores e para o uso do composto gerado.	<p>Art. 6. A área de processamento da compostagem deverá:</p> <p>...</p> <p>VII - Estar localizada no mínimo a 200 metros de distância de residências isoladas e vias de domínio público e a 400 metros de núcleos populacionais.</p>

Normativa	Descrição	Critério Locacional
<p>Termo de Referência vinculado à: DN COPAM nº 74/2004 (MG)</p>	<p>Para empreendimentos de biometanização de resíduos sólidos urbanos (RSU) e outros resíduos compatíveis.</p> <p>Aplicável aos códigos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • C-04-05-7 Produção de biogás • E-02-02-1 Produção de energia termoelétrica. 	<p>4.1.6 A escolha do local deverá atender aos seguintes critérios mínimos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Obedecer à distância mínima de 500 m de aglomerados urbanos, visando minimizar impactos decorrentes de eventuais odores. - Obedecer às exigências do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), constantes na Lei Federal nº 9.985/2000 ou que lhe suceder. - Obedecer às políticas florestais e de proteção à biodiversidade, estabelecidas na Lei Estadual nº 14.309/2002 (Lei Florestal de Minas Gerais), incluindo alterações constantes na Lei Estadual nº 18.365/2009 e no Decreto Estadual nº 45.166/2009 ou que lhe sucederem. - Considerar as condições ambientais da área de influência e de seu entorno, bem como a direção predominante dos ventos na região, de forma a minimizar a propagação de emissão atmosférica para cidades, núcleos populacionais e habitações, áreas de produção ou comercialização de alimentos ou outros estabelecimentos públicos mais próximos. - Considerar o disposto no Plano Diretor de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica onde o empreendimento se localizará, no que tange às áreas de restrição de uso para fins de proteção e conservação de recursos hídricos.

FONTE: A autora (2017).

4.2.4 Definição dos Novos Critérios

4.2.4.1 Critério de Porte, Modalidade de Licenciamento e Necessidade de EIA-RIMA

Com base na legislação pesquisada e levantada foi então elaborado o QUADRO 6 com os portes (micro, pequeno, médio, grande, excepcional), as respectivas modalidades de licenciamento ambiental (Licença Ambiental Simplificada-LAS ou Licença Prévia-LP/ Licença de Instalação-LI/ Licença de Operação-LO), e a necessidade de apresentação ou não de EIA-RIMA, conforme o porte. Também foram definidos os critérios locacionais, apresentados na sequência.

QUADRO 6 - DEFINIÇÃO DE PORTE E RESPECTIVAS MODALIDADES DE LICENCIAMENTO AMBIENTAL PARA ATIVIDADES DE BIODIGESTÃO NO ESTADO DO PARANÁ

Matriz Procedimento Licenciamento Ambiental – Biodigestão de Resíduos Sólidos					
Unidades que compõe a planta	Porte (recebimento em t/dia) e Modalidade do Licenciamento				
	Micro (LAS)	Pequeno (LP/LI/LO)	Médio (LP/LI/LO)	Grande (LP/LI/LO)	Excepcional (LP/LI/LO)
Unidade Biodigestão + Aproveitamento biogás (Produção de Biometano ou geração energia ou outros)	Até 15	15-80	80-300	300-600	Acima de 600
Unidade de Triagem + Unidade Biodigestão + Aproveitamento biogás (Produção de Biometano ou geração energia ou outros)	Até 10	10-60	60-250	250-500	Acima de 500

FONTE: A autora (2017).

Para empreendimentos de porte excepcional sugere-se a apresentação de Estudo de Impacto Ambiental e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (EIA-RIMA). Vale ressaltar que essa premissa de apresentação de EIA-RIMA deve ser também avaliada caso a caso pelo Órgão Ambiental Estadual, já que depende muitas vezes, não apenas do porte do empreendimento, mas também da área escolhida, do seu entorno, do contexto do licenciamento (se será uma melhoria ou complementação a um processo pré-existente e já licenciado), entre outras avaliações pertinentes que são particulares a cada caso e que, portanto, não podem ser generalizadas.

Conforme o QUADRO 6, foi aplicada uma diferenciação das definições dos quantitativos do porte e respectivas modalidades, de acordo com as unidades que compõe o sistema. No caso de plantas de biodigestão que necessitam da unidade de triagem de resíduos o enquadramento foi mais restritivo, tendo em vista os possíveis impactos ambientais associados a esta etapa. Não foi levado em consideração a tipologia e origem dos resíduos a serem tratados e sim as instalações demandadas, uma vez que isso reflete a tipologia a ser recebida e processada. Resíduos misturados, como RSU por exemplo, necessariamente requerem triagem antes do encaminhamento ao tratamento por biodigestão, enquanto que resíduos orgânicos puros, como esterco, restos de grãos e alimentos vencidos, podem ser encaminhados diretamente ao processo, necessitando apenas de tanque de carga.

Apenas para o porte micro foi vinculada a modalidade de licença ambiental simplificada. Todos os outros portes requerem licenciamento completo, a ser realizado em três etapas (licença prévia seguida de licença de instalação e licença de operação), diferentemente da LAS que é uma etapa única que contempla todo o licenciamento.

4.2.4.2 Critérios Locacionais

Por fim, foi utilizado o QUADRO 5 como referência para a definição dos critérios locacionais e possíveis restrições que devem ser observadas para plantas de biodigestão de resíduos sólidos:

- Localizar-se fora da área de influência direta do manancial de abastecimento público;

- Obedecer à distância mínima de 500 m de aglomerados urbanos, a partir do perímetro da área, visando minimizar impactos decorrentes de eventuais odores;
- Localizar-se a uma distância mínima de 200 metros de residências isoladas, a partir do perímetro da área;
- Considerar as condições ambientais da área de influência e de seu entorno, bem como a direção predominante dos ventos na região, de forma a minimizar a propagação de emissão atmosférica para cidades, núcleos populacionais e habitações próximas, áreas de produção ou comercialização de alimentos ou outros estabelecimentos públicos mais próximos.

Optou-se por utilizar os mesmos tipos de critérios locacionais estabelecidos na Resolução CEMA 94/2014, porém atualizá-los para a atividade em questão. Foi então adotada a restrição de 200 m de residências isoladas existente na Resolução CEMA 90/2013, o critério de 500 metros de aglomerados urbanos e a necessidade de avaliação das condições ambientais existente no Termo de Referência de MG. Também foi optado por manter a restrição de áreas de mananciais, aplicada à aterros sanitários. Restrições locacionais genéricas vinculadas à flora, fauna, arqueologia e zoneamento municipal já foram listados na matriz orientativa (QUADRO 2) e deverão constar na listagem final dos critérios consolidados, conforme apontado na coluna de aplicabilidade.

4.3 CONSOLIDAÇÃO DOS CRITÉRIOS E DIRETRIZES

Este capítulo consolida os resultados obtidos e demonstrados ao longo do estudo realizado. A listagem única, apresentada na sequência, reuni os critérios aplicáveis já existentes (conforme matriz orientativa elaborada) e os novos critérios e diretrizes estabelecidos ao longo desse estudo.

- **Resíduos/ Saneamento/Energia Renovável**
 - Deverá ser garantido tratamento prioritário nos processos de licenciamento ambiental junto ao Instituto Ambiental do Paraná – IAP, resguardadas suas condições técnicas, operacionais e financeiras de

atendimento, conforme Decreto n° 11.671/2014, que dispõe sobre o Programa Paranaense de Energias Renováveis – Iluminando o Futuro e prevê medidas de incentivo à produção e uso de energia renovável.

- **Efluente/recursos hídricos**

- Deverão ser respeitados os parâmetros de referência estabelecidos pela Resolução n.º 357 de 2005.
- O IAP avaliando a necessidade de monitoramento de águas subterrâneas, tendo em vista as estruturas a serem instaladas e fragilidade ambiental da área, poderá solicitar instalação de poços e monitoramento de águas subterrâneas, de acordo com a Resolução do CONAMA n° 396/2008.
- Deverão ser atendidos os limites estabelecidos na resolução Resolução CEMA n.º 81/2010 para *Vibrio fischeri* e *Daphnia magna*.
- Deverão ser atendidos os limites de lançamento da Resolução CONAMA n.º 430 de 2011.
- Deverá ser realizado o automonitoramento e a declaração de carga poluidora conforme Portaria do IAP n° 256/2013 que trata de atividades gerais (indústrias, ETEs, aterros industriais, entre outros).
- Deverá ser atendido o Decreto Estadual n.º 9957/2014 no que diz respeito a outorga de direitos de uso de recursos hídricos.

- **Emissões atmosféricas**

- O sistema de filtragem por biofiltro deverá atender o artigo 12 da Resolução SEMA 016/2014, não podendo ultrapassar os limites do empreendimento.
- Atender o artigo 22 – item VIII (motores estacionários a biogás), artigos 58 e 72 da Resolução SEMA n° 016/14.
- Implantar e manter cortina vegetal no entorno do empreendimento para minimização dos odores.
- Deverá ser instalado um sistema de queimador emergencial para queima do biogás, em caso de manutenção e parada do sistema de geração de energia.

- **Ruídos**

- Os níveis de pressão sonora (ruídos) decorrentes da atividade desenvolvida no local do empreendimento deverão estar em conformidade com aqueles preconizados pela Resolução CONAMA n.º 001/90.

- **Resíduos**

- Em caso de destinação final de resíduos sólidos ou outros usos como uso agrícola, deverão ser atendidos os requisitos da Portaria IAP n.º 202/2016, ou outra que venha a substituí-la, observando a necessidade de solicitação de Autorização Ambiental.
- O recebimento de resíduos na planta está condicionado, quando aplicável, ao atendimento à Portaria IAP n.º 202/2016, observando a necessidade de solicitação de Autorização Ambiental.
- Fica proibida a queima a céu aberto de qualquer tipo de material, exceto nos casos definidos no artigo 15 da Resolução SEMA n.º 016/14.

- **Aspectos locacionais**

- **Flora:**

- Qualquer intervenção em área de preservação permanente, para implantação de emissário para lançamento de efluentes deverá se embasada na Resolução SEMA/IAP n.º 21/2007 e Resolução CONAMA 369/2006.
- Caso ocorra a necessidade da supressão de qualquer tipo de cobertura vegetal no local de instalação do empreendimento, deverá ser solicitada autorização específica ao IAP.
- Preservar a vegetação nativa conforme Lei Federal n.º 12.651/2012
- Cadastrar e manter o Cadastro Ambiental Rural – CAR, caso aplicável, conforme Portaria IAP n.º 97/2014.

- **Fauna:**

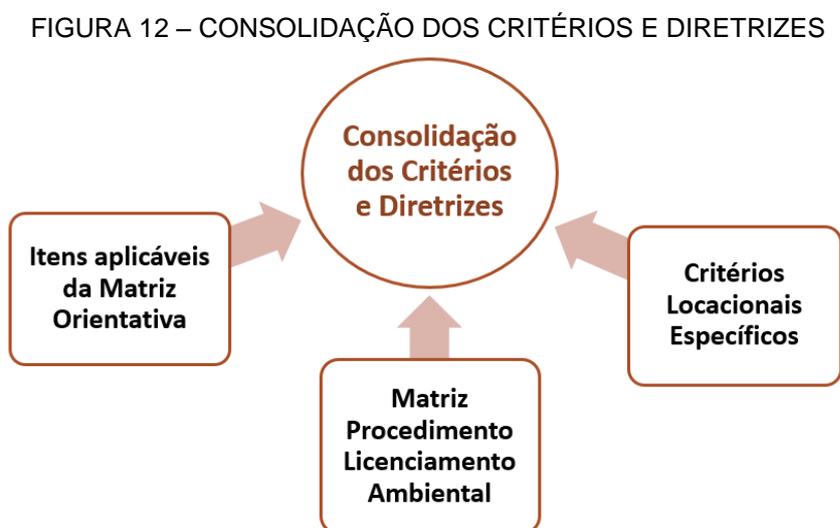
- Atender a Portaria IAP n.º 097/2012, no que diz respeito à manejo de fauna em processos de licenciamento ambiental.

- **Arqueologia:**
 - Atender à Instrução Normativa nº 001/2015 do IPHAN, em processos de licenciamento ambiental.
- **Uso e Ocupação do Solo – Zoneamento Municipal:**
 - Atender as diretrizes municipais de uso e ocupação do solo.
- **Regulamentação Subprodutos**
 - **Composto:**
 - Atender a regulamentação do MAPA no caso de produção ou comercialização de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para planta.
 - Atender os limites máximos de contaminantes admitidos em condicionadores do solo e fertilizantes orgânicos, no caso de uso agrícola do material digerido, conforme IN MAPA nº 27/2006.
 - Atender as especificações, garantias e característica agrônômicas, estabelecidas na IN MAPA nº 25/2009, para aplicação no solo e comercialização de Fertilizantes Orgânicos Simples, Mistos e Compostos, e fertilizantes organominerais.
 - Atender as exigências estabelecidas na Resolução CEMA 90/2013 no que diz respeito à Unidades de compostagem de resíduos sólidos de origem urbana e de grandes geradores.
 - Atender às resoluções CONAMA para atividades de compostagem e tratamento biológico de resíduos sólidos (atualmente em discussão para publicação).
 - **CDR:**
 - No caso de coprocessamento, deverão ser atendidos os requisitos da Portaria IAP nº 202/2016 e/ou Resolução CEMA 076/2009, ou outras que venham a substituí-las, observando a necessidade de solicitação de Autorização Ambiental.

- **Biogás/Biometano:**
 - Em caso de utilização e comercialização do biogás como biometano, deverá ser atendida a Resolução ANP nº08/2015 e outras mais específicas conforme uso pretendido do biometano.

- **Energia Elétrica:**
 - No caso de geração de energia elétrica deverão ser atendidas as Normas cabíveis da ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica.
 - Obter junto à Companhia de Energia a anuência quanto à transmissão da energia excedente.
 - Em caso de cogeração de energia deverá ser solicitada aprovação da Assembleia Legislativa, de acordo com o estabelecido no Artigo 209 da Constituição do Estado do Paraná.
 - Atender a Resolução Conjunta SEMA/IAP nº09/2010, no que diz respeito ao licenciamento de das linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica.

Além desses itens identificados, também pertencem a esta listagem consolidada, os novos critérios definidos no item 4.2.4.1., que se trata do QUADRO 6, com definição de porte, modalidades de licenciamento e necessidade ou não de EIA-RIMA, e os critérios locacionais específicos, listados no item 4.2.4.2. A FIGURA 12 apresenta um esquema dos itens pertencentes a esta listagem final.



FONTE: Autora (2017)

Vale ressaltar que os itens propostos nesse estudo são definições e critérios orientadores para o licenciamento ambiental, contemplando as etapas de projeto, implantação e operação, visando o controle da poluição, da contaminação e a minimização de seus impactos ambientais. A definição da documentação a ser exigida no processo de licenciamento cabe ao IAP e deve ser indicado por meio de Portaria específica do órgão ambiental estadual (PARANÁ, 2014).

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Ao longo do estudo realizado foi possível compreender os aspectos técnicos de uma planta de biodigestão de resíduos sólidos, principalmente no que diz respeito às medidas de controle ambiental necessárias. O amplo e profundo levantamento da base legal aplicável permitiu a elaboração da matriz orientativa, que reuni 62 normas legais, entre Leis Federais e Estaduais, Portarias, Instruções Normativas, Decretos, Resoluções e Normas Técnicas. Além desta etapa, também foram definidos e propostos novos critérios e diretrizes específicos, necessários para o licenciamento ambiental estadual. Como resultado final, foram consolidados todos os critérios, os já existentes e os novos, em uma listagem única.

A elaboração da matriz orientativa foi fundamental à compreensão de quais são os critérios existentes que podem ser aproveitados e aplicados ao licenciamento de plantas de biodigestão. Além de ter sido etapa fundamental no presente estudo, serve de referência e orientação aos interessados e envolvidos em atividades de biodigestão de resíduos, já que indica todos os pontos legais que devem ser atendidos durante a concepção e operação de plantas de biodigestão de resíduos.

Espera-se que os critérios e diretrizes propostos possam servir de referência para uma Resolução do CEMA-PR acerca do tema e quem sabe até mesmo como referência para outros Estados. Um instrumento legal, claro e direto, que padroniza o licenciamento ambiental de plantas de biodigestão de resíduos sólidos garante o controle ambiental da atividade, gera agilidade e transparência ao processo e pode inclusive fomentar a atividade de biodigestão, o que representa um grande ganho social e ambiental. Recomenda-se para futuros trabalhos, a elaboração de termos de referência específicos, com os itens e informações que devem ser apresentados nos estudos ambientais de cada etapa do licenciamento ambiental (licenciamento prévio, de instalação e de operação e respectivas renovações). Seriam de grande importância e complementariam o estudo atual, podendo ser incluídos como anexos nessa possível Resolução.

O Brasil, infelizmente ainda carece de empreendimentos de tratamento e disposição final adequada de resíduos sólidos. Iniciativas que incentivem o cumprimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos são fundamentais para reverter a situação atual. A existência de critérios específicos para o licenciamento ambiental de atividades de biodigestão de resíduos pode evitar o que ocorre muitas

vezes, não apenas no Brasil, mas também em outros países, que é a imposição exagerada de restrições ambientais e cobrança excessiva de documentos e estudos ambientais. Isto burocratiza e dificulta a instalação de plantas de tratamento de resíduos sólidos, além de gerar altíssimos custos e demanda de longos prazos até obtenção do licenciamento ambiental.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENTIDADES ESTADUAIS DE MEIO AMBIENTE (ABEMA). **Novas Propostas Para o Licenciamento Ambiental no Brasil**. Brasília: ABEMA, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BIOGÁS E BIOMETANO (ABIOGÁS). **Proposta de Programa Nacional do Biogás e do Biometano - PNB**. Brasília: ABIOGÁS, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: ABRELPE, 2014.
- ARSOVA, L. **Anaerobic digestion of food waste: Current status, problems and an alternative product**. New York: Columbia University, 2010.
- BOUALLAGUIA, H; TOUHAMIA, Y; CHEIKHB, R.B; HAMDY, M. **Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes**. Tunis: Process Biochemistry, 2005.
- BRASIL. Lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, D.F., 2010.
- BRASIL. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Instrução Normativa n. 001 de 2015 do IPHAN. Estabelece procedimentos administrativos a serem observados pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional nos processos de licenciamento ambiental dos quais participe. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, D.F., 2015.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa MAPA n. 27 de 2006. Estabelece limites no que se refere às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, D.F., 2006.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa MAPA n. 25 de 2009. Aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, D.F., 2009.
- BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução ANP n. 08 de 2015. Estabelece a especificação do Biometano oriundo de produtos e resíduos orgânicos agrossilvopastoris e comerciais destinado ao uso veicular (GNV) e às instalações residenciais e comerciais. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, D.F., 2015.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 357 de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e

diretrizes ambientais para o seu enquadramento. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, D.F., 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução do CONAMA n. 396 de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, D.F., 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n. 430 de 2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, D.F., 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n. 369 de 2006. Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente-APP. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, D.F., 2006.

BRASIL. Lei Federal n.12.651 de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, D.F., 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n. 001 de 1990. Dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, D.F., 1990.

CECCHI, F; PAOLO, P; MATA-ALVAREZ,J; LLABRÉS, P. **Anaerobic Digestion of the Barcelona Central Food Market Organic Wastes: Experimental Study**. Barcelona: Bioresource Technology, 1992.

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT (GIZ). **Guide to Biogas: From production to use**. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 2010.

DI CIAULA, A; GENTILINI, P; LAGHI, F; TAMINO, G; MOCCI,M; MIGALEDU,V. **II Trattamento Della Frazione Organica. Associazione dei Medici per l'Ambiente**. ISDE Italia, 2015.

FEAM. **Guia Técnico Ambiental de Biogás na Agroindústria**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente de MG, 2015.

GERMAN BIOGAS ASSOCIATION. **Biowaste to Biogas**. Freising: Fachverband Biogas e.V., 2016.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **IEA Bioenergy Task 37 Country Reports Summary**. IEA, 2015.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Tracking Clean Energy Progress**. IEA, 2016.

KERROUM, D; MOSSAAB,B; HASSEN, M.A. **Production of Biogas from Sludge Waste and Organic Fraction of Municipal Solid Waste**. Rijeka, Croatia: InTech, 2012.

LUQUE, R; CAMPELO,J; CLARK,J. **Handbook of Biofuels Production**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2011.

MAHONY, T; O'FLAHERTY,V; COLLERAN, E; KILLILEA, E; SCOTT, S; CURTIS, J. **Feasibility Study for Centralised Anaerobic Digestion for Treatment of Various Wastes and Wastewaters in Sensitive Catchment Areas**. County Wexford: EPA, 2002.

METCALF, L; EDDY, H. P. 4ª Ed. **Wastewater Engineering: Treatment and reuse** 4ª Ed. New York, 2003.

MEYNELL, P.J. **Methane: planning a digester**. London: London Prism, 1976

MINISTÉRIO DAS CIDADADES. **Conceitos para o licenciamento ambiental de usinas de biogás**. Brasília: Ministério das Cidades 2016a.

MINISTÉRIO DAS CIDADES . **Barreiras e Propostas de Soluções Para o Mercado de Biogás no Brasil**. Brasília: Ministério das Cidades , 2016b.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD) . **Bioheat, Biopower and Biogas: Developments and implications for agriculture**. OECD, 2010.

OSTREM, K. **Greening Waste: Anaerobic Digestion For Treating The Organic Fraction of MSW**. New York: Department of Earth and Environmental Engineering, Foundation of School of Engineering and Applied Science, Columbia University , 2004.

PALMISANO, A. C; BARLAZ, M.A. **Microbiology of Solid Waste**. Boca Raton: Florida, 1996.

PARANÁ. Conselho Estadual de Meio Ambiente. Resolução CEMA n. 90 de 03 de Dezembro de 2013. Estabelece condições, critérios e dá outras providências, para empreendimentos de compostagem de resíduos sólidos de origem urbana e de grandes geradores e para o uso do composto gerado. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Curitiba, 2013.

PARANÁ. Conselho Estadual de Meio Ambiente. Resolução CEMA n. 94 de 04 de Novembro de 2014. Estabelece definições e critérios orientadores para o licenciamento e outorga, o projeto, a implantação, a operação, as melhorias e encerramento de aterros sanitários, visando o controle da poluição, da contaminação e a minimização de seus impactos. Curitiba, PR: **Diário Oficial do Estado do Paraná**, 2014.

PARANÁ. Decreto n. 11.671 de 2014. Dispõe sobre o Programa Paranaense de Energias Renováveis – Iluminando o Futuro e prevê medidas de incentivo à produção e uso de energia renovável. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Curitiba, 2014.

PARANÁ. Conselho Estadual de Meio Ambiente. Resolução CEMA n. 81 de 2010. Dispõe sobre Critérios e Padrões de ecotoxicidade para o Controle de Efluentes Líquidos lançados em águas superficiais no Estado do Paraná. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Curitiba, 2010.

PARANÁ. Instituto Ambiental do Paraná. Portaria do IAP n. 256 de 2013. Estabelece o sistema de automonitoramento e a declaração de carga poluidora. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Curitiba, 2013.

PARANÁ. Decreto Estadual n. 9957 de 2014. Dispõe sobre o regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos e adota outras providências. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Curitiba, 2014.

PARANÁ. Secretaria Estadual de Meio Ambiente. Resolução SEMA n. 016 de 2014. Define critérios para o Controle da Qualidade do Ar, padrões de emissão e critérios de atendimento para fontes industriais, comerciais e de serviços. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Curitiba, 2014.

PARANÁ. Instituto Ambiental do Paraná. Portaria IAP n. 202 de 2016. Estabelece os critérios para exigência e emissão de Autorizações Ambientais para as Atividades de Gerenciamento de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Curitiba, 2016.

PARANÁ. Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Instituto Ambiental do Paraná. Resolução SEMA/IAP n. 21 de 2007. Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental de intervenções de baixo impacto ambiental em Área de Preservação Permanente - APP localizadas nas margens e no espelho d'água das águas interiores do Estado do Paraná destinadas ao acesso de pessoas e embarcações de pesca para prática de esporte, lazer, turismo e atividades econômicas. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Curitiba, 2007.

PARANÁ. Conselho Estadual de Meio Ambiente. Resolução CEMA n. 90/2013. Estabelece condições, critérios e dá outras providências, para empreendimentos de compostagem de resíduos sólidos de origem urbana e de grandes geradores e para o uso do composto gerado. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Curitiba, 2013.

PARANÁ. Conselho Estadual de Meio Ambiente. Resolução CEMA n. 076 de 2009. Estabelece a exigência e os critérios na solicitação e emissão de Autorizações Ambientais para coprocessamento de resíduos em fornos de cimento, com fins de substituição de matéria prima ou aproveitamento energético. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Curitiba, 2009.

PARANÁ. Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Instituto Ambiental do Paraná. Resolução Conjunta SEMA/IAP n. 09 de 2010. Estabelecendo procedimentos para

licenciamentos de unidades de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica no Estado do Paraná. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Curitiba, 2010.

PARANÁ. **Constituição do Estado do Paraná**. 05 de outubro de 1989.

PARANÁ. Instituto Ambiental do Paraná. Portaria IAP n. 97/2014. Estabelece que os licenciamentos ambientais sejam emitidos com a condicionante de que o imóvel efetue o registro no Sistema de Cadastro Ambiental Rural – SICAR-PR, até 05 de maio de 2016. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Curitiba, 2014.

PORTAL DA SANEPAR. Disponível em:

<<http://site.sanepar.com.br/noticias/operacao-da-cs-bioenergia-deve-iniciar-em-janeiro>> Acesso em 05 de dezembro de 2016.

PROJETO BRASIL–ALEMANHA DE FOMENTO AO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS NO BRASIL (PROBIOGÁS). **Oportunidades de Negócio para a Comercialização do CO₂ de uma Planta de Biogás**. Brasília: PROBIOGÁS, 2015.

SEADI,T.A; RUTZ,D; PRASSL,H; KOTTNER,M; FINSTERWALDER,T; VOLK,S; JANSSEN,R. **Biogas Handbook**. Esbjerg: University of Southern Denmark Esbjerg, 2008.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) . **Anaerobic Digestion and its Applications**. Cincinnati: EPA, 2015.

VALLINI, G; CECCHI, F; PAVAN, P; PERA, A; MATA-ALVAREZ, J; BASSETTI, A. **Recovery and Disposal of the Organic Fraction of Municipal Solid Wast (MSW) by means of combined anaerobic and aerobic bio-treatments**. Water Science & Technology, 1993.

VISMARA, R.; CANZIANI, R.; MALPEI, F. ;PICCININI, S. **Biogas de Agrozootecnia e Agroindustria**. Palermo: Dario Flaccovio Editore, 2011.