

GUIA TÉCNICO AMBIENTAL DE BIOGÁS NA AGROINDÚSTRIA

GUIA TÉCNICO AMBIENTAL DE BIOGÁS NA AGROINDÚSTRIA

Parceiro:

Methanvm
Resíduo e Energia 

FICHA TÉCNICA

REALIZAÇÃO

Fundação Estadual de Meio Ambiente – FEAM

Diogo Soares de Melo Franco – Presidente

Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento

Antônio Henrique dos Santos – Diretor

Gerência de Produção Sustentável

Antônio Augusto Melo Malard - Gerente

Projeto Brasil–Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil – PROBIOGÁS

Wolfgang Roller - Coordenador (GIZ)

Ernani Ciríaco de Miranda - Coordenador (Ministério das Cidades)

Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais – FIEMG Presidente (Diretoria Executiva)

Olavo Machado Junior - Presidente

Vice-presidentes (Diretoria Executiva)

Aguinaldo Diniz Filho

Alberto José Salum

Carlos Mário de Moraes

Edwaldo Almada de Abreu

Flávio Roscoe Nogueira

José Batista de Oliveira

José Fernando Coura

Lincoln Gonçalves Fernandes

Luiz Fernando Pires

Petrônio Machado Zica

Romeu Scarioli

Ricardo Vinhas Corrêa da Silva

Teodomiro Diniz Camargos

Valentino Rizzoli

Vicente de Paula Aleixo Dias

Vice-presidentes Regionais (Diretoria Executiva)

Adauto Marques Batista
Adson Marinho
Afonso Gonzaga
Everton Magalhães Siqueira
Francisco José Campolina Martins Nogueira
Haylton Ary Novaes
João Batista Nunes Nogueira
Luciano José de Araújo
Nagib Galdino Facury
Rozâni Maria Rocha de Azevedo

Diretores-secretários (Diretoria Executiva)

Claúdio Arnaldo Lambertucci – 1º Diretor-secretário
José Maria Meireles Junqueira – 2º Diretor-secretário
Marco Antônio Soares da Cunha Castello Branco – 3º Diretor-secretário

Diretores Financeiros (Diretoria Executiva)

Edson Goncalves de Sales – 1º Diretor Financeiro
Bruno Melo Lima - 2º Diretor Financeiro
Rômulo Rodrigues Rocha – 3º Diretor Financeiro

Diretoria

Alba Lima Pereira – Diretora
Amadeus Antônio de Souza – Diretor
André Luiz Martins Gesualdi – Diretor
Antônio Eduardo Baggio – Diretor
Carlos Alberto Homem – Diretor
Eduardo Caram Patrus – Diretor
Everton Magalhães Siqueira – Diretor
Francisco Sérgio Silvestre – Diretor
Jeferson Bachour Coelho – Diretor
José Roberto Schincariol – Diretor
Leomar Pereira Delgado – Diretor
Lídia Assunção Lemos Palhares – Diretora
Marcelo Luiz Veneroso – Diretor
Marcos Lopes Farias – Diretor
Pedro Gomes da Silva – Diretor
Roberto de Souza Pinto – Diretor

Roland von Urban – Diretor
Scheilla Nery de Souza Queiroz – Diretora
Sebastião Rogério Teixeira – Diretor

Diretoria Adjunta

Bruno Magalhaes Figueiredo – Diretor Adjunto
Cássio Braga dos Santos – Diretor Adjunto
César Cunha Campos – Diretor Adjunto
Delvaníria dos Reis Pires Rezende – Diretora Adjunta
Efthymios Panayotes Emmanuel Tsatsakis – Diretor Adjunto
Henrique Nehrer Thielmann – Diretor Adjunto
Heveraldo Lima de Castro – Diretor Adjunto
Hyrguer Aloísio Costa – Diretor Adjunto
Jânio Gomes Lemos – Diretor Adjunto
Jorge Filho Lacerda – Diretor Adjunto
José Balbino Maia de Figueiredo – Diretor Adjunto
Joselito Gonçalves Batista – Diretor Adjunto
Leonardo Lima de Vasconcelos – Diretor Adjunto
Lúcio Silva – Diretor Adjunto
Márcio Mohallem – Diretor Adjunto
Mário Moraes Marques – Diretor Adjunto
Mauro Sérgio de Avila Cunha – Diretor Adjunto
Nelson José Gomes Barbosa – Diretor Adjunto
Ricardo Alencar Dias – Diretor Adjunto

Conselho Fiscal

Fábio Alexandre Saciotto – Conselheiro Fiscal – Efetivo
Michel Aburachid – Conselheiro Fiscal – Efetivo
Ralph Luiz Perrupato – Conselheiro Fiscal – Efetivo
José Tadeu Feu Filgueiras – Conselheiro Fiscal – Suplente
Roberto Revelino da Silva – Conselheiro Fiscal – Suplente
Romeu Scarioli Júnior – Conselheiro Fiscal – Suplente

Delegado Representante junto à CNI

Olavo Machado Junior – Delegado Representante junto à CNI – Efetivo
Robson Braga de Andrade – Delegado Representante junto à CNI – Efetivo
Francisco Sérgio Soares Cavalieri – Delegado Representante junto à CNI – Suplente
Paulo Brant – Delegado Representante junto à CNI – Suplente

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL

Adair Evangelista Marques – Superintendente

COORDENAÇÃO

Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável por meio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

Roberta Hessmann Knopki - Assessora Técnica

Oliver Jende - Consultor Técnico - Consórcio Akut - Rotária do Brasil

Gerência de Meio Ambiente - FIEMG

Breno Aguiar de Paula - Analista Ambiental

Gerência de Produção Sustentável - FEAM

Antônio Augusto Malard - Gerente

EQUIPE TÉCNICA

Methanum Resíduo e Energia

Felipe Correia de Souza Pereira Gomes

Luis Felipe de Dornfeld Braga Colturato

Tathiana Almeida Seraval

Thiago Dornfeld Braga Colturato

Amanda Canhestro Saraiva

Catarina Azevedo Borges

Jorge Barbi Martins

Ludmila Leal dos Santos

Valdilene Silva Siqueira

F981g Fundação Estadual do Meio Ambiente.
Guia técnico ambiental de biogás na agroindústria /
Fundação Estadual do Meio Ambiente, Federação das
Indústrias do Estado de Minas Gerais, Cooperação Alemã para
o Desenvolvimento Sustentável (GIZ). --- [Belo Horizonte]:
Fundação Estadual do Meio Ambiente, Federação das
Indústrias do Estado de Minas Gerais, Cooperação Alemã para
o Desenvolvimento Sustentável (GIZ), [2015].
160p.:il.

1. Biogás - produção. 2. Agroindústria. 3. Impacto ambiental.
4. Licenciamento ambiental. I. Título. II. Federação das Indús-
trias do Estado de Minas Gerais. III. Cooperação Alemã para o
Desenvolvimento Sustentável (GIZ).

CDU: 620.92:504.6

PALAVRA DO PRESIDENTE - FIEMG

PRODUÇÃO LIMPA E GERAÇÃO DE EMPREGOS

A edição deste **Guia Técnico Ambiental de Biogás na Agroindústria** é resultado de uma saudável e produtiva parceria entre o Sistema Federação das Indústrias de Minas Gerais (SISTEMA FIEMG), Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM) e a Agência de Cooperação Brasil e Alemanha (GIZ). O objetivo é divulgar informações importantes sobre a produção sustentável do biogás, harmonizando a atividade produtiva e a necessária preservação ambiental.

Esta publicação registra o firme compromisso dos parceiros – FEAM, GIZ e Sistema FIEMG – com a sustentabilidade. O que nos move é a crença de que é perfeitamente possível compatibilizar a atividade econômica e os cuidados ambientais que, a um só tempo, assegurem uma produção limpa, crescimento e desenvolvimento social.

No atual cenário de preços da energia cada vez mais elevados e impactantes no custo de produção das indústrias, entendemos que a possibilidade de se produzir energia a partir de resíduos e efluentes é uma forma de assegurar competitividade às empresas que, de forma criativa e inovadora, encaram com êxito os desafios da agenda ambiental.

Este Guia também reafirma o compromisso da agroindústria de participar do setor gerador de energia – um setor diversificado, tecnologicamente desenvolvido, transparente, inovador, competitivo, inserido nos grandes mercados mundiais e efetivamente alinhado com os princípios sobre os quais se fundamenta a sustentabilidade.

Em essência, como também se verá nas páginas seguintes, este **Guia Técnico Ambiental de Biogás na Agroindústria** explicita a constatação de que, com compromisso e responsabilidade, é possível, sim, produzir riqueza para o país e empregos de qualidade para os trabalhadores, dentro da mais absoluta observância aos princípios do desenvolvimento sustentável.

A todos, boa leitura!

Olavo Machado Junior

Presidente da Federação das Indústrias de Minas Gerais - FIEMG

PALAVRA DO PRESIDENTE - FEAM

GERAÇÃO DE BIOGÁS: O CAMINHO PARA A SUSTENTABILIDADE

Desde 2013, a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), em parceria com a Federação das Indústrias de Minas Gerais (FIEMG), vem produzindo Guias Técnicos Ambientais de tipologias industriais. Desde então foram publicados guias dos setores de cerâmica vermelha, laticínios, rochas ornamentais e indústria têxtil e agora chegou o momento do Guia Técnico Ambiental de Biogás na Agroindústria, fruto de uma parceria das duas instituições com a PROBIOGÁS e a empresa Methanum Resíduo e Energia.

Os guias têm objetivo de informar e conscientizar os empreendimentos para uma produção mais limpa e responsável, além de ser uma ótima referência para demais interessados no tema. Entendemos que esta é uma ação fundamental para o alcance da melhoria da qualidade no ambiente industrial.

Atualmente, a FEAM, entre outras atribuições, tem trabalhado em soluções para os problemas ambientais e orientado as empresas para uma produção mais eficiente e para obtenção de melhores resultados. Nesse sentido, o documento tem o papel de incentivar a geração de biogás nas indústrias, com o devido controle ambiental, com ênfase em três setores de grande potencial: abate de animais de grande porte, indústria de laticínios e setor sucroenergético.

Esses setores são essenciais para a economia mineira e geram grande quantidade de resíduos e/ou efluentes orgânicos, demonstrando que a geração de biogás apresenta-se como grande oportunidade. O Guia mostra que a geração de biogás tem o potencial de promover a adequação ambiental da agroindústria, ampliar a produção de energia com base em fontes renováveis, ampliar a eficiência energética da indústria local e incrementar o PIB do estado. Nele são apresentadas as principais tecnologias, os processos produtivos, os tipos de usos do biogás, os aspectos e impactos ambientais, as boas práticas ambientais, a regularização ambiental e os incentivos existentes. Boa leitura!

Diogo Melo Franco

Presidente da Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM

PALAVRA DO COORDENADOR - PROBIOGÁS

Prezados Leitores,

A análise da competitividade do setor industrial hoje inclui, além das questões econômicas, os aspectos ambientais e sociais das atividades produtivas e levou a uma maior cobrança pelo desenvolvimento sustentável, ou seja, aumentar rendimentos com menor uso de recursos e menor impacto ambiental e social.

Essa busca é um desafio, por exigir das empresas e indústrias investimentos em novas tecnologias e novos conhecimentos, inclusive em momentos de incerteza econômica. Mas, ao mesmo tempo, abre caminhos para a realização de soluções inovadoras, orientadas pelas visões a longo prazo.

Uma rota tecnológica muito interessante para melhorar a eficiência econômica e reduzir os impactos ambientais das atividades do setor industrial, especificamente do setor agroindustrial, o qual gera efluentes e resíduos com alta taxa orgânica, é o aproveitamento energético do biogás gerado a partir da degradação anaeróbia. Esta publicação traz informações sobre essas tecnologias e seu potencial de implantação no estado de Minas Gerais, visando facilitar as decisões do setor por novos conceitos e tecnologias. Desejo a todos uma ótima leitura.

Wolfgang Roller
Coordenador do PROBIOGÁS

LISTA DE SIGLAS

AAF | Autorização Ambiental de Funcionamento

ABNT | Associação Brasileira de Norma Técnicas

ACL | Ambiente de Contratação Livre

ACR | Ambiente de Contratação Regulada

ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica

ANP | Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

ART | Anotação de Responsabilidade Técnica

BDMG | Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais

BNDES | Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social

CAR | Cadastro Ambiental Rural

CH₄ | Metano

CHP | *Combined Heat and Power*

CI | Capacidade Instalada

CLT | Consolidação das Leis Trabalhistas

CO₂ | Dióxido de carbono

CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente

COOPCANA | Cooperativa Agrícola Regional de Produtores de Cana Ltda.

COPAM | Conselho Estadual de Política Ambiental

COV | Compostos orgânicos voláteis

CSTR | *Continuous Stirred-Tank Reactor*

CTF | Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras de Recursos Ambientais

DAIA | Documento Autorizativo para Intervenção Ambiental

DBO | Demanda Bioquímica de Oxigênio

DEA | Dietanolamina

DIPA | Diisopropanolamina

DN | Deliberação Normativa

DQO | Demanda Química de Oxigênio

EIA | Estudo de Impacto Ambiental

EPDM | Etileno-Propileno-Dieno

EPE | Empresa de Pesquisa Energética

FCE | Formulário de Caracterização do Empreendimento

Fe(OH)₃ | Hidróxido de ferro

Fe₂O₃ | Óxido de ferro

FEAM | Fundação Estadual do Meio Ambiente

FIEMG | Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais

FINEP | Financiadora de Estudos e Projetos

FOB | Formulário de Orientação Básica

GIZ | *Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit*

GN | Gás natural

GNV | Gás natural veicular

H₂S | Sulfeto de hidrogênio

IBAMA | Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis

IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMS | Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços

IN | Instrução Normativa

LIC | Licença de Instalação Corretiva

LOC | Licença de Operação Corretiva

MAPA | Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MDEA | Metildietanolamina

MDL | Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

MEA | Monoetanolamina

MTE | Ministério do Trabalho e Emprego

NaOH | Hidróxido de sódio

NBR | Norma Brasileira Regulamentadora

NH₃ | Amônia

NO_x | Óxidos de nitrogênio

NR | Normas Regulamentadoras

O&M | Operação e Manutenção

PCA | Plano de Controle Ambiental

PCI | Poder Calorífico Inferior

PEAD | Polietileno de Alta Densidade

PEMC | Plano de Energia e Mudanças Climáticas

pH | Potencial hidrogeniônico

PIB | Produto Interno Bruto

PLANSAB | Plano Nacional de Saneamento Básico

PNRS | Política Nacional de Resíduos Sólidos

PSA | Adsorção com modulação de pressão

PVC | Policloreto de vinila

RCA | Relatório de Controle Ambiental

REDUC | Refinaria Duque de Caxias

RIMA | Relatório de Impacto ao Meio Ambiente

RS | Rio Grande do Sul

SDA | Secretaria de Defesa Agropecuária

SEAPA | Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento

SEMAD | Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

SIAM | Sistema Integrado de Informação Ambiental

SISEMA | Sistema Estadual de Meio Ambiente

SO_x | Óxidos de enxofre

SP | São Paulo

ST | Sólidos Totais

SV | Sólidos voláteis

TCFA | Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental

TDH | Tempo de Detenção Hidráulica

THC | Hidrocarbonetos totais

TUSD | Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

TUST | Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão

UASB | *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*

UHT | *Ultra-High-Temperature*

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	27
A PRODUÇÃO DE BIOGÁS ATRAVÉS DE RESÍDUOS E EFLUENTES ORGÂNICOS	28
PERFIL DE ATIVIDADES PRODUTIVAS COM POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS NO SETOR AGROINDUSTRIAL DE MINAS GERAIS	33
PRINCIPAIS TECNOLOGIAS APLICÁVEIS NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS	36
CSTR (<i>CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR</i>) OU REATOR CONTÍNUO DE MISTURA COMPLETA	39
LAGOAS OTIMIZADAS.....	44
UASB (<i>UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET REACTOR</i>) OU REATOR ANAERÓBIO DE MANTA DE LODO E FLUXO ASCENDENTE.....	47
TABELA RESUMO DAS TECNOLOGIAS.....	49
PROCESSOS AGROINDUSTRIAIS COM RELEVANTE POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS NO ESTADO DE MINAS GERAIS	52
ABATE DE ANIMAIS DE MÉDIO E GRANDE PORTE (BOVINOS E SUÍNOS).....	52
LATICÍNIOS.....	61
SUCROENERGÉTICO	69
USO DO BIOGÁS	79
USO TÉRMICO.....	82
COGERAÇÃO.....	84

BIOMETANO COMO SUBSTITUTO DO GÁS NATURAL.....	86
ASPECTOS / IMPACTOS AMBIENTAIS.....	90
EMISSÕES ATMOSFÉRICAS E ODORANTES.....	91
DESTINAÇÃO FINAL DE RESÍDUO GERADO NA BIODIGESTÃO (MATERIAL DIGERIDO).....	93
CONTAMINAÇÃO DO SOLO, ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS	100
RUÍDO.....	101
RISCOS DE EXPLOSÃO E INCÊNDIO	102
BOAS PRÁTICAS AMBIENTAIS	107
LICENCIAMENTO AMBIENTAL E OBRIGAÇÕES LEGAIS	120
REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL.....	121
NORMAS TÉCNICAS.....	130
FONTES DE FINANCIAMENTO E PROGRAMAS DE INCENTIVO	132
GLOSSÁRIO.....	139
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	141
ANEXO.....	150

APRESENTAÇÃO

O presente Guia tem como objetivo fornecer informações técnicas e orientações básicas que auxiliem o empreendedor na implantação de usinas de biogás, as quais, além de promover o tratamento adequado e sustentável dos resíduos e efluentes orgânicos, podem suprir as demandas energéticas dos empreendimentos. Essas formas de tratamento aliam a regularização ambiental, redução de custos, gestão inteligente e a produção de energia renovável pela agroindústria em Minas Gerais.

O Guia Técnico Ambiental de Biogás na Agroindústria é fruto de uma parceria entre a *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH* (GIZ), no âmbito do Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil – PROBIOGÁS¹, a Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG), a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) e a empresa Methanum Resíduo e Energia, e vem contribuir para que as agroindústrias implementem práticas voltadas à produção sustentável, obtendo benefícios ambientais e econômicos na gestão de seus resíduos e efluentes orgânicos.

O Guia irá abordar com maior detalhamento os setores de abate de animais, produção de laticínios e sucroenergético, os quais são importantes segmentos da agroindústria mineira e produzem resíduos e efluentes com elevado potencial de produção de biogás.



Todos os setores produtivos que gerem resíduos e efluentes orgânicos podem utilizar esse tipo de tecnologia, tornando seus processos ainda mais sustentáveis.

1. O PROBIOGÁS é um projeto inovador, fruto de uma cooperação técnica entre o Governo Brasileiro, por meio da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, do Ministério das Cidades e o Governo Alemão, por meio da GIZ. Com o objetivo de contribuir para a ampliação do uso energético eficiente do biogás e, por conseguinte, para a redução de emissões de metano e de dióxido de carbono na atmosfera, o projeto conta com uma rede de parcerias nas esferas governamental, acadêmica e empresarial.



A PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS E EFLUENTES ORGÂNICOS

Promover a gestão adequada dos resíduos e efluentes gerados nos processos produtivos é um dos principais desafios enfrentados pela sociedade moderna. Dentre os diversos tipos de resíduos e efluentes gerados, aqueles compostos por materiais orgânicos têm se destacado como uma significativa fonte de contaminação ambiental, pois, quando não são tratados de forma adequada, tornam-se uma relevante fonte de contaminação do solo e corpos hídricos, proliferação de vetores e doenças, geração de maus odores e emissão de gases causadores do efeito estufa.

Nesse sentido, a metanização, ou digestão anaeróbia, é um processo com ampla aplicabilidade para a conversão de resíduos e efluentes orgânicos em biogás e biofertilizante, associando o tratamento adequado à geração de energia renovável. Possibilitar a implantação de soluções que permitam aos processos industriais gerar energia para suprir toda ou parte de sua demanda energética é uma iniciativa muito relevante, pois, em 2013 a indústria brasileira consumiu



quase 41% de toda energia elétrica gerada no país (EPE1, 2014). A implantação de uma usina de biogás pode-se configurar com uma alternativa que fecha o ciclo de produção e consumo, promovendo um retorno dos resíduos e efluentes orgânicos à cadeia produtiva, incrementando significativamente a sustentabilidade dos processos industriais.

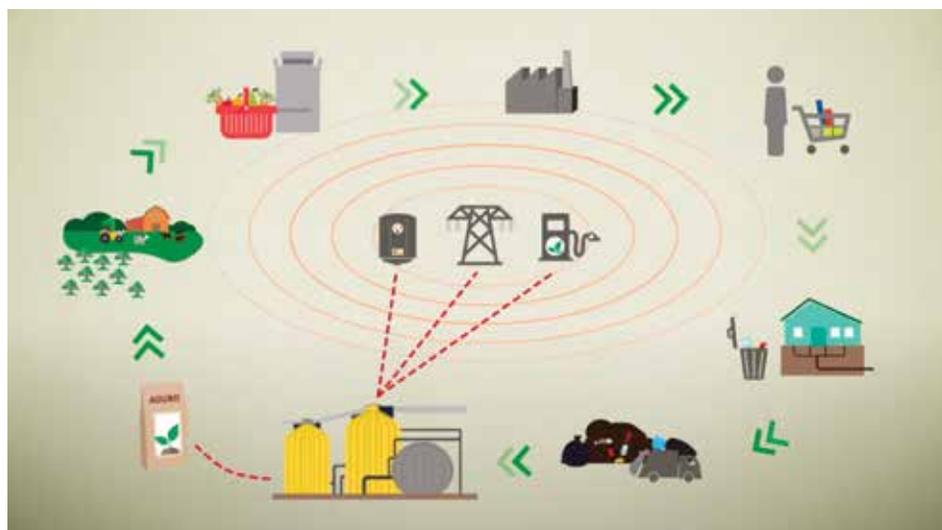


Figura 1 – Ciclo de geração e utilização do biogás. Fonte: MCIDADES 1, 2015.

Devido à presença majoritária de metano (CH₄) em sua composição (55 a 80%), o biogás caracteriza-se como um gás energético, configurando-se como um biocombustível com grande potencial de ampliar a participação das energias renováveis na matriz energética brasileira. Sua utilização pode ser direcionada à geração de energia térmica, elétrica ou para produção de biometano (biogás com uma concentração superior a 96,5% de metano²), visando atender à demanda industrial ou uso como combustível veicular. O biogás pode ser considerado um biocombustível estratégico para o país, podendo se transformar em uma importante ferramenta para vencer os desafios econômicos e de infraestrutura, ao mesmo tempo em que reduz os passivos ambientais no gerenciamento de resíduos e efluentes.

Além dos benefícios decorrentes do tratamento adequado dos resíduos e geração de energia renovável, o material orgânico resultante do processo de metanização pode ser utilizado com diversas finalidades. O material digerido pode ser utilizado como condicionante de solo, biofertilizante ou mesmo como combustível sólido para a geração de calor.

A implantação de usinas de biogás para tratamento de resíduos e efluentes já é uma realidade em diversos países do mundo, beneficiando setores industriais que geram resíduos e efluentes com alta carga orgânica. No Brasil, a metanização tem sido empregada com maior expressividade em alguns setores em particular, a exemplo de 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 rota tecnológica.

Entretanto, ainda são poucas as iniciativas brasileiras que realizam a utilização do biogás com finalidades energéticas. Essa situação pode ser atribuída, em partes, ao baixo nível tecnológico adotado nas usinas de biogás; ao reduzido controle operacional do processo, o que limita a produtividade e linearidade na geração de biogás; às barreiras de cunho legal, devido à necessidade de regularização desses empreendimentos enquanto unidades de produção e/ou autoconsumo de energia; ou, ainda, barreiras econômicas, devido à necessidade de investimentos diante da falta de assertividade quanto à rentabilidade efetiva destas instalações. Por esse motivo, o acesso a informações técnicas sobre as tecnologias adequadas para cada setor, bem como seu efetivo potencial de produção de energia, são fundamentais para fomentar novas iniciativas focadas no uso energético do biogás, incentivando, também, a adoção desta prática nas usinas de biogás já existentes.

2. A Resolução ANP nº 08, publicada em 30 de janeiro de 2015, estabeleceu e regularizou as especificações do biometano para que esse possa ser comercializado em todo o território nacional.

De uma forma geral, todo resíduo ou efluente orgânico pode ser direcionado a um sistema de metanização, visando a sua valorização energética. As variações existentes entre os setores são, principalmente, em relação ao modelo de tecnologia mais apropriado à determinada tipologia de resíduo/efluente e também em termos de produtividade de biogás, que difere em função do conteúdo de material biodegradável presente nos substratos. A seguir, são listadas algumas atividades produtivas com elevado potencial de utilização de sistemas de metanização para a produção de biogás.

Tabela 1 – Resíduos e efluentes gerados nas atividades agroindustriais.

ATIVIDADE PRODUTIVA	RESÍDUO/EFLUENTE
Produção de Açúcar e Etanol	Vinhaça, torta de filtro e bagaço
Produção de Refrigerantes	Efluentes e restos de produção
Curtume	Resíduos das operações de descarna e divisão de tripa, licores de curtimento sem cromo e lodo de sistemas de tratamento
Cervejarias	Bagaço de malte, restos de filtro e efluentes
Produção de Sucos e Vinhos	Efluentes, lotes estragados e biomassas geradas na filtração
Produção de Conservas	Efluentes, resíduos e restos da produção
Produção de Óleos e Margarinas	Efluentes, torta de filtro de gordura e outros resíduos da produção
Produção de Carne e Açougues	Efluentes, sangue, intestinos, carne não comercializável e gordura
Produção de Laticínios	Soro de leite, lotes estragados e resíduos dos separadores de gordura

ATIVIDADE PRODUTIVA	RESÍDUO/EFLUENTE
Produção de Amidos e Farinhas de cereais, mandioca, batatas	Efluentes e restos da produção
Panificação	Efluentes da produção, resíduos da limpeza e lotes de produtos inadequados ao consumo
Produção de Celulose, Papéis e Cartonagens	Lodo da lixívia verde, lodo de branqueamento, rejeitos e lodos de fibras e outros efluentes da produção
Indústrias Farmacêuticas	Efluentes e resíduos com alto teor de substâncias biodegradáveis
Produção de Café e Chás	Efluentes e biomassas geradas na separação e na filtração
Agricultura e Pecuária	Cascas, fezes, urina, palha e outros substratos utilizados no recobrimento de currais
Produção de Leveduras, Doces e outros produtos	Efluentes e resíduos da produção

Devido à vocação agroindustrial do estado de Minas Gerais, a implantação de empreendimentos de biogás se apresenta como uma oportunidade ímpar para incrementar significativamente o grau de sustentabilidade do setor. A disseminação de projetos de biogás tem potencial para promover a adequação ambiental da agroindústria, ampliar a produção de energia com base em fontes renováveis, ampliar a eficiência energética da indústria local e incrementar o Produto Interno Bruto (PIB) do estado, contribuindo de maneira significativa para que o parque industrial mineiro seja reconhecido por suas práticas sustentáveis, produtividade e competitividade no cenário nacional e internacional.

Perfil de atividades produtivas com potencial de geração de biogás no setor agroindustrial de Minas Gerais

De forma a traçar um perfil da agroindústria mineira com relação ao potencial de geração de biogás, realizou-se uma compilação e análise dos dados disponíveis no Sistema Integrado de Informações Ambientais (SIAM), o qual é vinculado à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), referentes aos processos de regularização ambiental no estado de Minas Gerais. Esse levantamento buscou obter informações como a localização, critério de enquadramento segundo a Deliberação Normativa (DN) do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) nº 74/04 e a carga poluidora dos empreendimentos. Das 316 tipologias industriais listadas na DN, foram selecionadas 44 atividades consideradas relevantes para a produção de biogás, as quais são tipicamente produtoras de resíduos e efluentes com elevado conteúdo orgânico biodegradável. A listagem completa das atividades é apresentada no Anexo 1.

Com base nos dados levantados, pode-se constatar que o setor agrícola possui um papel relevante na cadeia produtiva de Minas Gerais, sendo caracterizado por um grande número de empreendimentos que são majoritariamente de pequeno porte. As atividades agrícolas possuem uma grande sinergia com projetos de biogás, que podem contribuir fortemente para incrementar a geração de receitas no setor em decorrência da produção e autoconsumo de energia, podendo favorecer, ainda, uma maior intensificação do uso do solo e incremento na produtividade agrícola, em função da ciclagem de nutrientes devido à incorporação do biofertilizante gerado nas usinas de biogás.

Como pode ser verificado no Anexo 1, o estado possui uma grande quantidade de empreendimentos relacionados à **cafeicultura e citricultura** (G-01-6-6), **torrefação e moagem de grãos** (D-01-01-5), **cultura da cana-de-açúcar com e sem queima** (G-01-07-4 e G-01-07-5), **culturas perenes** (G-01-05-8), **culturas anuais** (G-01-03-1), **horticultura** (G-01-01-5 e G-01-02-3) e **beneficiamento de produtos agrícolas** (G-04-01-4), que somados totalizam 57.745 empreendimentos, representando quase 73% do total de empreendimentos que desenvolvem alguma das 44 atividades com elevado potencial de produção de biogás.

A **criação de animais de grande porte em regime de confinamento** (G-02-08-9) apresenta uma grande relevância para a produção de biogás. O fato dos animais permanecerem a maior parte do tempo nos currais facilita a coleta e destinação dos dejetos para a produção de biogás. Considerando que a totalidade da capacidade instalada de confinamento de animais de grande porte em Minas Gerais seja destinada exclusivamente a bovinos³, que cada animal gera cerca de 2,5 kg de sólidos voláteis (SV) por dia e uma produção de 0,1 m³ de metano por kg de SV, pode-se estimar um potencial de 190 mil m³ de metano por dia (ZANETTE, 2009). Considerando que o metano possui um poder calorífico inferior (PCI) de 9,97 kWh (FNR, 2010) e uma eficiência de conversão em energia elétrica de 35%, o confinamento de animais pode representar um incremento de quase 28 MW na potência elétrica instalada no estado.

Já na **suinocultura de ciclo completo** (G-02-04-6) e na **atividade de crescimento e terminação** (G-02-05-4), considerando uma taxa de geração de dejetos de 0,3 kg de SV por animal por dia e uma produtividade de metano de 0,29 m³ por kg de SV, pode-se estimar um potencial de produção de metano de quase 185 mil m³/d, o que representa cerca de 27 MW de potência elétrica (ZANETTE, 2009). Nesse setor, já é recorrente a adoção de sistemas de produção de biogás a partir dos dejetos, principalmente as lagoas anaeróbias cobertas, visando principalmente à adequação ambiental. Entretanto, na grande maioria dos casos, não há uso energético e o biogás é captado e queimado de modo a possibilitar a obtenção de créditos de carbono em projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL). Mais recentemente, verifica-se uma movimentação do setor para investir em otimização dos sistemas, do ponto de vista tecnológico, que atualmente é bastante limitado, visando a uma produção de biogás e de energia mais elevada e estável.

Considerando uma taxa de geração de dejetos de 0,02 kg de SV por animal por dia e uma produtividade de metano de 0,24 m³ por kg de SV (ZANETTE, 2009), os empreendimentos que desenvolvem as atividades de **avicultura de corte e reprodução** (G-02-01-1) e **avicultura de postura** (G-02-02-1) possuem um potencial de gerar quase 640 mil m³ de metano por dia, o que representa aproximadamente 100 MW de potência elétrica. Entretanto, o principal resíduo gerado pelo setor, a "cama de frango", já possui destinação economicamente viável e ambientalmente adequada que é a comercialização para produção de biofertilizante.

3. Premissa estabelecida de modo a possibilitar o cálculo do potencial de geração de biogás da atividade G-02-08-9.

Quanto à **fabricação de bebidas** no estado de Minas Gerais, verifica-se que a maior parte dos empreendimentos está relacionada à **produção de aguardente** (1.027 ou 88% do total), os quais possuem um significativo potencial de produção de biogás. A grande maioria dos empreendimentos é de pequeno porte, o que tende a direcionar a utilização do biogás na geração de energia térmica destinada ao autoconsumo, por ser uma alternativa com maior viabilidade econômica para aplicação em projetos de pequena escala.

No caso das **cervejarias** (D-02-04-6), considerando que são gerados em média 6,3 m³ de efluente por m³ de cerveja produzida, com uma demanda química de oxigênio (DQO) média do efluente de 2,9 kg/m³, uma eficiência de 80% na remoção da DQO e uma taxa de produção de metano de 0,4 m³ por kg de DQO removida, pode-se estimar um potencial de produção de metano de quase 81 mil m³/d, o que representa cerca de 12 MW de potência elétrica (ZANETTE, 2009). Cabe destacar que grande parte das cervejarias utilizam processos anaeróbios para o tratamento dos efluentes; entretanto, iniciativas de aproveitamento energético do biogás ainda são muito escassas.

A aplicação das tecnologias de produção de biogás na **indústria do couro** (C-03-01-8), (C-03-02-6) e (C-03-03-4) se constitui em uma interessante solução para o tratamento dos resíduos e efluentes do setor. Entretanto, nos casos em que o curtimento do couro é realizado com a utilização do cromo hexavalente, o processo de metanização pode ser prejudicado, comprometendo, também, a qualidade do biofertilizante resultante, limitando sua utilização agrícola.

Além dos dados de potencial de geração de biogás nos setores apresentados, a presente publicação traz, em maior detalhe, uma **análise da aplicabilidade da metanização em três atividades industriais**, as quais podem ser consideradas como estratégicas para a disseminação de projetos biogás em Minas Gerais. Para tanto, serão analisados os setores de:



I) ABATE DE ANIMAIS DE MÉDIO E GRANDE PORTE;

II) INDÚSTRIA DE LATICÍNIO; E

III) SETOR SUCROENERGÉTICO.

Cabe destacar que a seleção dos setores teve como base a representatividade destes empreendimentos em Minas Gerais, com base nos dados do SIAM, e levaram em consideração o fato de serem atividades tradicionais da indústria mineira e possuírem significativas taxas de geração de resíduos e efluentes, caracterizados pela adequabilidade para a produção de biogás e elevadas taxas de produtividade previstas.

No caso do setor **sucoenergético**, destaca-se ainda a sua atuação enquanto empreendimentos produtores e exportadores de energia elétrica (bioeletricidade), característica que pode ser um facilitador para a disseminação de projetos de biogás nestas indústrias.

Entretanto, **é importante enfatizar que o foco nestas atividades não restringe à aplicabilidade da metanização em outros setores, nem reduz sua importância.** Pelo contrário, espera-se que as demais indústrias, que geram resíduos e efluentes orgânicos, sejam motivadas pelo detalhamento técnico e levantamento do potencial de produção de biogás nos diferentes setores agroindustriais tomados como estudos de caso.

PRINCIPAIS TECNOLOGIAS APLICÁVEIS NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Existem distintas tecnologias de metanização disponíveis comercialmente para o processamento de resíduos e efluentes, visando ao tratamento e à produção de biogás. A definição do sistema mais adequado a cada caso deve levar em consideração, no mínimo, as características particulares do setor produtivo em questão:

- Composição e características dos substratos orgânicos disponíveis (teor de sólidos totais, pH, viscosidade, relação carbono/nitrogênio);
- Presença de inibidores ao processo de metanização (antibióticos, metais pesados, detergentes e outros); e
- Disponibilidade de substrato (volume de geração, sazonalidade produtiva).

Além disto, é fundamental considerar qual o uso desejado para o biogás (energia elétrica, térmica, biometano para autoconsumo ou comercialização) e também as possibilidades de destinação do material digerido gerado. Todas estas condições são essenciais para a concepção de um projeto integrado e eficiente.



Figura 2 – Usina de biogás.

Apesar das especificidades de cada projeto, de modo geral, uma planta de metanização, que também pode ser denominada usina de biogás, possui uma infraestrutura característica, com base em quatro etapas principais de processamento:

GERENCIAMENTO DO SUBSTRATO

- Recepção
- Armazenamento
- Pré-tratamento
- Introdução no reator



METANIZAÇÃO E GERAÇÃO DE BIOGÁS

CONDICIONAMENTO E USO ENERGÉTICO DO BIOGÁS

GERENCIAMENTO DO MATERIAL DIGERIDO

- Pós-tratamento
- Armazenamento
- Disposição final

Apesar da predominância das quatro principais etapas de processamento, os componentes que serão de fato necessários são bastante variáveis, conforme o projeto. Por exemplo, os substratos podem ser bombeados diretamente do processo produtivo, dispensando local de armazenamento e transporte; ou então o material digerido pode ser encaminhado diretamente à disposição final em aterro sanitário, caso sua qualidade não seja satisfatória ou existam restrições de escoamento ou de mercado que não justifiquem o investimento na etapa de pós-tratamento deste material.

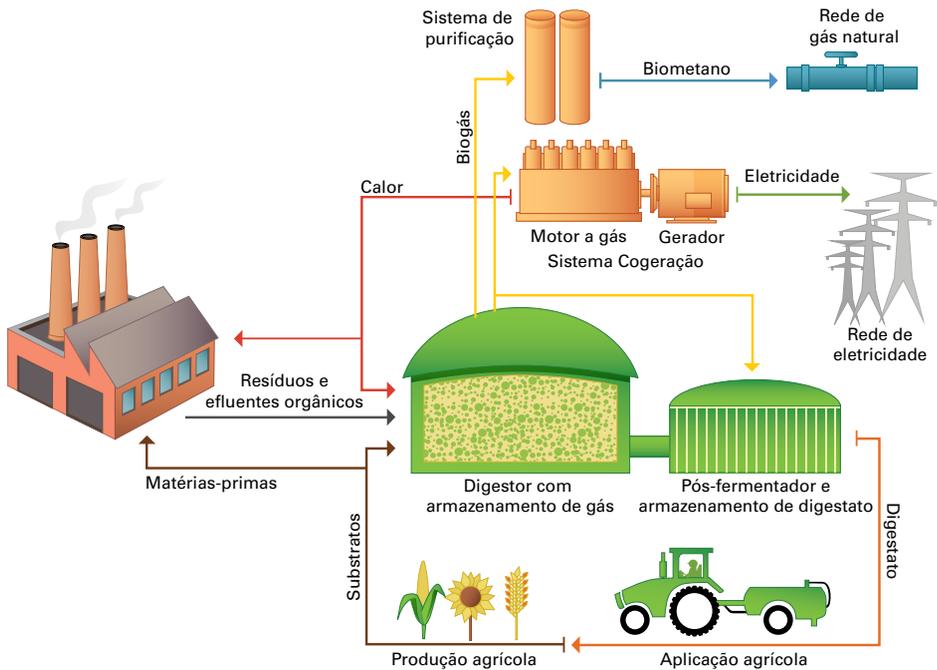


Figura 3 – Fluxograma do processo de produção e utilização de biogás.

Fonte: Adaptado de BIO ENERGY PROM, 2015.



Tecnologias mais usuais para o tratamento de resíduos e efluentes orgânicos agroindustriais:

- CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactor*) ou Reator Contínuo de Mistura Completa;
- Lagoas Otimizadas;
- UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*) ou Reator Anaeróbio de Manta de Lodo e Fluxo Ascendente.

Além das tecnologias citadas no presente estudo, existem outras opções com elevado grau de maturidade tecnológica e prontamente disponíveis no mercado, mas que por se aplicarem a outras tipologias de resíduos e efluentes não foram abordadas neste estudo⁴.

CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactor*) ou Reator Contínuo de Mistura Completa

Os reatores CSTR representam uma tecnologia padrão para a digestão anaeróbia de substratos mais densos, com característica líquida à pastosa e com um teor de sólidos totais (ST) de até 20%. São normalmente aplicados nos setores da agropecuária e da agroindústria, com foco em substratos da produção animal e vegetal com boa degradabilidade, e para tratamento de lodos gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário (MCIDADES 2, 2015).

Tabela 2 – Versões do CSTR.

CSTR versão básica	Especialmente empregado para o tratamento de dejetos animais. A construção, os equipamentos, a operação e manutenção são relativamente mais simples.
CSTR versão avançada	Para substratos complexos com altas cargas orgânicas. O processo construtivo é mais elaborado e os reatores são mais altos, com misturador central, e são necessários maiores investimentos em equipamentos e também na operação.

4. Informações sobre as outras tecnologias de metanização podem ser obtidas na publicação “Tecnologias da digestão anaeróbia com relevância para o Brasil: Substratos, Digestores e Uso de Biogás”, a qual está disponível para download no <http://www.cidades.gov.br/index.php/saneamento/probiogas>.

Esse modelo de tecnologia está entre as mais difundidas no mundo para o processamento de resíduos com elevada homogeneidade, portanto, baixo teor de materiais impróprios (plásticos, vidro, areia, etc.). Na Alemanha, em 2013, por exemplo, existiam 7.700 plantas de biogás no setor agrícola, das quais aproximadamente 92% utilizavam essa rota tecnológica (DBFZ, 2014). No Brasil, existem algumas unidades em operação, como, por exemplo, a planta de biogás da Granja Genética Pomerode, em Santa Catarina, voltada para o processamento de dejetos de suínos visando à produção de biometano.

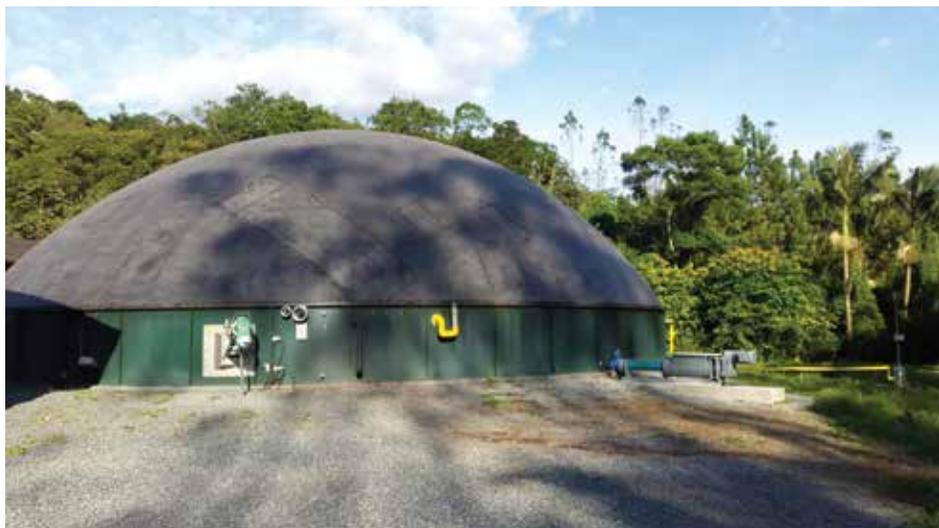


Figura 4 – Usina de biogás da Granja Genética Pomerode. Fonte: Arquivo GIZ.

Dependendo das características do substrato, podem ser necessários distintos **processos de pré-tratamento**, tais como triagem, trituração e diluição para ajuste do teor de sólidos. Estes processos têm como principal objetivo homogeneizar o substrato e o tamanho médio das partículas, de forma que seja evitada a formação de zonas com diferentes concentrações de matéria orgânica no interior do reator. Depois de homogeneizado, o substrato está pronto para ser introduzido no reator de metanização.



Figura 5 – Sistema de introdução de substratos sólidos utilizados em um digestor de mistura completa. Fonte: Arquivo Methanum.

O reator CSTR é representado por um reservatório cilíndrico em posição vertical, com vedação hermética, sendo constituído por um fundo de concreto e paredes em material variável (aço carbono com proteção contra corrosão, aço inox, aço vitrificado ou concreto armado). Sua estrutura pode ser completamente posicionada sobre o solo, parcialmente ou completamente enterrada.

A parte superior do reservatório é constituída por uma cobertura impermeável, que deve garantir as condições de estanqueidade do sistema e atender aos requisitos de pressão estabelecidos, sendo mais comum a adoção de tetos de membranas e de concreto (FNR, 2010). No caso da utilização de membranas, estas funcionam como acumuladores do biogás formado no reator e podem ser sistemas simples ou de membrana dupla. No caso da membrana simples, estas permanecem infladas devido ao acúmulo de biogás. No caso das membranas duplas, mais utilizadas, o espaço entre a membrana interna e a externa permanece sempre inflado devido à injeção de ar com o auxílio de sopradores. Com esse sistema consegue-se uma garantia de pressão constante na linha de biogás, bem como uma maior segurança contra intempéries, principalmente ventos.

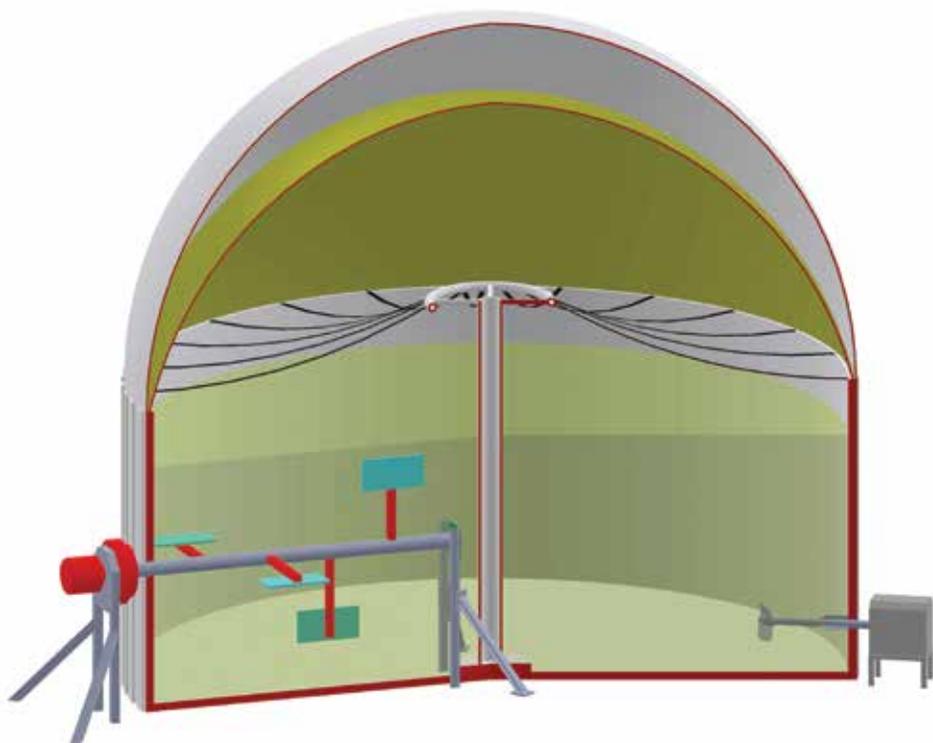


Figura 6 – Representação esquemática de um reator CSTR com dupla membrana para acumulação de biogás e agitador de pá lateral. Fonte: MCIDADES 3, 2015.

A homogeneização do material em digestão é realizada por agitadores mecânicos, posicionados lateralmente, tangencialmente ou submersíveis. O objetivo da agitação é promover a interação dos microrganismos anaeróbios com a matéria orgânica, garantindo o acesso destes aos substratos disponíveis, além de proporcionar condições constantes e homogêneas em todo o reator (como temperatura e disponibilidade de nutrientes), o que resulta em maior produtividade de biogás. São utilizados agitadores de baixa rotação, de modo a manter um fluxo constante no interior do reator, evitando a acumulação e concentração excessiva de sólidos.

Os agitadores são geralmente constituídos por motor, eixo e hélice. No caso de agitadores tangenciais, apenas o eixo e hélice ficam inseridos no interior do reator, enquanto que em sistemas submersíveis ficam completamente introduzidos no substrato.



Figura 7 – Vista da parte interna de um reator CSTR com destaque para os agitadores submersíveis.
Fonte: KSB, 2015.

Para uma maior eficiência na produção de biogás, o material em digestão deve ser mantido nas faixas de temperatura mesofílica (35 a 37°C) ou termofílica (50 a 55°C), o que exige o fornecimento de calor, geralmente proveniente do sistema de cogeração de energia (CHP – Combined Heat and Power). Para auxiliar na manutenção da temperatura e reduzir as perdas térmicas, os reatores podem ser revestidos com material isolante.

A carga volumétrica aplicada nos reatores pode variar entre 1 e 4 kg de sólidos voláteis (SV) por m³ de reator por dia, e o tempo de detenção hidráulica (TDH) geralmente é superior a 20 dias (MCIDADES 2, 2015).

Os CSTR são aplicáveis para plantas a partir de 100 kW quando o substrato é bastante homogêneo, sem demanda de pré-tratamento e sem processo de higienização, como, por exemplo, no processamento de frutas, vinhos e cervejas. Para os substratos mais complexos, como os resíduos de matadouros, há maiores custos de operação devido ao pré-tratamento e à necessidade de higienização do material digerido, o que os torna economicamente viáveis a partir de maiores escalas (MCIDADES 2, 2015).



Figura 8 - CSTR de uma planta de biogás.

Lagoas Otimizadas

Esse tipo de tecnologia pode ser considerado como uma versão “tropicalizada” dos reatores CSTR, mas desenvolvida a partir dos sistemas de lagoas cobertas, amplamente utilizados no Brasil para o tratamento de efluentes da suinocultura. O objetivo foi incrementar a eficiência dos sistemas anaeróbios baseados em lagoas cobertas por meio da adoção de princípios operacionais dos reatores CSTR, como a inserção da agitação mecânica e controle da temperatura de operação.

Estruturalmente, as lagoas consistem em escavações no solo em formato de tronco de pirâmide invertida, com revestimento completo da base e das paredes por uma camada de geomembrana, constituída de policloreto de vinil (PVC) ou de polietileno de alta densidade (PEAD). A cobertura da lagoa também é realizada com aplicação de uma geomembrana, a qual pode ser confeccionada com os mesmos materiais ou ainda em borracha de etileno-propileno-dieno (EPDM).



Figura 9 – Lagoa coberta utilizada na suinocultura para o tratamento de dejetos.

Fonte: COMARTE, 2012.



A principal melhoria no sistema é a utilização de agitação mecânica, de modo a criar um ambiente de mistura completa e favorecer a degradação da matéria orgânica. A agitação também pode ser realizada por meio de um circuito de recirculação do efluente a partir da utilização de outro tanque reservatório, tubulação e bombas.

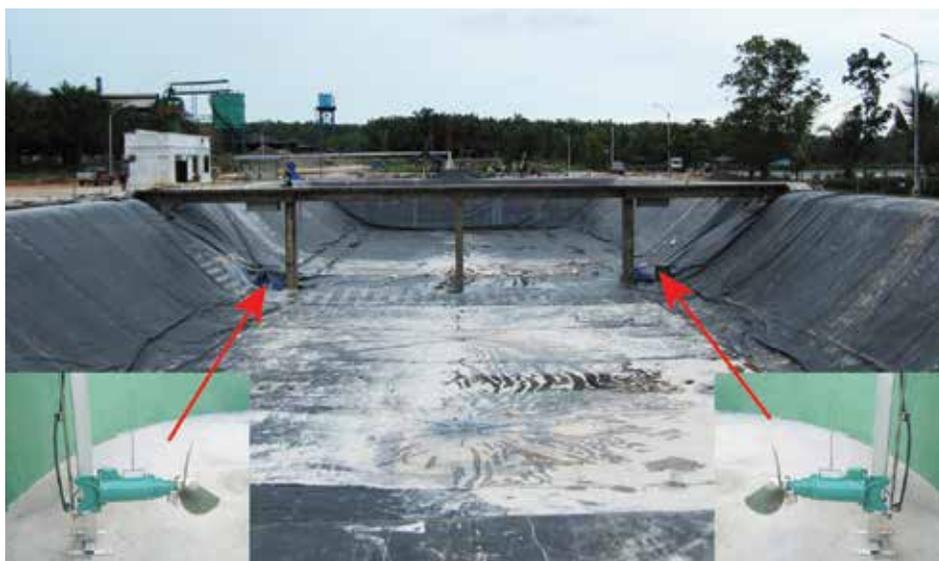


Figura 10 – Detalhe da instalação de um agitador mecânico em reator do tipo lagoa otimizada.

Fonte: SUMA, 2015.

Além da agitação, geralmente utiliza-se um sistema para aquecimento do substrato afluente ou do material em recirculação, de forma a elevar a temperatura interna do reator e garantir a operação na faixa mesofílica ou termofílica. O fato da lagoa ser escavada no solo impossibilita a realização do isolamento térmico do sistema, mas ao mesmo tempo, reduz a perda de calor.

De modo a promover uma melhor distribuição do substrato e homogeneização do material em digestão, a alimentação pode ser realizada de maneira uniforme no fundo da lagoa e misturada com parte do efluente tratado. Esses procedimentos objetivam alcançar uma boa circulação hidráulica com uma retenção efetiva da comunidade microbiana. Esses sistemas são denominados lagoas intensificadas (MCIDADES 2, 2015).

A preparação do substrato é realizada de modo a garantir que esteja com o teor de sólidos adequado ao sistema (10 a 15% ST), bem como para reduzir o tamanho das partículas (MCIDADES 2, 2015). Para tal, podem ser empregados trituradores, bem como a adição de líquido, que pode ser água, efluentes líquidos de outros processos ou mesmo o efluente do próprio reator, para a diluição do substrato.

Este tipo de tecnologia se aplica a substratos orgânicos líquidos e pastosos, ou sólidos que se tornem líquidos no processo de metanização, sendo adequado para tratamento de resíduos da agropecuária, indústria de alimentos e outros empreendimentos com geração de substratos com elevada carga orgânica e teor de sólidos de até 15% (MCIDADES 2, 2015).

Entre os principais benefícios, destaca-se o menor custo de implantação e operação, além da possibilidade de adequação de lagoas cobertas já existentes, de modo a incrementar a produção de biogás.

UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*) ou Reator Anaeróbio de Manta de Lodo e Fluxo Ascendente

Os reatores anaeróbios de manta de lodo e fluxo ascendente, mais conhecidos como UASB, são sistemas extremamente compactos e eficientes para o tratamento de efluentes líquidos industriais e de esgoto sanitário. Tipicamente utilizados em regiões tropicais, são uma alternativa bastante viável em função das elevadas cargas orgânicas suportadas (5 a 25 kg DQO/m³.d) e eficiência de remoção de DQO (70 a 95%), mas requerem efluentes com baixa carga de sólidos sedimentáveis (< 0,3 g/L). Esta tecnologia é capaz de processar efluentes com elevada concentração de matéria orgânica (DBO₅ > 1.000 mg/L), demandando um reduzido TDH, o qual pode variar entre 4 a 12 h (MCIDADES 2, 2015).

No Brasil, o sistema é amplamente aplicado no tratamento de esgoto sanitário, mas ainda possui uma tímida utilização em processos industriais, sendo mais comumente empregado em indústrias cervejeiras.

A introdução do efluente é realizada pela base do reator, ocorrendo geralmente em diversos pontos, de modo a promover um fluxo ascensional homogêneo em toda a seção transversal do reator. Logo acima do ponto de introdução do efluente, forma-se um filtro biologicamente ativo, composto por grânulos com alta densidade microbiana, os quais garantem elevadas eficiências de remoção de matéria orgânica. Na parte superior do reator é instalado um separador trifásico, o qual além de coletar o biogás gerado, funciona como um sedimentador, promovendo a separação das fases sólida e líquida, de modo a garantir uma maior retenção da biomassa no interior do reator.

Para a granulação do lodo, de forma a elevar a eficiência do sistema, deve-se buscar uma operação estável, garantindo uma introdução do substrato de forma equilibrada, tanto com relação à vazão quanto à carga orgânica aplicada.

Os reatores UASB são construídos geralmente com alturas variando entre 4 e 12 m, sendo que sua estrutura pode ser confeccionada em aço inox ou vitrificada, concreto armado com proteção contra corrosão ou mesmo em fibra de vidro para os sistemas de menor escala. A escolha do material de construção deve ser realizada em função do substrato a ser processado, bem como da disponibilidade no local de instalação. Há sistemas com alturas superiores a 12 m, os quais tendem a utilizar dois separadores trifásicos, criando duas zonas distintas, sendo a região mais inferior correspondente à zona de reação, e o compartimento acima do primeiro separador correspondente à zona de polimento (MCIDADES 2, 2015).

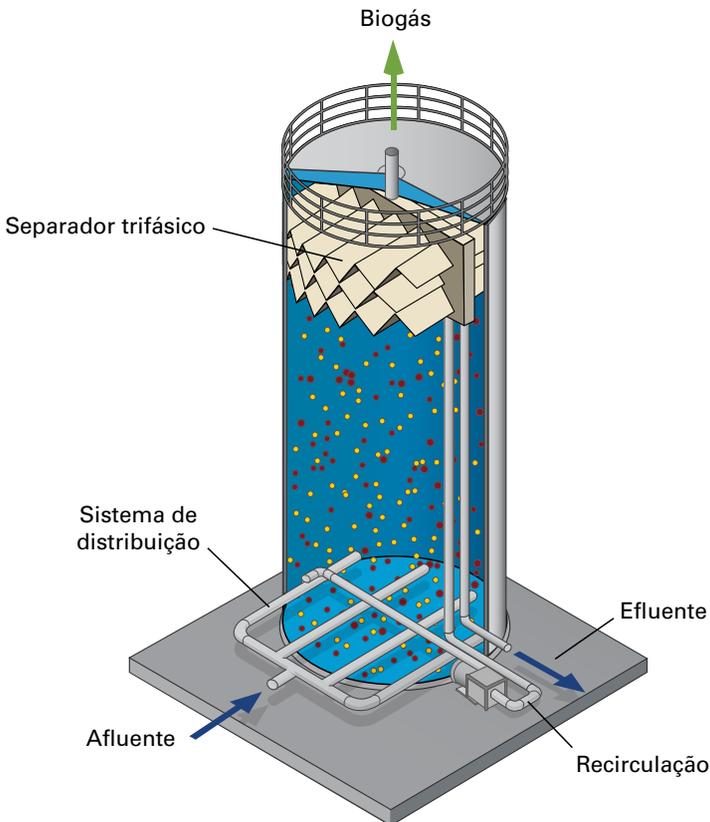


Figura 11 – Desenho esquemático de um reator UASB.

Fonte: Adaptado de ACS Umwelttechnik, 2015.

Tabela resumo das tecnologias

Tabela 3 – Resumo das tecnologias de metanização apresentadas.

CARACTERÍSTICAS	LAGOA OTIMIZADA (COM MISTURA MECÂNICA)	CSTR COM MISTURA (VERSÃO BÁSICA)	CSTR COM MISTURA (VERSÃO AVANÇADA)	UASB (INDÚSTRIA)
Condições para emprego da tecnologia	Substratos orgânicos líquidos e pastosos, ou sólidos que se tornem líquidos no processo de biodigestão.			Efluentes sem sólidos sedimentáveis (< 0,3 g/L), vazão > 500 m ³ /d.
Substratos	Biomassa da produção animal e vegetal com boa degradabilidade.		Resíduos agroindustriais com alta carga orgânica.	Aplicável geralmente para efluentes que resultem em elevada carga orgânica disponível (> 1.500 kg DBO ₅ /d).
Pré-tratamento	Dependendo das características do substrato pode ser necessária a remoção de impróprios, peneiramento, homogeneizar, cortar, triturar ou misturar com efluentes líquidos.			Dependendo das características do substrato pode ser necessário o gradeamento e/ou filtração para remoção de sólidos. Deve-se garantir a homogeneização da vazão e carga orgânica.
Cossustratos	Qualquer substrato orgânico que aumenta o rendimento de biogás e não impeça os processos biológicos e mecânicos.			Normalmente não é aplicável.

CARACTERÍSTICAS	LAGOA OTIMIZADA (COM MISTURA MECÂNICA)	CSTR COM MISTURA (VERSÃO BÁSICA)	CSTR COM MISTURA (VERSÃO AVANÇADA)	UASB (INDÚSTRIA)
Concentração de sólidos no reator	<15%	<20%	<20%	< 6% (fundo/grânulos)
Produção específica de CH₄	10 - 300 Nm ³ CH ₄ /t	50 - 300 Nm ³ CH ₄ /t	50 - 450 Nm ³ CH ₄ /t	140 - 5.000 Nm ³ CH ₄ /t
Dimensão da planta	50 - 1.000 m ³ /h CH ₄	50 - 2.500 m ³ /h CH ₄	50 - 10.000 m ³ /h CH ₄	50 - 10.000 m ³ /h CH ₄
Investimento completo	24.000 - 39.000 R\$/m ³ CH ₄	21.000 - 45.000 R\$/m ³ CH ₄	21.000 - 45.000 R\$/m ³ CH ₄	Muito específico (tipo de efluente)
Custos de operação e manutenção (O&M) em % investimento	Manutenção: 1% a 3% do investimento; materiais e seguro: 2% do investimento; consumo de energia: 4% a 9% da energia gerada.			
Número de plantas (global)	<100 plantas	> 10.000 plantas		800 - 1.200 plantas
Tempo de construção	4-6 meses	4-6 meses	4-8 meses	6-9 meses
Tempo de comissionamento	2-6 meses	2-6 meses	2-6 meses	2-3 meses
Vida útil da instalação civil	20 anos	15-20 anos		20 anos
Vida útil dos equipamentos	10 anos			Controle necessário a partir de cinco anos.
Vida útil média	15 anos			
Utilização usual	Produção agropecuária, plantios energéticos, indústria de alimentos, centrais de distribuição de alimentos e outros empreendimentos com geração de substratos de elevada carga orgânica.			
	Indústrias produtoras de efluentes com elevada carga orgânica.			

CARACTERÍSTICAS	LAGOA OTIMIZADA (COM MISTURA MECÂNICA)	CSTR COM MISTURA (VERSÃO BÁSICA)	CSTR COM MISTURA (VERSÃO AVANÇADA)	UASB (INDÚSTRIA)
Vantagens	Possibilidade de adaptação de lagoas cobertas, já existentes, de modo a incrementar a produção de biogás; sem limitação de tamanho; custo reduzido; manutenção simplificada.	Tecnologia comprovada de geração de biogás com substratos agropecuários; projeto e construção com valores padrões; possível controle eficiente do processo por meio de mistura otimizada; simplicidade para aquecimento e isolamento do reator.	Processo mais eficiente e mais compacto; melhor controle operacional; produção de biogás estável.	Extremamente compacto; operação simplificada; reduzido requerimento de mão-de-obra.
Desvantagens	Incremento na geração de renda; aproveitamento de resíduos para geração de biofertilizante e biogás; adequação à legislação ambiental; possibilidade de intensificação da atividade produtiva (utilização do biofertilizante); suprimento do autoconsumo de energia térmica e elétrica (redução de custos com energia). Condição de agitação e mistura limitada em função da geometria, com a possibilidade de formação de zonas mortas; limitação de fixação de agitadores ou trocadores de calor interno ao reator; grande requerimento de área; pequenas profundidades em função de instabilidade do solo.	Custo de implantação mais elevado; demanda por equipamentos importados; requerimento de mão de obra mais especializada.	Limitado a poucos tipos de efluentes; para produção de forma constante, a operação precisa de um monitoramento exigente (vazão, pH e temperatura).	

PROCESSOS AGROINDUSTRIAIS COM RELEVANTE POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS NO ESTADO DE MINAS GERAIS

De forma geral, a agroindústria mineira possui elevado potencial para produção de biogás a partir dos resíduos e efluentes gerados. O presente Guia irá focar nos setores de abate de animais de médio e grande porte, sucroenergético e produção de laticínios, porém, ressalta-se que as tecnologias de metanização não se restringem somente a esses setores.

Abate de animais de médio e grande porte (bovinos e suínos)

Desde 2004, o Brasil lidera o ranking mundial de maior exportador de carne bovina (MAPA 1, 2015) e ocupa a 4ª posição no mercado de suínos (ABPA, 2015). Em 2014, Minas Gerais abateu 3,2 milhões de bovinos e 5 milhões de suínos, o que corresponde, respectivamente, a 9,5% e 13,4% da produção nacional (IBGE 3, 2015). O setor de carnes se destaca na pauta de exportação do agro-negócio mineiro, o qual representou 13,5% do total de recursos gerados com a exportação nesse setor, no ano de 2013.

O processo de abate de bovinos e suínos é bastante semelhante, sendo ambos enquadrados na DN COPAM N° 74/04 sob o código D-01-03-1 – indústria de abate de animais de médio e grande porte. Em Minas Gerais, existem 381 empreendimentos, os quais estão distribuídos em todo o estado, com destaque para as regiões Central, Centro-Oeste, Sul, Zona da Mata, Rio Doce – que possuem a maior quantidade de empreendimentos – e para regiões do Alto Paranaíba e Triângulo – onde estão instalados os abatedouros de maior capacidade de produção.

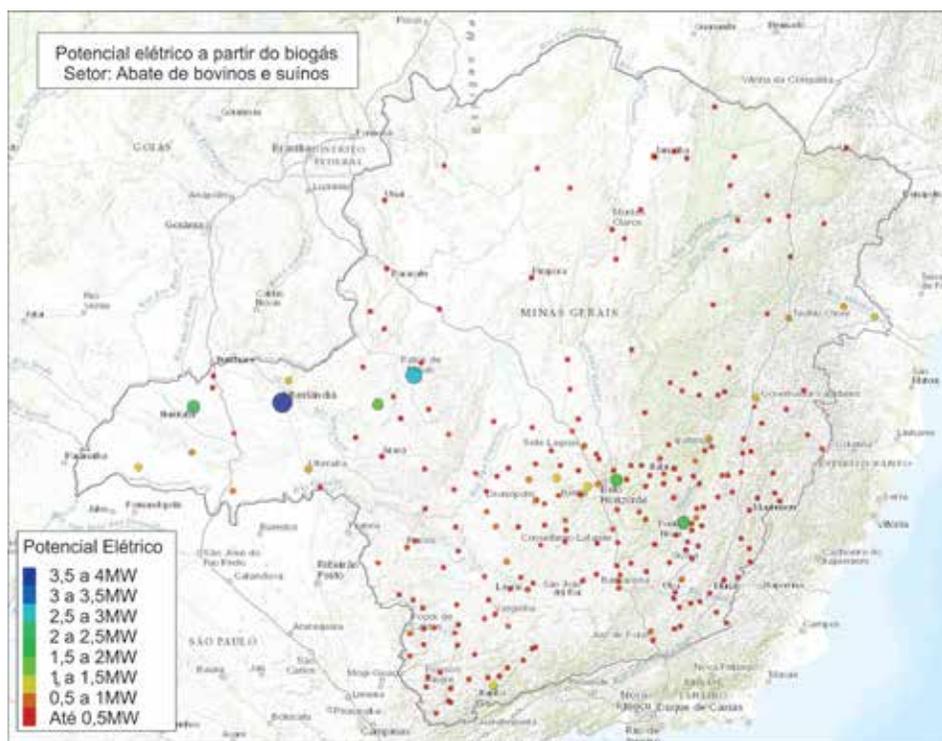


Figura 12 - Distribuição do potencial elétrico a partir do biogás no setor de abate de bovinos e suínos em Minas Gerais.

As atividades e processos industriais relacionados ao abate de animais são geradores de grandes quantidades de subprodutos, resíduos e efluentes orgânicos, tais como couros, sangue, ossos, gorduras, aparas de carne, tripas, animais ou suas partes condenadas pela inspeção sanitária.

Processo produtivo – Fluxograma

Os matadouros são definidos como locais onde ocorre o abate de animais, produzindo carcaças (carne com osso) e vísceras comestíveis. Algumas unidades realizam também a desossa das carcaças e produzem os chamados “cortes de açougue”, porém não industrializam a carne. Em geral, os resíduos sólidos gerados são encaminhados à graxaria, enquanto os efluentes líquidos, com exceção do sangue gerado no abate de suínos, que geralmente é utilizado na fabricação de produtos alimentícios, são direcionados a sistemas de tratamento de efluentes. Tanto os resíduos quanto os efluentes possuem elevada carga orgânica biodegradável e grande potencial de produção de biogás.

Abate de bovinos e suínos

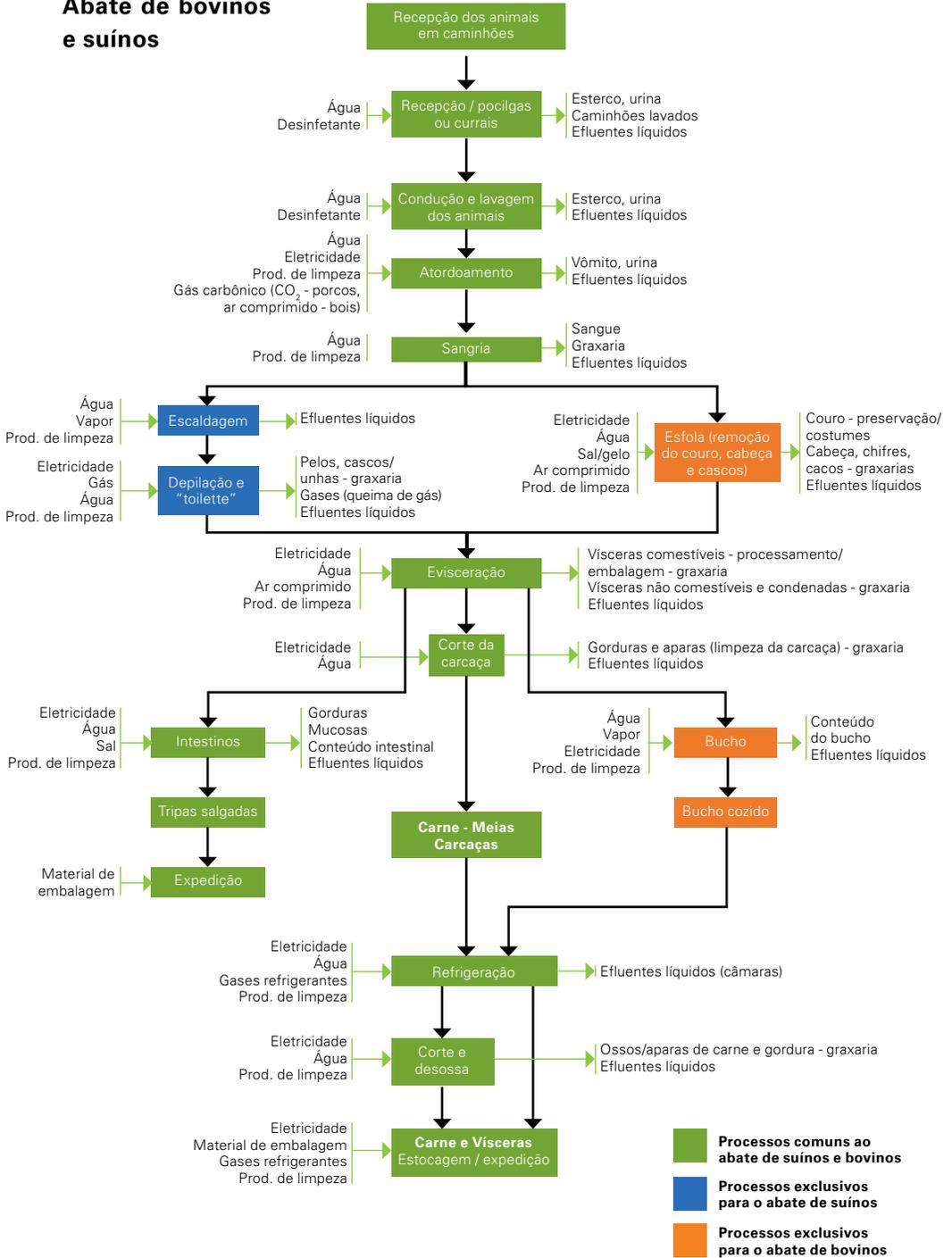


Figura 13 – Fluxograma do processo de abate de bovinos e suínos. Fonte: Adaptado de CETESB, 2006.

Tipos e quantidades de resíduos úteis para a produção de biogás

Os resíduos/efluentes gerados nos matadouros geralmente são segregados em três linhas:

Linha Verde, composta por águas de lavagem dos currais, pocilgas e áreas de recepção de animais em geral, rampas de descarga, área de circulação de animais, áreas de limpeza e processamento de tripas, buchos e graxarias;

Linha Vermelha, composta por águas de lavagem da área destinada ao abate, incluindo as áreas anexas, na qual o sangue é o principal constituinte;

Linha de Efluentes Sanitários, composta por efluentes sanitários da planta, provenientes de banheiros e refeitórios.

Os resíduos e efluentes de abatedouros se caracterizam, principalmente, por uma elevada carga orgânica devido à presença de sangue, gordura, esterco, conteúdo estomacal não digerido e conteúdo intestinal. Em geral, os resíduos e efluentes gerados no abate de animais possuem características bastante favoráveis à metanização devido à quantidade de nutrientes e capacidade de tamponamento adequado ao crescimento microbiano, além de serem gerados em temperatura em torno de 20-30°C (FEROLDI et al, 2014).

A grande maioria dos resíduos sólidos gerados é encaminhada para a graxaria, sendo utilizada na fabricação de subprodutos como farinhas ricas em proteínas, gordura e minerais (usadas em rações animais e adubos) e de gorduras ou sebos (usados em sabões e em outros produtos derivados de gorduras). Já os efluentes líquidos são encaminhados a estações de tratamento para posterior lançamento em corpos hídricos.

Tabela 4 – Resumo dos principais resíduos e efluentes gerados no processo de abate de suínos e bovinos com potencial de utilização para a produção de biogás.

RESÍDUO/ EFLUENTE	TAXA DE GERAÇÃO	CARGA ORGÂNICA	TAXA DE PRODUÇÃO DE METANO
Rúmen bovino	26 kg/cabeça ¹	15 a 32% ST ² 66 a 88% SV ²	250 a 265 m ³ CH ⁴ / t SV ² 33 a 53 m ³ CH ⁴ /t substrato ²
Conteúdo gastrointestinal suíno	2,7 kg/cabeça ¹	15 a 30% ST ² 85% SV ²	278 m ³ CH ⁴ /t SV ² 97 m ³ CH ⁴ /t substrato ²
Efluentes líquidos	400 a 3.000 l/suíno ³ 2.170 l/bovino (linhas verde e vermelha) ¹	8 g/L de DQO ⁴ 77% degradável	236 m ³ CH ⁴ /t DQO _{rem} ⁴ 1,8 m ³ CH ⁴ /t substrato

Fonte: (1) CETESB (2006); (2) Análises dos projetos de DBFZ apud MCIDADES 2 (2015); (3) Feroldi et al (2014); (4) HANDREICHUNG BIOGASNUTZUNG (2004).

Escalas e tamanhos típicos de plantas de biogás

As escalas típicas das plantas de biogás em Minas Gerais para a atividade de abate de animais de médio e grande porte podem ser definidas em função da capacidade instalada das indústrias (nº de cabeças abatidas por dia), das taxas médias de geração de resíduos e efluentes e seus respectivos potenciais de produção de metano.

Tabela 5 – Distribuição da estimativa da potência elétrica de usinas de biogás em Minas Gerais, no setor de abate de animais de médio e grande porte.

Potencial elétrico das plantas de biogás e capacidade instalada do empreendimento	Usinas de Biogás		Potencial Elétrico	
	Nº Usinas	%	MW _{el}	%
Capacidade instalada (CI) ≤ 0,05 MW ≤ 100 cabeças abatidas/dia	288	75,6%	2,7	7,5%
0,05 MW > CI ≤ 0,1 MW 100 > cabeças abatidas/dia ≤ 200	30	7,9%	2,2	6,0%
0,1 MW > CI ≤ 0,2 MW 200 > cabeças abatidas/dia ≤ 400	16	4,2%	2,3	6,4%
0,2 MW > CI ≤ 0,3 MW 400 > cabeças abatidas/dia ≤ 600	25	6,6%	6,2	17,2%
0,3 MW > CI ≤ 0,4 MW 600 > cabeças abatidas/dia ≤ 800	7	1,8%	2,6	7,3%
0,4 MW > CI ≤ 0,5 MW 800 > cabeças abatidas/dia ≤ 1.000	3	0,8%	1,4	3,9%
0,5 MW > CI ≤ 0,75 MW 1.000 > cabeças abatidas/dia ≤ 1.100	2	0,5%	1,5	4,0%
0,75 MW > CI ≤ 1 MW 1.100 > cabeças abatidas/dia ≤ 1.500	3	0,8%	2,4	6,5%
1 MW > CI ≤ 2 MW 1.500 > cabeças abatidas/dia ≤ 3.000	4	1,0%	6,5	17,9%
2 MW > CI ≤ 5 MW 3.000 > cabeças abatidas/dia ≤ 7.500	3	0,8%	8,4	23,2%
Total	381	100,0%	36,27	100,0%

A estimativa de potência elétrica foi calculada a partir de dados da capacidade instalada de abate de animais (nº de cabeças abatidas por dia), informada nos processos de regularização ambiental do estado de Minas Gerais. Com base nos dados informados para cada empreendimento, estimou-se a taxa de geração de resíduos e efluentes e a consequente produção de biogás e potencial elétrico. Como os dados disponíveis no SIAM não diferem o tipo de animal abatido, dividiu-se a capacidade instalada de cada empreendimento pela relação entre o montante de suínos e bovinos abatidos no estado, no ano de 2014, o que correspondeu a 60,7% de suínos e 39,3% de bovinos (IBGE 3, 2015).

Para a conversão da geração de metano em potência elétrica instalada, considerou-se o PCI do metano igual a 9,97 kWh/m³ e uma eficiência elétrica de 30% para os empreendimentos com potencial de até 500 kW_{el} e de 40% para empreendimentos com um potencial superior a esse valor.

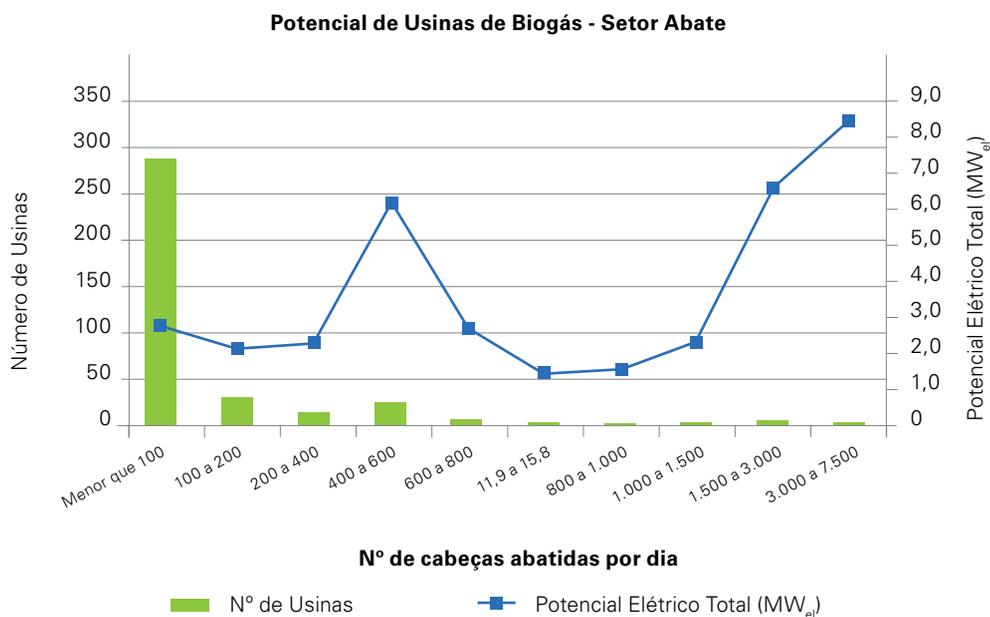


Figura 14 - Potencial de usinas de biogás do setor de abate.

Do total de 381 empreendimentos de abate de bovinos e suínos de Minas Gerais, 288 instalações, ou aproximadamente 76% do total, possuem um potencial de instalação de até 50 kW_{el}, enquanto os 7 maiores empreendimentos possuem um potencial de instalação entre 1 e 5 MW_{el}.



O aproveitamento energético do biogás é uma importante estratégia para ampliar os índices de sustentabilidade da produção e a adequação ambiental da atividade, oferecendo ao setor um combustível limpo e com potencial para suprir parte da demanda térmica e elétrica dos empreendimentos.

Tecnologias para tratamento com foco na produção de biogás

O processamento dos resíduos e efluentes gerados em abatedouros, com foco na produção de biogás, geralmente é realizado em reatores do tipo CSTR ou em lagoas otimizadas. Por ser um substrato com elevados teores de proteínas e lipídios, a relação carbono/nitrogênio tende a não ser adequada, levando, em muitos casos, à inibição do processo metanogênico, devido à reduzida taxa de hidrólise apresentada por estes resíduos. Outros problemas que podem ocorrer são a flotação do lodo e formação de espuma, o que acarreta remoção da biomassa microbiana do reator e redução da eficiência do sistema, além da formação e o acúmulo de constituintes inibitórios no interior do reator, tais como ácidos graxos de cadeia longa, sulfeto de hidrogênio e amônia. Uma alternativa muito empregada para correção dessa relação é a codigestão com substratos de elevados teores de carbono. Geralmente são utilizados substratos como esterco, resíduos de refeitórios (que podem ser da linha de efluentes sanitários do próprio empreendimento) ou plantios energéticos.

Aplicação de tecnologias de produção e utilização de biogás no setor

A JBS Swift, maior produtora de proteínas do mundo, já possui trajetória na aplicação da metanização para valorização energética dos resíduos da produção de abate. A empresa instalou na cidade de Nebraska, Estados Unidos, dois digestores com capacidade de aproximadamente 4.500 m³ cada, que utilizam como substrato o estrume e subprodutos do abate para a geração de biogás. A planta opera na faixa de temperatura termofílica, variando entre 49° e 57°C, com retenção hidráulica média de 20 dias (GREER, 2008).

O biogás produzido no sistema é dessulfurizado (remoção do sulfeto de hidrogênio – H₂S) e incorporado ao gás natural para alimentação das caldeiras. O resultado foi uma redução de 25% do consumo de gás natural da instalação.

O material digerido, resultante do processo, é submetido à separação das frações sólida/líquida. O biofertilizante é utilizado por agricultores dos arredores. Já o efluente líquido é enviado para lagoas de tratamento/estabilização, onde é possível a recuperação do residual energético, por meio da reinserção no processo, como líquido para ajuste de teor de sólidos do material em digestão (GREER, 2008).

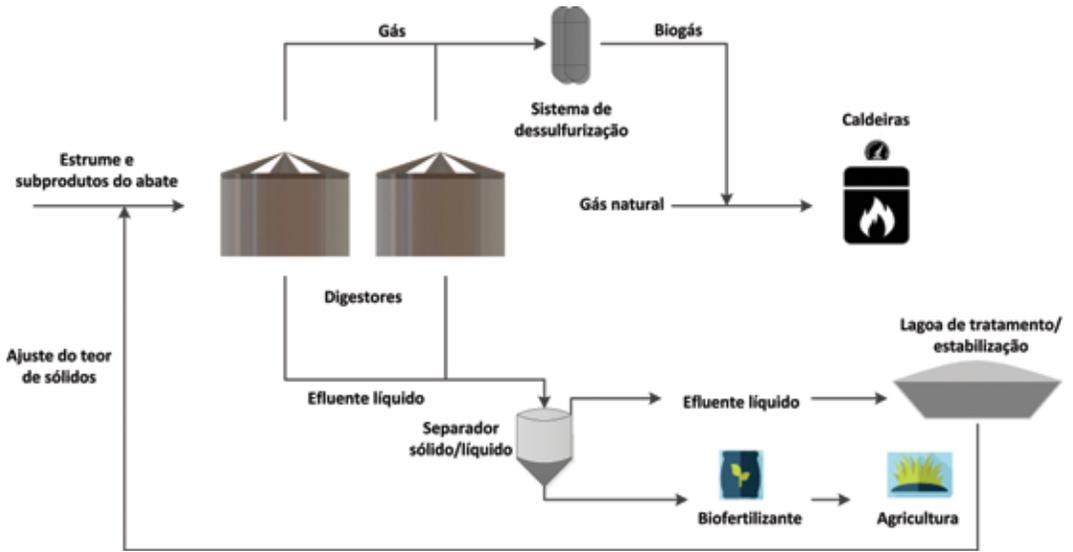


Figura 15 – Fluxograma do processo geração e utilização de biogás da unidade da JBS Swift.

Poucas instalações realizam o processamento apenas de substratos provenientes de abatedouros. Uma dessas instalações é a usina de biogás da cidade de St. Martin, na Áustria, construída em 2003. Com capacidade de processamento de 12.000 t/a, o substrato utilizado consiste em uma mistura de sangue, rúmen bovino, gordura animal, conteúdo estomacal de suínos, intestinos e o efluente gerado nas instalações de abate. A usina utiliza um sistema CSTR de duplo estágio, possuindo três reatores, sendo dois de 1.000 m³ e um de 600 m³. A produção de biogás é de 5.000 m³/d, o qual é utilizado como combustível em um sistema de cogeração de 525 kW_{el}. O substrato é submetido a um processo de pré-tratamento de pasteurização em contínuo.



Figura 16 – Vista parcial da usina de biogás de St. Martin, na Áustria.

Fonte: GREEN FOODS, 2014.

Laticínios

O Brasil é um dos maiores produtores de leite do mundo. Em 2013, o país ocupou a 3ª posição no ranking mundial, com uma produção de 35 bilhões de litros (FEAM & FIEMG, 2014). O estado de Minas Gerais se destaca como o maior produtor de leite do país, sendo responsável por cerca de 30% da produção nacional (FEAM, 2011). Segundo dados da Pesquisa Trimestral do Leite, publicado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a quantidade de leite cru adquirido pelas indústrias processadoras de leite de Minas Gerais, em 2014, foi de aproximadamente 6,5 bilhões de litros, representando 26,6% do total nacional (IBGE 2, 2014).

De acordo com dados do SIAM, existem 1.166 empreendimentos no estado enquadrados sob o código **D-01-06-6 - Preparação do leite e fabricação de produtos de laticínios**, os quais totalizam uma capacidade instalada de processamento de leite de 40.062.386 L/d. Em 2014, foram industrializados 6.581.450.000 L de leite cru, o que apresenta uma utilização de cerca de 50% da capacidade instalada (IBGE 2, 2014). Os empreendimentos estão distribuídos por todo o estado, com destaque para as regionais Alto São Francisco, Sul de Minas, Zona da Mata, Central e Leste Mineiro.

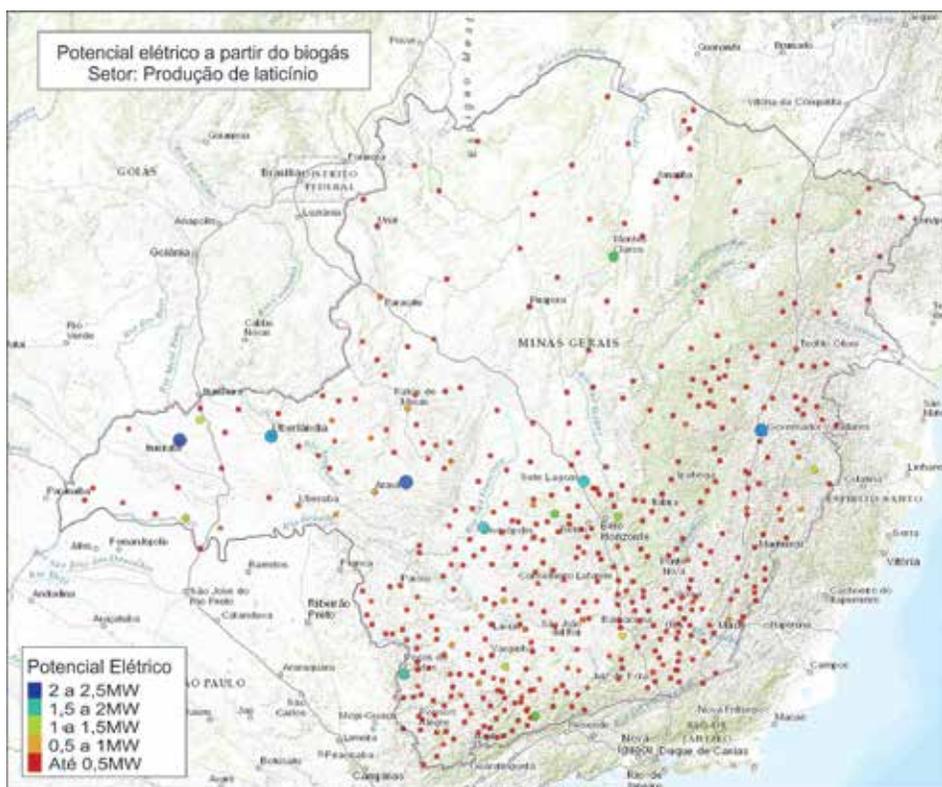


Figura 17 – Distribuição do potencial elétrico instalado do setor de produção de laticínio no estado de Minas Gerais.

O setor de laticínios produz resíduos e efluentes com uma elevada carga orgânica em função da própria característica do leite e dos produtos lácteos, os quais possuem gorduras, que conferem alta concentração de óleos e graxas nos efluentes gerados (CICHELLO et al, 2013). O tratamento típico dos efluentes líquidos é realizado via processos biológicos, sendo as principais alternativas o sistema australiano (lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas); o sistema de lodos ativados convencional ou de fluxo intermitente; o sistema de lagoas anaeróbias – lagoas aeradas – lagoas de decantação; o sistema filtro anaeróbio – biofiltro aerado e a disposição no solo (FEAM & FIEMG, 2014).

Em 2011, a FEAM realizou uma pesquisa com 171 empreendimentos de Minas Gerais e constatou que 55% das instalações possuíam estação de tratamento de efluentes implantadas e em operação, sendo que, destas, 40% utilizavam sistemas de lodos ativados, 26,5% lagoas de estabilização, 18% sistemas anaeróbios, 4,3% processos físico-químicos e 12% utilizam apenas o tratamento primário.

Processo produtivo – Fluxograma

A indústria de laticínios é caracterizada pela produção de leite e de produtos lácteos. Os principais produtos gerados são leite pasteurizado, leite *Ultra-High-Temperature* (UHT), leite em pó, queijos, requeijão, iogurte, doce de leite, manteiga e soro proveniente da produção de queijo (FEAM, 2011).

A fabricação de cada produto lácteo apresenta processo produtivo específico, possuindo diferentes etapas. Neste documento, optou-se por apresentar um fluxograma global do processo produtivo, destacando os processos e operações comuns da fabricação do leite e derivados.

Laticínios

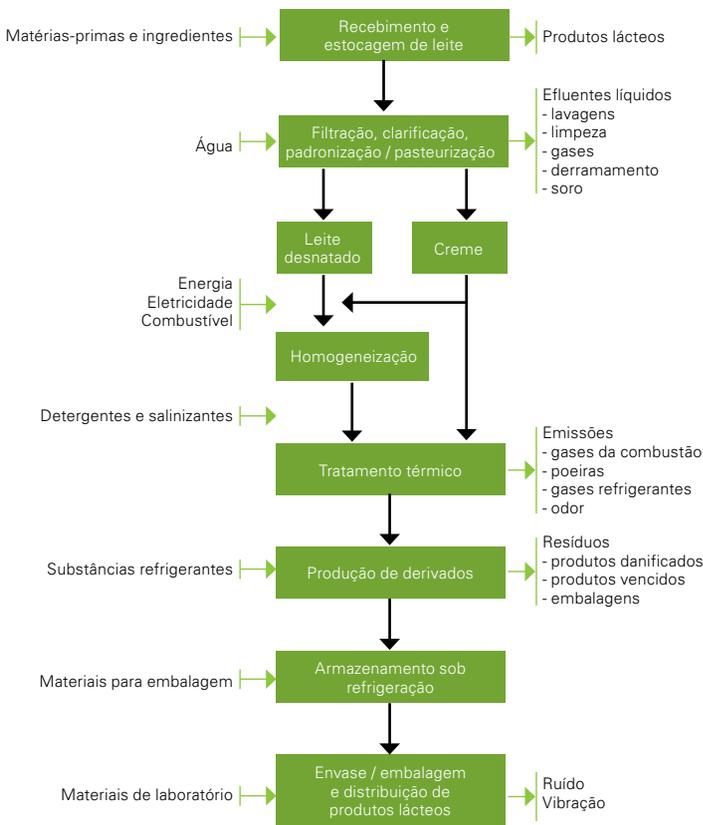


Figura 18 – Fluxograma do processo global de produção de leite e derivados. Fonte: Adaptado de Marganha, 2006.

Tipos e quantidades de resíduos úteis para a produção de biogás

Os efluentes líquidos gerados na produção de laticínios se configuram como o principal substrato do setor para a produção de biogás. Além do elevado conteúdo orgânico, os efluentes são gerados em grandes quantidades, variando tanto em características quanto em quantidades, em função do tipo de produto fabricado. Os principais pontos de geração de efluentes líquidos são a lavagem de máquinas e equipamentos, pisos e paredes da linha de produção; os vazamentos, derramamentos e transbordamento de tanques; no arraste de produtos durante a produção de leite condensado e em pó; na etapa de embalagem e o descarte de produtos inadequados ao consumo.

Tabela 6 – Volume aproximado de efluentes líquidos gerados em diferentes linhas de produção de laticínios.

TIPO DE PRODUTO	TAXA DE GERAÇÃO DE EFLUENTES LÍQUIDOS (l/KG DE LEITE PROCESSADO)
Produtos “brancos” (leite, cremes e iogurtes)	3
Produtos “amarelos” (manteiga e queijos)	4
Produtos “especiais” (concentrados de leite ou soro e produtos lácteos desidratados)	5

Fonte: *European Commission – Integrated Pollution Prevention and Control Jan/2006 apud Maganha (2006).*

Os efluentes são constituídos basicamente por leite, gordura, detergentes e desinfetantes utilizados nas lavagens em geral, além de lubrificantes para a manutenção dos equipamentos, óleos e graxas, nitrogênio e fósforo. Além disso, apresentam uma alta condutividade e grandes variações no pH e na temperatura (MAGANHA, 2006).

Tabela 7 – Características médias dos efluentes gerados na indústria de laticínios.

PARÂMETRO	UNIDADE	FAIXA DE VARIAÇÃO		
		(1)	(2)	(3)
Sólidos suspensos voláteis	mg/l	24 – 5700	100 – 1000	308
Sólidos suspensos totais	mg/l	135 – 8500	100 – 2000	886
DQO	mg/l	500 – 4500	6000	6.709
DBO ₅	mg/l	450 – 4790	4000	2.169
Proteína	mg/l	210 – 560	-	-
Gorduras/óleos e graxas	mg/l	35 – 500	95 – 550	520
Carboidratos	mg/l	252 – 931	-	-

Fonte: (1) *Environment Agency of England and Wales, 2000 – European Commission – IPPC (2006)* apud Machado et al (2002); (2) *ABIQ apud Machado et al (2002)*; (3) *Nadais (2002) apud Cruz (2012)*.

Escalas e tamanhos típicos de usinas de biogás

A definição da escala e tamanho típico de plantas de biogás em Minas Gerais, foi realizada de forma similar ao do setor de abate, sendo considerada a capacidade instalada de cada um dos empreendimentos do estado que desenvolvem a atividade de preparação do leite e fabricação de produtos de laticínios. Considerou-se para os cálculos a taxa média de geração de efluentes de 4 l por kg de leite processado, a densidade do leite igual a 1,032 kg/l (VENTURINI, 2007), o valor médio de DQO de 4.427 mg/l com 88% de degradabilidade e uma taxa de geração de metano de 295 m³ por tonelada de DQO removida (HANDREICHUNG BIOGASNUTZUNG, 2004).

Tabela 8 – Distribuição da estimativa da potência instalada de usinas de biogás em Minas Gerais, no setor de laticínios.

Potencial elétrico das plantas de biogás e capacidade instalada do empreendimento	Usinas de Biogás		Potencial Elétrico	
	Nº Usinas	%	MW _{el}	%
CI < 0,05 MW < 85.000 l leite/dia	1.102	94,5	6,2	23,2
0,05 MW > CI < 0,1 MW 85.000 > l leite/dia < 169.000	18	1,5	1,3	4,7
0,1 MW > CI < 0,25 MW 169.000 > l leite/dia < 423.000	28	2,4	4,2	15,8
0,25 MW > CI < 0,5 MW 423.000 > l leite/dia < 845.000	8	0,7	2,888	10,8
0,5 MW > CI < 0,75 MW 845.000 > l leite/dia < 950.000	0	0,0	0,0	0,0
0,75 MW > CI < 1 MW 950.000 > l leite/dia < 1.270.000	2	0,2	1,7	6,5
1 MW > CI < 2 MW 1.270.000 > l leite/dia < 2.540.000	8	0,7	10,4	39,0
Total	1.166	100	26,7	100

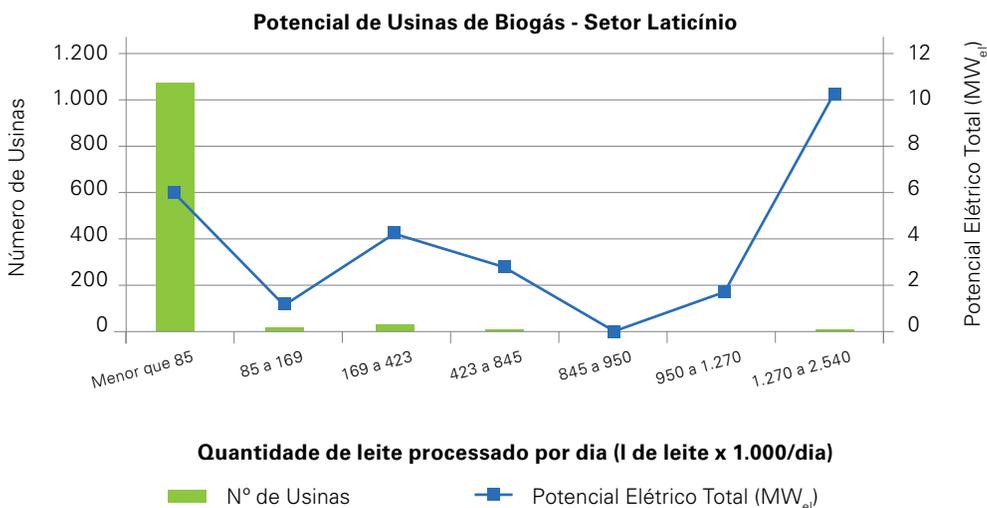


Figura 19 - Potencial de usinas de biogás - setor laticínio.

Os empreendimentos do setor de laticínios de Minas Gerais apresentam um maior potencial para instalação de usinas de biogás de pequeno porte, com uma predominância de empreendimentos de até 50 kW. O potencial total de produção de energia elétrica desse setor é de aproximadamente 27 MW_{ei}.



A maioria dos empreendimentos tende a fazer uso do biogás como substituto de combustível em demandas térmicas, podendo ser utilizado como substituto de lenha ou outros combustíveis utilizados em caldeiras. No caso da geração elétrica, esses empreendimentos tendem a utilizar a energia internamente (autoconsumo), sem a necessidade de realizar obras de interconexão com a rede para exportação de eletricidade.

Tecnologias para tratamento com foco na produção de biogás

A tecnologia de metanização mais aplicável ao processamento dos efluentes, com foco na produção de biogás na indústria de laticínios, são os reatores de alta taxa, em especial a tecnologia UASB. A utilização desses sistemas permite o tratamento de uma elevada carga orgânica com uma reduzida demanda de área.



Devido às variações nas taxas de geração dos efluentes, carga orgânica, pH e temperatura, é altamente recomendável que seja utilizado um tanque de equalização prévio ao sistema, para minimizar essas flutuações.

As altas concentrações de lipídio no efluente, superiores a 1.500 mg/l (HWU et al, 1998), tendem a ocasionar a flotação da biomassa e a má formação dos grânulos, bem como a geração de espuma, em função do acréscimo de ácidos graxos não biodegradáveis no interior do reator. A utilização de um flotor prévio ao reator é recomendada para remover parte da gordura presente no efluente, de modo a garantir uma operação mais constante do sistema.

Aplicação de tecnologias de produção e utilização de biogás no setor

A indústria Laticínios Bela Vista Ltda. possui três unidades produtivas, as quais processam mais de 3 milhões de litros de leite por dia. Devido a uma ampliação da capacidade produtiva da unidade instalada no município de Bela Vista de Goiás (GO), foi realizada uma reformulação do sistema de tratamento de efluentes existente no empreendimento. A nova estação de tratamento foi desenvolvida e implantada pela empresa ADI Systems, a qual utilizou uma tecnologia denominada ADI-BVF®. O sistema trata todo o efluente gerado na indústria, inclusive uma linha de soro de difícil degradação. Composto por um tanque de equalização, um reator anaeróbio ADI-BVF® e um reator aeróbio para polimento final do efluente, o sistema apresenta uma eficiência de tratamento que possibilita o descarte do efluente tratado em um corpo hídrico. Para controle de possíveis emissões odoríferas, o tanque de equalização está conectado a um biofiltro, o qual realiza o tratamento do gás gerado nessa unidade. O sistema foi dimensionado para o tratamento de uma carga de DQO de 68.800 kd/d. O reator anaeróbio produz cerca de 1.440 m³/h de biogás, o qual é utilizado como combustível em caldeiras para a geração de calor, reduzindo o consumo de lenha da unidade.



Figura 20 – Reator anaeróbio implantado na indústria Laticínios Bela Vista Ltda.

Fonte: Arquivo ADI Systems.

Sucroenergético

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo (MAPA 2, 2015), destacando-se como maior produtor e exportador de açúcar e o segundo maior produtor de etanol (EMBRAPA, 2009). No cenário brasileiro, Minas Gerais ocupa o segundo lugar em produção de açúcar e o terceiro de etanol, ressaltando a importância do setor sucroenergético para o estado. Na safra brasileira de 2014/2015, foram moídas 597 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, sendo produzidos 37,7 milhões de toneladas de açúcar e 23,2 milhões de m³ de etanol. Minas Gerais foi responsável por 9,3% da moagem de cana, 8,7% da produção de açúcar e 8,6% de etanol do país. Do total de cana-de-açúcar processada em Minas Gerais, 42,3% foram destinadas à produção de açúcar e 57,7% para a de etanol (SIAMIG, 2015).

De acordo com os dados do SIAM, existem no estado 73 empreendimentos sucroenergéticos, sendo quatro deles enquadrados pela DN COPAM nº 74/04 somente no código **D-01-08-2 - Fabricação e refinação de açúcar**, 28 somente no código **D-02-08-9 - Destilação de álcool**, enquanto 41 instalações desenvolvem as duas atividades. Os empreendimentos estão localizados predominantemente na região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.

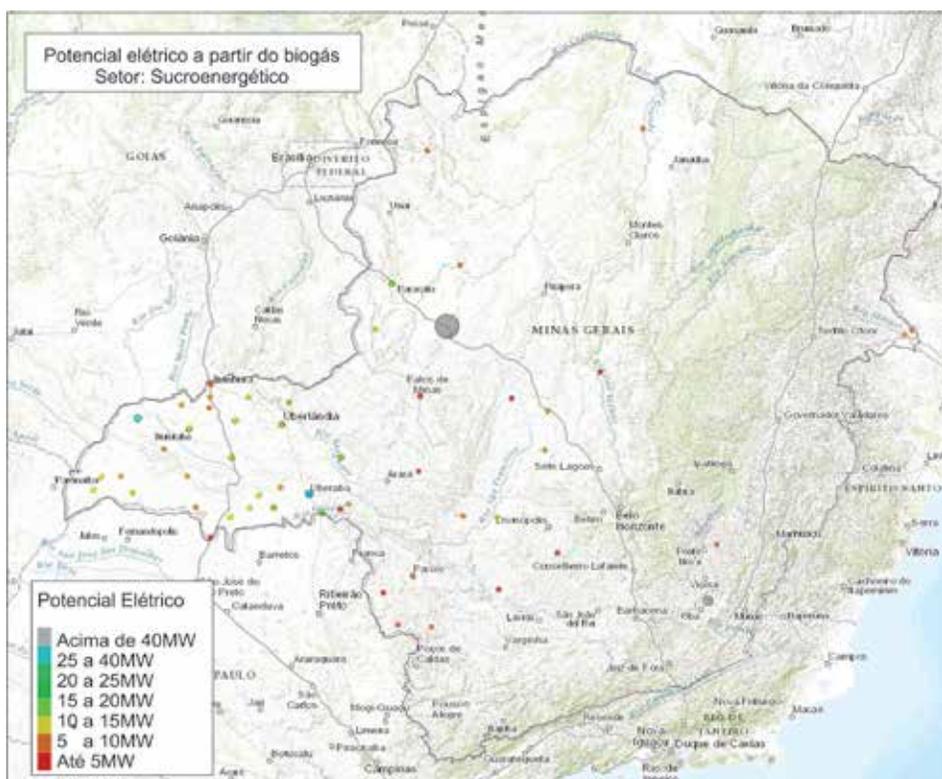


Figura 21 - Distribuição do potencial elétrico a partir do biogás no setor sucroenergético, em Minas Gerais.

O setor sucroenergético configura-se como um importante produtor e exportador de energia elétrica a partir da queima do bagaço e da palha da cana-de-açúcar. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a biomassa da cana representava 16,1% da oferta interna de eletricidade em 2013, configurando-se como a segunda fonte de energia mais importante da matriz elétrica brasileira (EPE 2, 2014). A participação é importante não só para a diversificação das fontes de geração, mas também porque a safra coincide com o período de estiagem nas regiões Sudeste/Centro-Oeste, onde está concentrada a maior potência instalada em hidrelétricas do país (ANEEL, 2015). Esse potencial de geração de eletricidade pode ser ainda mais relevante caso sejam implantados projetos de produção e aproveitamento do biogás gerado no tratamento dos resíduos e efluentes do setor.

Processo produtivo – Fluxograma

O processamento da cana-de-açúcar tem como objetivo a produção de açúcar, etanol e eletricidade. O processo inicia-se com a recepção da cana, que é limpa antes de iniciar a moagem para a extração do caldo. A limpeza pode ser realizada por via seca ou úmida. Nos processos via úmida é realizada uma lavagem da cana sendo gerado um efluente denominado água de lavagem, o qual possui uma DQO elevada e grande quantidade de sólidos inorgânicos (terra, areia, etc.). Os processos via úmida são mais aplicados para a cana colhida manualmente, enquanto no caso da colheita mecanizada, tende-se a empregar os sistemas de limpeza a seco, para reduzir as perdas de açúcar. A limpeza a seco não gera nenhum tipo de efluente líquido e os resíduos minerais gerados no processo retornam à lavoura de cana. Por ser uma tecnologia mais recente, a grande maioria das usinas em operação ainda utiliza o processo de limpeza a úmido.

A cana limpa é então direcionada à moenda para extração do caldo. Nessa etapa ocorre a produção do bagaço, o qual é direcionado à queima para geração de vapor e eletricidade. De modo a remover as impurezas presentes no caldo, são aplicados processos de tratamento compostos pela adição de produtos químicos, decantação, flotação e filtragem. Nessa etapa é gerada a torta de filtro, a qual é direcionada à lavoura para uso agrícola. Geralmente, o caldo é segregado em caldo primário, o qual é direcionado para a fabricação de açúcar, e o caldo secundário, destinado à fabricação do etanol.

Após a extração do açúcar gera-se o melaço, que pode ser direcionado para a produção de etanol ou ser utilizado na indústria alimentícia, ou para a produção de ração animal. O caldo secundário, juntamente com o melaço, é fermentado e destilado para a produção do etanol. Na etapa de destilação é gerada a vinhaça, a qual retorna à lavoura de cana para ser utilizada na fertirrigação.

Usina de açúcar e etanol

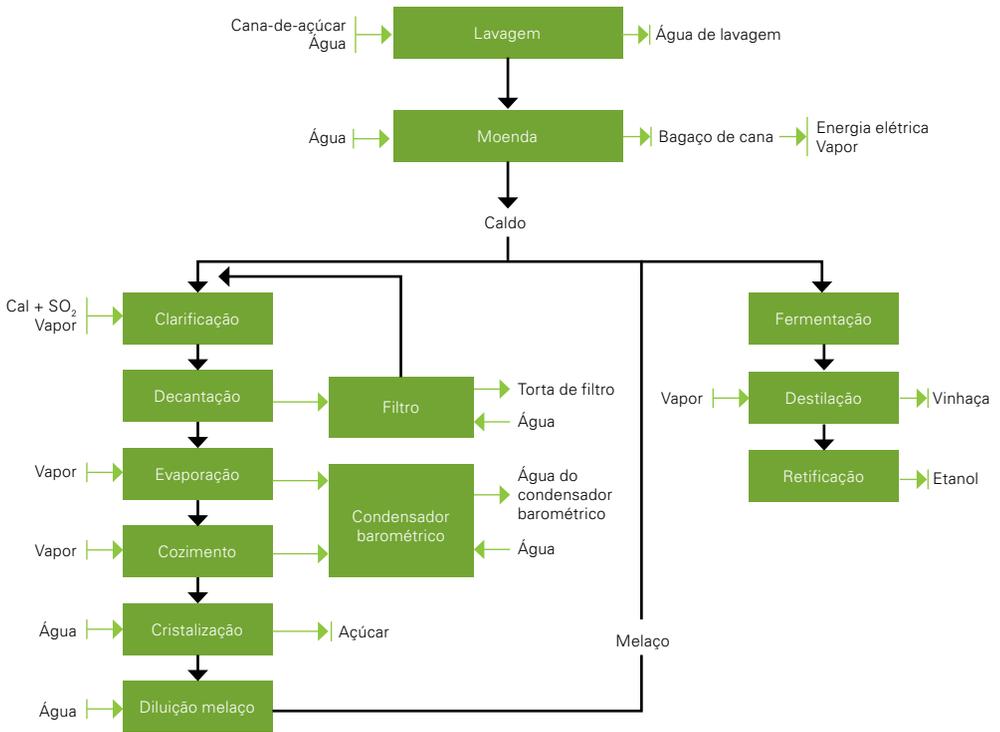


Figura 22 - Fluxograma de uma usina de açúcar e etanol. Fonte: Adaptado de CETESB, 2002.

Tipos e quantidades de resíduos úteis para a produção de biogás

Os principais resíduos gerados no processamento da cana de açúcar são: i) água de lavagem da cana; ii) bagaço; iii) torta de filtro; e iv) vinhaça. Todos possuem significativa carga orgânica e potencial de produção de biogás.

A água de lavagem possui elevada carga orgânica, porém, elevado teor de sólidos em suspensão e areia, o que pode comprometer os processos de produção de biogás. Já o bagaço, gerado na saída da última moenda, após a extração do caldo, é comumente direcionado para queima na caldeira, visando à geração adicional de vapor, utilizado nos processos industriais da usina, bem como na geração de eletricidade, que geralmente supera o autoconsumo da indústria e é exportada ao sistema elétrico nacional.

A torta de filtro, por sua vez, é resultante do processo de tratamento do caldo, no filtro, após o processo de decantação, e a vinhaça na etapa de destilação para extração do etanol. A torta de filtro pode ser empregada diretamente nas áreas de plantio ou direcionada para compostagem e, em seguida, aplicada na lavoura como corretivo de solo e fertilizante, observado os devidos controles. A vinhaça, rica em potássio, é aplicada diretamente no solo, empregada como complemento de ração animal ou utilizada para compor uma parcela da água de diluição do melão (PAOLIELLO, 2006).

A torta de filtro e a vinhaça são os resíduos/efluentes com carga orgânica mais elevada de todo o processo produtivo, demonstrando elevado potencial para a produção de biogás.

Tabela 9 – Características dos principais resíduos e efluentes gerados nas indústrias sucroenergéticas.

Resíduos/ Efluente	Taxa de geração	ST % massa	SV % ST	m ³ CH ₄ /t SV	m ³ CH ₄ /t substrato
Bagaço de cana	270 kg/t cana moída	60	93	330	281
Torta de filtro	35 kg/t cana moída	25	70	262	47
Vinhaça	10 a 13 l/l álcool	3 – 5	75 – 85	376	6

Fonte: Análises dos projetos de DBFZ apud MCIDADES - 2 (2015) e Handreichung Biogasnutzung (2004) apud MCIDADES - 2 (2015).

Escalas e tamanhos típicos de usinas de biogás

A escala das usinas de biogás associadas a empreendimentos sucroenergéticos no estado pode ser estimada a partir da capacidade instalada dos empreendimentos e das taxas de geração de torta de filtro e vinhaça, bem como a produtividade média de biogás associada a estes substratos.

A capacidade instalada das usinas foi obtida com base nos dados obtidos no SIAM. O critério de enquadramento informado pelos empreendedores nos processos de regularização ambiental é a capacidade diária de moagem de cana, sendo o valor informado tanto para a atividade de produção de açúcar quanto para a produção de etanol. Para as usinas que realizam as duas atividades, em caso de divergência nos valores apresentados para as duas atividades, o presente estudo considerou o maior.

Para a conversão do potencial de produção de metano, consideraram-se os mesmos critérios adotados anteriormente – PCI do metano igual a 9,97 kWh/m³ e uma eficiência elétrica de 30% para os empreendimentos com potencial de até 500 kW_{el} e de 40% para empreendimentos com um potencial superior a esse valor.

Tabela 10 – Distribuição da estimativa da potência elétrica de usinas de biogás em Minas Gerais, no setor sucroenergético.

Potencial elétrico das plantas de biogás e capacidade instalada do empreendimento	Usinas de Biogás		Potencial Elétrico	
	Nº Usinas	%	MW _{el}	%
CI ≤ 0,5 MW ≤ 1.100 t cana moída/dia	5	6,8	1,2	0,2
0,5 MW > CI ≤ 1 MW 1.100 > t cana moída/dia ≤ 1.600	3	4,1	2,4	0,3
1 MW > CI ≤ 2,5 MW 1.600 > t cana moída/dia ≤ 4.000	12	16,4	20,6	2,8
2,5 MW > CI ≤ 5 MW 4.000 > t cana moída/dia ≤ 7.900	11	15,1	41,7	5,6
5 MW > CI ≤ 7,5 MW 7.900 > t cana moída/dia ≤ 11.900	12	16,4	70,5	9,5
7,5 MW > CI ≤ 10 MW 11.900 > t cana moída/dia ≤ 15.800	14	19,2	111,3	15,1
10 MW > CI ≤ 15 MW 15.800 > t cana moída/dia ≤ 23.700	7	9,6	83,0	11,2
15 MW > CI ≤ 20 MW 23.700 > t cana moída/dia ≤ 31.600	3	4,1	53,4	7,2
20 MW > CI ≤ 30 MW 31.600 > t cana moída/dia ≤ 47.400	2	2,7	41,4	5,6
30 MW > CI ≤ 40 MW 47.400 > t cana moída/dia ≤ 63.300	2	2,7	60,9	8,2
40 MW > CI ≤ 50 MW 63.300 > t cana moída/dia ≤ 79.100	0	0	0	0
CI > 50MW > 79.100 t cana moída/dia	2	2,7	252,9	34,2
Total	73	100	739,3	100

Potencial de Usinas de Biogás - Setor Sucreenergético

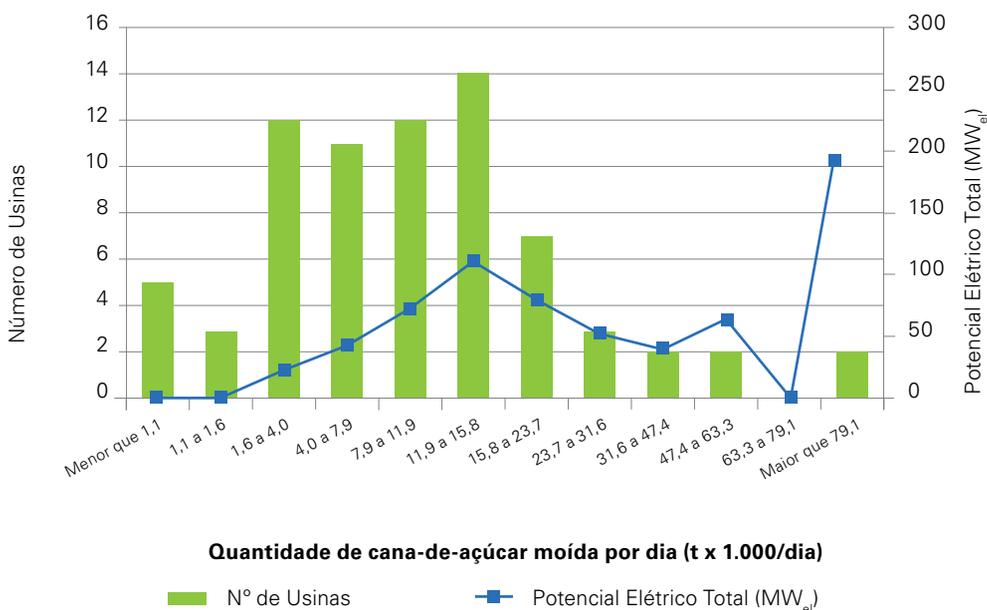


Figura 23 – Gráfico da distribuição do potencial elétrico de usinas de biogás do setor sucroenergético de Minas Gerais.

Dos 73 empreendimentos em Minas Gerais, 64 possuem um potencial elétrico a partir do biogás de até 15 MW_{ei}, totalizando 330,7 MW_{ei}.



Considerando um consumo médio residencial de 180,6 kWh/mês (EPE - 2, 2014), os 64 empreendimentos teriam a capacidade de suprir a demanda de mais de 1,3 milhões de residências. Cabe destacar ainda que, somados apenas os dois maiores empreendimentos, o potencial de produção de energia elétrica é de 252,9 MW_{ei}.

Apesar do elevado potencial energético a partir do biogás, para o setor, não existe no estado nenhum empreendimento em escala industrial. A metanização da vinhaça, que é responsável pela maior parte do potencial de produção de biogás, ainda é um desafio tecnológico, fato este que contribui para ainda não serem observados projetos de grande escala em Minas Gerais.

Tecnologias para tratamento com foco na produção de biogás

A metanização da torta de filtro tende a ser realizada em reatores do tipo CSTR. O direcionamento da torta de filtro a um sistema de metanização propicia a melhoria da qualidade agrícola do substrato, eliminando a necessidade de compostagem prévia à aplicação no solo.



Devido ao elevado teor de ST da torta de filtro, faz-se necessária a adição de líquido para diluição do substrato, podendo ser realizada com a adição de vinhaça ou com efluente do reator.

A tecnologia comercial com maior adequabilidade para a produção de biogás a partir da vinhaça são os reatores de alta taxa, a exemplo, os reatores UASB, devido ao bom desempenho e aptidão para operar com efluentes de elevada carga orgânica. Entretanto, pela dificuldade na formação de grânulos verificada na metanização da vinhaça em reatores UASB, nos últimos anos, tem havido um desenvolvimento tecnológico voltado exclusivamente para o setor. Com o objetivo de associar elevada eficiência com maior robustez operacional, os sistemas desenvolvidos para processamento da vinhaça buscam suportar as constantes variabilidades deste efluente em termos de DQO, concentração de sulfato e necessidade de parada durante a entressafra.

A vinhaça é gerada a cerca de 90°C, o que reduz a demanda térmica para a manutenção da temperatura de operação do reator e ainda possibilita, sem maiores gastos energéticos, a operação do sistema em regime termofílico (55°C). Devido às características físico-químicas da vinhaça, para a operação de forma estável, pode ser necessária a adição de nutrientes (nitrogênio e fósforo), bem como a elevação do pH (geralmente em torno de 4,0) com a aplicação de agente alcalinizante (hidróxido de sódio, carbonato de cálcio). Devido à presença de sulfato na vinhaça, o biogás gerado no processo anaeróbico tende a possuir elevadas concentrações de sulfeto de hidrogênio (até 30.000 ppmV de H₂S), tornando imprescindível a redução desses teores para qualquer tipo de utilização energética, a qual é realizada por meio da implantação de um sistema de dessulfuração.

A geração de eletricidade no setor acompanha a sazonalidade da safra, sendo interrompida durante os períodos de entressafra. A implantação de usinas de biogás pode contribuir para ampliar o período de geração de eletricidade, fazendo com que o setor passe a fornecer energia ao Sistema Interligado Nacional durante todo o ano. Para isso, deve-se viabilizar o armazenamento do substrato ou realizar a codigestão com outros substratos orgânicos disponíveis na região. Caso isso não seja possível, o sistema de metanização deve ser projetado de forma a trabalhar com paradas e arranques anuais.

Aplicação de tecnologias de produção e utilização de biogás no setor

No município de Pradópolis em São Paulo (SP), a Usina São Martinho possui em operação um sistema de metanização para tratamento de parte da vinhaça produzida no empreendimento. Com um reator UASB com volume de 5.000 m³, o sistema trata em média 27 m³/h de vinhaça e produz 350 m³/d de biogás. O sistema está em operação desde a safra de 1994/95 e o biogás é utilizado na secagem de levedura para comercialização.



Figura 24 – Sistema de metanização de vinhaça instalado na Usina São Martinho, em Pradópolis, SP.
Fonte: Silva, 2015.

Em 2009, a Methanum Resíduo e Energia e a Adecoagro iniciaram suas pesquisas com a metanização da vinhaça. Após cinco anos de operação de uma planta em escala piloto com excelente desempenho, estão em fase de escalonamento da tecnologia desenvolvida. A nova planta de metanização será instalada no município de Ivinhema, estado do Mato Grosso do Sul, e irá operar exclusivamente com vinhaça. A capacidade elétrica instalada a partir do biogás será de 1,5 MW e a planta será construída com tecnologia 100% nacional.

Em 2013, a empresa GEO Energética, em parceria com a Cooperativa Agrícola Regional de Produtores de Cana Ltda. (COOPCAN), instalou uma planta comercial de metanização de resíduos e efluentes do setor, visando à produção de energia. A unidade encontra-se instalada no município de Paraíso do Norte, estado do Paraná, e utiliza torta de filtro, palha e vinhaça como substratos. A unidade é composta por uma área de armazenamento dos resíduos, dois reatores, reservatórios de biogás e dois geradores de energia que operam com o biogás. A planta possui capacidade de 4 MW (GEO ENERGÉTICA, 2013).

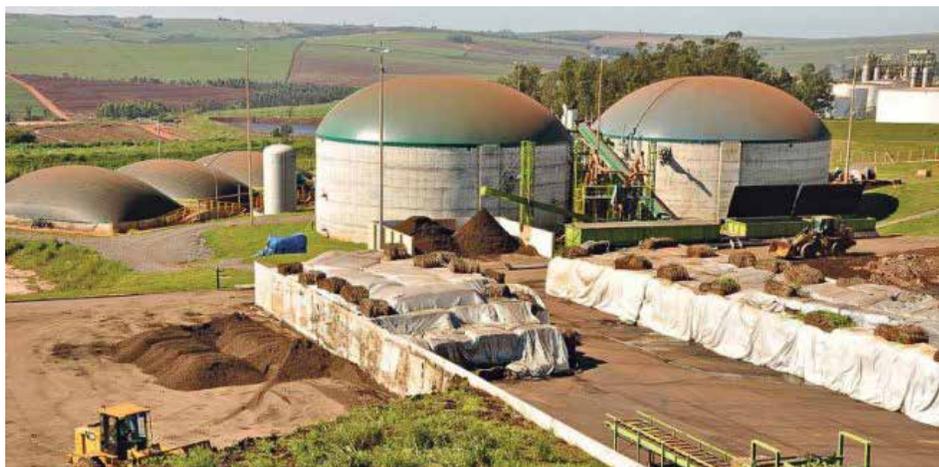


Figura 25 – Usina de geração de biogás da empresa GEO Energética, localizada em Paraíso do Norte, PR.
Fonte: Jornal de Londrina, 2013.

USO DO BIOGÁS

As aplicações energéticas mais difundidas são a utilização como combustível em caldeiras, fornos, estufas, geração de eletricidade, cogeração (eletricidade e calor), injeção na linha de gás natural e como combustível veicular. Devido a essa flexibilidade, o biogás pode ser considerado como uma fonte estratégica de energia, podendo se tornar um agente muito importante na ampliação da geração de energia elétrica distribuída no país, com base em fontes limpas e renováveis, bem como substituir o gás natural derivado do petróleo. Além disso, trata-se de uma fonte de energia estocável, podendo ser utilizada conforme a demanda.

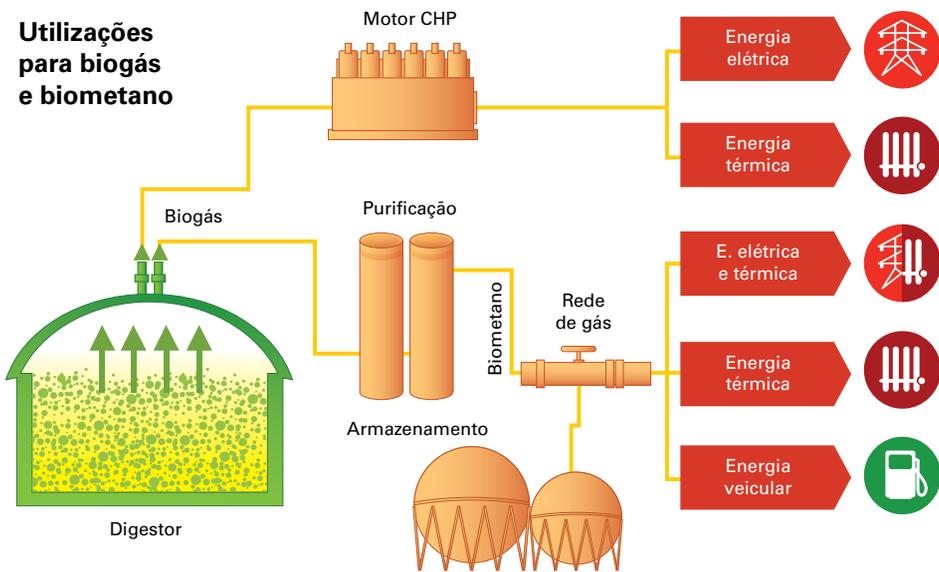


Figura 26 – Possibilidades de aproveitamento energético do biogás e biometano.

Fonte: Adaptado de FNR, 2015.

O uso do biogás demanda seu condicionamento prévio, em função da utilização pretendida, visando à remoção de elementos que podem prejudicar os componentes mecânicos e metálicos dos sistemas de aproveitamento energético (CHP, caldeira, etc.). A seleção da tecnologia de limpeza e condicionamento do biogás deve ter, como principal critério de análise, a composição do biogás e a composição que se necessita para determinado uso, além de outras propriedades como presença de umidade, pressão, contaminantes, etc. A complexidade do sistema de limpeza do biogás, bem como os custos envolvidos,

estão diretamente relacionados à complexidade do aproveitamento energético a ser implementado.

Para a queima do biogás com objetivo de geração de calor, pode-se realizar apenas a remoção da umidade, enquanto para injeção na rede de gás natural faz-se necessária, além da remoção da umidade, a remoção de H_2S e de dióxido de carbono (CO_2).

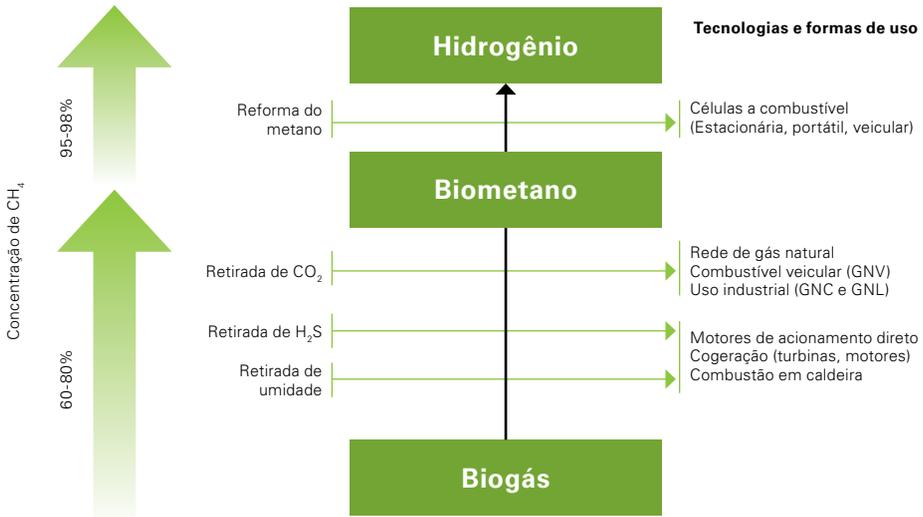


Figura 27 – Purificação do biogás conforme uso final.

Fonte: Adaptado de bte, ISIFEU, ISA (2004), apud MCIDADES – 2, 2015.

O H_2S é o principal composto indesejável presente no biogás, exigindo sua remoção em praticamente todos os usos energéticos, sendo formado espontaneamente durante o processo de metanização devido à presença de compostos de enxofre no substrato. O seu direcionamento aos sistemas de aproveitamento energético deve ser evitado por causa da formação de óxidos de enxofre durante o processo de combustão, os quais são altamente solúveis em água e propiciam a formação de ácido sulfúrico, que reduz a vida útil das tubulações e dos equipamentos. Alguns sistemas de aproveitamento energético do biogás suportam elevadas concentrações de H_2S no biogás, podendo ser desnecessária esta remoção.

O processo de remoção do H_2S na forma gasosa é denominado dessulfuração e se baseia em diferentes processos unitários para tal finalidade, que se distribuem em três categorias principais: processos físicos, químicos ou biológicos.

Os processos físicos são os mais simples e bastante empregados para soluções de pequena escala, sendo utilizadas substâncias como óxido de ferro (Fe_2O_3), hidróxido de ferro $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$ ou carvão ativado nos sistemas de filtragem. Os processos químicos são os sistemas mais empregados atualmente, devido ao maior conhecimento tecnológico do processo, às experiências em plantas em escala industrial e às altas eficiências obtidas, que permitem atingir concentrações finais de H_2S muito baixas. Diversos compostos químicos podem ser empregados na redução dos teores de H_2S , com destaque para o uso de zeólitas impregnadas, soluções alcanolaminas (MEA, DEA, DIPA, MDEA), hidróxido de sódio (NaOH) e quelato férrico (ABATZOGLOU e BOIVIN, 2009).

Os processos biológicos apresentam menores custos operacionais em comparação com os processos químicos (FORTUNY et al, 2008), sendo muito comum a utilização de biopercoladores e biofiltros. A injeção controlada de ar atmosférico na câmara de gás do reator anaeróbio também tem sido bastante utilizada, principalmente na Alemanha, processo denominado de microaeração (WEILAND, 2010).

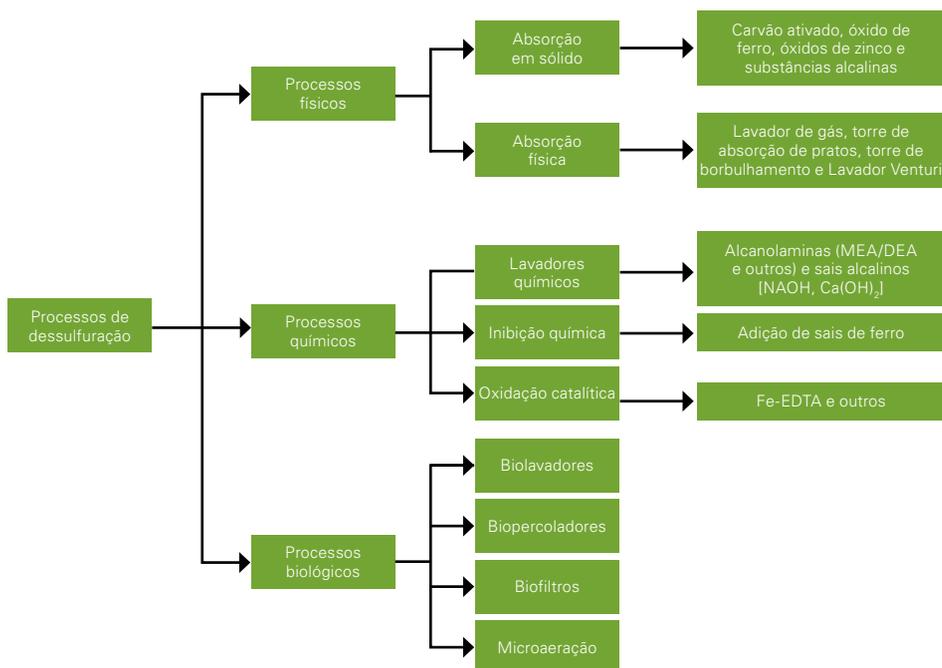


Figura 28 - Rotas tecnológicas para dessulfuração do biogás. Fonte: Adaptado de Colturato, 2015.



O processo a ser empregado para dessulfuração do biogás deve ser definido a partir das concentrações inicial e final exigidas de H_2S , das possibilidades posteriores de disposição dos resíduos gerados e do custo associado.

Uso térmico

O uso do biogás com a finalidade única de geração de calor pode ser considerado o mais simples e com requerimentos menos complexos quanto ao sistema de condicionamento. Geralmente, a queima é realizada em caldeiras ou em sistemas de aquecimento (trocador de calor, aquecimento de água, etc.).

As caldeiras podem ser utilizadas para a produção de água quente ou vapor (alta ou baixa pressão) e são classificadas como flamotubulares, aquatubulares ou de condensação.



Figura 29 – Caldeira movida a biogás. Fonte: *Sellers Manufacturing CO.*, 2015.

A queima do biogás é realizada por meio de um queimador, o qual é responsável por processar a queima do combustível em uma fornalha ou câmara de combustão, garantindo uma boa mistura ar/combustível e que não haja retorno da chama. Para o biogás, são aplicados queimadores dos tipos: atmosféricos (até 35 kW_{th}), com ventilador (até 30 MW_{th}) ou lança (até 150 MW_{th}) (MCIDADES - 2, 2015).



Para que o biogás seja utilizado em caldeiras de forma segura, ele deve apresentar umidade relativa menor que 60% e atender às especificações do fabricante. Além disso, o biogás deve possuir uma concentração de metano superior a 50%, qualidade constante (variações de até 5% no índice de Wobbe), pressão constante e o teor total de compostos sulfurosos não deve ultrapassar 0,1%. Deve-se ainda instalar um sistema de retenção de chama e as armaduras dos queimadores devem ser livres de metais não ferrosos (MCIDADES - 2, 2015).

As caldeiras com secagem atingem 85% de eficiência de aproveitamento do conteúdo energético disponível no biogás, enquanto que nos queimadores de condensação chega-se a 95%. Já existem caldeiras e queimadores projetados especificamente para serem utilizados com biogás. O calor gerado pode ser utilizado para secagem de lodo, de cereais, de biofertilizantes e de cavacos, no aquecimento de estufas, residências, indústrias e estábulo, entre outros.

A cervejaria HEINEKEN, em Ponta Grossa, Paraná, utiliza o biogás para substituir os combustíveis fósseis em caldeiras. De acordo com o gerente de Sustentabilidade e Meio Ambiente da HEINEKEN Brasil, João Carlos Rodrigues, o biogás, gerado a partir da matéria orgânica e de rejeitos processados pela fábrica em estações de tratamento, substitui de 4% a 5% dos derivados de petróleo. O biogás é utilizado conjuntamente ao gás natural em caldeiras de grande porte destinadas a produzir o calor necessário, principalmente, para o cozimento do mosto (HEINEKEN, 2013).

Cogeração

A cogeração de energia consiste na geração de duas ou mais formas de energia a partir de uma fonte. Trata-se da maneira mais comum para a conversão do biogás em energia elétrica. Os grupos geradores utilizados nesse processo são compostos por um motor à combustão acoplado a um gerador elétrico, também conhecido como *Combined Heat and Power* (CHP). As principais tecnologias de cogeração são motores de combustão interna (ciclo Otto) e bicombustíveis (ciclo diesel operando com biogás) e as microturbinas.

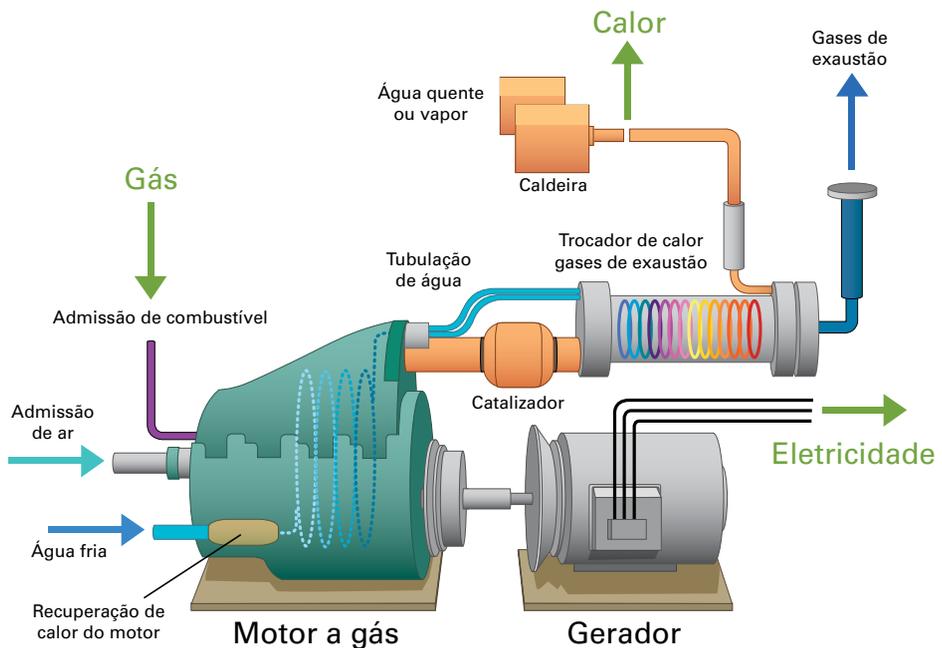


Figura 30 - Desenho esquemático de um CHP. Fonte: Adaptado de Simons Boilers, 2015.

Os motores a biogás baseados no princípio Otto exigem um teor de metano no biogás superior a 45%. A potência elétrica desses motores varia de 100 kW_{el} a vários MW_{el} e a eficiência elétrica varia de 34 a 45%. Os motores bicombustíveis com ignição a compressão (diesel e biogás), por sua vez, trabalham com teores mais reduzidos de metano no biogás e têm eficiência elétrica entre 30 e 45% (MCIDADES - 2, 2015).



Figura 31 – Destaque para os grupos geradores instalados na ETE de Ribeirão Preto, SP.
Fonte: GUASCOR, 2011.

Os dois tipos de motores a biogás são amplamente utilizados, sendo que os de ciclo Otto emitem menores concentrações de gases e possuem menores custos de manutenção; entretanto, o custo de investimento é mais elevado. Os bicomcombustíveis são mais baratos, propiciam alta eficiência mesmo para potências reduzidas, são de fácil operação e suportam um biogás de qualidade inferior. Em contrapartida, os custos de manutenção são mais elevados, consomem óleo na ignição e são mais poluentes.

As microturbinas a gás possuem potências de até $200 \text{ kW}_{\text{el}}$ e seu funcionamento é baseado na aspiração do ar para o interior da turbina que é posteriormente comprimido e direcionado a uma câmara de combustão. Com a queima, ocorre o aumento da temperatura e volume do gás, movimentando as pás e, conseqüentemente, rotacionando o eixo que está acoplado ao gerador elétrico e assim produzindo eletricidade (MCIDADES - 2, 2015).

As microturbinas a biogás são uma tecnologia ainda pouco utilizada e possuem elevado custo de implantação. Entretanto, apresentam algumas vantagens em relação aos motores a gás e bicomcombustíveis, como menores níveis de emissões de gases e ruídos, requerimento de biogás com qualidade inferior, maior vida útil, além de baixos custos de operação e manutenção.

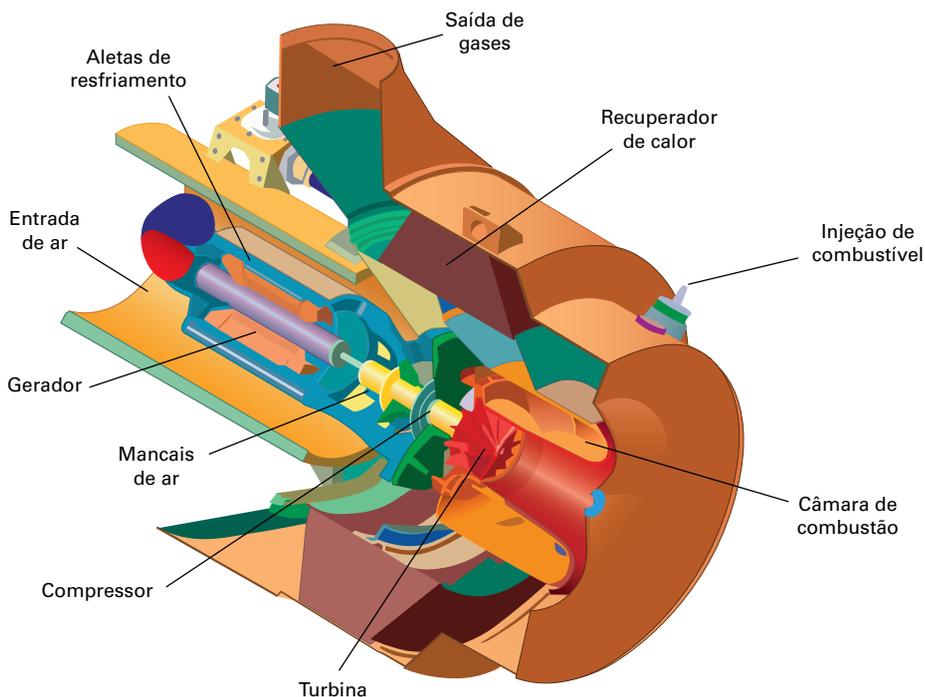


Figura 32 – Vista em corte de uma microturbina a biogás.

Biometano como substituto do gás natural

Conforme estabelecido pela Resolução da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) nº 08/2005, biometano é o biocombustível gasoso constituído essencialmente de metano, derivado da purificação do biogás. A purificação (*upgrading*) objetiva reduzir as concentrações de dióxido de carbono, visando condicionar o combustível para emprego como substituto do gás natural, para distintas aplicações, seja através da inserção do biometano na rede de gás natural ou sua utilização direta após compressão.

A purificação pode ser realizada por meio do emprego de processos físicos ou físico-químicos. Dentre os processos físicos, destacam-se a adsorção com modulação de pressão (PSA), a lavagem com água pressurizada (*Water Scrubber*), a absorção física utilizando solventes orgânicos e a separação por membranas. Dentre os processos físico-químicos, destaca-se a absorção utilizando soluções orgânicas, geralmente aminas (MCIDADES - 2, 2015).

Injeção na rede de gás natural

A rede de distribuição de gás natural pode ser vista como um potencial ilimitado de armazenamento e distribuição do biometano, uma vez que propicia a este as mesmas formas de utilização do gás natural, incluindo utilizações domésticas, utilização em termoelétricas e usos industriais e como combustível veicular. Além disso, disponibiliza à sociedade um gás natural mais sustentável, pois parte dele passa a ser de origem renovável. No Brasil, a qualidade do biometano para injeção na rede de gás natural foi recentemente regulamentada, sendo definida pela Resolução da ANP nº 08/2015, que estabelece a concentração de metano no biogás de, no mínimo, 96,5% mol, para a maioria das regiões do Brasil.

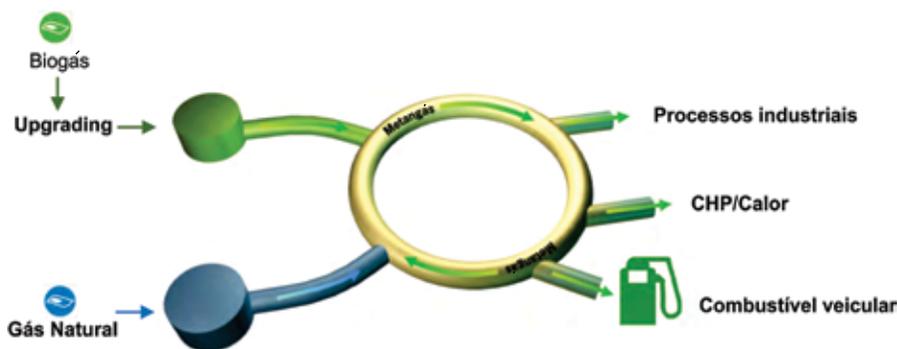


Figura 33 – Usos do biometano a partir de sua injeção na rede de gás natural.

Fonte: Adaptado de Zinn, 2010.

A injeção de biometano na rede de gás natural ocorre em uma instalação especializada, que se compõe de uma estação de medição e regulação de pressão de gás, acessórios para aumento da pressão e medição de gás calibrável (quantidade, qualidade) para o condicionamento e o aumento de pressão no biometano. Os operadores da rede de gás demandam diferentes condições de qualidade do gás, dependendo da região, as quais devem ser reguladas na estação de introdução. Caso seja necessário o aumento de valor calorífico do biometano, realiza-se a mistura de outros gases como propano ou butano.

No Brasil, a aplicação da tecnologia de injeção de biogás na rede de gás natural ainda é recente, visto que essa atividade foi regulamentada em 2015. Entretanto, desde 2013, a Refinaria Duque de Caxias (Reduc), no Rio de Janeiro, implantou um projeto para começar a substituir o gás natural pelo biogás gerado a partir da decomposição do resíduo do Aterro de Gramacho, localizado na mesma cidade. O biogás é captado no aterro e processado em uma usina, na qual o gás é purificado até atingir o padrão de qualidade exigido para sua finalidade e, em seguida, é escoado em duto exclusivo de seis quilômetros até a refinaria (PETROBRÁS, 2014). Segundo a empresa, a iniciativa visa reduzir 10% do consumo de gás natural no primeiro ano de implantação do projeto.



Figura 34 - Usina de biogás instalada no Aterro de Gramacho, RJ. Fonte: AIB News, 2013.

Uso veicular

A utilização do biometano como combustível veicular requer prévia submissão ao processo de purificação, de forma a que atinja concentrações de metano estabelecidas na legislação, ou aos requerimentos técnicos do motor em casos de frota cativa. Seu uso já é uma realidade em países como Suécia, Alemanha e Suíça, onde a rede de abastecimento veicular com biometano é bastante ampla.

No Brasil existem iniciativas isoladas de uso veicular do biogás. A cidade de Montenegro, no Rio Grande do Sul (RS) possui uma usina de biogás que realiza o *upgrading* a biometano e promove a utilização como combustível veicular. De modo a comprovar a viabilidade do uso, durante todo o mês de janeiro de 2015, um ônibus modelo Scania Citywide Euro 6 rodou com o combustível fornecido pela instalação.

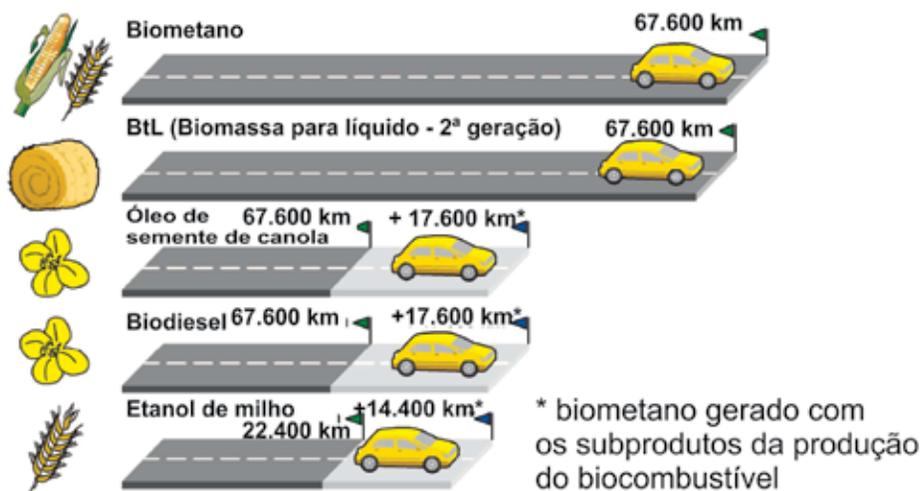


Figura 35 – Ônibus sendo abastecido com biometano em Triunfo, RS. Fonte: Scania, 2015.

O desenvolvimento de veículos movidos a gás natural tem crescido rapidamente, em especial nas últimas décadas. Em 2015, o Brasil já contabiliza 1.738 postos de abastecimento de gás natural veicular (GNV), sendo 75 localizados em Minas Gerais (GNV do Brasil, 2015). No Brasil, a disponibilidade de veículos projetados de fábrica para rodarem com gás ainda é bastante restrita, sendo o Siena TETRAFUEL 1.4 mpi Fire Flex 8v 4p da FIAT o único modelo disponível.

Tanto veículos de passeio, utilitários e veículos pesados podem ser convertidos para utilizarem combustíveis gasosos. No caso dos veículos pesados movidos a diesel, existe a opção de conversão para motores que rodem apenas a gás, mas a opção *dual fuel* tende a ser mais utilizada, pois requer menos modificações e mantém as mesmas características dos veículos movidos somente a diesel; entretanto, as emissões de poluentes tendem a serem maiores.

A utilização de veículos movidos a biometano apresenta uma série de vantagens sobre os veículos que utilizam gasolina ou óleo diesel. As emissões globais de dióxido de carbono são drasticamente reduzidas, assim como as emissões de particulados, fuligem e NO_x . Além disso, o biometano é o biocombustível que apresenta o melhor rendimento de produção agrícola.



Consumo de combustível dos veículos:
 Gasolina - 7,4 L/100km
 Diesel - 6,1 K/100km

Figura 36 – Produtividade energética da produção de diferentes biocombustíveis para utilização em veículos de passeio. Fonte: Adaptado de Al Seadi, 2008.

ASPECTOS/IMPACTOS AMBIENTAIS

A implantação e operação de uma usina de biogás é uma atividade potencialmente poluidora, sendo que os projetos devem ser cuidadosamente pensados e a operação realizada de forma adequada, de modo a reduzir os aspectos ambientais negativos. Trata-se de uma instalação industrial que associa a recepção e o tratamento de resíduos e efluentes, a produção e valorização energética do biogás e o processamento e expedição do material digerido. Os principais aspectos/impactos ambientais são a geração de emissões odorantes, de gases causadores de efeito estufa e de partículas, a proliferação de vetores e a possibilidade de contaminação do solo e

corpos hídricos. Dessa forma, os aspectos e impactos ambientais relacionados à operação de uma usina de biogás devem ser avaliados, mensurados e mitigados.

Emissões atmosféricas e odorantes

As principais fontes de emissões odorantes em usinas de biogás são as atividades que envolvem a manipulação e o armazenamento do substrato e do material digerido, os processos de condicionamento do biogás e emissões difusas de biogás em equipamentos como as válvulas de sobre e subpressão. Os principais compostos químicos associados à geração de emissões odorantes são os compostos orgânicos voláteis (COV), os gases nitrogenados e os gases sulfurosos. Estes compostos são originários da decomposição anaeróbia de compostos com alto peso molecular, especialmente proteínas. Em usinas de biogás, a amônia (NH_3) e o sulfeto de hidrogênio (H_2S) são as principais substâncias inorgânicas causadoras de emissões odoríferas.

O controle das emissões odorantes é realizado com confinamento dos pontos de geração, sucção do ar atmosférico dessas áreas e direcionamento a um sistema de tratamento. O confinamento das áreas geralmente é realizado com a construção de galpões ou a utilização de reservatórios fechados.

O controle de odores pode ser realizado pela oxidação térmica, biofiltração ou oxidação química. Na oxidação térmica, realiza-se a queima dos compostos causadores de odor, sendo mais aplicada ao controle de odores gerados por COV. Já a biofiltração remove o odor, capturando os compostos odoríferos num leito filtrante, onde são oxidados por microrganismos, sendo essa tecnologia a mais empregada nas usinas de biogás. 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.

Os biofiltros geralmente utilizam uma combinação de meio suporte orgânico e inorgânico. A parte orgânica pode ser composta por turfa, cavaco de madeira ou fibra de coco e a parte inorgânica geralmente é composta por brita.



Para o correto funcionamento, deve-se prover a umidade necessária aos processos biológicos.



Figura 37 - Biofiltro utilizado em usina de biogás, na Alemanha. Fonte: Nimbin Valley, 2015.

Em relação às demais emissões atmosféricas, os principais pontos de emissão são os veículos utilizados na movimentação do substrato e do material digerido, os pontos de queima do biogás para valorização energética (queimadores das caldeiras, CHP, exaustão da microturbina) e o queimador de segurança (flare).

A transformação da energia química do biogás em energia mecânica, térmica e/ou elétrica diminui o potencial poluidor do biogás, convertendo o metano em dióxido de carbono. Entretanto, esses motores são fontes de emissão de poluentes atmosféricos, como material particulado, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, dióxido de enxofre e hidrocarbonetos, de forma que o projeto da usina de biogás deve incluir medidas, visando tanto ao atendimento das exigências legais quanto aos níveis de emissão desses poluentes. De modo a reduzir essas emissões, os equipamentos de queima de biogás devem estar sempre regulados, provendo a quantidade ideal de oxigênio no processo de queima. Além das Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 382/06 e 436/11, em Minas Gerais, a Deliberação Normativa COPAM nº 187/2013 estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. No caso de usinas de biogás devem ser considerados as condições e limites máximos de emissão definidos para gás natural e para fontes não expressamente listadas (Anexo XVII).

A usina deve ser operada de modo a evitar a emissão de grandes quantidades de biogás diretamente para a atmosfera, pois isso acarreta a possibilidade de geração de atmosfera explosiva. Além disso, a presença do metano na composição do biogás contribui para o aumento do efeito estufa, visto que o potencial de aquecimento global do metano é 28 vezes superior ao do CO₂ (IPCC, 2013). Dessa forma, o biogás gerado sempre deve ser coletado, medido e posteriormente utilizado ou queimado.

Destinação final de resíduo gerado na biodigestão (material digerido)

O processo de metanização gera como principal resíduo o material digerido, ao qual deve ser viabilizado algum uso ou a destinação final ambientalmente adequada. A disposição inadequada do material digerido pode resultar em contaminação do solo e de recursos hídricos, geração de emissões odoríferas e de gases de efeito estufa, entre outros impactos ambientais negativos. A definição da forma mais viável para destinação final está diretamente relacionada à qualidade desse material e à logística envolvida. As principais formas de destinação são o uso agrícola, uso energético ou disposição final em aterros.

Uso agrícola

O uso agrícola pode ser considerado a forma mais sustentável de destinação final do material digerido, pois promove a ciclagem de nutrientes, a reincorporação de matéria orgânica ao solo e reduz a demanda por fertilizantes minerais extraídos de fontes não renováveis. Para que a aplicação agrícola seja realizada de forma segura, deve-se garantir a qualidade do material quanto aos teores de matéria orgânica, concentração de nutrientes e ausência de patógenos e metais pesados. O anexo V da Instrução Normativa (IN) da Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA) do MAPA nº27/2006 apresenta os limites máximos de contaminantes como sementes, 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.



Figura 38 – Caminhão coletando biofertilizante líquido para aplicação agrícola em uma usina de biogás na cidade de Rahmhaus, na Alemanha. Fonte: Arquivo Methanum.



Recomenda-se ainda observar as cargas acumuladas teóricas permitidas de substâncias inorgânicas pela aplicação de lodo de esgoto ou produtos derivados em solos agrícolas definidas na Resolução CONAMA nº 375/06.

A determinação da quantidade de material digerido a ser aplicada deve ser realizada de modo a garantir que não ocorra contaminação do solo por excesso de um determinado nutriente. Para tanto, deve-se avaliar a composição química do material digerido e as recomendações agronômicas para aplicação, as quais são definidas em função do tipo de solo e da cultura em que o material será utilizado. A definição da taxa de aplicação deve ser pautada nas recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes, que, em Minas Gerais, são estabelecidas pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais.

Mesmo que o material digerido não seja oriundo de lodo de estação de tratamento de esgoto sanitário, a adoção de tais limites pode ser um importante balizador para evitar a contaminação do solo. Nesse mesmo sentido, deve-se ainda observar



O órgão ambiental deve ser consultado antes da aplicação agrícola do material digerido.

os valores orientadores, estabelecidos pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº02/2010, para a definição do padrão de qualidade do solo e águas subterrâneas.

Dependendo do tipo de substrato utilizado na usina de biogás, o material digerido pode conter agentes infecciosos aos homens e animais.



Caso sejam utilizados substratos provenientes de matadouros, frigoríficos, processamento de leite, esgoto e lodo sanitário e resíduos sólidos urbanos, deve-se realizar a higienização do substrato.

A higienização (desinfecção) refere-se à destruição seletiva de organismos causadores de doenças, não havendo a necessidade de eliminação de todos os organismos (COURACCI et al, 2001). Os principais fatores determinantes da higienização são: a temperatura, o pH e a radiação (FERREIRA et al, 1999).

Como forma de higienização, pode-se realizar o aquecimento do material até a temperatura de 70°C, por no mínimo uma hora. A higienização térmica pode ser realizada no material digerido ou no substrato, previamente ao processo de metanização. A compostagem (digestão aeróbia) pode ser utilizada como técnica de higienização, sendo que o material deve ser mantido a temperaturas superiores a 60°C por, no mínimo, 10 dias. Para tanto, faz-se necessária a mistura do material digerido com substratos secos e estruturantes (palha, serragem, cortes das áreas verdes) (FERREIRA et al, 1999). Cabe destacar que, dependendo da origem do substrato, em especial resíduos de frigoríficos ou matadouros, poderão ser demandados procedimentos adicionais de forma a garantir a higienização. Outra forma de desinfecção e estabilização é a calagem, na qual é adicionada a cal virgem ao material digerido.

De forma a não promover a propagação de espécies vegetais ou invasoras, deve-se garantir que o processamento do material digerido elimine a capacidade de germinação das sementes presentes no substrato, a qual é obtida com a manutenção do substrato no biodigestor, por um período de 10 a 16 dias (AL SEADI et al, 2008).

A forma como o material digerido é aplicado e as condições ambientais no momento da aplicação (temperatura, insolação e umidade do terreno) influenciam as perdas de nitrogênio em função da volatilização do nutriente. Para minimizar essas perdas, recomenda-se que a aplicação do material líquido seja realizada de forma subsuperficial, com técnicas que propiciem a rápida incorporação ao solo.



O material deve ser processado de forma a possuir uma baixa viscosidade, para que o líquido se infiltre mais facilmente no solo (FNR, 2010).



Figura 39 – Distribuidor de biofertilizante líquido com sistema de aplicação subsuperficial.

Fonte: BAUER - 1, 2015.

Outras formas de utilização do material digerido

O emprego do material digerido seco como combustível sólido (valorização energética) e a utilização como material alternativo para recobrimento de aterro são alternativas muito difundidas para sua aplicação.

Para viabilizar a valorização energética, podem ser demandados processos adicionais para condicionamento do material digerido, tais como a redução do teor de umidade, separação de fibras e a produção de *pellets*. Devido à composição do material, a queima poderá gerar emissões atmosféricas contendo óxidos de nitrogênio e de enxofre, acarretando a necessidade de tratamento dos gases de exaustão previamente ao lançamento na atmosfera.

A utilização de material digerido como material de cobertura de aterros sanitários é uma prática comum em países como Estados Unidos, Canadá e Itália. O material deve estar estabilizado (reduzido teor de SV), higienizado e com o teor de umidade apropriado. A definição da forma adequada de utilização depende das características do material digerido, sendo que deverá ser realizado um estudo específico para determinar a forma correta de utilização (PRIM, 2011).

Além dos usos listados, ainda são verificadas iniciativas como a utilização do material digerido como substituto de matéria-prima na fabricação de blocos cerâmicos, laminados de madeira e como substrato para vermicompostagem.

Secagem e disposição em aterro

Caso não seja possível viabilizar nenhuma utilização para o material digerido, este se configura como rejeito do processo de metanização, e a disposição em aterros ambientalmente regularizados torna-se necessária para garantir que o material não cause nenhum tipo de contaminação ao meio ambiente. Para definir o tipo de aterro apto a receber o material, deve-se realizar a classificação conforme a norma ABNT 10.004/04, na qual geralmente é enquadrado como Classe II-A (resíduo não perigoso e não inerte). Caso o material seja enquadrado como Classe I (resíduo perigoso), a disposição final só poderá ser realizada em aterro licenciado para o recebimento de resíduos perigosos.

De forma a reduzir custos na disposição do material digerido em aterros, é comum utilização de técnicas para redução do teor de umidade e, conseqüentemente, do volume, a qual pode ser realizada por processos de desidratação (centrífugas ou filtro-prensas) ou de secagem (leito de secagem, secadores de

tambor ou de esteiras e secadores solares). A compostagem também pode ser aplicada, uma vez que promove a perda de grande parte da umidade. De forma a acelerar o processo de secagem, algumas técnicas realizam a injeção de ar quente no material, que flui sobre e através do material, sendo esta uma forma bastante eficiente de utilização de calor residual da usina de biogás (FNR, 2010).



Figura 40 – Extrusora para separação sólido-líquido do material digerido de uma planta de biogás.
Fonte: BAUER - 2, 2015.

A utilização de secadores solares pode configurar em uma alternativa bastante viável para as usinas de biogás localizadas em regiões com grande incidência solar. Esses secadores solares são estruturas similares a estufas para o cultivo de hortaliças, as quais concentram o calor e aceleram o processo de evaporação da fase líquida. De modo a aumentar a eficiência e reduzir o tempo demandado, o material deve ser constantemente revolvido.

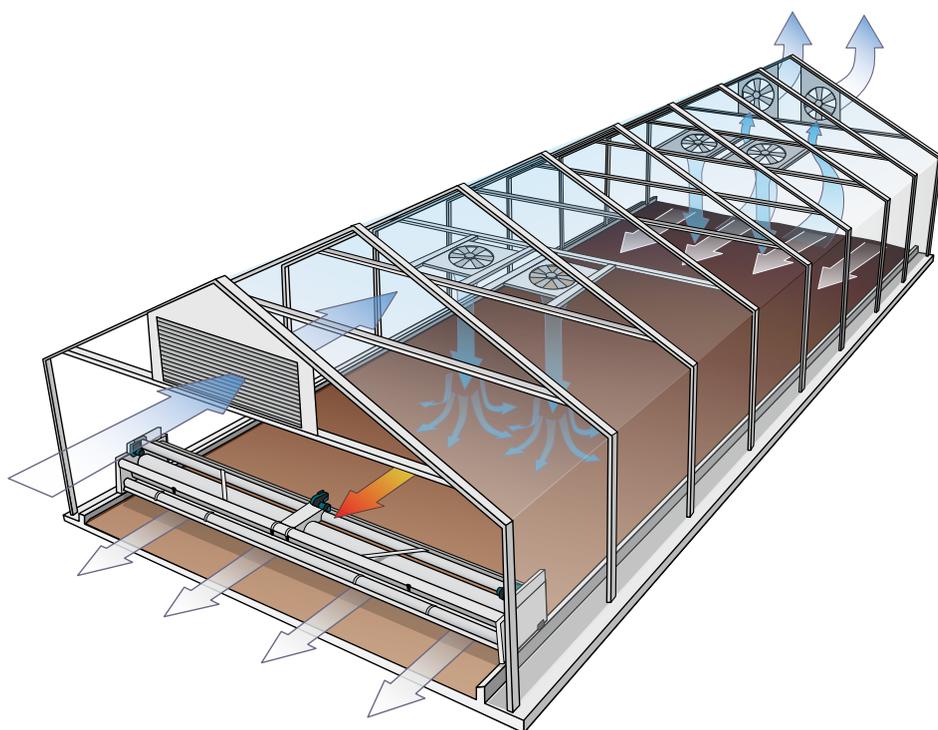


Figura 41 – Representação esquemática de um secador solar de lodo.

Fonte: WATER ONLINE, 2015.

Nos sistemas de secagem, ocorre a liberação de grande parte da amônia e de outras substâncias odoríferas contidas no material.



Recomenda-se que o ar de exaustão desses sistemas seja direcionado a um sistema de tratamento, o que geralmente é realizado com a utilização de um biofiltro.

Contaminação do solo, águas superficiais e subterrâneas

As usinas de biogás podem se configurar como focos de poluição e/ou contaminação do solo e corpos hídricos caso não sejam adotadas práticas adequadas no manejo do substrato, do biogás, do material digerido e do condensado. A conservação dos tanques, tubulações e a manutenção de máquinas e equipamentos é fundamental para garantir que não ocorram vazamentos que possam resultar em contaminação ambiental.

Os substratos sólidos tendem a gerar um lixiviado com elevada carga orgânica, em especial os substratos com maior teor de umidade. O substrato deve ser armazenado preferencialmente em local coberto, com piso impermeabilizado e provido de sistema de coleta e condução do lixiviado ao sistema de metanização.

Devido a defeitos construtivos ou à deterioração em função do tempo, pode-se observar a ocorrência de trincas ou rachaduras nos tanques de armazenamento do substrato ou material digerido líquido, bem como nos próprios reatores de metanização. No comissionamento da unidade devem ser realizados testes para verificar a estanqueidade dos tanques e durante a operação devem ser realizadas inspeções periódicas para avaliar a necessidade de manutenções ou reparos. Nas áreas de entorno dos tanques devem ser instalados poços de monitoramento (piezômetros) para possibilitar a identificação de vazamentos. Nas lagoas de armazenamento, deve-se instalar um dreno testemunha, que é composto por uma camada drenante instalada entre as camadas impermeabilizantes, interligado a um poço de monitoramento.

As tubulações e bombas de condução de líquidos podem apresentar vazamentos e se configurar como um ponto de contaminação. Devem-se realizar inspeções e manutenções periódicas a fim de que todo o sistema esteja em condições adequadas de funcionamento. Os sistemas de vedação das bombas e as juntas dos flanges são elementos que tendem a apresentar deterioração acelerada e devem ser constantemente avaliados para identificar a necessidade de substituição.

A manutenção de máquinas e equipamentos que envolvam a troca de óleo lubrificante deve ser sempre realizada em local com piso impermeabilizado. O óleo descartado deve ser acondicionado em bombonas e destinado a estabelecimentos licenciados para o recebimento desse tipo de resíduo, o qual é enquadrado como Classe I – Perigoso.

No caso de armazenamento de produtos químicos, os locais devem ser sinalizados, de modo a identificar o tipo de produto armazenado, bem como os riscos envolvidos no manuseio. As áreas de armazenamento de líquidos devem possuir bacias de contenção com o volume de armazenamento superior ao tanque de maior capacidade.

A aplicação do biofertilizante no solo deve ser realizada de forma adequada, sempre respeitando as taxas máximas de aplicação por hectare recomendadas, e o material digerido só pode ser utilizado com essa finalidade caso atenda os limites legais estabelecidos. Para que seja definida a taxa máxima de aplicação no solo, devem ser realizadas análises da composição do material e do solo onde será aplicado.

A fração líquida do material digerido que não possuir uso deve ser considerada como um efluente da planta e ser tratada de modo a possibilitar o seu descarte. Para ser lançado em um corpo receptor, o efluente deve estar de acordo com os parâmetros estabelecidos na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008. Caso haja rede coletora de esgoto sanitário no local, o efluente poderá ser destinado a ela após obtenção de autorização de companhia de saneamento.

Ruído

As principais fontes de ruído em usinas de geração de biogás são a movimentação de veículos pesados e a operação de equipamentos. A intensidade e periodicidade da movimentação dos veículos dependem da concepção do empreendimento e das atividades relacionadas ao recebimento de substrato em caminhões, o carregamento do substrato sólido e a expedição do material digerido.

Em relação à operação da unidade, o uso de compressores, bombas, equipamentos de aproveitamento energético e queima do biogás representam um ponto significativo de geração de ruídos. A redução do impacto associado está relacionada ao uso de equipamentos mais silenciosos e de cabines acústicas. No sentido de garantir a segurança dos operadores das usinas, recomenda-se o uso de protetores auriculares.

O local de instalação dos equipamentos deve ser cuidadosamente avaliado, de modo a garantir que equipamentos emissores de elevados níveis de ruídos, tais como sistema de geração de energia e compressores, estejam localizados distantes de salas de comando, almoxarifado e outros locais onde os operadores permaneçam por longos períodos de tempo.

Caso a usina possua correias transportadoras, pontes rolantes e outros equipamentos para a movimentação de cargas, eles devem passar por manutenção periódica e lubrificação das engrenagens de modo a garantir que os equipamentos operem de forma silenciosa.

Riscos de explosão e incêndio

O biogás apresenta composição e propriedades que lhe conferem alto grau de periculosidade, com riscos associados à intoxicação e asfixia dos operadores, bem como a possibilidade de criação de atmosferas explosivas e a ocorrência de explosões.

Mesmo sendo uma mistura gasosa inflamável, o biogás sozinho não possui propriedades explosivas. A deflagração de uma explosão em usinas de biogás depende da combinação de dois fatores principais: a formação de uma mistura explosiva e o contato com uma fonte de ignição (chama, faísca ou centelha elétrica, superfícies quentes, descarga atmosférica, etc.). Em usinas de biogás, a formação da mistura explosiva ocorre quando o metano é misturado ao ar em proporções dentro do limite de explosividade, sendo que valores fora dessa faixa não apresentam risco de explosão. Os limites de segurança das proporções volumétricas em que não se verifica risco de explosão são:

- Acima de 16,5% de metano, proporção de ar indiferente;
- Abaixo de 4,4% de metano, proporção de ar indiferente;
- Abaixo de 58% de ar (11,6% de oxigênio), proporções de metano e gás inerte indiferentes;
- Acima de 86% de gás inerte, proporção de ar indiferente.

Fonte: MCIDADES 4, 2015.

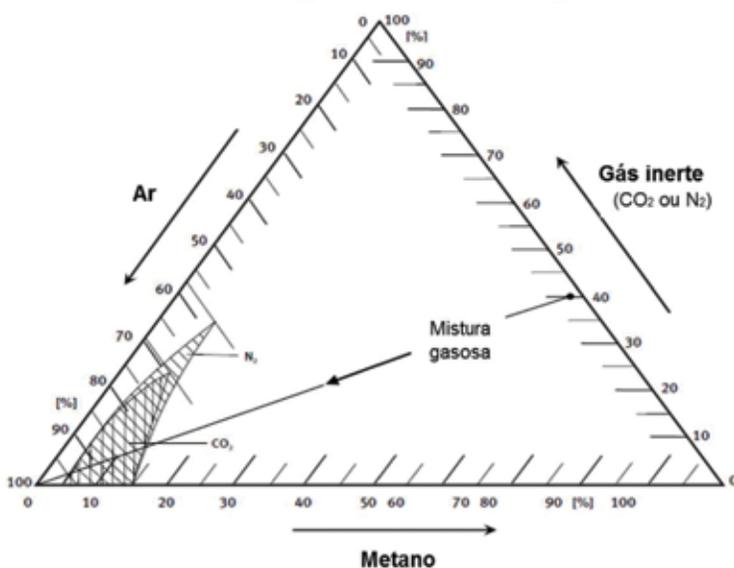


Figura 42 – Condições de explosividade do metano.

Fonte: PLATZER, 2015.

Previamente ao início de operação de uma usina de biogás, deve-se elaborar o projeto de classificação de área, o qual irá identificar as áreas com possibilidade de formação de zonas explosivas. Essas áreas podem ser enquadradas em três zonas, classificadas conforme a probabilidade e duração de atmosfera explosiva, divididas da seguinte forma:

- **Zona Ex 0:** Contempla as áreas onde a formação de atmosferas explosivas ocorre de forma constante, por períodos prolongados ou frequentemente (maior parte do tempo). O gasômetro, a entrada de ar nos sistemas de queima de biogás e a câmara de combustão do flare, bem como pontos do reator onde podem ocorrer entrada de ar, são exemplos de áreas classificadas como Zona Ex 0.
- **Zona Ex 1:** Compreende as áreas em que, sob condições normais de operação, existe a possibilidade de ocorrência ocasional de atmosferas perigosas explosivas. Áreas num raio de 1 m no entorno de tubos de exaustão, válvulas de sobre e subpressão, flange de instalação do agitador e flare são classificadas como Zona Ex 1. Caso a área esteja em um ambiente confinado, o raio se estende para até 4,5 m.

- **Zona Ex 2:** Compreende as áreas em que, sob condições normais de operação, a possibilidade de formação de atmosferas explosivas normalmente não existe ou, se ocorrer, será por breves períodos. Áreas situadas entre 1 e 3 m no entorno de equipamentos onde possa ocorrer o vazamento de biogás são classificadas como Zona Ex 2. Caso a área esteja em um ambiente confinado, todo o recinto será classificado como Zona Ex 2.

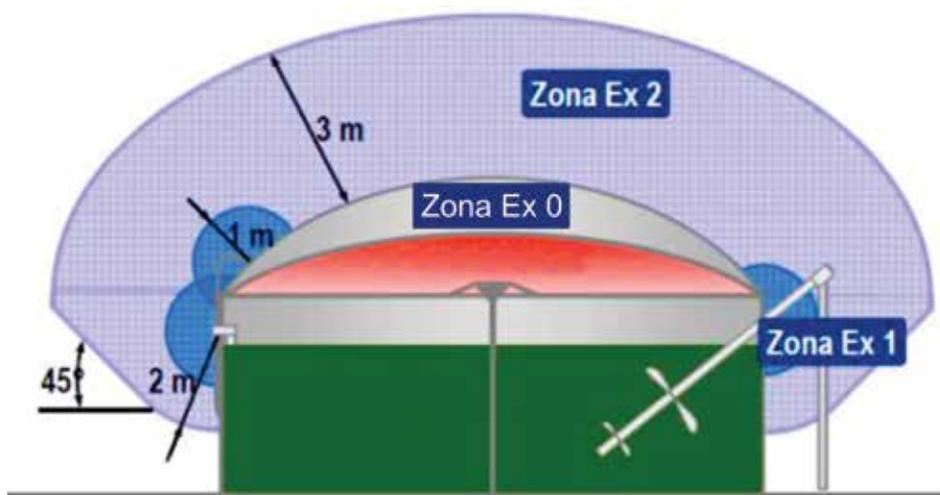


Figura 43 – Vista em corte da classificação de área em um reator de metanização.

Fonte: Adaptado de Schutzzonen WELtec BioPower, Lutten apud Wagner, 2015.

Nas usinas de biogás devem ser implementadas medidas de proteção contra explosões. As medidas podem ser classificadas como **Primárias** (visam evitar ou restringir a formação de atmosferas perigosas com potencial de explosão), **Secundárias** (visam evitar a ignição de atmosferas perigosas, potencialmente explosivas – eliminação de fontes de ignição) ou **Construtivas** (medidas que reduzem os efeitos de uma explosão em níveis inofensivos).

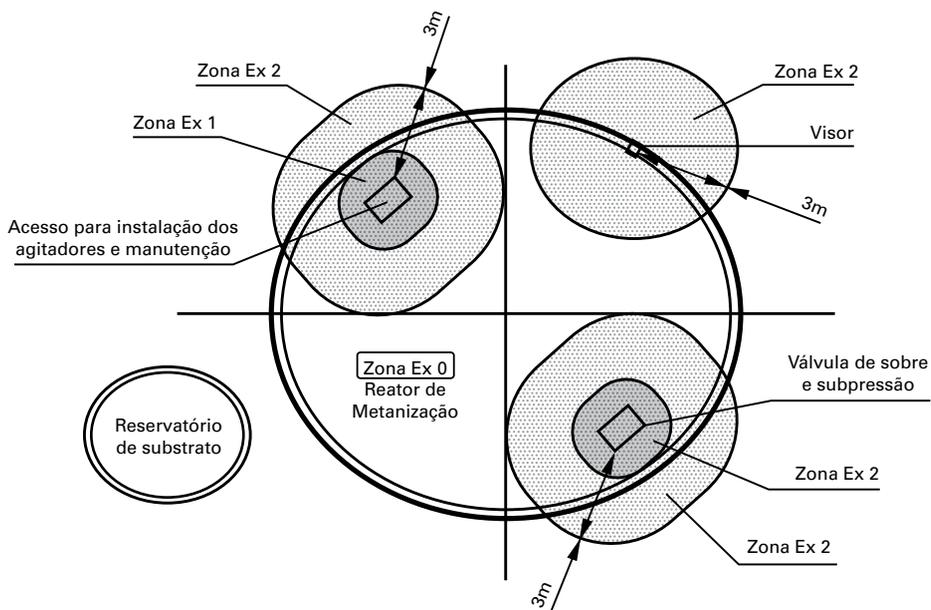


Figura 44 – Vista em planta da classificação de área em um reator de metanização. Fonte: Adaptado de Deublein e Steinhauser, 2008.

As usinas de biogás devem contar ainda com sistema de aterramento e proteção contra descargas atmosféricas e placas sinalizadoras de advertência para identificação de riscos e prevenção de acidentes.

A identificação e mitigação dos riscos envolvidos na operação de uma usina de biogás é uma atividade que deve ser realizada de forma constante e periódica.

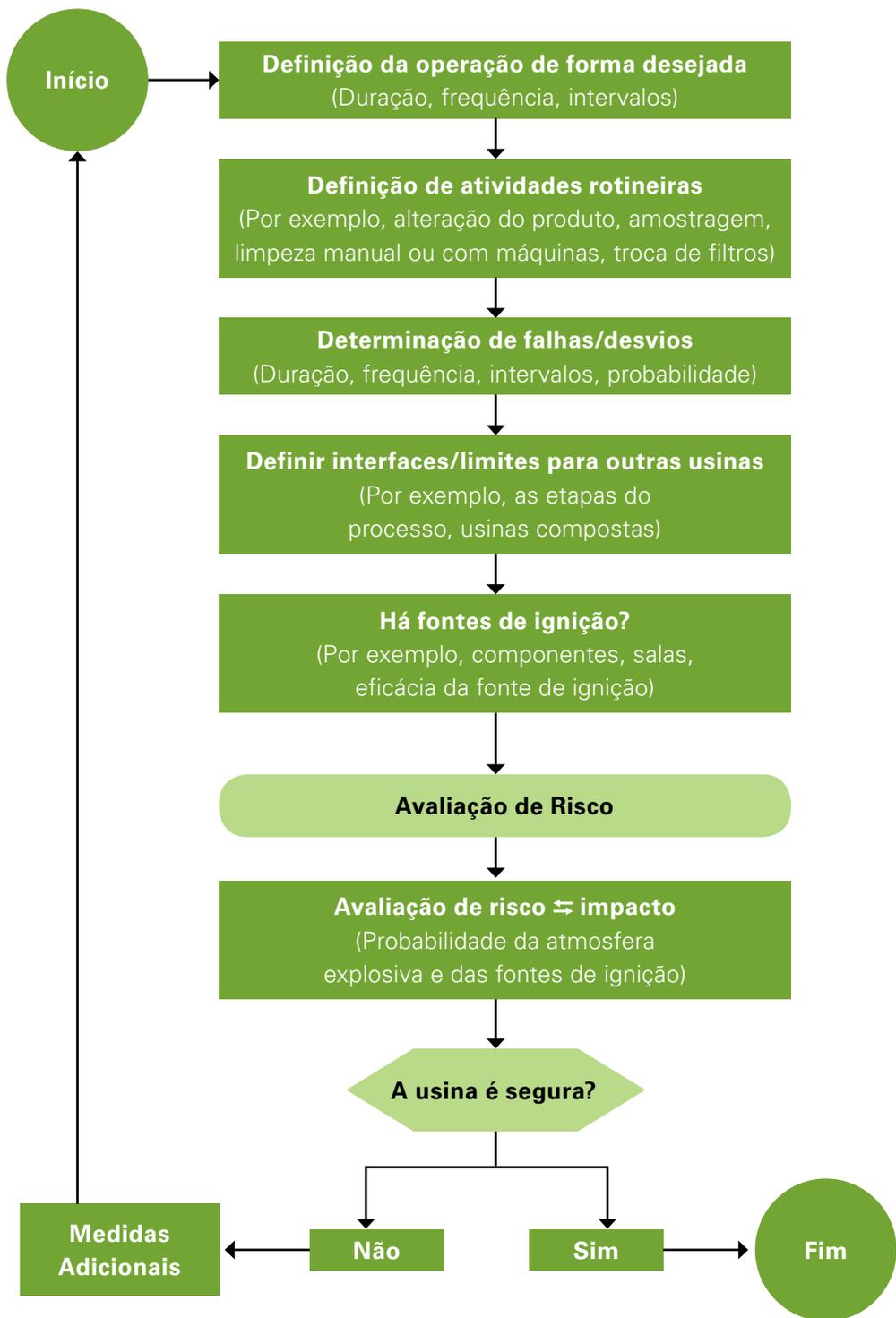


Figura 45 – Fluxograma de avaliação de riscos em usinas de biogás.

Fonte: Adaptado de DORSCH, 2015.

BOAS PRÁTICAS AMBIENTAIS

A busca pela sustentabilidade tem orientado muitas indústrias em direção à prática de melhorias contínuas, para além das obrigações formais contidas na regularização ambiental. A melhoria do desempenho ambiental do setor passa pela substituição de tarefas cotidianas das empresas por práticas voltadas à produção sustentável, em que seja possível obter uma série de benefícios, tanto ambientais quanto econômicos, na gestão de seus processos.

Esse item visa, portanto, orientar e recomendar ao empreendedor do setor quanto às boas práticas ambientais, que podem ser aplicadas aos processos e atividades de produção e utilização do biogás, tendo em vista os aspectos e impactos ambientais anteriormente mencionados. Salienta-se que, para implantação de cada uma das boas práticas ambientais, cabe verificar a viabilidade técnico-econômica e consultar a legislação ambiental vigente. Para qualquer planejamento que vise à alteração nas condições de instalação ou operação da empresa, que foi objeto de licença ambiental, recomenda-se consultar o órgão ambiental para as devidas orientações.



Em Minas Gerais existe o Banco de Boas Práticas Ambientais, criado pela FEAM e FIEMG. O banco tem como objetivo incentivar e divulgar o desenvolvimento de iniciativas voltadas para a ecoeficiência dos processos, que induzam a produção de bens e serviços com uso menos intensivo de recursos naturais e com menor degradação ambiental, sem desperdício e melhor controle da poluição. Entre os objetivos, busca-se destacar projetos de Produção Mais Limpa e Produção Sustentável desenvolvidos pelas empresas em Minas Gerais, promovendo um ambiente para divulgação de iniciativas e troca de experiências empresariais. Para mais informações acesse:

<http://www.feam.br/producao-sustentavel/boas-praticas>

POR QUE ADOTAR BOAS PRÁTICAS AMBIENTAIS

- + Aumento da produtividade;
 - + Aumento da rentabilidade do negócio;
 - + Expansão no mercado dos produtos da empresa;
 - + Melhoria da imagem corporativa e apoio em ações de marketing;
 - + Melhoria da qualidade do produto;
 - + Melhoria do relacionamento com a comunidade e com os órgãos públicos;
 - + Redução da geração de resíduos, efluentes e emissões e de gastos com seu tratamento final;
 - + Redução dos custos de produção;
 - + Redução dos riscos de acidentes ambientais e ocupacionais;
 - + Redução no uso de substâncias tóxicas;
 - + Retorno do capital investido nas melhorias em curtos períodos;
 - + Uso racional da água, da energia e das matérias-primas.
-

BOAS PRÁTICAS AMBIENTAIS EM USINAS DE BIOGÁS

Transporte e armazenamento do substrato

ETAPA	BOAS PRÁTICAS
Transporte de substratos	Planejar adequadamente a logística de transporte de modo a garantir que os veículos operem na capacidade máxima de carga, para reduzir o número de viagens.
	Utilizar caminhões com carrocerias fechadas ou cobertas por lona no transporte de substratos sólidos.
	Utilizar caminhões-tanque (limpa-fossa) para o transporte de substratos líquidos ou pastosos.
	Os caminhões devem possuir sistema de coleta e armazenamento do lixiviado para garantir que não haja vazamento durante as viagens.
	Realizar a manutenção periódica dos veículos de modo a garantir que o nível de emissão de poluentes e geração de ruídos esteja dentro dos níveis regulamentados.
	Realizar carga e descarga do substrato em galpão fechado e com sistema de coleta e tratamento do ar ambiente para remoção de odores.
	Garantir que os veículos e os motoristas possuam as licenças demandadas.
	Após a operação de carga e descarga, realizar a limpeza da área, removendo eventuais derramamentos que tenham ocorrido.

Armazenamento de substratos sólidos	Utilizar galpões fechados, com sistema de coleta e tratamento do ar ambiente. Caso seja utilizado local aberto, realizar o recobrimento do material com lona.
	Implantar piso impermeável e com sistema de coleta de lixiviados, os quais devem ser direcionados ao sistema de metanização.
	Garantir que não haja contato das águas pluviais com o substrato.
	Programar a logística de modo a reduzir o tempo de armazenamento do substrato.
	Caso sejam utilizadas gruas, pontes rolantes ou outros equipamentos para movimentação do substrato, promover a manutenção e lubrificação periódica para minimizar a geração de ruídos.
Armazenamento de substratos líquidos	Realizar o armazenamento em tanque fechado e com sistema de direcionamento de emissões atmosféricas e odorantes ao sistema de tratamento.
	Conduzir o substrato por meio de bombeamento em tubulações.
	Utilizar tanques e tubulações aéreas de modo a facilitar a identificação de vazamentos.
	Realizar manutenção periódica em válvulas para garantir a estanqueidade delas.
	Utilizar preferencialmente bombas submersíveis para evitar vazamentos.

Armazenamento de substratos líquidos	Implantar bacias de contenção para eventuais vazamentos ou rompimentos dos tanques, com volume igual à quantidade de substrato armazenado.
	Implantar sensores para monitoramento de possíveis vazamentos.
	Implantar sensores de nível para garantir que os tanques não sejam preenchidos acima da capacidade máxima.

Triagem e condicionamento do substrato

ETAPA	BOAS PRÁTICAS
Tratamento mecânico e triagem do substrato	Instalar sistemas de isolamento acústico em equipamentos que emitam elevados níveis de ruído.
	Instalar equipamentos em galpão fechado e com sistema de coleta e tratamento do ar ambiente.
	A área deve possuir piso impermeável e com sistema de coleta de lixiviados, os quais devem ser direcionados ao sistema de metanização.
	Realizar a limpeza periódica da área de modo a garantir que substratos derramados sejam coletados e direcionados ao sistema de metanização.
Sistema de higienização do substrato	Utilizar sistemas hermeticamente fechados.
	Realizar manutenção periódica dos equipamentos para garantir que sempre operem com o sistema de vedação funcionando adequadamente.

Sistema de higienização do substrato	Implantar o sistema de forma que o material higienizado seja injetado diretamente no sistema de metanização, sem a necessidade de transporte por pá-carregadeira.
	Instalar sistemas de isolamento acústico em equipamentos com emissões de elevados níveis de ruídos.
	Realizar inspeções periódicas para verificar eventuais vazamentos e necessidades de manutenção.

Sistemas de metanização e de armazenamento de biogás

ETAPA	BOAS PRÁTICAS
Sistema de introdução de substratos líquidos	Instalar tanques e tubulações aéreas de modo a facilitar a identificação de possíveis vazamentos.
	Implantar bacias de contenção para eventuais vazamentos ou rompimentos dos tanques, com volume igual à quantidade de substrato armazenado.
	Utilizar preferencialmente bombas submersíveis para evitar vazamentos.
	Vedar hermeticamente os tanques para minimizar a emissão de odores.
	Realizar inspeções periódicas para verificar eventuais vazamentos e necessidades extras de manutenção.
Sistema de introdução de substratos sólidos	Reduzir o tempo de carregamento do sistema de alimentação, planejando adequadamente as operações.
	Manter a tampa do sistema de alimentação aberta pelo mínimo tempo necessário, nos casos de alimentação em batelada.

Sistema de introdução de substratos sólidos

Planejar a rotina operacional de modo a garantir que o substrato recebido há mais tempo seja o primeiro a ser introduzido no sistema. (Conceito First-in/First-out)

Instalar sistemas de isolamento acústico em equipamentos que emitam elevados níveis de ruído.

Impermeabilizar a área de manobra de máquinas ou áreas onde possa ocorrer o derramamento de substrato.

Implantar sistema de coleta de lixiviado, com o direcionamento deste ao sistema de metanização.

Limpar constantemente as máquinas utilizadas, principalmente dos pneus das pás-carregadeiras.

Operar de forma ágil os equipamentos para redução do tempo de transbordo de substrato.

Disponibilizar material para contenção de eventuais vazamentos de óleo.

Reator de metanização, linhas de gás e gasômetro

Dimensionar o gasômetro de modo a garantir que o volume seja adequado para eventuais flutuações na produção de biogás, bem como para suportar os tempos de parada para manutenção dos sistemas de tratamento ou utilização do biogás.

Implantar flare de segurança para garantir a queima do biogás caso haja necessidade de emissão dele na atmosfera.

Planejar adequadamente as manutenções no sistema, de modo que, caso seja necessária a abertura de algum compartimento onde haja produção de biogás, as taxas de geração de biogás sejam reduzidas (redução na alimentação de substrato).

Reator de metanização, linhas de gás e gasômetro	Realizar inspeções periódicas para verificar eventuais vazamentos e necessidades extras de manutenção.
	Realizar manutenção periódica nos agitadores, bombas e outros equipamentos mecânicos.
	Implantar sistema de coleta de lixiviado em locais de instalações de equipamentos que possam gerar vazamentos (bombas, purga de condensado e outros).
	Implantar bacias de contenção nos mesmos volumes dos reatores.
	Verificar periodicamente a vedação dos reatores de modo a identificar possíveis vazamentos de biogás e substrato.
	Implantar válvulas de sobre e subpressão no reator e nas linhas de gás.
	Direcionar o condensado da linha de biogás para o reator de metanização.
	Utilizar sistema de aquecimento solar para auxiliar na manutenção da temperatura de operação do reator.

Condicionamento e conversão energética do biogás

ETAPA	BOAS PRÁTICAS
Sistema de dessulfuração	Dimensionar adequadamente para a vazão máxima de biogás prevista, bem como para a maior concentração de H ₂ S esperada.
	Selecionar a tecnologia a ser utilizada em função da qualidade esperada do biogás que será gerado.
	Avaliar constantemente as taxas de consumo de produtos químicos para detectar eventuais usos excessivos.

Sistema de dessulfuração	Realizar inspeções periódicas para verificar eventuais vazamentos e necessidades extras de manutenção.
	Implantar bacias de contenção no mesmo volume do equipamento de maior capacidade.
	Caso os sistemas sejam instalados em locais fechados, implantar sistemas de exaustão do ar ambiente de modo a garantir a atmosfera adequada.
CHP	Dimensionar adequadamente para a vazão máxima de biogás prevista.
	Regular o sistema periodicamente para garantir a estequiometria adequada à queima (ar/combustível).
	Realizar as trocas de óleo dentro dos prazos especificados pelo fabricante.
	Avaliar a qualidade do biogás afluyente de modo a garantir que esteja em conformidade com padrões estabelecidos pelo fabricante.
	Monitorar periodicamente a qualidade do gás de escape para garantir que a queima esteja sendo realizada de forma adequada (NO _x , THC, COV, SO _x).
	Remover a umidade do biogás.
	Instalar sistemas de isolamento acústico.
	Impermeabilizar o piso e disponibilizar equipamentos para contenção de eventuais vazamentos de óleo.
Purificação para biometano	Dimensionar adequadamente para a vazão máxima de biogás prevista, bem como para a qualidade esperada.
	Realizar regulagem e manutenção periódica do sistema.

Purificação para biometano	Realizar inspeções periódicas para verificar vazamentos e necessidades extras de manutenção.
	Caso seja utilizado sistema de dessorção, direcionar o gás residual ao sistema de tratamento.

Condicionamento e armazenamento do material digerido

ETAPA	BOAS PRÁTICAS
Condicionamento e armazenamento do material líquido digerido	Adotar as mesmas recomendações aplicáveis ao armazenamento de substratos líquidos.
	Monitorar relação ST/SV para certificar a estabilidade do material digerido.
	Garantir que o material digerido tenha permanecido o tempo adequado no sistema de metanização para completa estabilização.
	Realizar o monitoramento da relação carbono/nitrogênio e de outros parâmetros relevantes para garantir o uso seguro como biofertilizante.
Condicionamento e armazenamento do material digerido sólido	Adotar as mesmas recomendações aplicáveis ao armazenamento de substratos sólidos.
	Instalar sistema de separação sólido-líquido em galpão fechado e isolado da chuva.
	Captar e direcionar o lixiviado ao sistema de metanização.
	Realizar o monitoramento da relação carbono/nitrogênio e de outros parâmetros relevantes para garantir o uso seguro como biofertilizante.

Compostagem	<p>Acelerar o processo com a implantação de sistemas de aeração forçada, revolvimento das leiras e fornecimento da umidade necessária.</p>
	<p>Utilizar o material digerido líquido para controle do teor de umidade.</p>
	<p>Utilizar galpões fechados, com sistema de coleta e tratamento do ar ambiente. Caso seja utilizado local aberto, realizar o recobrimento do material com lona.</p>
	<p>Captar e direcionar o lixiviado ao sistema de metanização.</p>

Transporte e destinação do material digerido

ETAPA	BOAS PRÁTICAS
Transporte do material digerido líquido ou sólido	<p>Adotar as mesmas recomendações aplicáveis ao transporte de substratos.</p>
	<p>Evitar a retenção do material nos veículos.</p>
	<p>Realizar a limpeza periódica do local, máquinas e equipamentos.</p>
Aplicação do material digerido como fertilizante líquido ou sólido	<p>Definir as taxas de aplicação de acordo com as recomendações agronômicas estabelecidas em função do solo e das culturas agrícolas.</p>
	<p>No caso de biofertilizantes líquidos, utilizar sistema de aplicação subsuperficial para minimizar as perdas por volatilização, em especial do nitrogênio em forma amoniacal.</p>

Aplicação do material digerido como fertilizante líquido ou sólido	Utilizar veículos na capacidade máxima de carga para reduzir o número de viagens realizadas.
	Manter uma distância adequada de cursos d'água para garantir que não haja lixiviação do biofertilizante para eles.
	Utilizar o material digerido conforme a qualidade dele, bem como em função dos substratos que tenham sido utilizados na sua produção.
Destinação final do material digerido	Para a fração sólida, a disposição final somente deve ocorrer em local licenciado para o recebimento de resíduos.
	No caso da fração líquida sem uso nas redes coletoras de esgoto, após obtenção de autorização junto à empresa de saneamento responsável pela área.
	Utilizar veículos na capacidade máxima de carga para reduzir o número de viagens realizadas.
	Documentar registros de envio do material para local devidamente licenciado, guardando a documentação pertinente.
Aspectos Gerais	
ETAPA	BOAS PRÁTICAS
Usinas de biogás	Realizar captação de água de chuva para lavagem de pisos, caminhões e outros equipamentos de modo a reduzir a demanda hídrica do empreendimento.
	Utilizar materiais resistentes à corrosão para garantir uma maior vida útil dos equipamentos.
	Lubrificar e realizar manutenção periódica dos equipamentos.

Usinas de biogás

Realizar treinamentos periódicos com os operadores para garantir que a operação esteja sendo realizada de forma adequada.

Realizar a manutenção periódica dos veículos, geradores e outros equipamentos que realizem a queima de combustível, de modo a garantir que o nível de emissão de poluentes e geração de ruídos esteja dentro dos níveis regulamentados.

Instalar sistemas de isolamento acústico em equipamentos que emitam elevados níveis de ruído.

Fonte: Adaptado de MCIDADES 4, 2015.



Nem todas as boas práticas apresentadas são obrigações legais, mas recomenda-se sua adoção para garantir a operação de forma adequada das usinas de biogás.

LICENCIAMENTO AMBIENTAL E OBRIGAÇÕES LEGAIS

Plantas de produção de biogás são empreendimentos regulamentados por diversos órgãos governamentais, sendo que o grau de complexidade e as exigências requeridas variam em função do tamanho do empreendimento, dos tipos de substratos que são processados e da destinação que será dada aos subprodutos gerados. De uma forma geral, as principais regulamentações incidentes referem-se aos seguintes temas:

- **Regularização Ambiental:** refere-se ao controle dos aspectos e impactos ambientais, envolvendo a obtenção das licenças ambientais, autorizações referentes à supressão de vegetação e uso de recursos hídricos, ao cadastro técnico federal e demais obrigações legais junto aos órgãos ambientais.
- **Normativas técnicas:** referem-se às normas técnicas aplicadas à elaboração de projetos, construção e operação de plantas de biogás.
 - **Aspectos agronômicos:** são as licenças e demais obrigações referentes à utilização e comercialização do material digerido com finalidades agrícolas.
 - **Eletricidade e biometano:** são as normativas referentes à produção, comercialização e/ou distribuição de eletricidade e biometano.
 - **Saúde e Segurança no Trabalho:** são as normativas referentes à segurança ocupacional e riscos associados ao desenvolvimento das atividades.

Regularização Ambiental

A regularização ambiental é uma obrigação legal prévia à instalação de qualquer atividade potencialmente poluidora ou degradadora do meio ambiente.

A regularização pode ser realizada no âmbito federal, estadual ou municipal, dependendo das legislações e estrutura dos municípios para exercer esta competência. Normalmente, no caso de usinas de biogás, a regularização/licenciamento ocorre em âmbito estadual ou municipal, em função da abrangência do impacto. Os municípios podem realizar o licenciamento das atividades, desde que recebam delegação do estado, por meio de assinatura de convênio.

Em Minas Gerais, existem duas modalidades de regularização ambiental, variando conforme potencial poluidor e porte do empreendimento: a Autorização Ambiental de Funcionamento (AAF) e a Licença Ambiental. Em algumas situações podem ocorrer também a dispensa do licenciamento.

A DN COPAM nº 74/2004 traz a listagem das tipologias industriais passíveis de licenciamento ambiental em Minas Gerais. As atividades de produção e utilização de biogás normalmente são enquadradas como atividades auxiliares, compondo o processo global de regularização ambiental do empreendimento. A DN COPAM nº 74/2004 possui um código específico para a **produção de biogás (C-04-05-7)**. Caso o biogás seja utilizado para a produção de eletricidade, deverá ser incluída no processo a atividade de **produção de energia termoeleétrica a gás natural ou biogás (E-02-02-4)**. Cabe ressaltar que a DN COPAM nº 74/04 não estabelece um código específico para a atividade de purificação do biogás para produção de biometano.

O potencial poluidor é considerado sobre as variáveis ambientais ar, água e solo, que por meio dos impactos gerados pelas atividades listadas são classificados como pequeno, médio e grande. A combinação dos potenciais destas variáveis indica o potencial poluidor geral da atividade.

O porte do empreendimento pode ser determinado pela capacidade de produção instalada, pela área do empreendimento, pelo número de empregados, dentre outros, conforme a atividade. Com base nestas características, o porte do empreendimento para fins de licenciamento ambiental em Minas Gerais é considerado pequeno, médio ou grande.

Tabela 11 - Determinação da classe do empreendimento a partir do potencial poluidor da atividade e do porte.

PORTE DO EMPREENDIMENTO	POTENCIAL POLUIDOR/DEGRADADOR GERAL DA ATIVIDADE			
		P	M	G
P		1	1	3
M		2	3	5
G		4	5	6

Tabela 12 – Critérios de enquadramentos das atividades de produção de biogás e de produção de energia termoelétrica a gás natural ou biogás.

Porte	Produção de biogás		Produção de energia termoelétrica a gás natural ou biogás	
	Critério de enquadramento	Classe	Critério de enquadramento	Classe
Pequeno	600 < Capacidade de produção < 3.000 Nm ³ /d	1	Capacidade instalada ≤ 10MW	1
Médio	3.000 ≤ Capacidade de produção ≤ 20.000 Nm ³ /d	3	10 < Capacidade instalada ≤ 100 MW	3
Grande	Capacidade de produção > 20.000 Nm ³ /d	5	Capacidade instalada > 100 MW	5

Fonte: Adaptado de DN COPAM nº 74/2004.

Cruzando-se as informações do porte do empreendimento e do potencial poluidor definido para a atividade, tem-se a definição da Classe do empreendimento (Classe 1 à Classe 6). Caso exista mais de uma atividade em um mesmo empreendimento, deverá ser considerada a de maior classe entre elas para o enquadramento.

Os empreendimentos que se enquadrarem nas Classes 1 ou 2 terão sua regularização ambiental por meio da obtenção da AAF. Para as demais classes (Classe 3 à Classe 6), os empreendimentos serão passíveis do licenciamento ambiental clássico.

Para as atividades relacionadas à produção de biogás acima de 600 Nm³/d, os empreendimentos podem se classificar como Classe 1, sendo passível de AAF; ou Classe 3 e 5, sendo passível de Licença Ambiental.



As empresas cujos parâmetros da DN COPAM nº 74/2004 as classifiquem abaixo da Classe 1, como as usinas com produção de biogás inferior a 600 Nm³/d, são dispensadas do processo de regularização ambiental. Nestes casos, recomenda-se que tais empresas solicitem ao órgão ambiental uma certidão de “Não Passível de Licenciamento”, apesar de ser opcional a obtenção dessa certidão.

O procedimento para a obtenção da AAF ou da Licença Ambiental inicia-se com o preenchimento do Formulário de Caracterização do Empreendimento (FCE) e o protocolo deste documento no órgão ambiental. Em posse das informações recebidas por meio do FCE protocolado, o órgão ambiental classifica o empreendimento (Classe 1 a 6) e emite o Formulário de Orientação Básica (FOB) específico para a atividade, contendo toda a documentação necessária para prosseguimento de sua regularização ambiental.



Mais detalhes sobre o processo de regularização ambiental podem ser acessados na Cartilha da FIEMG Licenciamento Ambiental – Orientação ao Empreendedor.

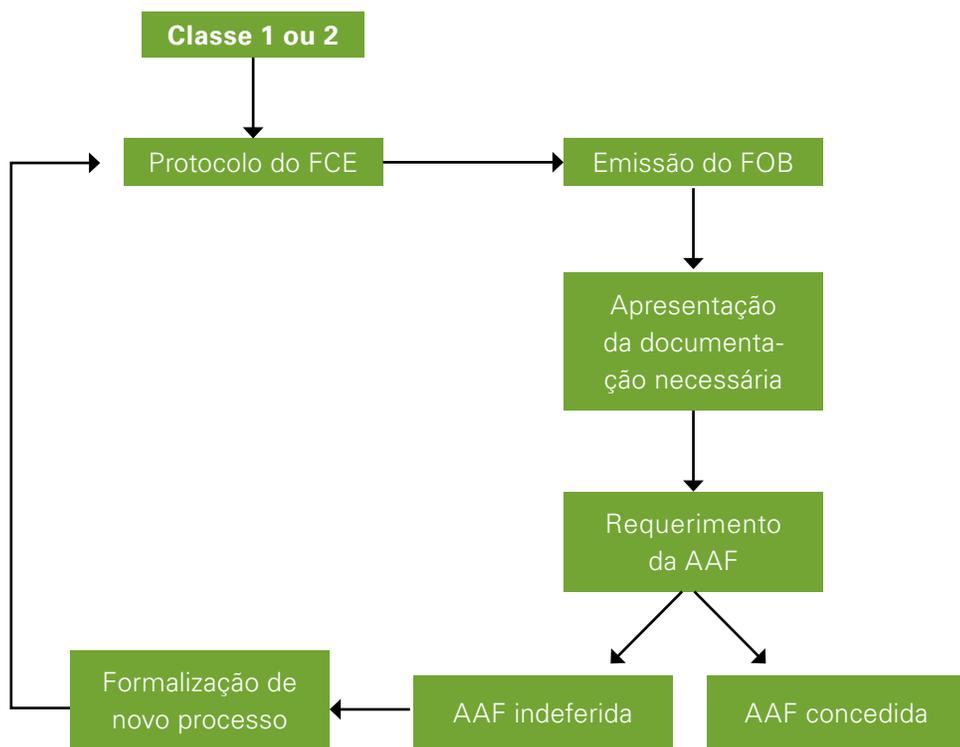


Figura 46 - Fluxograma para obtenção de AAF.

Fonte: FEAM e FIEMG, 2013.

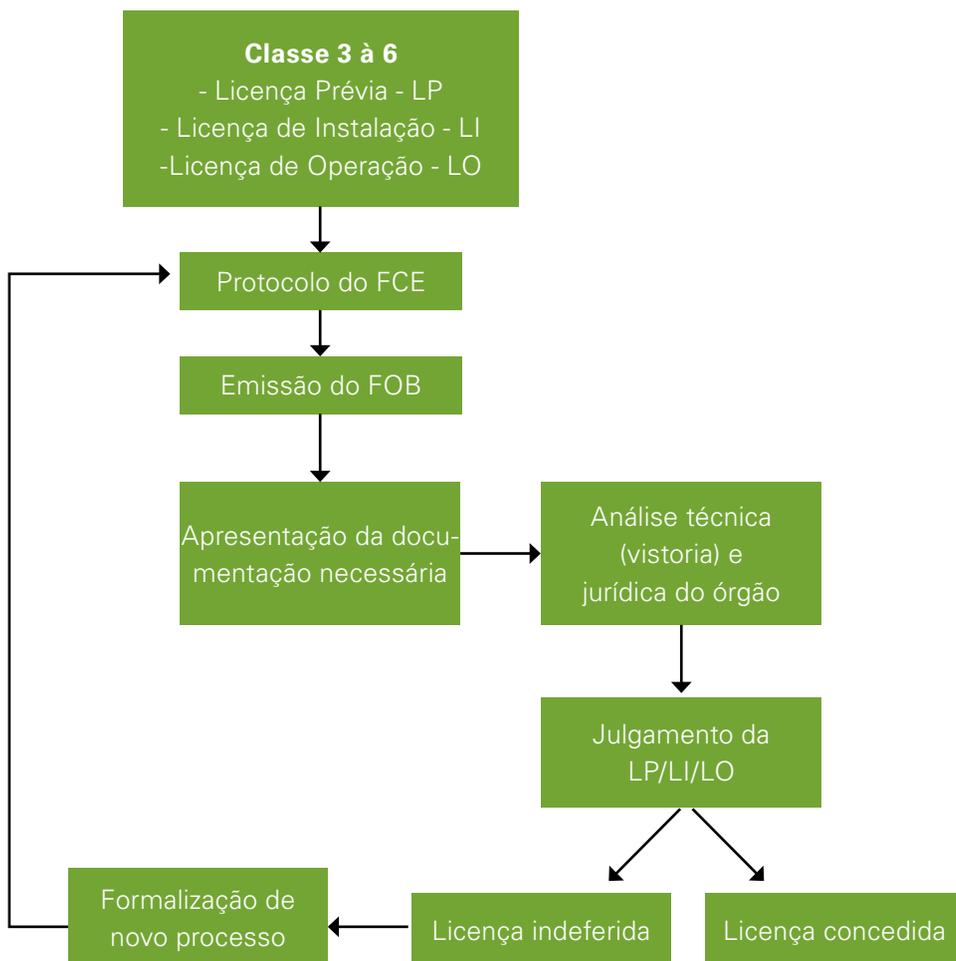


Figura 47 - Fluxograma para obtenção de Licença Ambiental.

Fonte: FEAM e FIEMG, 2013.

Tabela 13 - Documentos necessários para obtenção de AAF ou Licença Ambiental.

Fonte: Adaptado de FEAM e FIEMG, 2013.

Tipo de regularização ambiental	Documentos necessários
AAF	<ul style="list-style-type: none">• Termo de responsabilidade, assinado pelo titular do empreendimento;• Declaração da prefeitura de que o empreendimento está de acordo com normas e regulamentos dos municípios;• Anotação de responsabilidade técnica (ART) ou equivalente do profissional responsável pelo gerenciamento ambiental da atividade;• Certidão negativa de débito de natureza ambiental;• Alvará de funcionamento. <p>Conforme empreendimento, serão exigidos ainda:</p> <ul style="list-style-type: none">• Outorga de direito de uso de recursos hídricos ou certidão de registros de uso da água, emitidas pelo órgão ambiental competente, quando a água utilizada pelo empreendimento não for fornecida pela concessionária local;• Documento Autorizativo para Intervenção Ambiental (DAIA);• Inscrição no Cadastro Ambiental Rural (CAR);• Outros documentos;• Requerimento da AAF conforme modelo fornecido pelo órgão competente;• Certificado de Regularidade do Cadastro Técnico Federal ou comprovante de inscrição.

Tipo de regularização ambiental	Documentos necessários
Licença Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Certificado de Regularidade do Cadastro Técnico Federal ou comprovante de inscrição; • Requerimento da Licença Ambiental conforme modelo fornecido pelo órgão competente; • Declaração da prefeitura atestando que o local e o tipo de empreendimento/atividade estão em conformidade com a legislação aplicável ao uso e ocupação do solo; • Documentos comprobatórios da condição do responsável legal pelo empreendimento; • Comprovante do pagamento de indenização dos custos administrativos de análise da Licença Ambiental; • Certidão Negativa (Resolução COPAM nº 01/1992). <p>Conforme empreendimento, serão exigidos ainda:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estudos Ambientais (Estudo de Impacto Ambiental - EIA), Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), Relatório de Controle Ambiental (RCA), Plano de Controle Ambiental (PCA), dentre outros; • Outorga do uso da água, quando a água utilizada pelo empreendimento não for fornecida pela concessionária local; • CAR; • Outros documentos.

- **Já estou instalado e/ou operando e não possuo licença, o que fazer?**

Caso o empreendimento esteja em instalação ou operando sem a respectiva licença e deseja regularizar-se, a empresa deverá solicitar a Licença de Instalação Corretiva (LIC) ou a Licença de Operação Corretiva (LOC) ou, quando for o caso, AAF em caráter corretivo. Para isso, o empreendimento deverá demonstrar a sua viabilidade ambiental, por meio de documentos, projetos e estudos exigíveis para a obtenção normal da licença.

- **Obtive minha licença ambiental e agora?**

Possuir licença ambiental não significa estar adequado às exigências legais desta natureza, muito menos garantia de que não haverá riscos ambientais. A licença ou AAF permite o exercício de uma atividade nos termos e condições ali estabelecidos, funcionando dentro dos limites e padrões ambientais, cumprindo-se as condicionantes e monitoramentos definidos.

As licenças ambientais possuem condicionantes ambientais, como o monitoramento das emissões atmosféricas, de ruídos, dentre outros, para que assegurem o controle ambiental da atividade em consonância aos critérios ambientais.

Na renovação da licença ambiental, a empresa deverá demonstrar a eficiência do seu desempenho ambiental ao longo de seu período de vigência. Desta forma, é necessário que indicadores de processos ambientais sejam monitorados.

Apesar de não haver condicionantes em AAF, o empreendedor mantém a obrigação de garantir que a operação de sua atividade atenda a todos os padrões e parâmetros estabelecidos pela legislação ambiental. Esta garantia normalmente se dá por meio da realização de automonitoramentos.

De acordo com a legislação vigente, a renovação da licença ambiental deve ser feita 120 (cento e vinte) dias antes do vencimento da licença em curso. Isso significa que o empreendedor deverá apresentar o FCE, receber o FOB e protocolar todos os documentos solicitados em até 120 dias antes do vencimento da licença.



Apesar de não ser exigido, recomenda-se também solicitar uma nova AAF 90 dias antes do vencimento da autorização vigente.



OBRIGAÇÕES LEGAIS AMBIENTAIS

As principais obrigações legais ambientais voltadas para as usinas de biogás são:

- Licenciamento Ambiental;
- Cadastro Técnico Federal (CTF) - IBAMA;
- Relatório Anual de Atividades - IBAMA;
- Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental (TCFA) - IBAMA;
- Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Industriais - SISEMA*;
- Declaração de Carga Poluidora - SISEMA;
- CAR - SISEMA.

*Os empreendimentos enquadrados a partir da classe 3, para a atividade de Produção de Biogás ou dependendo das demais atividades desenvolvidas no empreendimento, podem estar obrigados a apresentar informações periódicas a respeito dos resíduos gerados na atividade, conforme disposto nas DN COPAM nº 90/05 e nº 136/09.

Para melhor detalhamento sobre essas obrigações consulte:

- www.feam.br
- www.mma.gov.br
- www.mma.gov.br/conama
- www.ibama.gov.br
- www.semاد.mg.gov.br
- www.siam.mg.gov.br
- sisemanet.meioambiente.mg.gov.br
- www.fiemg.com.br
- <http://pnla.mma.gov.br/>

Normas técnicas

Para a elaboração dos projetos de plantas de biogás devem-se observar as recomendações estabelecidas pelas Normas Brasileiras Regulamentadoras (NBR) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Atualmente não existem NBRs que tratam especificamente do biogás, entretanto, pode-se adotar as normativas referentes a gás natural e gases combustíveis. Além disso, devem ser observadas as normativas aplicáveis a resíduos, instalações elétricas, descargas atmosféricas, tubulações, emissões atmosféricas, classificação de áreas, identificação de substâncias químicas, critérios de projetos, dentre outras.

De modo a auxiliar na elaboração dos projetos com critérios mais específicos para a temática do biogás, pode-se consultar as normas publicadas pelo Instituto Alemão de Normas⁵ que abordam assuntos como a degradabilidade de substratos, redução e controle de emissões em plantas de biogás, critérios de qualidade para plantas de biogás, requisitos para qualificação de operadores, regras de segurança para reservatórios de biogás, entre outros.

Para a utilização agrícola do material digerido, devem ser observadas as regulamentações estabelecidas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). O MAPA regulamenta a comercialização de fertilizante orgânico, o qual é definido como:

Fertilizante orgânico: *produto de natureza fundamentalmente orgânica, obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais.*

De forma a complementar, o MAPA disponibiliza Instruções Normativas (IN) mais específicas que apresentam os procedimentos para registro do empreendimento e do produto e que definem as concentrações máximas admitidas para determinados elementos nos fertilizantes orgânicos. O material digerido também pode ser definido como composto orgânico, o qual é regulamentado conforme as matérias-primas utilizadas na sua produção, variando entre Classe "A" e Classe "D". Aqueles enquadrados como Classe "D" devem seguir as regulamentações estabelecidas pelo CONAMA nº 357/06. Vale ressaltar

5. Maiores informações sobre as normas técnicas podem ser obtidas na página da internet do instituto - www.din.de

que a aplicação em solo agrícola da vinhaça e águas residuárias das usinas de açúcar e álcool deve ser realizada conforme as orientações estabelecidas nas DN COPAM nº 164/11 e 184/13.

As normativas referentes ao aproveitamento energético do biogás variam de acordo com a forma de utilização e como o conteúdo energético será entregue ao consumidor final. No caso da utilização para a geração de eletricidade, incidem as regulamentações estabelecidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). A comercialização da eletricidade pode ocorrer no ambiente de contratação regulada (ACR), quando o consumidor é cativo, ou seja, não pode comprar energia elétrica diretamente, senão por meio da empresa distribuidora, ou no ambiente de contratação livre (ACL), para os consumidores livres e especiais, isto é, aqueles que podem optar pela compra de energia no mercado livre, sendo ao último exigido que a adquira de fontes incentivadas.

De forma a facilitar o acesso ao sistema de distribuição por pequenas centrais geradoras a partir de fontes renováveis, a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 482/2012, que estabelece os procedimentos de acesso ao sistema de distribuição para os empreendimentos enquadrados como micro e minigeração distribuída, potência instalada menor ou igual a 100 kW e entre 100 kW a 1 MW respectivamente, sendo instituído o sistema de compensação de energia elétrica (*net metering*), o qual permite ao consumidor cativo ser também um produtor de energia.

A comercialização do biogás como biometano está sujeita às regulamentações da ANP, tanto para uso veicular, injeção na rede de gás natural (GN) ou destinado às instalações residenciais e comerciais quanto para a mistura do biometano com GN, para comercialização. A Resolução ANP nº 08/15 estabelece as especificações técnicas do biometano.

O Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) estabeleceu por meio das Normas Regulamentadoras (NRs) um conjunto de requisitos e procedimentos que visam garantir a segurança e saúde ocupacional no ambiente de trabalho e que são aplicáveis às usinas de biogás. Atualmente existem 36 NRs, as quais devem ser observadas por todos os estabelecimentos que possuam empregados contratados de acordo com a Consolidação das Leis Trabalhistas (CLT).

FONTES DE FINANCIAMENTO E PROGRAMAS DE INCENTIVO

O desenvolvimento do projeto de uma usina de biogás com aproveitamento energético é uma atividade inovadora no Brasil e em Minas Gerais, que possui uma série de incentivos governamentais que facilitam o processo de implantação, diminui tarifas e possibilita o acesso a linhas de crédito subsidiadas. Tais iniciativas têm como objetivo fomentar o mercado e estimular as inovações capazes de gerar energia a partir do tratamento adequado de resíduos e efluentes.

Tanto o Governo Federal quanto o Governo de Minas Gerais vêm trabalhando no estabelecimento de políticas públicas, fontes de financiamento e incentivos legais para promover a melhoria no saneamento básico (tratamento de dejetos, esgotos sanitários e resíduos), aumento na oferta de energia renovável e promover a inovação nesses setores.

Em nível federal, pode-se citar a Lei nº 11.445/07 que estabelece o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), e a Lei nº 12.305/10 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Para a operacionalização dessas ferramentas, o Governo Federal disponibilizou uma série de recursos e incentivos que viabilizam a implantação das metas e obrigações estabelecidas.

Para fomentar a geração de eletricidade a partir de fontes renováveis, a ANEEL, por meio da Resolução nº 271/07, garante 100% de desconto na tarifa de uso do sistema de transmissão (TUST) e na tarifa de uso do sistema de distribuição (TUSD) para empreendimentos com potência instalada de até 30 MW. Além disso, conforme já mencionado, a ANEEL estabeleceu, por meio da Resolução ANEEL nº 482/12, regras simplificadas de acesso ao sistema de distribuição de energia elétrica e ao sistema de compensação tarifária para as usinas enquadradas como micro e minigeração distribuída.

Nessa mesma linha, o Governo de Minas, por meio da Lei nº 20.824/13, estabeleceu benefícios e isenções na base de cálculo e na alíquota do imposto sobre circulação de mercadorias e prestação de serviços (ICMS). No caso da micro e minigeração, a base de cálculo do imposto dos empreendimentos será reduzida pelo prazo de cinco anos contados da data de início da geração de energia.

A redução corresponderá à diferença positiva entre a entrada de energia elétrica fornecida pela empresa distribuidora e a saída de energia elétrica com destino à empresa distribuidora. Estabeleceu também a redução até 0% (zero por cento) da carga tributária incidente sobre o fornecimento de peças, partes, componentes e ferramentais utilizados na infraestrutura de conexão e de transmissão necessária à interligação dos empreendimentos, bem como no fornecimento de material a ser empregado nas obras de construção civil, necessárias aos empreendimentos geradores de energia elétrica a partir do biogás. A referida lei concede ainda isenção do ICMS no fornecimento da energia elétrica produzida por usinas de biogás não enquadradas como micro ou minigeração.

Além disso, o Governo de Minas estabeleceu, por meio do Decreto Estadual 46.296/13, o Programa Mineiro de Energia Renovável (Energia de Minas) e medidas para incentivo à produção e uso de energia renovável, concedendo incentivos fiscais e tratamento tributário diferenciado aos empreendimentos localizados em Minas Gerais, na forma de legislação tributária para os seguintes casos:

- Na produção de peças, partes, componentes e ferramentas utilizadas na geração de energia renovável;
- No material a ser utilizado como insumo nas obras de construção civil, necessárias aos empreendimentos de geração de energia renovável;
- Na infraestrutura de conexão e de transmissão que se faça necessária aos empreendimentos geradores de energia renovável para sua interligação ao Sistema Interligado Nacional; e
- No fornecimento da energia elétrica produzida a partir de usinas geradoras de energia a biogás, por um prazo de quinze anos a contar da data de sua entrada em operação.

O programa Energia de Minas estabelece ainda que será dado tratamento prioritário aos empreendimentos de geração de energias renováveis nas solicitações

de acesso ao sistema, nos processos de regularização ambiental e na celebração de contratos de compra de energia.

Além dos incentivos, o Governo de Minas publicou recentemente o Plano de Energias e Mudanças Climáticas de Minas Gerais (PEMC, 2014). Trata-se de uma política pública que tem como objetivos principais promover a transição para a economia de baixo carbono, reduzir a vulnerabilidade às mudanças climáticas no território mineiro e articular com coerência as diferentes iniciativas já desenvolvidas e planejadas, dentro de uma estratégia territorial integrada.

Pelo caráter inovador que alia geração de energia renovável, tratamento adequado de resíduos e efluentes, produção de biofertilizante ou biossólido energético e a geração de emprego e renda, as usinas de biogás podem conseguir acesso a linhas de financiamento subsidiadas com custos financeiros bastante atrativos.

Tabla 14 – Principais Linhas de Financiamento de Fomento à Inovação.

Fonte	Linha de financiamento	Características	Maiores informações
Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais (BDMG)	PRÓ-INOVAÇÃO BDMG/FAPEMIG	<p>A linha de financiamento Pró-Inovação foi criada por meio da parceria FAPEMIG/BDMG com o objetivo de apoiar projetos de desenvolvimento com foco na inovação de produtos, processos e serviços de empresas instaladas em Minas Gerais.</p> <p>O Pró-Inovação contempla investimentos fixos, intangíveis e capitais de giro relacionados diretamente a atividades voltadas para inovações radicais ou incrementais que resultem em significativa melhoria de qualidade, pioneirismo ou aumento da competitividade no mercado e maior produtividade.</p> <p>A linha disponibiliza até R\$ 2 milhões por empresa.</p>	<p>http://www.fapemig.br/apoio/outros/pro-inovacao/</p>
Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP)	INOVACRED	<p>Para empresas com projetos de inovação e que faturem até R\$ 90 milhões por ano. Os recursos podem ser aplicados em obras civis, instalações, aquisição de equipamentos nacionais e importados, recursos humanos, consultorias e outros. O apoio é concedido de forma descentralizada, por meio de agentes financeiros, sendo disponibilizados pelo BDMG, em MG.</p>	<p>http://www.finep.gov.br/apoio-e-financiamento-externa/programas-e-linhas/descentralizacao/innovacred</p>

Fonte	Linha de financiamento	Características	Maiores informações
BNDES	BNDES Finem	<p>Linha de financiamento voltada para grandes projetos, com valores iguais ou superiores a R\$ 20 milhões. Os recursos são destinados à implantação, ampliação, recuperação e modernização de ativos fixos nos setores de indústria, comércio, prestação de serviços e agropecuária. O apoio é realizado de forma indireta, por uma das diversas instituições financeiras credenciadas junto ao BNDES. Dentro do BNDES Finem existem linhas de financiamento específicas para a geração de energia renovável, eficiência energética e transporte e distribuição de biocombustíveis.</p>	<p>Um mesmo projeto pode se beneficiar de mais de uma linha de financiamento, de um mesmo ou de diferentes produtos, de acordo com o segmento, a finalidade do empreendimento e os itens a serem apoiados. http://www.bndes.gov.br/</p>
	BNDES Inovação	<p>Tem como objetivo apoiar o aumento da competitividade por meio de investimentos em inovação compreendidos na estratégia de negócios da empresa, contemplando ações contínuas ou estruturadas para inovações em produtos, processos e/ou marketing, além do aprimoramento das competências e do conhecimento técnico no país. O valor mínimo financiado é de R\$ 1 milhão.</p>	
	Meio Ambiente	<p>Linha de financiamento para apoio a investimentos envolvendo saneamento básico, eficiência, racionalização do uso de recursos naturais, mecanismo de desenvolvimento limpo, recuperação e conservação de ecossistemas e biodiversidade, sistemas de gestão e recuperação de passivos ambientais.</p>	

Fonte	Linha de financiamento	Características	Maiores informações
BNDES	BNDES Automático	<p>Financiamento de até R\$ 20 milhões a projetos de implantação, expansão e modernização de empreendimentos, incluindo investimentos em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação.</p> <p>Micro, pequenas e médias empresas que pretendam investir em inovação podem solicitar o Cartão BNDES para financiar a contratação de serviços de pesquisa aplicada, desenvolvimento e inovação voltados ao desenvolvimento de produtos e processos.</p>	
	Cartão BNDES	<p>É uma linha de crédito de investimento com recursos do BNDES destinada a financiar melhorias necessárias para a incorporação de inovações tecnológicas nas propriedades rurais, possibilitando o aumento da produtividade, a adoção de boas práticas agropecuárias e de gestão da propriedade rural, e a inserção competitiva dos produtores rurais nos diferentes mercados consumidores. O limite de crédito é de até R\$ 1 milhão.</p>	<p>http://www.caixa.gov.br/empresa/credito-financiamento/credito-rural/innovagro-cooperativas/Paginas/default.aspx</p>
Caixa Econômica Federal (CAIXA)	Inovagro	<p>É um programa criado para melhorar as condições de saúde e a qualidade de vida da população urbana, financiando empreendimentos do setor público ou privado. No setor privado, os recursos podem ser solicitados por sociedades de propósito específico para o manejo de resíduos sólidos.</p>	<p>http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/municipal/assistencia_tecnica/produtos/financiamento/saneamento_para_todos/</p>
	Saneamento para todos		

GLOSSÁRIO

Biodigestor (biorreator, digestor, reator): tanque em que ocorre a degradação microbiana do substrato e a formação do biogás.

Biofertilizante: o biofertilizante é um subproduto obtido a partir da fermentação anaeróbica (sem a presença de ar) de resíduos da lavoura ou dejetos de animais na produção de biogás.

Biogás: gás originado no processo de fermentação e composto principalmente de metano e dióxido de carbono, podendo conter também, conforme o substrato, amônia, sulfeto de hidrogênio, vapor d'água e outros componentes gasosos ou vaporizáveis.

Biomassa: todo recurso renovável que provém de matéria orgânica – de origem vegetal ou animal – tendo por objetivo principal a produção de energia.

Biossólido energético: material digerido utilizado como combustível na geração de energia.

Biossólido: subproduto sólido resultante do processo de tratamento de resíduos e efluentes orgânicos que possui uma composição predominantemente orgânica e uma utilização benéfica.

Caldeiras aquatubulares: tipo de caldeira em que a água passa pelo interior dos tubos que são aquecidos pelas chamas que estão ao seu redor.

Caldeiras flamotubulares: tipo de caldeira em que os gases gerados pela combustão são conduzidos através dos tubos, aquecendo e vaporizando a água que está em torno deles.

Combustível: substância que queimará sob condições controláveis, fornecendo calor numa forma utilizável.

Degradação biológica: decomposição de resíduos vegetais, animais e demais matérias orgânicas, por microrganismos, em compostos mais simples.

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO): quantidade de oxigênio necessário para a oxidação biológica e química das substâncias oxidáveis contidas na amostra.

Demanda Química de Oxigênio (DQO): quantidade de oxigênio consumido na oxidação química da matéria orgânica existente na água, medida em teste específico.

Dessulfuração: processo físico, biológico ou combinado para reduzir o teor de sulfeto de hidrogênio no biogás.

Efluente: produtos líquidos ou gasosos originados de atividades industriais ou domésticas.

Emissão: substâncias (gasosas, líquidas ou sólidas), ruídos, vibrações, radiação luminosa, térmica e outras radiações gerados por uma usina ou processo e liberados no ambiente.

Impacto ambiental: qualquer alteração das propriedades físico-químicas ou biológicas do meio ambiente, causadas direta ou indiretamente pela ação humana, e que possam afetar a saúde, segurança, bem-estar das pessoas, a biota, condições estéticas e sanitárias do ambiente, a qualidade dos recursos naturais. O impacto ambiental pode ser negativo ou positivo.

Índice de Wobbe: poder calorífico superior do gás, dividido pela raiz quadrada de sua densidade relativa ao ar.

Licença Ambiental: procedimento administrativo realizado pelo órgão ambiental competente, para autorizar a instalação, ampliação, modificação e operação de atividades e empreendimentos que utilizam recursos naturais, ou que sejam potencialmente poluidores ou que possam causar degradação ambiental.

Matéria orgânica: matéria de origem animal, vegetal ou microbiana, viva ou morta em qualquer estado de conservação, passível de decomposição.

Metanização (digestão anaeróbia, fermentação): processo microbiológico de decomposição da matéria orgânica, na ausência de oxigênio, realizado pela ação de microrganismos. A digestão anaeróbia gera dois subprodutos principais: biogás (um gás constituído pela mistura de metano, dióxido de carbono e outros gases) e material digerido (substrato digerido). A digestão anaeróbia é comum em vários ambientes naturais e aplicado hoje para a produção de biogás em reatores, comumente chamados biodigestores.

Metano (CH₄): gás incolor, inodoro e não tóxico; origina dióxido de carbono e água na combustão; o metano é um dos mais importantes gases do efeito estufa e um componente importante do biogás e do gás natural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABATZOGLOU, N.; BOIVIN, S. A review of biogas purification processes. *Biofuels, Bioproducts and Biorefinery*, v.3, p.42-71, 2009.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10.004, Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABPA. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. Estatísticas. Exportação mundial de carne suína, 2015. Disponível em: <<http://www.abipecs.org.br/pt/estatisticas.html>>. Acesso em: 14 maio 2015.

ACS UMWELTTECHNIK. UASB Reactor, 2015. Disponível em: <<http://www.acs-umwelttechnik.de/de/reaktortypen>>. Acesso em: 24 jun. 2015.

AIB NEWS. Usina de Gás Verde é inaugurada em Jardim Gramacho. 2013. Disponível em: <<http://aibnews.com.br/noticias/plantao-rio/2013/06/usina-de-gas-verde-e-inaugurada-em-jardim-gramacho.html>>. Acesso em: 14 ago. 2015.

AI SEADI, T. et al. *Biogas Handbook*, ISBN 978- 87-992962-0-0, University of Southern Denmark. 2008.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Banco de Informações da Geração do Brasil. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm> >. Acesso em: 15 jun. 2015.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução nº 271, 3 de julho de 2007. Diário Oficial da União: Brasília, 3 de Julho de 2007.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução nº 482, 17 de abril de 2012. Diário Oficial da União: Brasília, 19 de abril de 2012.

BAUER - 1, 2015. Disponível em: < <http://www.bauer-at.com/en/products/slurry-technology/guelle-verteiltechnik>>. Acesso em: 16 set. 2015.

BAUER - 2, 2015. Disponível em: <<http://www.bauer-br.com/pt/produtos/tecnologia-de-separacao>>. Acesso em: 5 ago. 2015.

DBFZ - DEUTSCHES BIOMASSEFORSCHUNGSZENTRUM. Stromerzeugung aus Biomasse (Vorhaben Ila Biomasse). Zwischenbericht. 2014. Disponível em: <https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Referenzen/Berichte/Monitoring_ZB_Mai_2014.pdf>. Acesso em: 24 de jul. de 2015.

BDMG. BANCO DO DESENVOLVIMENTO DE MINAS GERAIS. Pró-inovação BDMG/FAPEMIG. Disponível em: <<http://www.bdmg.mg.gov.br/Negocios/Documents/manual.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2015.

BIO ENERGY PROM. Bioenergy sources and their application, Biogas, 2015. Disponível em: <<http://www.bio-prom.net/index.php?id=8346&L=2>>. Acesso em: 26 jun. de 2015.

BNDES. BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL, 2015. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/>>. Acesso em: 13 maio 2015.

BRASIL. Instrução Normativa SDA/MAPA nº27, de 4 de agosto de 2006.

BRASIL. Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007.

BRASIL. Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.

BRASIL. Resolução ANP nº 08, de 30 de janeiro de 2015.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 29 de agosto de 2006.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 382, de 26 de dezembro de 2006.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 436, de 22 de dezembro de 2011.

CAPSTONE. Capstone C200 microturbine – Technical Reference. Rev C. 2009.

CEF. CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2015. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/>>. Acesso em: 12 maio 2015.

CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. A produção Mais Limpa (P + L) no setor sucroalcooleiro. São Paulo, novembro, 2002.

CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Guia Técnico Ambiental de Abates (bovino e suíno) - Série P+L. 2006. São Paulo: CETESB, 2006. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia/producao_limpa/documentos/abate.pdf>. Acesso em: 10 jun. de 2015.

CICHELLO, G. C. V.; RIBEIRO, R.; TOMMASO, G. Caracterização e Cinética do Tratamento Anaeróbio de Efluentes de Laticínios. UNOPAR Científica Ciências Biológicas e da Saúde, 2013; 15(1):27-40.

COLTURATO, L. F. de D. B. Dessulfuração de biogás da metanização da vinhaça: Uma nova abordagem para remoção de altas concentrações de H₂S. Belo Horizonte: Tese (Doutorado) Universidade Federal de Minas Gerais, 2015.

COMARTE. Revista Comarte, Universidade de Passo Fundo – UPF, 2012. Disponível em: <http://www.upf.br/comarte/?attachment_id=654>. Acesso em: 14 jun. 2015.

COURACCI, B.; ANDRADE NETO, C. O.; MELO, H. N. S.; SOUSA, J. T.; NOUR, E. A. A.; FIGUEIREDO, R. F. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistemas de aplicação no solo. In: Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios – 2001. Carlos Augusto Lemos Chernicharo (coordenador), Rio de Janeiro: ABES, 2001.

CRUZ, A. L. M. Degradação Anaeróbia de Efluentes de Laticínios em Reatores UASB. Universidade de Aveiro. Dissertação de Mestrado – 2012.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. Biogas from Waste and Renewable Resources. An Introduction, first ed. Wiley-VCH, Weinheim. 2008.

DORSCH - Dorsch Gruppe Projeto Desenvolpe PPP. Apresentação: Gestão de incidentes, emergências e danos. Belo Horizonte, maio de 2015.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar (ZAE Cana). 2009.

EPE1 – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional 2013: Balanço Energético Nacional / Ano-base 2013, 2014. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf>. Acesso em: 15 de jun. 2015.

EPE2 – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2014 / Ano-base 2013, 2014. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202014.pdf>>. Acesso em: 10 de jun. 2015.

FAIRVIEW Swiss Cheese. Green energy. Disponível em: <http://www.fairviewswisscheese.com/green-energy/>. Acesso em: 26 ago. 2015.

FEAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Banco de Boas Práticas Ambientais na Indústria. Disponível em: <http://www.feam.br/producao-sustentavel/boas-praticas>>. Acesso em: 27 jul. 2015.

FEAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Plano de ação para adequação ambiental das indústrias de recepção e preparação de leite e fabricação de produtos de laticínios no Estado de Minas Gerais: Relatório Final / Gerência de Produção Sustentável. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2011. 129 p.

FEAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE; FIEMG. FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS. (2014). Guia Técnico Ambiental da Indústria de Laticínios. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2014.

FEAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE; FIEMG. FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS. (2013). Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha. Belo Horizonte: 2013.

FEROLDI, M.; URIO, M. B.; ARAÚJO, A. V.; CREMONEZ, P. A. Geração de biogás a partir de efluentes de abatedouros. 2014. Disponível em: <http://www.dca.uem.br/V3NE/11.pdf>>. Acesso em: 14 ago. 2015.

FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V.; JURGENSEN, D. Produção e características dos bio sólidos, In: Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura. Curitiba: PROSAB, cap.1, p.16-25. 1999.

FINEP. FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS. Inovacred, 2015 Disponível em: http://www.finep.gov.br/pagina.asp?pag=programas_inovacred>. Acesso em: 14 maio 2015.

FNR - FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. Guia prático do biogás: geração e utilização. 5. ed. Gülzow:, 2010.

FNR. FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE e.V. Alemanha, 2015. Esquema adaptado da sua publicação na Internet. Disponível em: <http://biogas.fnr.de/>>. Acesso em: 24 jun. 2015.

FORTUNY M.; BAEZA J. A.; GAMISANS X.; CASAS C.; LAFUENTE J.; DESHUSSES M. A.; GABRIEL D., 2008. Biological sweetening of energy gases mimics in biotrickling filters. *Chemosphere* 71, 10–17.

GEO ENERGÉTICA. Tecnologia inovadora para a produção de biogás revoluciona a agroindústria brasileira, 2013. Disponível em: <<http://www.geoenergetica.com.br/imprensa/16/Tecnologia-inovadora-para-a-producao-de-biogas-revolucionaria-agroindustria-brasileira>>. Acesso em: 13 jun. 2015.

GNV do Brasil. 2015. Disponível em: <<http://www.gnvdobrasil.com.br>>. Acesso em: 20 maio 2015.

GREEN FOODS. Best Practice Examples, 2014. Disponível em: <www.greenfoods.eu/wp-content/uploads/2014/11/09Rudolf-Gro%C3%9Ffurtner.png>. Acesso em: jun de 2015.

GREER, D. Meat processor moves to anaerobic digestion, 2008. *Revista BioCycle*, ano: 2008 vol: 49 iss:1 pg: 60.

GUASCOR. Ano novo, geração nova! 2011. Disponível em: <<http://www.guascor.com.br/conexaoguascor/tag/biogas/>>. Acesso em: 12 ago. 2015.

HANDREICHUNG BIOGASNUTZUNG. Institut für Energetik und Umwelt GmbH. BVA Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, 2004.

HEINEKEN. HEINEKEN utiliza biogás na cervejaria em Ponta Grossa. 2013. Disponível em: <<http://heinekenbrasil.com.br/?Curiosidades-HEINEKEN-utiliza-biogas-na-cervejaria-em-Ponta-Grossa>>. Acesso em: 14 ago. 2015.

HWU, S. H.; TSENG, S. K.; YUAN, C. Y.; KULIK, Z.; LETTINGA, G., 1998. Biosorption of long chain fatty acids in UASB treatment process. *Water Research* 32 (5), 1571–1579.

IBGE 1 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estatística da Produção Pecuária. 2014. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/abate-leite-couro-ovos_201401_publ_completa.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2015.

IBGE 2 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Trimestral do Leite. 2014. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pecua/default.asp?z=t&o=24&i=P>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

IBGE 3 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Trimestral de Abate de Animais. 2014. Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 maio 2015.

IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1.535 pp. 2013. JBS. Disponível em: <<http://www.jbs.com.br/>>. Acesso em: 26 jun. 2015.

JORNAL DE LONDRINA. Nordeste do Paraná ganha fábrica de biogás, 2013. Disponível em: <<http://www.jornaldelondrina.com.br/online/conteudo.phtml?id=1333622>>. Acesso em: 1º out. 2015.

KSB. Optimum energy balance thanks to Amaprop submersible mixers, 2015. Disponível em: <http://www.ksb.com/ksb-us/Products_and_Services/waste_water/Biogas/331734/biogas_low-speed_amaprop_art.html>. Acesso em: 24 jun. 2015.

MACHADO, R. M. G.; FREIRE, V. H.; SILVA, P. C.; FIGUERÊDO, D. V.; FERREIRA, P. E. Controle ambiental nas pequenas e médias indústrias de laticínios. 1. ed. Belo Horizonte: Segrac, 2002. 223 p.

MAGANHA, M. F. B. Guia técnico ambiental da indústria de produtos lácteos - São Paulo: CETESB, _2006. 75_p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

MAPA 1 – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. ANIMAL. 2015. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/animal>>. Acesso em: 14 maio 2015.

MAPA 2 – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Cana-de-açúcar. 2015. Disponível em: <www.agricultura.gov.br>. Acesso em: 24 jun. 2015.

MCIDADES 1. PROBIOGÁS 15'. 2015. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/saneamento-cidades/probiogas/videos>. Acesso em: 12 ago. 2015.

MCIDADES 2. Tecnologias da digestão anaeróbia com relevância para o Brasil: Substratos, Digestores e Uso de Biogás. Probiogás – GIZ – 2015.

MCIDADES 3. Catálogos de tecnologias e empresas de biogás. 2015. Disponível em: http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/probiogas/catalogo-tecnologias_e_empresas_de_biogas.pdf. Acesso em: 14 ago. 2015.

MCIDADES 4. Conceitos para o Licenciamento Ambiental de Plantas de Biogás no Brasil. Probiogás – GIZ – 2015.

MINAS GERAIS. Decreto do Estado de Minas Gerais n.º 46.296, de 14 de agosto de 2013.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 5 de maio de 2008.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 02, de 8 de setembro de 2010.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM nº 74, de 9 de setembro de 2004.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM nº 90, de 15 de setembro de 2005.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM nº 136, de 22 de maio de 2009.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM nº 164, de 30 de março de 2011.

MINAS GERAIS. Lei Estadual nº 20.824, de 31 de julho de 2013.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM nº 187, de 19 de setembro de 2013.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM nº 184, de 13 de junho de 2013.

MINAS GERAIS. Plano de Energia e Mudanças Climáticas (PEMC). Disponível em: <<http://pemc.meioambiente.mg.gov.br/pt/>>. Acesso em: 14 maio 2014.

NIMBIN VALLEY. 2015. Disponível em: < <https://nimbinvalley.wordpress.com/> >. Acesso em: 24 jun. 2015.

PAOLIELLO, J. M. M. Aspectos ambientais e potencial energético no aproveitamento de resíduos na indústria sucroalcooleira. 2006. 200 f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2006.

PETROBRÁS. Refinaria gera energia com biogás do Aterro de Gramacho. 2014. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados/refinaria-gera-energia-com-biogas-do-aterro-de-gramacho.htm>>. Acesso em: 14 ago. 2015.

PLATZER, C. Curso sobre requisitos e desafio para análise técnica e financeira de projetos de biogás no setor de saneamento – Módulo 1- Biogás em ETEs. Brasília, 2015.

PRIM, E. C. C. Utilização de lodo de estações de tratamento de água e esgoto como material de cobertura de aterro sanitário. Tese (doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2011.

SCANIA BRASIL. 2015. Disponível em: <<http://newsroom.scania.com/br/2015/02/11/anp-regulamenta-uso-do-biometano/>>. Acesso em: 14 mar. 2015.

SELLERS MANUFACTURING CO. 2015. Disponível em: <<http://sellersmfg.com/hot-water-boilers/fire-tube/bio-gas/p-series/>>. Acesso em: 11 ago. 2015.

SIAM – SISTEMA INTEGRADO DE INFORMAÇÃO AMBIENTAL. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais (SEMAD/MG). 2015.

SIAMIG. ASSOCIAÇÃO DAS INDÚSTRIAS SUCROENERGÉTICAS DE MINAS GERAIS. 2015. Coletiva de imprensa. Belo Horizonte, março 2015.

SILVA, B. Experiences in biogas production. Workshop “Research Into Use” – UFG. Goiânia, 2015.

SIMONS BOILERS. 2015. Disponível em: <<http://simonsboiler.com.au/product/cogeneration-combined-heat-power/http://www.rjenergysystems.com/page/water-heating/>>. Acesso em: 24 jun. 2015.

SUMA. Optmix 3G. Brochure - Biogás agitators, 2015. Disponível em: <http://www.suma.de/suma/agitator-biogas-agriculture-Optimix_3G.html>. Acesso em: 24 jun. 2015.

VENTURINI, K. S.; SARCINELLI, M. F.; SILVA, L. C. Características do leite. Vitória: UFES. 6 p. 2007. (Boletim técnico).

WAGNER, L. Risk Assessment and Safety Guidelines of Biogas Plants.

WATER ONLINE. 2015. Disponível em: < <http://www.wateronline.com/doc/srt-solar-active-dryer-0001>>. Acesso em: 4 mar. 2015.

WEILAND, P. (2010) Biogas production: current state and perspectives, Applied Microbiology and Biotechnology, vol. 85, pp. 849-860.

ZANETTE, A. L. Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil. 2009. Disponível em: http://ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/zanette_luiz.pdf. Acesso em: 20 jul. 2015.

ZINN E., KUENZLER W., LE SAUX G. AND HUGUEN P. Guidelines on technical, economical, and legal aspects of grid injection and possible strategies for different local conditions. 2010. Biogasmax. Project supported by the EU under RTC contract: 019795.

Anexo – Tabela resumo das informações obtidas junto ao SIAM, referentes às atividades prioritárias para a produção de biogás

Tabela 16 - Resumo das informações obtidas com os dados do SIAM.

Grupo	Código DN COPAM n° 74/04	Atividade	N° de empreendimentos em Minas Gerais				Somatório dos Critérios de Enquadramento	
			Total	Passível de regularização ambiental				Não passível de regularização ambiental (Classe 0)
				Classes 1 e 2	Classes 3 e 4	Classes 5 e 6		
Abate	D-01-02-3	Abate de animais de pequeno porte (aves, coelhos, rãs, etc.)	199	3	42	18	136	2.981.483 cabeças/d
	D-01-03-1	Abate de animais de médio e grande porte (suínos, ovinos, caprinos, bovinos, equinos, bubalinos, muares, etc.)	381	9	119	94	159	61.785 cabeças/d
	D-01-04-1	Industrialização da carne, inclusive desossa, charqueada e preparação de conservas	288	58	19	36	175	28.425 cabeças/d
	D-01-05-8	Processamento de subprodutos de origem animal para produção de sebo, óleos e farinha	78	24	10	37	7	3.800 cabeças/d

Grupo	Código DN COPAM n° 74/04	Atividade	N° de empreendimentos em Minas Gerais				Somatório dos Critérios de Enquadramento	
			Total	Passível de regularização ambiental		Não passível de regularização ambiental (Classe 0)		
				Classes 1 e 2	Classes 3 e 4			Classes 5 e 6
Avicultura	G-02-01-1	Avicultura de corte e reprodução	4.711	1.263	144	13	3.291	110.642.416 cabeças
	G-02-02-1	Avicultura de postura	1.108	83	17	29	979	22.020.147 cabeças
Beneficiamento produtos agrícolas		Beneficiamento primário de produtos agrícolas: limpeza, lavagem, secagem, descascamento ou classificação	2.789	776	151	75	1.787	2.319.348 t/mês
	D-01-01-5	Torrefação e moagem de grãos	372	184	9	17	162	2.279.407 t/d
Café	G-01-06-6	Cafeicultura e citricultura	12.071	2.085	187	67	9.732	378.954 ha
	G-01-07-4	Cultura de cana-de-açúcar com queima	6.848	1.472	195	89	5.092	374.674 ha
Cana-de-açúcar	G-01-07-5	Cultura de cana-de-açúcar sem queima	8.961	719	50	29	8.163	842.771 ha
	C-01-01-5	Fabricação de celulose	1	0	0	1	0	147 ha
Celulose								2.599 empregados

Grupo	Código DN COPAM n° 74/04	Atividade	N° de empreendimentos em Minas Gerais					Somatório dos Critérios de Enquadramento
			Total	Passível de regularização ambiental			Não passível de regularização ambiental (Classe 0)	
				Classes 1 e 2	Classes 3 e 4	Classes 5 e 6		
Couro	C-03-01-8	Secagem e salga de couros e peles	42	29	9	4	0	189 ha 1.399 empregados
	C-03-02-6	Fabricação de couro por processo completo, a partir de peles até o couro acabado, com curtimento ao cromo, seus derivados ou tanino sintético	19	0	7	12	0	51.884 m²/d
	C-03-03-4	Fabricação de couro por processo completo, a partir de peles até o couro acabado, com curtimento exclusivamente ao tanino vegetal	14	6	8	0	0	41.978 unidades/dia 3.316 m²/d 1.407 unidades/dia

Grupo	Código DN COPAM n° 74/04	Atividade	N° de empreendimentos em Minas Gerais					Somatório dos Critérios de Enquadramento
			Total	Passível de regularização ambiental			Não passível de regularização ambiental (Classe 0)	
				Classes 1 e 2	Classes 3 e 4	Classes 5 e 6		
Culturas permanentes	G-01-05-8	Culturas perenes e cultivos classificados no programa de produção integrada conforme normas no Ministério da Agricultura, exceto Cafeicultura e citricultura	3.775	363	58	21	3.333	90.099 ha
			17.278	2.793	456	166	13.863	1.311.075 ha
Culturas temporárias	D-02-01-1	Fabricação de vinhos	7	3	2	0	2	4 ha
			1.027	140	25	6	856	124 empregados
Fabricação de bebidas	D-02-02-1	Fabricação de aguardente	32	6	2	3	21	603.421 L/d
	D-02-04-6	Fabricação de cervejas, chopes e maltes	44	9	10	4	21	13.821.214 L/d
	D-02-05-4	Fabricação de sucos	18	5	2	0	11	1.755.970 L/d
	D-02-06-2	Fabricação de licores e outras bebidas alcoólicas	41	12	6	7	16	9 ha
	D-02-07-0	Fabricação de refrigerantes (inclusive quando associada à extração de água mineral) e de outras bebidas não alcóolicas, exclusive sucos						353 empregados

Grupo	Código DN COPAM nº 74/04	Atividade	Nº de empreendimentos em Minas Gerais					Somatório dos Critérios de Enquadramento
			Total	Passível de regularização ambiental			Não passível de regularização ambiental (Classe 0)	
				Classes 1 e 2	Classes 3 e 4	Classes 5 e 6		
Fabricação de fibras têxteis	C-08-01-1	Beneficiamento de fibras têxteis naturais e artificiais	35	25	5	5	0	40 ha
								1.856 empregados
Fabricação de produtos alimentares	D-01-10-4	Fabricação de vinagre	2	2	0	0	0	1 ha
	D-01-11-2	Fabricação de fermentos e leveduras	9	4	1	3	1	31 empregados
	D-01-12-0	Fabricação de conservas e condimentos	104	27	6	1	70	18 ha
Fabricação de produtos alimentares	D-01-13-9	Formulação de rações balanceadas e de alimentos preparados para animais	709	389	82	26	212	305 empregados
	D-01-14-7	Fabricação de produtos alimentares, não especificados ou não classificados	1.091	213	24	45	809	2.322 t/d
								49.509 t/d
								4.684.563 m²
								28.011 empregados

Grupo	Código DN COPAM nº 74/04	Atividade	Nº de empreendimentos em Minas Gerais				Somatório dos Critérios de Enquadramento	
			Total	Passível de regularização ambiental				Não passível de regularização ambiental (Classe 0)
				Classes 1 e 2	Classes 3 e 4	Classes 5 e 6		
Fumo	D-03-01-8	Preparação de fumo, fabricação de cigarros, charutos e cigarrilhas	15	1	2	3	9	107 ha
			5.290	517	61	32	4.680	1.942 empregados
Horticultura	G-01-01-5	Horticultura (floricultura, cultivo de hortaliças, legumes e especiarias)	361	7	0	1	353	41.607 ha
			1.166	653	119	53	341	1.397 ha
Laticínios	D-01-06-6	Preparação do leite e fabricação de produtos de laticínios	248	129	40	1	78	37.654.958 L/d
			862	75	4	2	781	13.852.050 L/d

Grupo	Código DN COPAM nº 74/04	Atividade	Nº de empreendimentos em Minas Gerais					Somatório dos Critérios de Enquadramento
			Total	Passível de regularização ambiental			Não passível de regularização ambiental (Classe 0)	
				Classes 1 e 2	Classes 3 e 4	Classes 5 e 6		
Óleos	C-04-09-1	Produção de óleos, gorduras e ceras em bruto, de óleos essenciais, corantes vegetais e animais e outros produtos da destilação da madeira, exclusive refinação de produtos alimentares	49	41	6	2	0	40 ha 801 empregados
	D-01-09-0	Refinação e preparação de óleos e gorduras vegetais, produção de manteiga de cacau e de gorduras de origem animal destinadas à alimentação	21	7	2	4	8	7.743 t/d

Grupo	Código DN COPAIM n° 74/04	Atividade	N° de empreendimentos em Minas Gerais				Somatório dos Critérios de Enquadramento	
			Total	Passível de regularização ambiental				Não passível de regularização ambiental (Classe 0)
				Classes 1 e 2	Classes 3 e 4	Classes 5 e 6		
Pecuária		Criação de equinos, muares, ovinos, caprinos, bovinos de corte e búfalos de corte (confinados)	4.545	478	92	41	3.934	763.639 cabeças
	G-02-08-9							
	G-02-04-6	Suinocultura (ciclo completo)	2.151	397	191	33	1.530	856.742 matrizes
	G-02-05-4	Suinocultura (crescimento e terminação)	1.225	205	219	9	792	1.269.518 cabeças
	G-02-06-2	Suinocultura (unidade de produção de leitões)	275	53	25	22	175	130.414 matrizes
Peixe	G-02-14-3	Preparação do pescado	215	39	4	1	171	204 t/d
Sucroenergético	D-01-08-2	Fabricação e refinação de açúcar	45	0	2	43	0	647.460 t/d
	D-02-08-9	Destilação de álcool	69	0	16	53	0	1.159.225 t/d

