

NOTA TÉCNICA EPE DEA 013/2020

Recursos Energéticos Distribuídos: Potencial Técnico do Metano da Pecuária Bovina

Dezembro de 2020



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA





GOVERNO FEDERAL
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
MME/SPE

Ministério de Minas e Energia
Ministro
Bento Costa Lima Leite de Albuquerque Junior

Secretária Executiva
Marisete Fátima Dadald Pereira

**Secretário de Planejamento e
Desenvolvimento Energético**
Paulo Cesar Magalhães Domingues

Secretário de Energia Elétrica
Rodrigo Limp Nascimento

**Secretário de Petróleo, Gás Natural e
Combustíveis Renováveis**
José Mauro Ferreira Coelho

**Secretário de Geologia, Mineração e
Transformação Mineral**
Alexandre Vidigal de Oliveira



Empresa de Pesquisa Energética

Empresa pública, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, instituída nos termos da Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004, a EPE tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.

Presidente
Thiago Vasconcellos Barral Ferreira

Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais
Giovani Vitoria Machado

Diretor de Estudos de Energia Elétrica
Erik Eduardo Rego

Diretor de Estudos de Petróleo, Gás e Biocombustível
Heloisa Borges Bastos Esteves

Diretor de Gestão Corporativa
Angela Regina Livino de Carvalho

URL: <http://www.epe.gov.br>

Sede
Esplanada dos Ministérios Bloco "U" - Ministério de Minas e Energia - Sala 744 - 7º andar - 70065-900 - Brasília - DF

Escritório Central
Praça Pio X, 54 - 7º andar.
20091-040 - Rio de Janeiro - RJ

NOTA TÉCNICA EPE DEA 013/2020

Recursos Energéticos Distribuídos: Potencial Técnico do Metano da Pecuária Bovina

Coordenação Geral
Giovani Vitoria Machado

Coordenação Executiva
Carla da Costa Lopes Achão

Coordenação Técnica
Luciano Basto Oliveira
Marcelo Costa Almeida

Equipe Técnica
Daniel Kühner Coelho
Gabriel Konzen
Marcelo Costa Almeida

Nº EPE-DEA-NT-013/2020
Data: 21 de Dezembro de 2020

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS E ESCOPO	2
2.1	Objetivos	2
2.2	Escopo	2
3	METODOLOGIA	4
3.1	Potencial Teórico de Produção de Metano	4
3.2	Fatores de Produção de Metano	6
3.3	Potencial Técnico de Produção do Metano	8
3.3.1	Potencial Técnico para Cocção de Alimentos	8
3.3.2	Potencial Técnico para Micro e Minigeração Distribuída (MMGD)	10
3.3.3	Potencial Técnico para Produção de Biometano	12
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
4.1	Potencial Técnico para Cocção de Alimentos	13
4.2	Potencial Técnico para Micro e Minigeração Distribuída de Energia Elétrica	15
4.2.1	Potencial para MMGD na Pecuária de Leite	15
4.2.2	Potencial para MMGD na Pecuária de Terminação	19
4.3	Potencial Técnico para Produção de Biometano	23
4.3.1	Potencial para Biometano na Pecuária de Leite	23
4.3.2	Potencial para Biometano na Pecuária de Terminação	26
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
5.1	Cocção de Alimentos.....	29
5.2	Micro e Minigeração Distribuída	30
5.3	Biometano.....	31
6	AGRADECIMENTOS	31
7	REFERÊNCIAS.....	32

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui o maior rebanho bovino do mundo, com mais de 200 milhões de cabeças, segundo a Pesquisa da Pecuária Municipal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019).

As formas de manejo do gado bovino dominantes, no país, são a extensiva e a semi-extensiva. Nestes casos, os dejetos dos animais ficam no campo, e se degradam naturalmente, repondo nutrientes ao solo.

O confinamento é adotado, principalmente, na pecuária leiteira. Na pecuária de corte, o confinamento tem sido introduzido na fase de terminação, que corresponde a alguns meses antes do abate. Em 2019 um total de 5,26 milhões de cabeças de bovinos foram terminados em confinamento (DSM, 2019).

Com o confinamento, o acúmulo dos dejetos exige cuidados para prevenir poluição ambiental e questões sanitárias. Diversas formas de tratamento, para disposição final ambientalmente adequada, são empregadas. As mais comuns são esterqueiras, compostagem e biodigestão anaeróbia.

A biodigestão anaeróbia produz o biogás, cujos principais componentes são o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2). Devido ao elevado teor de metano, tipicamente entre 40% e 60%, o biogás pode ser aproveitado como fonte de energia. A biodigestão também produz o digestato, que preserva todas as características fertilizantes dos dejetos, sem a alta carga orgânica que representa risco ambiental.

Os principais energéticos utilizados para cocção de alimentos, na área rural, são o gás de cozinha e a lenha catada. O gás de cozinha é um importante item no orçamento familiar, sobretudo das famílias com menor renda. A lenha catada é a alternativa das famílias que não podem adquirir o botijão de gás de cozinha. Além das dificuldades associadas à coleta e uso desta lenha, existe o risco à saúde pela emissão de monóxido de carbono (CO), um gás tóxico, e de material particulado, que pode gerar doenças respiratórias. Neste sentido, o uso do metano no biogás para cocção de alimentos tem um elevado impacto social, contribuindo para o atingimento dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.

Para estabelecimentos de médio e grande portes, a Micro e Minigeração Distribuída (MMGD) e a Produção de Biometano geram benefícios que extrapolam os limites das propriedades e afetam toda a Sociedade. Em geral, o uso de fontes energéticas a partir da biodigestão de resíduos promove a redução da conta de eletricidade e de combustíveis (óleo diesel e gasolina).

A Figura 1 ilustra, de forma simplificada, um sistema energético baseado na biodigestão anaeróbica de dejetos bovinos.

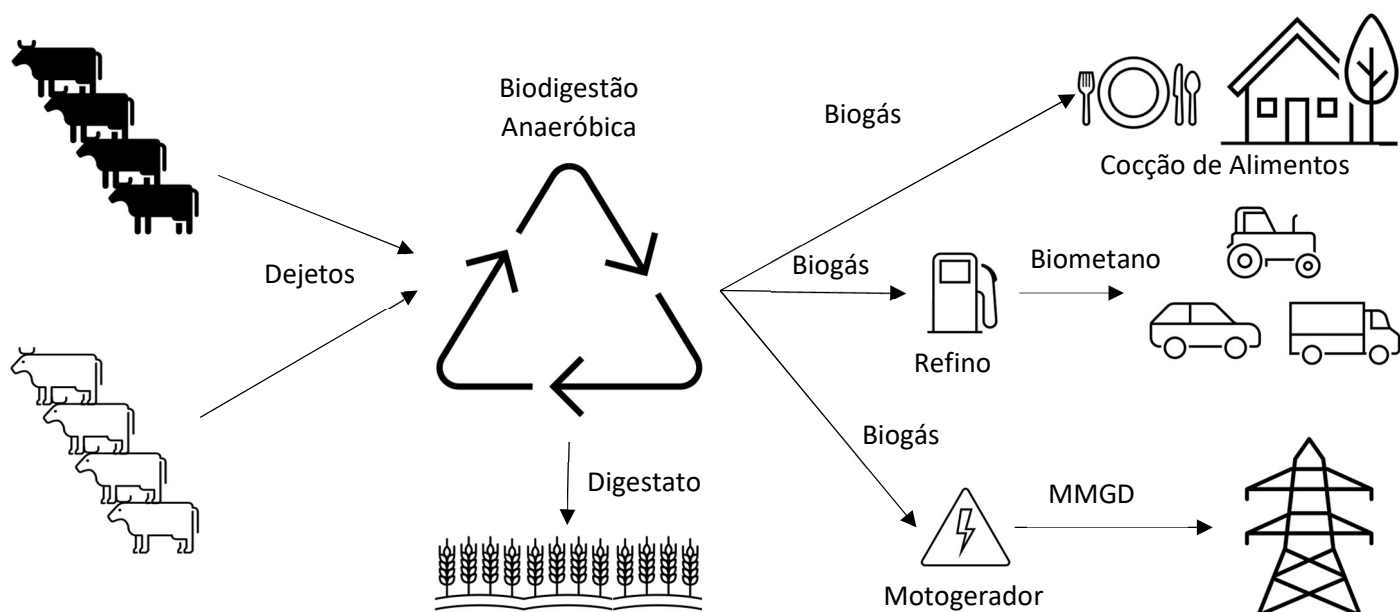


Figura 1 – Representação de estabelecimento com aproveitamento energético dos dejetos dos bovinos.

2 OBJETIVOS E ESCOPO

2.1 Objetivos

O objetivo geral deste estudo é contribuir para a promoção do Desenvolvimento Sustentável na Pecuária Bovina, garantindo acesso à energia limpa e renovável para atendimento das necessidades básicas e para redução nos custos de produção.

Constituem objetivos específicos, estimar:

- Geral:
 - O potencial técnico de produção de metano via biodigestão anaeróbica de dejetos bovinos;
- Em estabelecimentos pecuários com até 50 bovinos
 - O potencial técnico de uso na cocção de alimentos.
- Em estabelecimentos com mais de 50 bovinos que venderam para abate ou produziram leite
 - O potencial técnico de micro e minigeração distribuída de eletricidade e
 - O potencial técnico de produção de biometano.

2.2 Escopo

A fonte de dados para este estudo é o Censo Agropecuário 2017, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019b). Mais especificamente, as Tabelas 6910¹ e 6912², disponíveis através do Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA.

Neste estudo, os estabelecimentos foram classificados por Tipo de Pecuária Bovina (Subsistência, Terminação e Leiteira), e seus efetivos em Tipos de Bovinos (Geral, em Terminação e de Leite).

Os estabelecimentos com até 50 bovinos e seus efetivos são classificados como Pecuária de Subsistência e como Bovino Geral (não categorizado), respectivamente.

Os estabelecimentos com mais de 50 bovinos que venderam para abate e o efetivo vendido para abate são classificados como Pecuária de Terminação e Bovino em Terminação, respectivamente.

A Terminação é uma etapa no ciclo de manejo do Bovino de Corte. Nesta etapa, o manejo tem como objetivo desenvolver a carcaça do animal. O confinamento de gado de corte tem sido introduzido na pecuária Brasileira nesta etapa.

Os estabelecimentos com mais de 50 bovinos que produziram leite e as vacas ordenhadas são classificados como Pecuária de Leite e Bovinos de Leite, respectivamente.

Dentre os dados do Censo Agropecuário 2017, os campos selecionados para o levantamento dos estabelecimentos e dos efetivos, de interesse para este estudo, são apresentados na Tabela 1.

Importante ressaltar que os dados de número de bovinos não são informados quando é possível inferir sobre os dados individuais dos estabelecimentos. A desidentificação é uma medida do IBGE para garantir a confidencialidade dos dados, e é mais frequente no nível territorial “Município”, que foi adotado neste documento. A desidentificação tende a subestimar o potencial, pois exclui estabelecimentos e bovinos que poderiam ter potencial de aproveitamento do metano.

¹ <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6910>

² <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6912>

Tabela 1 – Campos selecionados nos formulários do SIDRA para levantamento dos dados do Censo Agropecuário 2017 usados neste estudo.

Variáveis	
Tabela 6910: - Número de estabelecimentos agropecuários com 50 cabeças e menos de bovinos (Unidades) - Número de cabeças de bovinos nos estabelecimentos agropecuários com 50 cabeças e menos (Cabeças) - Número de estabelecimentos agropecuários com mais de 50 cabeças de bovinos que venderam bovinos para abate (Unidades) - Número de cabeças de bovinos para abate vendidas nos estabelecimentos agropecuários com mais de 50 cabeças (Cabeças)	Tabela 6912 - Número de estabelecimentos agropecuários que produziram leite de vaca (Unidades) - Vacas ordenhadas nos estabelecimentos agropecuários (Cabeças)
Tipologia (Ambas as Tabelas)	
- Total - Agricultura familiar – sim - Pronamp – sim	
Condição do produtor em relação às terras (Ambas as Tabelas)	
Total	
Grupos de cabeças de bovinos (Faixas de número total de bovinos do estabelecimento)	
Tabela 6910 para estabelecimentos com até 50 bovinos - De 1 a 2 - De 3 a 5 - De 6 a 10 - De 11 a 20 - De 21 a 50	Tabela 6912 e Tabela 6910 para estabelecimentos com mais de 50 bovinos, que venderam para abate - De 51 a 100 - De 101 a 200 - De 201 a 500 - De 501 a 1000 - De 1001 e mais
Grupos de atividade econômica (Ambas as Tabelas)	
Total	
Ano (Ambas as Tabelas)	
2017	
Unidade Territorial (Ambas as Tabelas)	
Municípios	

3 METODOLOGIA

A metodologia aplicada para a estimativa do potencial de produção de metano, e seus aproveitamentos energéticos, é apresentada de forma simplificada na Figura 2.

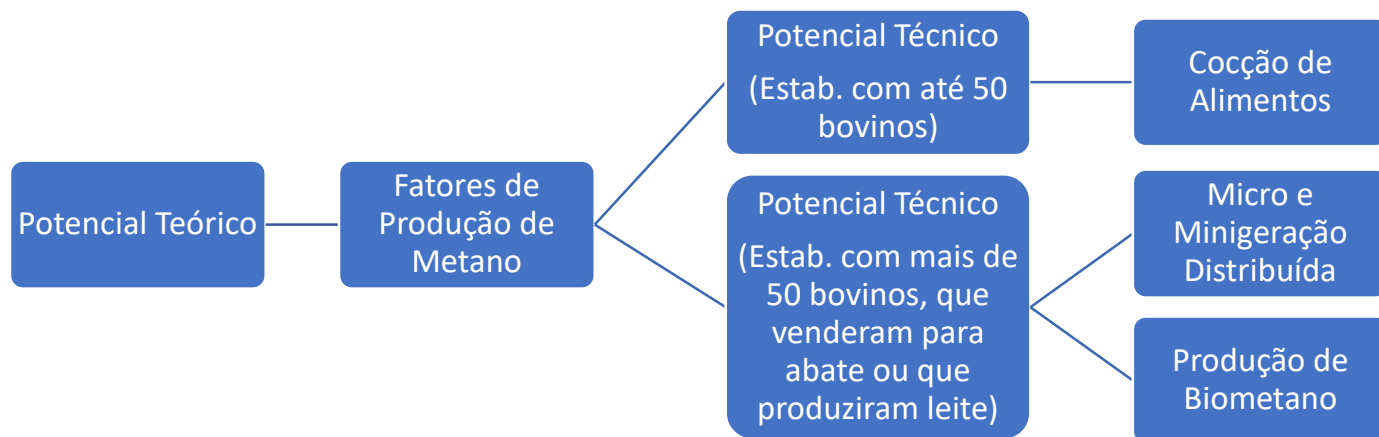


Figura 2 – Representação do procedimento metodológico para cálculo do potencial técnico de metano de dejetos bovinos, e do seu aproveitamento.

3.1 Potencial Teórico de Produção de Metano

O primeiro passo é o cálculo do potencial teórico de produção de metano.

Este cálculo segue a metodologia Kunz apresentada em CIBIOGÁS & EMBRAPA (2018). Esta metodologia adota um cálculo simples que considera a produção de efluente contendo os dejetos, o teor de sólidos voláteis do efluente e o fator de metanização dos sólidos voláteis, conforme a Equação 1.

$$PTM_b = PEBD_b \times TSVE_b \times CPM_b$$

Equação 1 – Cálculo da produção teórica de metano.

Onde:

PTM – Produção teórica de metano, $\text{Nm}^3\text{CH}_4/(\text{bovino.dia})$.

PEBD – Produção de efluente por bovino por dia, $\text{L}/(\text{bovino.dia})$.

TSVE – Teor de sólidos voláteis do efluente, $\text{g}_{\text{sv}}/\text{L}$.

CPM – Capacidade de produção de metano - B_0 , $\text{Nm}^3\text{CH}_4/\text{kg}_{\text{sv}}$.

b – Índice para tipo de bovino.

CIBIOGÁS & EMBRAPA (2018) realizaram um amplo levantamento desses parâmetros na literatura. E, após análise, definiram valores típicos para a produção de efluentes (Tabela 2), para o teor de sólidos voláteis dos efluentes (Tabela 3) e para a capacidade de produção de metano (Tabela 4), apresentados a seguir.

Tabela 2 – Produção de efluente com dejetos de bovinos por bovino por dia, L/(bovino.dia).

Tipo de Bovino	Inferior	Intermediário	Superior
Bovino de Corte	30,00	34,80	43,92
Bovino de Leite	32,60	57,68	93,72

Fonte: CIBIOGÁS & EMBRAPA, 2018.

Tabela 3 – Teor de sólidos voláteis do efluente com dejetos bovinos, g_{SV}/L .

Tipo de Bovino	Inferior	Intermediário	Superior
Bovino de Corte	18,67	51,41	80,19
Bovino de Leite	24,43	50,54	68,56

Fonte: CIBIOGÁS & EMBRAPA, 2018.

Tabela 4 – Capacidade de produção de metano dos sólidos voláteis - B_0 , Nm^3CH_4/kg_{SV} .

Tipo de Bovino	Inferior	Intermediário	Superior
Bovino de Corte	0,12	0,17	0,23
Bovino de Leite	0,10	0,15	0,21

Fonte: CIBIOGÁS & EMBRAPA, 2018.

A Tabela 5 apresenta o resultado da aplicação da Equação 1, para cálculo da produção teórica diária de metano por bovinos.

Tabela 5 – Produção teórica diária de metano por bovinos, $Nm^3CH_4/(bovino.dia)$.

Tipo de Bovino	Inferior	Intermediário	Superior
Bovino de Corte	0,067	0,304	0,810
Bovino de Leite	0,080	0,437	1,349

Fonte: Calculado pela EPE com base em CIBIOGÁS & EMBRAPA, 2018.

Estes valores ainda não consideram a eficiência típica de tecnologias de biodigestão anaeróbia para conversão da carga orgânica em metano. Representam, portanto, o potencial teórico com base nos parâmetros adotados.

No caso de Bovino Geral, a Rede BiogásFert adota a média simples entre bovino de corte e bovino de leite (CIBIOGÁS & EMBRAPA, 2018). No presente estudo, os valores para este tipo de bovino são calculados com os parâmetros do bovino de corte apenas.

A razão por esta escolha é a adoção de uma abordagem conservadora, uma vez que estes valores são menores que os dos bovinos de leite.

3.2 Fatores de Produção de Metano

Como visto na seção anterior, o potencial teórico considera que os sólidos voláteis foram totalmente metanizados. Isso poderia ocorrer se a biodigestão fosse conduzida por um tempo indefinido e nas condições perfeitas para a cinética da biodigestão.

Entretanto, em operações comerciais, o tempo de retenção do efluente no biodigestor e as condições gerais da biodigestão são otimizadas para um equilíbrio entre o ótimo técnico e o ótimo financeiro.

No segundo passo, para o cálculo dos Fatores de Produção de Metano (FPM), aplicam-se os Fatores Tecnológicos (FT) das tecnologias de biodigestão anaeróbica e os Fatores de Manejo (FM) dos tipos de bovinos considerados. Adicionalmente, faz-se a mudança para a base anual, conforme a Equação 2.

$$FPM_{b,t} = PTM_b \times FT_t \times FM_b \times 365$$

Equação 2 – Cálculo do fator de produção de metano.

Onde:

FPM – Fator de produção de metano, $Nm^3CH_4/(\text{bovino.ano})$.

PTM – Potencial teórico de metano, $Nm^3CH_4/(\text{bovino.dia})$.

FT – Fator tecnológico, %.

FM – Fator de manejo, %.

365 – Número de dias no ano, dias/ano.

b – Índice para tipo de bovino.

t – Índice para tipo de tecnologia.

O FT representa o rendimento da tecnologia na conversão da carga orgânica em metano. O Biodigestor de Lagoa Coberta (BLC) é a tecnologia dominante no tratamento anaeróbico de dejetos da pecuária em geral. O Reator Contínuo de Tanque Agitado (CSTR – sigla em inglês para *Continuous Stirred Tank Reactor*) apresenta maior rendimento, e pode ter forte penetração na expansão da produção de biogás no Brasil³. Com base em CIBIOGÁS (2019), adotou-se o FT de 60% para o BLC e o FT de 80% para o CSTR. A Tabela 6 apresenta estes valores.

Tabela 6 – Fatores Tecnológicos da Biodigestão Anaeróbia.

Tecnologia de Biodigestão Anaeróbica	Fator Tecnológico (FT)
Biodigestor de Lagoa Coberta (BLC)	60%
Reator Contínuo de Tanque Agitado (CSTR)	80%

Fonte: Adaptado de CIBIOGÁS, 2019.

O FM representa, no caso do Bovino em Terminação e do Bovino de Leite, a duração do confinamento. No Brasil, o confinamento para terminação, em geral dura de 70 a 80 dias (LANNA & ALMEIDA, 2005). O Canal do Youtube Vale Agrícola mostra uma reportagem em fazenda de confinamento de bovinos no interior de

³ Informação fornecida por técnicos da Fazenda Bom Retiro, em Pouso Alto, Minas Gerais, durante visita ao projeto de aproveitamento do biogás para MMGD.

São Paulo onde os animais ficam em confinamento de 4 meses (VALE AGRÍCOLA, 2019). Neste estudo, considera-se que o gado em terminação fica no confinamento por 3 meses até a venda para abate. No caso dos Bovinos de Leite, considera-se que o confinamento das vacas ordenhadas ocorre nos 12 meses do ano.

O Bovino Geral, da Pecuária de Subsistência, não é considerado um confinamento. Apenas que, independente de quantos animais tenha o estabelecimento, a quantidade mínima de dejetos para atender ao requisito de Cocção de Alimentos, apresentado na seção 3.3.1, seja atendido.

Os FM são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Período de confinamento do bovino (mês/ano) e Fator de Manejo.

Tipo de Bovino	Meses em confinamento no ano	Fator de Manejo (FM)
Bovino em Terminação	3	0,25
Bovino de Leite	12	1
Bovino Geral	12	1

Fonte: Levantado pela EPE.

Para Bovino em Terminação e Bovino de Leite, aplicando-se a Equação 2, obtém-se os valores apresentados na Tabela 8 e na Tabela 9, os Fatores de Produção de Metano com as tecnologias de BLC e de CSTR, respectivamente.

Tabela 8 – Fatores de produção de metano em Biodigestor de Lagoa Coberta (BLC) por tipo de bovino, $Nm^3CH_4/(bovino.ano)$.

Tipo de Bovino	Inferior	Intermediário	Superior
Bovino em Terminação	4	17	44
Bovino de Leite	17	96	296

Fonte: Calculado pela EPE com base em CIBIOGÁS & EMBRAPA, 2018.

Tabela 9 – Fatores de produção de metano em Reator Contínuo de Tanque Agitado (CSTR) por tipo de bovino, $Nm^3CH_4/(bovino.ano)$.

Tipo de Bovino	Inferior	Intermediário	Superior
Bovino em Terminação	5	22	59
Bovino de Leite	23	128	394

Fonte: Calculado pela EPE com base em CIBIOGÁS & EMBRAPA, 2018.

Para Bovino Geral foi considerado o FT da tecnologia BLC. Entretanto, pela escala do estabelecimento a tecnologia de biodigestão anaeróbica empregada deve ser de escala doméstica, tal como o Biodigestor Sertanejo (MATTOS & FARIAS JR, 2011), o Indiano ou o Chinês (DEGANUTTI, 2002). Os resultados são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Fatores de produção de metano em biodigestor de escala doméstica para Bovino Geral, $Nm^3CH_4/(bovino.ano)$.

Tipo de Bovino	Inferior	Intermediário	Superior
Bovino Geral	15	67	177

Fonte: Calculado pela EPE com base em CIBIOGÁS & EMBRAPA, 2018.

A Tabela 11 apresenta os FPM selecionados para a estimativa do potencial técnico de produção de metano da pecuária Brasileira. Para Bovino em Terminação e Bovino de Leite, foram selecionados os FPM superiores. Esta escolha busca representar uma atividade pecuária tecnificada e moderna, com confinamento. Para Bovino Geral, selecionou-se o FPM Intermediário.

Tabela 11 – Fatores de Produção de Metano selecionados para estimativa do potencial técnico, por tipo de bovino e por tipo de tecnologia de biodigestão anaeróbica, $Nm^3CH_4/(bovino.ano)$.

Tipo de Bovino	Tecnologia de BDA	Fator de Produção de Metano
Bovino em Terminação	Biodigestor de Lagoa Coberta (BLC)	44
Bovino em Terminação	Reator Contínuo de Tanque Agitado (CSTR)	59
Bovino de Leite	Biodigestor de Lagoa Coberta (BLC)	296
Bovino de Leite	Reator Contínuo de Tanque Agitado (CSTR)	394
Bovino Geral	Biodigestor Doméstico	67

Fonte: Calculado pela EPE com base em CIBIOGÁS & EMBRAPA, 2018.

O potencial técnico de produção de metano na pecuária bovina depende da viabilização das formas de aproveitamento energético deste. Nas subseções seguintes, apresentam-se as metodologias utilizadas.

3.3 Potencial Técnico de Produção do Metano

Para o cálculo do potencial técnico de produção de metano são utilizados procedimentos específicos, de acordo com a forma de aproveitamento energético considerada.

3.3.1 Potencial Técnico para Cocção de Alimentos

Como informado no escopo do estudo, esta forma de aproveitamento é considerada apenas para os estabelecimentos com até 50 bovinos, na Pecuária de Subsistência.

Considera-se que o estabelecimento deve ter, no mínimo, bovinos suficientes para o atendimento de uma demanda de 1 botijão de 13 quilogramas (P-13) de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) por mês. Os estabelecimentos que não atendem a esse requisito não são considerados.

Os dados apresentados na Tabela 12 permitem calcular a quantidade de metano necessária para atender a demanda de 1 botijão P-13 de GLP por mês, no período de 1 ano.

Tabela 12 – Dados para cálculo da quantidade de metano mínima e do número de bovinos necessários para atender a cocção de alimentos.

Dado	Valor	Unidade
Poder Calorífico Inferior do Metano	8.574	kcal/Nm ³
Poder Calorífico Inferior do GLP	11.100	kcal/kg
Conteúdo energético de 1 botijão P-13	144.300	kcal
Demanda energética anual para cocção de alimentos	1.731.600	Kcal/ano
Fator de produção de metano (FPM) para Bovino Geral	67	Nm ³ CH ₄ /(bovino.ano)

Fonte: EPE (2020a) e Cibiogás comunicação pessoal.

Os resultados são apresentados na Tabela 13. A quantidade de metano para cocção de alimentos, por estabelecimento, por ano, é de 202 Nm³/ano. E, com os FPM considerados neste estudo, são necessários 3 bovinos para produzi-la.

Tabela 13 – Quantidade de metano para cocção de alimentos em 1 ano e número mínimo de bovinos, por estabelecimento.

Parâmetros calculados		
Quantidade de Metano para Cocção de Alimentos (QMCA)	202	Nm ³ /ano
Número mínimo de bovinos	3	bovinos

Fonte: EPE.

De acordo com DIACONIA, COPASA & FBB (sem data), para uma família de 5 pessoas, os dejetos de 2 bovinos alimentando um biodigestor sertanejo já seriam suficientes.

A identificação dos estabelecimentos que atendem ao requisito de poder produzir, no mínimo, 202 Nm³CH₄/ano, é feita com base no número de estabelecimentos e no número de bovinos informados no Censo Agropecuário 2017, com o FPM adequado.

O potencial técnico é então calculado multiplicando o número de estabelecimentos elegíveis pela quantidade de metano, necessária para atender o uso na cocção de alimentos durante 1 ano, e somando os resultados municipais, conforme a Equação 3.

$$PTM_{CA} = Estabs \times QMCA$$

Equação 3 – Cálculo do potencial técnico de metano para cocção de alimentos (PTMCA).

Onde:

PTM_{CA} – Potencial técnico de metano para cocção de alimentos, Nm³CH₄/ano.

Estabs – Número de estabelecimentos elegíveis, Estabs.

QMCA – Quantidade de metano para cocção de alimento, Nm³CH₄/(Estab.ano).

3.3.2 Potencial Técnico para Micro e Minigeração Distribuída (MMGD)

Esta forma de aproveitamento do metano foi considerada para os estabelecimentos da Pecuária de Terminação e da Pecuária de Leite.

No caso da Pecuária de Terminação, são contabilizados os animais vendidos para abate. No caso da Pecuária de Leite, são consideradas as vacas ordenhadas. Estes valores são, em geral, inferiores ao total de bovinos dos estabelecimentos, considerados na definição dos Grupos de Cabeças de Bovinos.

Adotou-se como requisito para viabilizar a MMGD, a operação de um motogerador de 10 kW de potência nominal, com um regime de operação de 12 horas por dia. Desta forma, o tempo de operação no ano é de 4.380 horas. Conforme a Tabela 14, compilada pelo Cibiogás com base em seus projetos, tal equipamento requer uma vazão mínima de 6 Nm³ de metano por hora.

Tabela 14 – Dados para dimensionamento de motogeradores.

Pot. Nom. (kW)	Pot. GD (kW)	Rendimento (%)	Vazão de CH ₄ (Nm ³ /h)
10	8	13,54	6,0
24	19	17,10	11,4
36	29	20,85	14,0
48	38	20,30	19,2
57	46	22,09	20,9
72	58	22,67	25,8
86	69	22,89	30,5
108	86	22,80	38,5
165	132	24,33	55,1
237	190	29,16	66,0
288	230	29,99	78,0

Fonte: Adaptado de Cibiogás comunicação pessoal.

A vazão potencial de metano dos estabelecimentos é calculada pela Equação 4. Estabelecimentos cuja vazão potencial de metano é menor que 6 Nm³/h não são desconsiderados.

$$V_{ZCH} = \frac{(Bov_b \times FPM_{b,t})}{Estabs \times 4.380}$$

Equação 4 – Cálculo da vazão potencial de metano dos estabelecimentos.

Onde:

V_{ZCH4} – Vazão potencial por estabelecimento, Nm³CH₄/h.

Bov – Número de bovinos.

FPM – Fator de produção de metano, Nm³CH₄/(bovino.ano).

Estabs – Número de estabelecimentos.

4.380 – Número de horas em operação do motogerador no ano, horas/ano.

b – Índice para tipo de bovino.

t – Índice para tipo de tecnologia de biodigestão.

As quantidades mínimas de bovinos, necessárias para viabilizar o aproveitamento, por tipo de pecuária e tipo de tecnologia são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Número de bovinos necessários para alcançar a produção anual mínima de metano para aproveitamento por micro e minigeração distribuída.

Tipo de Bovino	Número de Bovinos com uso de BLC	Número de Bovinos com uso de CSTR
Terminação	585	439
Bovino de Leite	88	66

Fonte: EPE.

O cálculo do potencial técnico de metano para MMGD (PTM_{MMGD}) é dado pela Equação 5.

$$PTM_{MMGD} = Efetivo_b \times FPM_{b,t}$$

Equação 5 – Cálculo do potencial técnico de metano para micro e minigeração distribuída.

Onde:

PTM_{MMGD} – potencial técnico de metano para micro e minigeração distribuída, Nm^3CH_4/ano .

Efetivo – Número de bovinos por tipo de pecuária, bovino.

FPM – Fator de produção de metano, $Nm^3CH_4/(bovino.ano)$.

b – Índice para tipo de bovino.

t – Índice para tipo de tecnologia.

A estimativa do potencial de geração de energia elétrica depende do dimensionamento do motogerador, porque o rendimento na conversão aumenta com o aumento da potência do equipamento. Deste modo, para cada faixa de vazão foi considerado o rendimento do motogerador para aquela potência específica, conforme a Equação 6.

$$PTGE_{MMGD} = \frac{(PTM_{MMGD} \times PCI_{CH_4} \times Rend_{MG})}{1.000}$$

Equação 6 – Cálculo do potencial de geração elétrica em MMGD.

Onde:

$PTGE_{MMGD}$ – Potencial técnico de geração elétrica, MWh/ano.

PTM_{MMGD} – Potencial técnico de metano para MMGD, Nm^3CH_4/ano .

PCI_{CH_4} – Poder calorífico inferior do metano, 9,97 kWh/ Nm^3 .

$Rend_{MG}$ – Rendimento do motogerador, %.

3.3.3 Potencial Técnico para Produção de Biometano

A produção de Biometano, devido à escala mínima requerida para suportar o empreendimento, da mesma forma que no caso da MMGD, foi considerada para os estabelecimentos com mais de 50 bovinos que venderam para abate ou que produziram leite.

Considerou-se um regime de operação de 12 horas por dia, em 365 dias do ano, totalizando 4.380 horas.

O microposto de biometano foi adotado como referência. Este sistema recebe o biogás e o purifica até atingir o padrão de qualidade definido pela Resolução nº 8 de 2015, da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). A vazão mínima de metano na alimentação é de 6,5 Nm³/h (ER-BR, 2020).

Estabelecimentos cuja vazões de metano sejam inferiores ao requerido, neste regime de operação, foram desconsiderados. A Equação 4, usada no cálculo da vazão de metano no caso da MMGD, também se aplica no caso do Biometano.

O potencial técnico de metano disponível, antes do refino, conforme a Equação 7.

$$PTM_{Entrada} = Efetivo_b \times FPM_{b,t}$$

Equação 7 – Cálculo do potencial técnico de metano para biometano.

Onde:

PTM_{Entrada} – Potencial técnico de metano para alimentação do microposto, Nm³CH₄/ano.

Efetivo – Número de bovinos por tipo de pecuária, bovino.

FPM – Fator de produção de metano, Nm³CH₄/(bovino.ano).

b – Índice para tipo de bovino.

t - Índice para tipo de tecnologia.

O refino do biogás para obtenção do biometano tem um consumo energético de 30% do metano. Assim, a relação entre a quantidade de metano que entra no refino e a quantidade de metano que sai como Biometano é de 70% (ER-BR, 2020), como mostra a Equação 8.

$$PT_{Biometano} = PTM_{Entrada} \times 70\%$$

Equação 8 – Cálculo do potencial técnico de produção de biometano

Onde:

PT_{Biometano} – Potencial técnico de produção de biometano, Nm³CH₄/(bovino.ano).

PTM_{Entrada} – Potencial técnico de metano para alimentação do microposto, Nm³CH₄/(bovino.ano).

70% – Rendimento energético.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, são apresentados os resultados, agregados por região geográfica, para o potencial de produção e de aproveitamento do metano da pecuária bovina.

Os resultados para Micro e Minigeração Distribuída e Produção de Biometano não são complementares, são alternativos, por isso não devem ser somados.

4.1 Potencial Técnico para Cocção de Alimentos

Cerca de 1,8 milhão de estabelecimentos pecuários que possuem até 50 bovinos têm potencial de produção de metano suficiente para substituir 1 botijão de 13 kg de GLP (P-13) por mês. No cômputo do ano, isto significa 21,7 milhões de unidades de botijão P-13. O Volume de metano correspondente é de 363,7 MNm³/ano, com um conteúdo energético de 311,7 ktep/ano.

As regiões Nordeste, Sul e Sudeste se destacam no número de estabelecimentos, com 38%, 24% e 22%, do total, respectivamente. As regiões Centro-Oeste e Norte, cada uma, possuem 8% dos estabelecimentos.

O valor da produção do metano foi estimado com base no preço final ao consumidor do botijão P-13, de cada Unidade da Federação, em julho de 2020. Desta forma, estima-se um valor de produção de R\$ 1,5 Bilhão/ano.

A Tabela 16 apresenta os resultados do cálculo do potencial de metano para aproveitamento na cocção de alimentos.

Tabela 16 – Resultados da estimativa do potencial técnico de aproveitamento na forma de cocção de alimentos.

Região Geográfica	Estabelecimentos	Botijão P-13 (Milhões unidades/ano)	Metano (MNm ³ CH ₄ /ano)	Metano (ktep/ano)	Valor da Produção (MR\$/ano)
NE	678.726	8,1	136,8	117,3	550,3
S	430.754	5,2	86,8	74,4	364,5
SE	404.905	4,9	81,6	70,0	337,1
CO	145.113	1,7	29,3	25,1	135,8
N	144.791	1,7	29,2	25,0	138,0
Brasil	1.804.289	21,7	363,7	311,7	1.525,8

A maior parte destes estabelecimentos se enquadra na Agricultura Familiar, 79% na média para o Brasil. Uma parcela significativa, 17% na média para o Brasil, é de médios produtores rurais que se enquadram no Pronamp. Apenas 4% dos estabelecimentos não se enquadram nestas duas tipologias. Estes resultados são apresentados na Tabela 17.

Minas Gerais é a Unidade da Federação com maior número de estabelecimentos, com 16%, seguido da Bahia (13%) e do Rio Grande do Sul (11%). As 10 Unidades da Federação com mais estabelecimentos são apresentadas na Tabela 18.

A Figura 3 mostra a distribuição no mapa do Brasil com divisão por Unidades da Federação.

Tabela 17 – Distribuição dos estabelecimentos por tipologia, por região geográfica.

Região Geográfica	Agricultura Familiar	Pronamp	Outros
NE	80%	16%	4%
S	81%	15%	4%
SE	76%	21%	4%
CO	76%	21%	3%
N	81%	15%	4%
Brasil	79%	17%	4%

Tabela 18 – As 10 Unidades da Federação com mais estabelecimentos com potencial de aproveitamento na forma de cocção de alimentos.

Unidade da Federação	Estabelecimentos	Unidade da Federação	Estabelecimentos
MG	284.102	CE	89.990
BA	237.520	PE	74.174
RS	198.276	SP	72.643
PR	126.687	GO	72.316
SC	105.791	MA	64.888
		Total 10 UFs	1.326.387

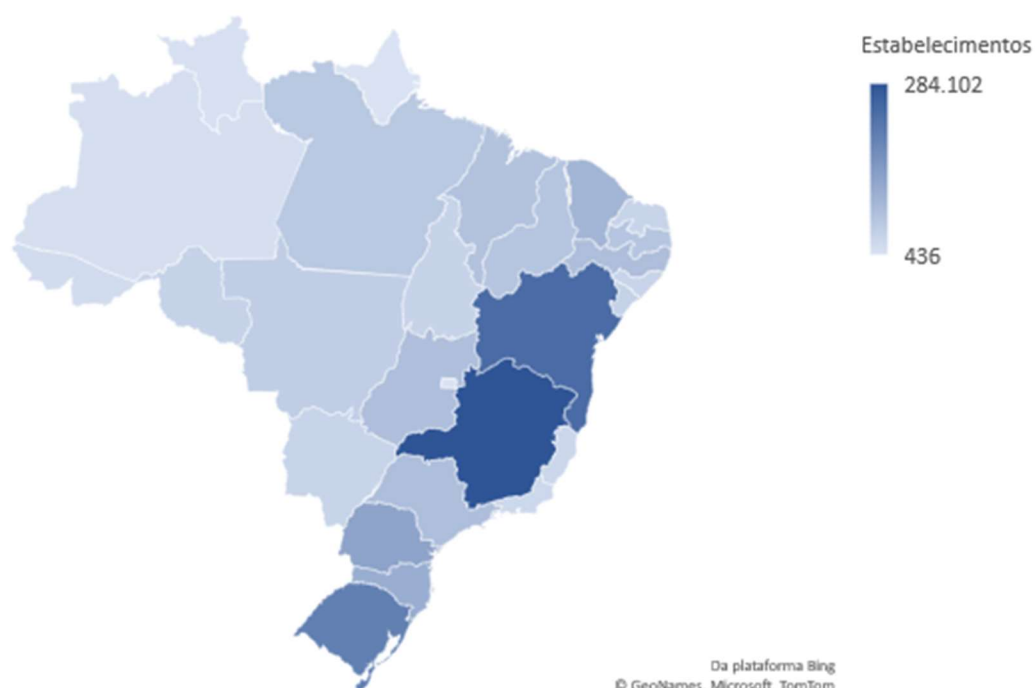


Figura 3 – Distribuição por Unidade da Federação dos estabelecimentos com potencial de aproveitamento na forma de cocção de alimentos.

4.2 Potencial Técnico para Micro e Minigeração Distribuída de Energia Elétrica

Nesta seção, são apresentados os resultados para o aproveitamento do metano em micro e minigeração distribuída.

Os resultados são apresentados separadamente para a Pecuária de Leite e para a Pecuária de Terminação. Em cada caso, é considerada a utilização da tecnologia de Biodigestor de Lagoa Coberta (BLC) e de Reator Contínuo de Tanque Agitado (CSTR).

4.2.1 Potencial para MMGD na Pecuária de Leite

O potencial de produção de metano no biogás para MMGD em estabelecimentos com BLC é de 60,6 MNm³/ano, com um potencial energético de 51,9 ktep/ano. Considerando o uso de CSTR, o potencial de metano cresce 157%, chegando a 156 MNm³/ano. Além do rendimento maior da tecnologia CSTR, este crescimento decorre também do aumento do número de estabelecimentos que passam a atender ao requisito de vazão mínima de metano. Com a tecnologia de BLC são 1.668 estabelecimentos e com a tecnologia de CSTR são 4.210 estabelecimentos.

A região Sudeste se destaca com 79% dos estabelecimentos quando se considera o uso de BLC e 70% quando se considera o uso de CSTR.

Os resultados do potencial de produção de metano no biogás para MMGD são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Resultados da estimativa do potencial técnico de metano para aproveitamento na forma de micro e minigeração distribuída, na Pecuária de Leite, por tecnologia de biodigestão anaeróbica.

Região Geográfica	Estabelecimentos	Metano (MNm ³ /ano)	Metano (ktep/ano)
Biodigestor de Lagoa Coberta (BLC)			
SE	1.310	45,6	39,0
S	159	8,1	6,9
NE	140	4,7	4,0
CO	56	2,2	1,8
N	3	0,1	0,1
Brasil	1.668	60,6	51,9
Reator Contínuo de Tanque Agitado (CSTR)			
SE	2.956	109,6	93,9
S	367	16,7	14,3
NE	404	14,3	12,3
CO	413	13,4	11,5
N	70	2,1	1,8
Brasil	4.210	156,0	133,7

O potencial de geração elétrica, considerando os estabelecimentos com BLC, é de 89,1 GWh/ano. Este valor representa uma geração mensal média por estabelecimento de 4.451 kWh/mês. Considerando os estabelecimentos com CSTR, a geração elétrica potencial é de 229 GWh/ano. A geração média por estabelecimento é de 4.533 kWh/mês.

A capacidade instalada potencial nos estabelecimentos com BLC e nos estabelecimentos com CSTR é de 20,8 MW (capacidade instalada média de 12,5 kW/Estabelecimento) e 52,9 MW (capacidade instalada média de 12,6 kW/Estabelecimento), respectivamente.

Os potenciais de geração elétrica e de capacidade instalada são apresentados na Tabela 20. A maioria dos estabelecimentos comporta motogeradores de 10 kW de potencial nominal, conforme mostra a Tabela 21.

Tabela 20 - Resultados da estimativa do potencial técnico de aproveitamento na forma de micro e minigeração distribuída, na Pecuária de Leite, por tecnologia de biodigestão anaeróbica.

Região Geográfica	Geração Elétrica (GWh/ano)	Geração Elétrica (ktep/ano)	Capacidade Instalada (MW)
Biodigestor de Lagoa Coberta (BLC)			
SE	66,1	5,7	15,6
S	13,0	1,1	2,8
NE	6,6	0,6	1,5
CO	3,3	0,3	0,8
N	0,1	0,0	0,0
Brasil	89,1	7,7	20,8
Reator Contínuo de Tanque Agitado (CSTR)			
SE	159,0	13,7	36,0
S	28,3	2,4	7,1
NE	19,9	1,7	4,4
CO	19,0	1,6	4,7
N	2,8	0,2	0,7
Brasil	229,0	19,7	52,9

Tabela 21 – Distribuição da capacidade instalada por potência nominal dos motogeradores, na Pecuária de Leite.

Potência Nominal (kW)	Estabelecimentos c/ BLC	Cap. Instalada c/ BLC (MW)	Estabelecimentos c/ CSTR	Cap. Instalada c/ CSTR (MW)
10	1.532	15,3	3.758	37,6
24	33	0,8	298	7,2
36	57	2,1	69	2,5
48	11	0,5	10	0,5
57	32	1,8	29	1,7
72			32	2,3
86	3	0,3	11	0,9
108			3	0,3
Total	1.668	20,8	4.210	52,9

Na média do Brasil, a participação de estabelecimentos enquadrados na Agricultura Familiar é de 3% e de 5%, se considerarmos o uso das tecnologias de BLC e CSTR, respectivamente. Os estabelecimentos que se enquadram no Pronamp têm uma participação de 37% e 51%, com uso do BLC e do CSTR, respectivamente. A Tabela 22 apresenta estes resultados.

Tabela 22 – Distribuição dos estabelecimentos da Pecuária de Leite, por tipologia, por região geográfica e por tecnologia de biodigestão anaeróbica.

Região Geográfica	Agricultura Familiar	Pronamp	Outros
Biodigestor de Lagoa Coberta (BLC)			
SE	3%	33%	65%
NE	4%	50%	46%
S	0%	74%	26%
CO	0%	5%	95%
N	0%	100%	0%
Brasil	3%	37%	60%
Reator Contínuo de Tanque Agitado (CSTR)			
SE	3%	50%	46%
NE	4%	65%	31%
S	15%	61%	24%
CO	1%	27%	72%
N	20%	73%	7%
Brasil	5%	51%	45%

O Estado de Minas Gerais se destaca em número de estabelecimentos e de capacidade instalada. Mesmo com o uso da tecnologia de CSTR, que aumenta o número de estabelecimentos que atendem o requisito mínimo de vazão de metano, 60% dos estabelecimentos se encontram nesta Unidade da Federação. Estes resultados são apresentados na Tabela 23 e na Figura 4.

Tabela 23 – As 10 Unidades da Federação com mais capacidade instalada para micro e minigeração distribuída, na Pecuária de Leite.

Unidade da Federação	Estabelecimentos	Cap. Instalada (MW)	Estabelecimentos	Cap. Instalada (MW)
	Biodigestor de Lagoa Coberta		Reator Contínuo de Tanque Agitado	
MG	1.155	14,0	2.535	31,2
PR	140	2,6	246	5,7
GO	45	0,7	387	4,2
SP	84	0,8	196	2,1
BA	61	0,8	165	1,9
RJ	37	0,4	158	1,7
ES	34	0,4	67	1,0
PE	27	0,3	106	1,1
RS	16	0,2	89	1,2
MA	30	0,3	59	0,7
Total 10 UFs	1.629	20,4	4.008	50,7

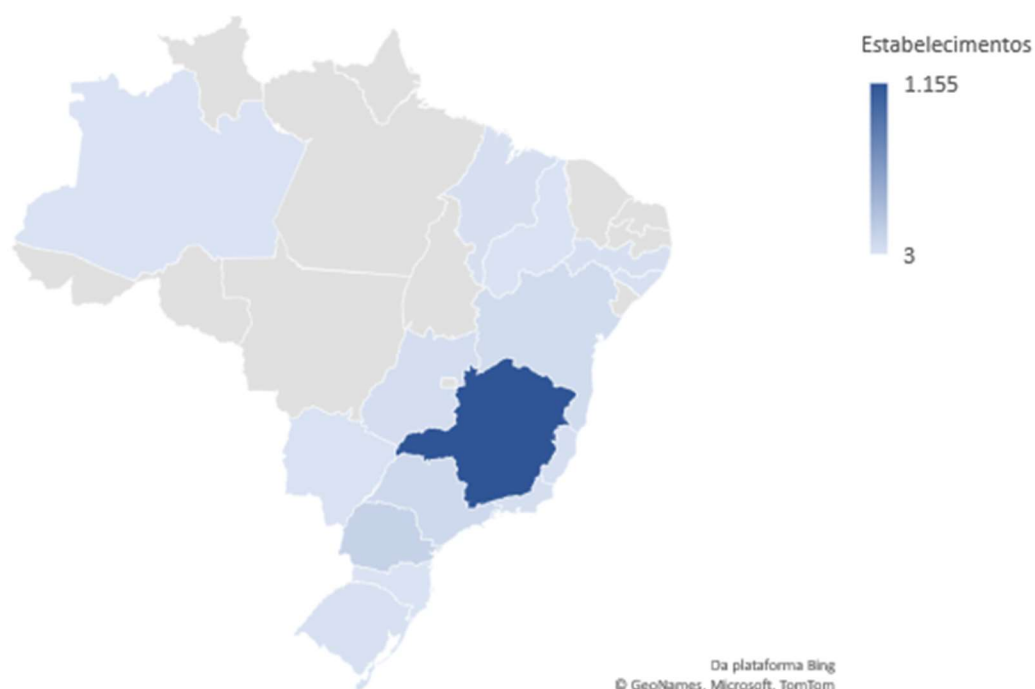


Figura 4 – Distribuição dos estabelecimentos da Pecuária de Leite, usando BLC, com potencial de aproveitamento na forma de micro e minigeração distribuída.

4.2.2 Potencial para MMGD na Pecuária de Terminação

O potencial de produção de metano no biogás para MMGD em estabelecimentos com BLC é de 360,7 MNm³/ano, com um potencial energético de 309,1 ktep/ano. Considerando o uso de CSTR, o potencial de metano cresce 63%, chegando a 587,5 MNm³/ano. Além do rendimento maior da tecnologia CSTR, este crescimento decorre também do aumento do número de estabelecimentos que passam a atender ao requisito de vazão mínima de metano. Com a tecnologia de BLC são 7.190 estabelecimentos, e com a tecnologia de CSTR são 10.768 estabelecimentos.

A região Centro-Oeste se concentra 64% dos estabelecimentos quando se considera o uso de BLC, e 60% quando se considera o uso de CSTR.

Os resultados do potencial de produção de metano no biogás para MMGD são apresentados na Tabela 24.

Tabela 24 – Resultados da estimativa do potencial técnico de metano para aproveitamento na forma de micro e minigeração distribuída, na Pecuária de Terminação, por tecnologia de biodigestão anaeróbica.

Região Geográfica	Estabelecimentos	Metano (MNm ³ /ano)	Metano (ktep/ano)
Biodigestor de Lagoa Coberta (BLC)			
CO	4.577	218,9	187,6
N	1.421	69,8	59,8
NE	232	10,4	8,9
S	385	13,4	11,5
SE	575	48,2	41,3
Brasil	7.190	360,7	309,1
Reator Contínuo de Tanque Agitado (CSTR)			
CO	6.480	348,8	298,9
N	2.201	115,9	99,3
NE	406	19,0	16,2
S	815	30,7	26,3
SE	866	73,2	62,7
Brasil	10.768	587,5	503,5

O potencial de geração elétrica, considerando os estabelecimentos com BLC, é de 635,1 GWh/ano. Este valor representa uma geração mensal média por estabelecimento de 7.361 kWh/mês. Considerando os estabelecimentos com CSTR, a geração elétrica potencial é de 1.077,7 GWh/ano. A geração média por estabelecimento é de 8.340 kWh/mês.

A capacidade instalada potencial nos estabelecimentos com BLC e nos estabelecimentos com CSTR é de 142,7 MW (capacidade instalada média de 19,9 kW/Estabelecimento) e 245,3 MW (capacidade instalada média de 22,8 kW/Estabelecimento), respectivamente.

Os potenciais de geração elétrica e de capacidade instalada são apresentados na Tabela 25. A maioria dos estabelecimentos comporta motogeradores de 10 kW de potencial nominal, conforme mostra a Tabela 26.

Tabela 25 – Resultados da estimativa do potencial técnico de aproveitamento na forma de micro e minigeração distribuída, na Pecuária de Terminação, por tecnologia de biodigestão anaeróbica.

Região Geográfica	Geração Elétrica (GWh/ano)	Geração Elétrica (ktep/ano)	Capacidade Instalada (MW)
Biodigestor de Lagoa Coberta (BLC)			
CO	374,0	32,1	86,6
N	119,0	10,2	27,6
NE	16,8	1,4	3,9
S	19,8	1,7	4,7
SE	105,5	9,1	19,9
Brasil	635,1	54,6	142,7
Reator Contínuo de Tanque Agitado (CSTR)			
CO	627,5	53,9	146,3
N	210,5	18,1	50,5
NE	31,5	2,7	7,4
S	44,8	3,9	10,1
SE	163,4	14,0	31,1
Brasil	1.077,7	92,6	245,3

Tabela 26 - Distribuição da capacidade instalada por potência nominal dos motogeradores, na Pecuária de Terminação.

Potência Nominal (kW)	Estabelecimentos c/ BLC	Cap. Instalada c/ BLC (MW)	Estabelecimentos c/ CSTR	Cap. Instalada c/ CSTR (MW)
10	5.331	53,3	7.283	72,8
24	701	16,8	1.264	30,3
36	596	21,5	1.109	39,9
48	112	5,4	124	6,0
57	157	8,9	426	24,3
72	46	3,3	189	13,6
86	91	7,8	116	10,0
108	67	7,2	119	12,9
165	53	8,7	23	3,8
237	13	3,1	26	6,2
288	23	6,6	89	25,6
Total	7.190	142,7	10.768	245,3

A maioria dos estabelecimentos não se enquadram como Agricultura Familiar ou Pronamp, como mostra a Tabela 27. A adoção da tecnologia CSTR na biodigestão anaeróbica permite aumentar o número de estabelecimentos de médio porte (Pronamp).

Tabela 27 – Distribuição dos estabelecimentos da Pecuária de Leite, por tipologia, por região geográfica e por tecnologia de biodigestão anaeróbica.

Região Geográfica	Agricultura Familiar	Pronamp	Outros
Biodigestor de Lagoa Coberta (BLC)			
CO	0%	0%	100%
N	0%	1%	99%
NE	0%	0%	100%
S	0%	1%	99%
SE	1%	1%	99%
Brasil	0%	0%	99%
Reator Contínuo de Tanque Agitado (CSTR)			
CO	0%	3%	97%
N	0%	7%	93%
NE	0%	12%	88%
S	0%	1%	98%
SE	1%	7%	92%
Brasil	0%	4%	95%

Os Estados de Mato Grosso, Goiás e Mato Grosso do Sul são os 3 com os maiores potenciais em capacidade instalada. Juntos, considerando a tecnologia de BLC eles somam 64%. Com a tecnologia de CSTR, a participação cai a 60%.

As 10 Unidades da Federação com os maiores potenciais de MMGD são apresentadas na Tabela 28.

A Figura 5 mostra a distribuição por Unidade da Federação no mapa do Brasil.

Tabela 28 – As 10 Unidades da Federação com mais capacidade instalada para micro e minigeração distribuída, na Pecuária de Terminação.

Unidade da Federação	Estabelecimentos	Cap. Instalada (MW)	Estabelecimentos	Cap. Instalada (MW)
	Biodigestor de Lagoa Coberta		Reator Contínuo de Tanque Agitado	
MT	1.882	43,6	2.360	70,5
GO	979	23,2	1.248	36,7
MS	1.716	19,7	2.872	39,1
PA	596	10,5	1.075	21,0
MG	330	11,9	493	18,3
RO	334	10,7	432	17,0
SP	226	7,5	303	11,6
TO	330	4,5	435	8,5
RS	177	2,0	516	5,6
MA	146	2,6	219	4,2
Total 10 UFs	6.716	136,3	9.953	232,3

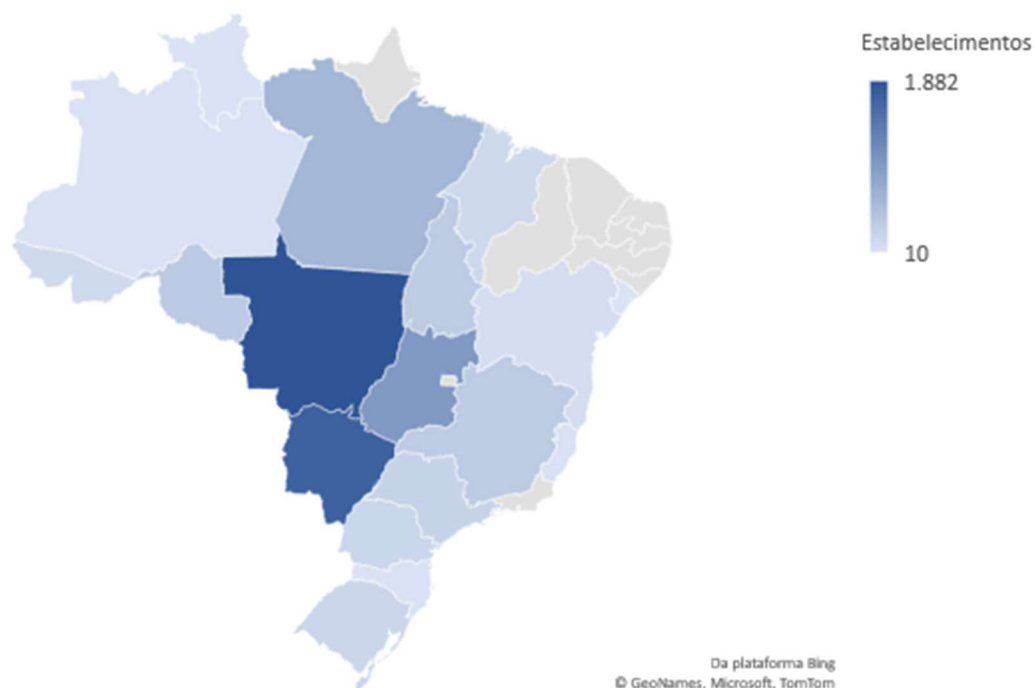


Figura 5 – Distribuição por Unidade da Federação dos estabelecimentos da Pecuária de Terminação com potencial de aproveitamento na forma de micro e minigeração distribuída.

4.3 Potencial Técnico para Produção de Biometano

Nesta seção, são apresentados os resultados para o aproveitamento do metano na produção de Biometano. Os resultados são apresentados separadamente para a Pecuária de Leite e para a Pecuária de Terminação. Em cada caso, é considerado a utilização da tecnologia de Biodigestor de Lagoa Coberta (BLC) e de Reator Contínuo de Tanque Agitado (CSTR).

4.3.1 Potencial para Biometano na Pecuária de Leite

O potencial de produção de metano no biogás em estabelecimentos com BLC é de 49,1 MNm³/ano, e em estabelecimentos com CSTR é de 130,1 MNm³/ano. Considerando o consumo energético de 30%, os respectivos volumes de Biometano são de 34,4 MNm³/ano e 91,1 MNm³/ano. Com a tecnologia de BLC, 1.249 estabelecimentos atendem o requisito de vazão para operação do microposto de biometano. Com a tecnologia de CSTR, o número de estabelecimentos é de 3.258. Estes resultados são apresentados na Tabela 29.

Tabela 29 – Resultados da estimativa do potencial técnico de metano para produção de Biometano, na Pecuária de Leite, por tecnologia de biodigestão anaeróbica.

Região Geográfica	Estabelecimentos	Metano input (MNm ³ /ano)	Metano input (ktep/ano)	Biometano (MNm ³ /ano)	Biometano (ktep/ano)
Biodigestor de Lagoa Coberta (BLC)					
SE	940	35,5	30,4	24,8	21,3
S	156	8,0	6,8	5,6	4,8
NE	111	3,9	3,3	2,7	2,3
CO	39	1,7	1,4	1,2	1,0
N	3	0,1	0,1	0,1	0,1
Brasil	1.249	49,1	42,1	34,4	29,5
Reator Contínuo de Tanque Agitado (CSTR)					
SE	2.295	91,5	78,4	64,0	54,9
S	281	14,4	12,3	10,1	8,6
NE	341	12,6	10,8	8,8	7,6
CO	295	10,2	8,7	7,1	6,1
N	46	1,4	1,2	1,0	0,9
Brasil	3.258	130,1	111,5	91,1	78,0

A Tabela 30 apresenta os resultados em termos de volumes equivalentes de gasolina automotiva e de óleo diesel. O potencial anual de biometano utilizando BLCs equivale a 38 milhões de litros de gasolina automotiva – média de 30.424 L/(Estab.ano) – ou 35 milhões de litros de óleo diesel – média de 28.022 L/(Estab.ano). Com o uso do CSTR, o potencial anual de biometano equivale a 101 milhões de litros de gasolina automotiva – média de 31.001 L/(Estab.ano) – ou 92 milhões de litros de óleo diesel – média de 28.238 L/(Estab.ano).

Tabela 30 – Volumes equivalentes de Óleo Diesel e Gasolina Automotiva, na Pecuária de Leite.

Região Geográfica	Volume eq. de Gasolina Automotiva (1.000 m ³)	Volume eq. de Óleo Diesel (1.000 m ³)
Biodigestor de Lagoa Coberta (BLC)		
SE	28	25
S	6	6
NE	3	3
CO	1	1
N	0	0
Brasil	38	35
Reator Contínuo de Tanque Agitado (CSTR)		
SE	71	65
S	11	10
NE	10	9
CO	8	7
N	1	1
Brasil	101	92

A distribuição por tipologia (Agricultura Familiar, Pronamp e Outros) dos estabelecimentos na Pecuária de Leite, para produção de biometano, segue o mesmo padrão do aproveitamento para micro e minigeração distribuída. Predominam estabelecimentos que não se enquadram na Agricultura Familiar nem no Pronamp. O uso do CSTR, com maior rendimento na metanização dos efluentes, permite um aumento na participação de estabelecimentos do Pronamp.

A Tabela 31 apresenta as 10 Unidades da Federação com os maiores potenciais de produção de biometano, na Pecuária de Leite. O Estado de Minas Gerais apresenta o maior potencial.

A Figura 6 mostra a distribuição dos estabelecimentos por Unidade da Federação no mapa do Brasil.

Tabela 31 – As 10 Unidades da Federação com maior potencial técnico de produção de Biometano, na Pecuária de Leite.

Unidade da Federação	Estabelecimentos	Biometano (MNm ³ /ano)	Estabelecimentos	Biometano (MNm ³ /ano)
	Biodigestor de Lagoa Coberta		Reator Contínuo de Tanque Agitado	
MG	856	22,7	2.054	57,4
PR	137	5,1	217	8,4
GO	28	0,9	284	6,7
BA	55	1,4	157	4,2
SP	39	0,9	152	3,9
MA	27	0,6	59	1,6
ES	24	0,7	38	1,3
RJ	21	0,5	51	1,4
RS	16	0,5	52	1,4
PE	7	0,2	63	1,5
Total 10 UFs	1.210	33,5	3.127	87,8

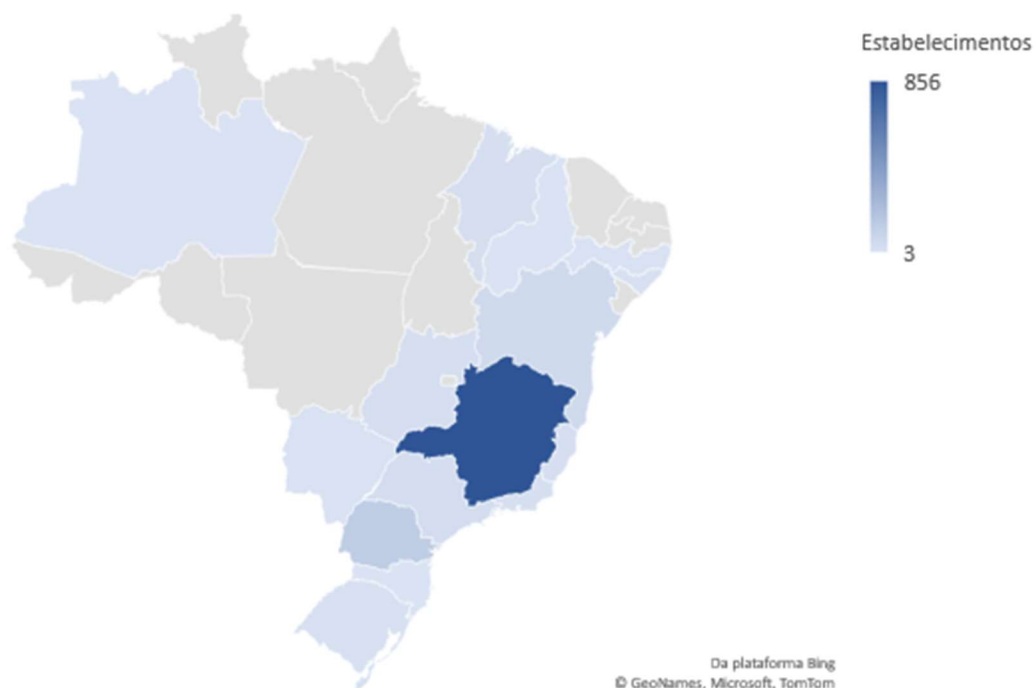


Figura 6 – Distribuição por Unidade da Federação dos estabelecimentos da Pecuária de Leite com potencial técnico de produção de Biometano.

4.3.2 Potencial para Biometano na Pecuária de Terminação

O potencial de produção de metano no biogás, em estabelecimentos com BLC, é de 333,5 MNm³/ano, e em estabelecimentos com CSTR é de 549,1 MNm³/ano. Considerando o consumo energético de 30%, os respectivos volumes de Biometano são de 233,4 MNm³/ano e 384,4 MNm³/ano. Com a tecnologia de BLC, 6.194 estabelecimentos atendem o requisito de vazão para operação do microposto de biometano. Com a tecnologia de CSTR, são 9.365 estabelecimentos. Estes resultados são apresentados na Tabela 32.

Tabela 32 – Resultados da estimativa do potencial técnico de metano para produção de Biometano, na Pecuária de Terminação, por tecnologia de biodigestão anaeróbica.

Região Geográfica	Estabelecimentos	Metano input (MNm ³ CH ₄ /ano)	Metano input (ktep/ano)	Biometano (MNm ³ /ano)	Biometano (ktep/ano)
Biodigestor de Lagoa Coberta (BLC)					
CO	3.996	203,1	174,0	142,1	121,8
N	1.207	63,9	54,8	44,7	38,3
SE	516	46,6	39,9	32,6	27,9
S	273	10,3	8,9	7,2	6,2
NE	202	9,6	8,2	6,7	5,7
Brasil	6.194	333,5	285,8	233,4	200,0
Reator Contínuo de Tanque Agitado (CSTR)					
CO	5.818	330,8	283,5	231,6	198,4
N	1.773	104,0	89,2	72,8	62,4
SE	795	71,2	61,1	49,9	42,7
S	639	25,9	22,2	18,1	15,5
NE	340	17,2	14,7	12,0	10,3
Brasil	9.365	549,1	470,6	384,4	329,4

A Tabela 33 apresenta os resultados em termos de volumes equivalentes de gasolina automotiva e de óleo diesel. O potencial anual de biometano utilizando BLCs equivale a 259 milhões de litros de gasolina automotiva – média de 41.815 L/(Estab.ano) – ou 236 milhões de litros de óleo diesel – média de 38.101 L/(Estab.ano). Com o uso do CSTR, o potencial anual de biometano equivale a 427 milhões de litros de gasolina automotiva – média de 45.595 L/(Estab.ano) – ou 388 milhões de litros de óleo diesel – média de 41.431 L/(Estab.ano).

Tabela 33 – Volumes equivalentes de Óleo Diesel e Gasolina Automotiva, na Pecuária de Terminação.

Região Geográfica	Volume eq. de Gasolina Automotiva (1.000 m ³)	Volume eq. de Óleo Diesel (1.000 m ³)
Biodigestor de Lagoa Coberta (BLC)		
CO	158	144
N	50	45
SE	36	33
S	8	7
NE	7	7
Brasil	259	236
Reator Contínuo de Tanque Agitado (CSTR)		
CO	257	234
N	81	74
SE	55	50
S	20	18
NE	13	12
Brasil	427	388

A distribuição por tipologia (Agricultura Familiar, Pronamp e Outros) dos estabelecimentos na Pecuária de Terminação, para produção de biometano, segue o mesmo padrão do aproveitamento para micro e minigeração distribuída. Predominam estabelecimentos que não se enquadram na Agricultura Familiar nem no Pronamp. O uso do CSTR, com maior rendimento na metanização dos efluentes, permite um aumento na participação de estabelecimentos do Pronamp.

A Tabela 34 apresenta as 10 Unidades da Federação com os maiores potenciais de produção de biometano, na Pecuária de Leite. Os Estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás apresentam os maiores potenciais.

A Figura 7 mostra a distribuição dos estabelecimentos por Unidade da Federação no mapa do Brasil.

Tabela 34 – As 10 Unidades da Federação com maior potencial técnico de produção de Biometano, na Pecuária de Terminação.

Unidade da Federação	Estabelecimentos	Biometano (MNm ³ /ano)	Estabelecimentos	Biometano (MNm ³ /ano)
	Biodigestor de Lagoa Coberta		Reator Contínuo de Tanque Agitado	
MT	1.770	69,5	2.237	103,4
MS	1.353	36,2	2.393	72,3
GO	873	36,5	1.188	55,9
MG	305	20,3	473	30,8
PA	569	19,0	763	29,6
RO	204	13,0	422	22,6
SP	195	11,6	256	16,9
TO	273	8,3	387	13,8
RS	104	2,5	384	9,7
PR	148	4,3	228	7,6
Total 10 UFs	5.794	221,1	8.731	362,6

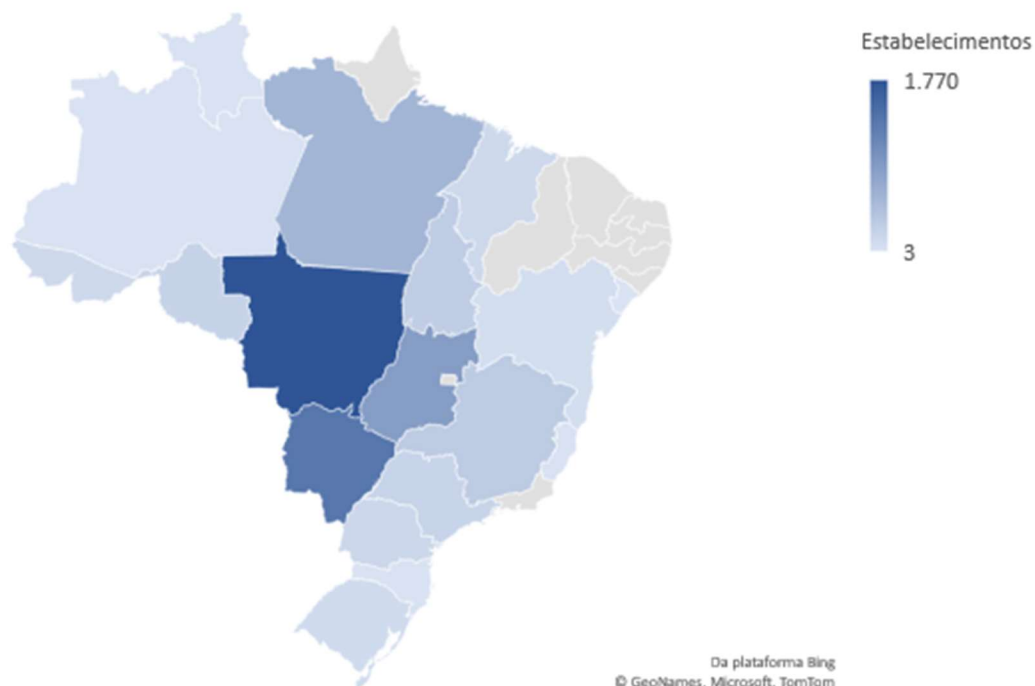


Figura 7 – Distribuição por Unidade da Federação dos estabelecimentos da Pecuária de Terminação com potencial técnico de produção de Biometano.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O potencial de produção de metano no biogás da pecuária bovina, estimado neste estudo, vai de 785 MNm³/ano até 1.108 MNm³/ano. Estes valores correspondem à soma do potencial para cocção de alimentos, em estabelecimentos com biodigestor doméstico, com os potenciais para micro e minigeração distribuída (MMGD), em estabelecimentos com Biodigestor de Lagoa Coberta (BLC) e com Reator Contínuo de Tanque Agitado (CSTR). Os valores dos potenciais para Biometano são menores, porque o requisito de vazão de metano na produção do biometano é maior que na MMGD, resultando em um menor número de aproveitamentos. Estes resultados são apresentados na Figura 8

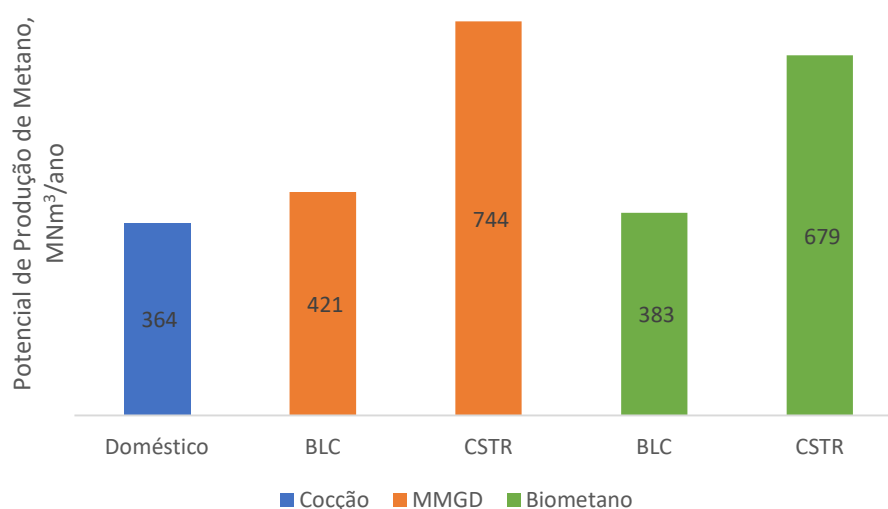


Figura 8 – Potencial de produção de metano no biogás da pecuária bovina.

5.1 Cocção de Alimentos

A cocção de alimentos responde por um potencial técnico de 364 MNm³/ano. Esta forma de aproveitamento tem forte impacto socioeconômico, pois a maior parte dos cerca de 1,8 milhão de estabelecimentos se enquadra na Agricultura Familiar ou no Pronamp (produtor rural de médio porte).

Este volume de metano equivale a 21,7 milhões de unidades de botijão de gás de cozinha P-13. Considerando o preço médio por Unidade da Federação, em julho de 2020, o valor desta produção chega a R\$ 1,5 Bilhão.

Dado que o custo do botijão de gás onera o orçamento familiar, sobretudo em áreas rurais de baixa renda, a lenha catada é uma alternativa para cocção de alimentos. Entretanto, o uso da lenha catada, em ambientes e equipamentos inadequados, representa sério risco à saúde, além do tempo e esforço gastos na coleta.

A construção de biodigestores de escala doméstica nestes estabelecimentos contribuiria para vários dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (Erradicação da pobreza, Fome zero e agricultura sustentável, Saúde e Bem-estar, Energia Acessível e Limpa e Ação contra a mudança global do clima).

O valor estimado considera apenas a substituição de 1 botijão por estabelecimento, por mês, o que requer os dejetos gerados por 3 bovinos. O conjunto de estabelecimentos pecuários considerado pode ter até 50 bovinos. Deste modo, existe um potencial de produção de metano adicional que pode ser usado para viabilizar atividades que aumentem a renda da unidade familiar, tais como produção de doces e outros alimentos.

5.2 Micro e Minigeração Distribuída

O potencial de metano que pode ser aproveitado por MMGD vai de 421 MNm³/ano a 744 MNm³/ano, em 6.245 estabelecimentos com BLC ou 14.978 estabelecimentos com CSTR, respectivamente. A síntese destes resultados é mostrada na Tabela 35.

Tabela 35 – Síntese do potencial de produção de metano no biogás da pecuária bovina para MMGD, MNm³/ano.

Tipo de Biodigestor	Pecuária de Leite	Pecuária de Terminação	Total
BLC	61	361	421
CSTR	156	588	744

O aproveitamento do metano da pecuária bovina tem o potencial de gerar entre 724,2 GWh/ano e 1.306,7 GWh/ano, com capacidade instalada de 163,5 MW e 298,2 MW, respectivamente. A Figura 9 mostra a capacidade instalada, de acordo com o tipo de tecnologia de biodigestão adotado.



Figura 9 – Capacidade instalada potencial para micro e minigeração distribuída.

Os projetos de MMGD, registrados até junho de 2020 na Aneel, consumindo metano da fonte Biogás de Resíduo Animal (Suínos, Bovinos, aves etc.), somam 151 projetos e 26.864 kW de capacidade instalada (Aneel, 2020). Portanto, o potencial de MMGD, estimado neste estudo, é de 6 vezes a 11 vezes maior que a capacidade instalada registrada na Aneel para esta fonte.

Em 2019, a Geração Distribuída ofertou 2.226 GWh (EPE, 2020c), com base em uma capacidade instalada de quase 3,6 GW, majoritariamente de fonte solar fotovoltaica⁴ (Aneel, 2020).

Estes resultados mostram a importância do uso desta fonte (metano do biogás), não somente para a Geração Distribuída, mas para todo o setor elétrico. Por ser passível de armazenamento, o metano confere flexibilidade e segurança energética, além de um elevado fator de capacidade.

⁴ Até junho de 2020, o total de capacidade registrado em MMGD na Aneel era de 3.562.302,14 kW, dos quais 94,8% eram de usinas fotovoltaicas, 2,7% centrais de geração hidráulica, 2,1% usinas termelétricas e 0,4% usinas eólicas (Fonte: http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/gd_fonte.asp).

5.3 Biometano

Se ao invés da MMGD, a Pecuária de Leite e de Terminação optarem pela produção de Biometano, o volume de metano antes do refino responderia por entre 383 MNm³/ano, em 7.443 estabelecimentos, e 679 MNm³/ano, em 12.623 estabelecimentos, considerando estabelecimentos com BLC ou CSTR, respectivamente.

Tabela 36 – Síntese do potencial de produção de metano no biogás da pecuária bovina para Biometano, MNm³/ano.

Tipo de Biodigestor	Pecuária de Leite	Pecuária de Terminação	Total
BLC	49	333	383
CSTR	130	549	679

O volume de gasolina automotiva equivalente fica entre 297 milhões de litros e 528 milhões de litros. O valor mais alto corresponde a 2,1% da produção nacional e 10,8% das importações, em 2019⁵.

O volume equivalente de óleo diesel fica entre 271 milhões de litros e 480 milhões de litros. O valor mais alto corresponde a 1,2% da produção nacional e 3,7% das importações, em 2019.

Os volumes de gasolina automotiva e diesel equivalentes são mostrados na Figura 10.

O Biometano pode ser consumido nos veículos dos próprios estabelecimentos, contribuindo para a redução dos custos na produção pecuária e redução na pegada de carbono.

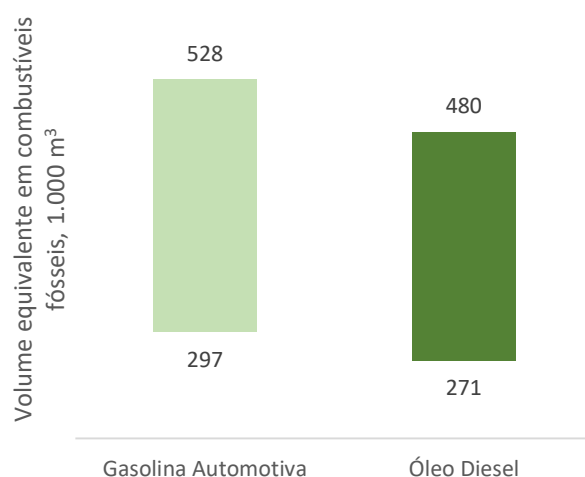


Figura 10 – Volumes equivalentes em óleo diesel e gasolina automotiva do potencial técnico de biometano, 1.000 m³.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Internacional de Energias Renováveis – CIBIOGÁS, ao Dr Marcelo Henrique Otênio da Embrapa Gado de Leite, ao Sr Daniel Satoru Honda da Sansuy e ao Sr Amauri Pinto da Costa e técnicos da Fazenda Bom Retiro, Pouso Alto (MG), pelas valiosas contribuições.

⁵ Em 2019, 25.395 milhões de litros de gasolina foram produzidos no país e 4.888 milhões de litros foram importados. A produção de óleo diesel foi de 40.679 milhões de litros e a importação de 13.008 milhões de litros (EPE, 2020b).

7 REFERÊNCIAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração distribuída**. Disponível em:

http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/gd_fonte.asp. Versão junho de 2020.

CIBIOGÁS – Centro Internacional de Energias Renováveis - Biogás. **Produção de biogás a partir de dejetos da bovinocultura de leite e corte**. Nota Técnica: N° 01/2019 – Foz do Iguaçu : janeiro de 2019.

CIBIOGÁS & EMBRAPA. **Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil** / Jessica Yuki de Lima Mito ... [et al.]. - Concórdia : Embrapa Suínos e Aves, 2018.

DEGANUTTI, Roberto; PALHACI, Maria do Carmo Jampaulo Plácido; ROSSI, Marco; TAVARES, Roberto; SANTOS, Claudemilson dos. **Biodigestores Rurais: Modelo Indiano, Chinês e Batelada**. In: 4º Encontro de Energia no Meio Rural, 2002, Campinas/SP. Anais do 4º Encontro de Energia no Meio Rural. Campinas/SP, 2002.

DIACONIA, COPASA & FBB - Fundação Banco do Brasil. **12 Passos Para Construir Um Biodigestor**. (Cartilha) Recife : Diaconia. Disponível em: <http://fmclimaticas.org.br/wp-content/uploads/2018/11/12-Passos-para-Construir-um-Biodigestor-2-1.pdf>. Acessado em 18 de agosto de 2020. Sem data.

DSM. **Censo de Confinamento DSM 2019 registra crescimento do rebanho confinado no Brasil**. Disponível em: www.dsm.com/latam/pt_BR/arquivo-de-noticias/2019/. 2019.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional – Séries Históricas Completas**. Anexo VIII – Fatores de Conversão. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Completas>. 2020a.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional – Séries Históricas Completas**. Capítulo 2 (Oferta e Demanda de Energia por Fonte) 1970-2019. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Completas>. 2020b.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2020 – Ano base 2019**. Relatório Síntese. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-521/Relatório Síntese BEN 2020-ab 2019 Final.pdf>. 2020c.

ER-BR – Energias Renováveis. **Microposto para Biometano**. Disponível em:

<https://www.erbr.com.br/produtos/2/microposto-para-biometano>. Acessado em agosto de 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017**. (Resultados Definitivos). ISSN 0103-6157. Rio de Janeiro, v. 8, p.1-105, 2019b.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Pecuária Municipal 2018**. Informativo da Pesquisa da Pecuária Municipal 2018 (PPM). Rio de Janeiro, v. 46, p.1-8, 2018. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2018_v46_br_informativo.pdf. 2019.

LANNA, Dante Pazzanese Duarte & ALMEIDA, Rodrigo de. **A terminação de bovinos em confinamento**. Visão Agrícola, Piracicaba - SP, v. 3, p. 55 - 58. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va03-producao06.pdf>. 2005.

MATTOS, Luis Cláudio & FARIAS JR., Mário. **Manual do Biodigestor Sertanejo**. Projeto Dom Helder Câmara e Diaconia. (Projeto Manejo Sustentável de Terras no Sertão). Recife : Projeto Dom Helder Câmara. Disponível em: <http://cumaru-pe.com.br/data/documents/Manual-do-Biodigestor-Sertanejo-1.pdf>. Acessado em: 18 de agosto de 2020. 2011.

VALE AGRÍCOLA. **O confinamento de mais de 60 mil bois por ano!** Disponível em: <https://youtu.be/7N5o6bqRxsg>. Publicado em 19 de abril de 2019.