

NOTA TÉCNICA

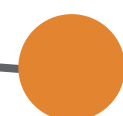
POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DO TRATAMENTO DO ESGOTO

Perspectivas para a universalização sustentável
dos serviços de esgotamento sanitário no Brasil

POSTO DE ABASTECIMENTO
DE BIOMETANO



APRESENTAÇÃO



Esta publicação foi concebida a partir de uma iniciativa multi-institucional, sob coordenação da Associação Brasileira do Biogás (ABiogás), em colaboração com o Programa de Energia para o Brasil (BEP), o Instituto de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto (INCTETEs Sustentáveis), a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), o Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás (CIBiogás), a Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) e Projeto GEF Biogás Brasil, liderado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) e implementado pela Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO).

ABiogás

Associação Brasileira do Biogás

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO BIOGÁS (ABIOGÁS)

A Associação Brasileira do Biogás (ABiogás) nasceu em 2013 com a missão de promover a valorização energética sustentável dos resíduos, desenvolvendo o mercado de biogás. É a associação referência no setor no Brasil e atua, juntamente com seus 81 associados, junto aos órgãos competentes e na divulgação de informações relevantes, visando sempre alcançar os melhores e mais transformadores resultados para a sociedade brasileira.

Alessandro Gardemann, **Presidente Executivo**

Gabriel J. Kropsch, **Vice-presidente Executivo**

Tamar Roitman, **Gerente Executiva**

www.abiogas.org.br

 UK Government

Adam Smith
International



Instituto 17

CLT
CARBON
LIMITING
TECHNOLOGIES



hubz

FGV

INSTITUTO 17, NO ÂMBITO DO PROGRAMA DE ENERGIA PARA O BRASIL (BEP)

O Instituto 17 lidera os estudos na área de aproveitamento energético de resíduos do Programa de Energia para o Brasil (BEP) do governo britânico. Esse Programa tem o objetivo de apoiar o processo de transição energética do Brasil para uma economia inclusiva de baixo carbono. O BEP é executado por um consórcio de organizações liderado pela Adam Smith International (ASI), com a participação do Instituto 17 (i17), Carbon Limiting Technologies (CLT), hubz e Fundação Getúlio Vargas (FGV).

Clarissa Vargas (FCDO-UK) e Zane Kanderian (ASI),
Diretores de Programa

Louise Hill (FCDO-UK) e Fernanda Guedes (ASI),
Gerentes de Programa

Gilberto de Martino Jannuzzi (ASI), **Diretor Técnico**

Elbia Gannoum (ASI), **Conselheira Estratégica**

Alessandro Sanches Pereira (i17),
Coordenação Técnica

Leidiane Ferronato Mariani (i17),
Líder em Aproveitamento Energético de Resíduos

Vanice Helen Nakano (i17), **Líder da Equipe**

<https://www.ukbrep.org/pt/home> e <http://i17.org/>



CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS – BIOGÁS (CIBIOGÁS)

O Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás (CIBiogás) é uma Instituição de Ciência, Tecnologia e Inovação (ICT+i), em formato de associação, que contribui para o ganho de mercado e avanço tecnológico da cadeia produtiva do biogás. Com uma equipe engajada em entregar soluções assertivas ao mercado, tanto nos projetos de Pesquisa e Desenvolvimento, quanto em serviços técnicos prestados aos clientes e parceiros, sua missão é promover o desenvolvimento sustentável da cadeia do biogás e outras energias renováveis.

Rafael Gonzalez, **Diretor Presidente**

Michelli Fregnani, **Diretora Administrativo Financeira**

Felipe Souza Marques, **Diretor de Desenvolvimento Tecnológico**

<https://cibiogas.org/>



Comitê diretor do projeto:



Parceiros:



GEF BIOGÁS BRASIL

O Projeto GEF Biogás Brasil prevê ações locais e federais de estímulo à integração do biogás na cadeia produtiva brasileira. É liderado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) e implementado pela Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO), tendo o CIBiogás como principal entidade executora. O Projeto recebe recursos do Fundo Global para o Meio Ambiente (Global Environment Facility, ou GEF) e tem como objetivo principal ampliar a oferta de energia e combustível renovável a partir da geração de biogás e biometano, além de fortalecer as cadeias nacionais de fornecimento de tecnologia no setor.

<https://www.gefbiogas.org.br/>



INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM ESTAÇÕES SUSTENTÁVEIS DE TRATAMENTO DE ESGOTO (INCT ETES SUSTENTÁVEIS)

Criado em 2017, o INCT ETEs Sustentáveis tem o intuito de contribuir para a promoção de mudanças estruturais e estruturantes nos serviços de esgotamento sanitário, por meio da capacitação profissional, do desenvolvimento de soluções tecnológicas apropriadas às diversas realidades nacionais, da construção de conhecimento e sua transmissão para a sociedade, órgãos governamentais e empresariais. Atua em rede e é formado, em sua composição original, pelas seguintes instituições brasileiras de ensino e pesquisa que atuam na área de saneamento: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Universidade Federal do Ceará (UFC), Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Universidade de São Paulo (USP) e Instituto Superior de Administração e Economia do Mercosul (ISAE).

Carlos Augusto Chernicharo, **Coordenador Geral**

Marcos von Sperling, **Subcoordenação**

César Mota, **Subcoordenação**

Juliana Calábria Araújo, **Subcoordenação**

<https://etes-sustentaveis.org/>



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (ABES)

Com 55 anos de atuação pelo saneamento e meio ambiente no Brasil, a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) reúne em seu corpo associativo cerca de 10.000 profissionais do setor. A ABES tem como missão ser propulsora de atividades técnico-científicas, político-institucionais e de gestão que contribuam para o desenvolvimento do saneamento ambiental, visando à melhoria da saúde, do meio ambiente e da qualidade de vida das pessoas. A ABES fortalece sua atuação por meio de Câmaras Temáticas (CTs), as quais são compostas por conceituados profissionais brasileiros. As CTs produzem e compartilham conhecimentos técnico-científicos especializados, bem como fomentam discussões nos mais relevantes assuntos inerentes ao setor de saneamento e meio ambiente. O aprofundamento no tema esgotamento sanitário ocorre no âmbito da Câmara Temática de Tratamento de Esgoto (CTTE), que trabalha de forma articulada com a academia, indústria e órgãos de governo.

Alceu Guérios Bittencourt, **Presidente**

Mario Cezar Guerino, **Vice-Presidente**

Marcel Costa Sanches, **Secretário**

Rafael Carvalho de O. Santos, **Secretário Adjunto**

Maria Lucia B. Coelho Silva, **Tesoureira Geral**

Álvaro José Menezes da Costa, **Tesoureiro Adjunto**

Edgard Faust Filho, **Diretor Sul**

Célia Regina Alves Rennó, **Diretora Sudeste**

Marcos Heleno F. Montenegro, **Diretor Centro Oeste**

Vanessa Britto Silveira Cardoso, **Diretora Nordeste**

Haroldo Costa Bezerra, **Diretor Norte**

www.abes-dn.org.br



COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO

A Sabesp é uma sociedade anônima de economia mista fundada em 1973 e atualmente é responsável pelo fornecimento de água, coleta e tratamento de esgotos de 375 municípios do Estado de São Paulo. É considerada uma das maiores empresas de saneamento do mundo em população atendida. São 28,6 milhões de pessoas abastecidas com água e 24,9 milhões de pessoas com coleta de esgotos. A Sabesp é responsável por cerca de 30% do investimento em saneamento básico feito no Brasil. Para o período 2021-2025, planeja investir aproximadamente R\$ 21,0 bilhões, com foco na ampliação da disponibilidade e segurança hídrica, sem prejuízo dos avanços conquistados nos índices de coleta e tratamento de esgotos.

Benedito Braga, **Diretor Presidente**

Adriano Stringhini, **Diretor de Gestão Corporativa**

Osvaldo Garcia, **Diretor Econômico Financeiro e de Relação com Investidores**

Alceu Segamarch Junior, **Diretor de Tecnologia, Empreendimentos e Meio Ambiente**

Ricardo Borsari, **Diretor Metropolitano**

Monica Ferreira do Amaral Porto, **Diretora de Sistemas Regionais**

<http://site.sabesp.com.br>



COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ

Criada em 1963, a Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar) é uma das maiores empresas de saneamento ambiental do Brasil. Tem ampla experiência em pesquisa, desenvolvimento e inovação e busca constantemente a melhoria de seus processos. Tem como compromisso universalizar, de forma sustentável e inovadora, o acesso aos serviços de saneamento ambiental para a população e assim melhorar suas condições de saúde e qualidade de vida.

Claudio Stabile, **Diretor Presidente**

Julio Cesar Gonchorosky, **Diretor de Meio Ambiente e Ação Social**

Sergio Wippel, **Diretor de Operações**

Leura Lucia Conte de Oliveira, **Diretora de Investimentos**

Priscila Marchini Brunetta, **Diretora Administrativa**

Abel Demetrio, **Diretor Financeiro e de Relações com Investidores**

Andrei de Oliveira Rech, **Diretor Jurídico**

Elerian do Rocio Zanetti, **Diretor Comercial**

www.sanepar.com.br/

EQUIPE TÉCNICA

Camila Agner D'Aquino
ABiogás

Gustavo Rafael Collere Possetti
SANEPAR, INCT ETEs Sustentáveis e ABES

Leidiane Mariani
i17/BEP

Jessica Yuki de Lima Mito
i17/BEP

Rosane Ebert Miki
SABESP

Karina Cerqueira Navarro
CIBiogás

Alessandra Freddo
UNIDO/CIBiogás

Daiana Gotardo Martinez
UNIDO/CIBiogás

Alessandro Sanches Pereira
i17/BEP

Associação Brasileira do Biogás (ABiogás).

Potencial de produção de biogás a partir do tratamento do esgoto: perspectivas para a universalização sustentável dos serviços de esgotamento sanitário no Brasil. Publicação elaborada por: ABES, ABiogás, CIBiogás, GEF Biogás Brasil, INCT ETEs Sustentáveis, Instituto 17/Programa de Energia para o Brasil (BEP), Sabesp e Sanepar. São Paulo/SP: ABiogás, 2021.

33 p.

1. Energia. 2. Biogás. 3. Esgoto Sanitário. 4. Mudanças Climáticas.
5. Economia Circular. 6. Desenvolvimento sustentável.

SUMÁRIO EXECUTIVO

.....

A coleta e o tratamento adequados de esgotos sanitários são temas recorrentes na sociedade, devido, sobretudo, aos seus impactos no meio ambiente e na saúde pública. O Governo Federal, desde 2013, tem realizado um esforço coordenado, por meio do Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab) para buscar a universalização desses serviços. No entanto, diversas barreiras têm sido encontradas para o alcance das metas nacionais planejadas.

É nesse cenário que a recuperação do biogás, produto do tratamento anaeróbio, se apresenta como uma oportunidade para o setor de saneamento, tanto por seu valor como produto energético, quanto pelo potencial de mitigação de gases do efeito estufa.

Nesse contexto, esta publicação apresenta uma estimativa do potencial de produção biogás a partir de tratamento de esgotos, considerando o inventário de dados disponíveis no Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS), referente ao ano de 2019 e os cenários de universalização dos serviços de esgotamento sanitário previstos pelo Plansab.

Segundo os resultados obtidos, o Brasil, em 2019, possuía pouco mais de 106 milhões de habitantes atendidos por rede de coleta e tratamento de esgoto, o que resulta em um potencial de produção de 493,4 milhões de Nm³ de biogás. A região Sudeste destacou-se com 71% desse potencial. Já a região Sul, segunda colocada, contou com, aproximadamente 14% do potencial de biogás a partir de esgoto sanitário, no ano de 2019.

Esses 493,4 milhões Nm³ anuais de biogás poderiam suprir o equivalente a 1,18 milhão de MWh/ano em energia elétrica, que representam a demanda elétrica anual de uma cidade com 587 mil residências por ano, ou serem utilizados para a produção de cerca de 375,5 milhões de Nm³/ano de biometano, o que representa a substituição de 347,7 milhões de litros de diesel.

A segunda etapa da nota consistiu na projeção do potencial de biogás para os anos de 2023 e 2033, considerando as metas de crescimento do acesso à coleta e tratamento de esgoto sanitário propostas pelo Plansab, diferentes cenários de adoção de rotas anaeróbias e a projeção do crescimento da população, de acordo com o IBGE.

Os resultados demonstram que o potencial de produção de biogás no setor de saneamento brasileiro pode crescer mais de 85% até 2033, em um cenário otimista. Para o ano de 2023, projetou-se um potencial de produção entre 513 e 674 milhões de Nm³/ano de biogás, a depender do nível de adoção de rotas anaeróbias; enquanto para 2033, este potencial varia entre 682 e 926 milhões de Nm³/ano de biogás.

Por fim, foi levantado o potencial de descarbonização do setor ao se optar pelo aproveitamento energético do biogás produzido. Estimou-se que o aproveitamento energético do biogás proveniente do tratamento de esgoto teria a capacidade de evitar a emissão na ordem de 3.284 e 8.450 Gg CO₂eq/ano, em 2023, e entre 4.139 e 11.442 Gg CO₂eq/ano, em 2033, caso o biogás produzido seja aproveitado energeticamente, o que significa uma redução de até 10,2% (2023) e 13,8% (2033) nas emissões de GEEs no setor de saneamento.

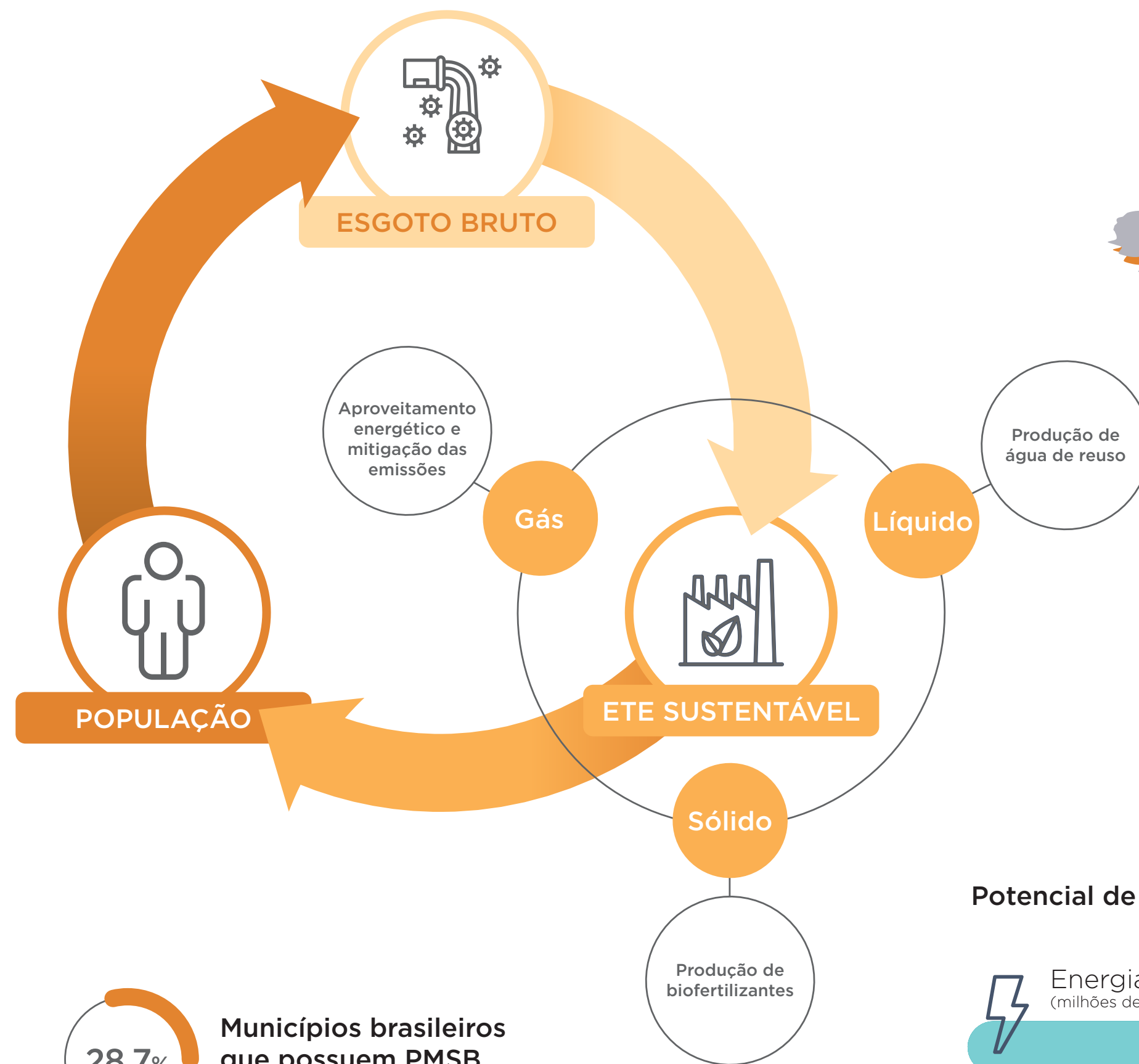
Portanto, a presente publicação traz dados consolidados relevantes em relação à importância do uso energético do biogás no setor de saneamento. Foi demonstrado como o tratamento de esgotos pode ser, ambientalmente, mais sustentável e quantificado seu potencial de geração de produtos de alto valor energético, a partir do biogás, e de mitigação de emissões, impactando, portanto, diretamente na viabilidade econômica de novos projetos. O uso energético do biogás se encaixa nos conceitos de economia circular e nos objetivos de desenvolvimento sustentável, assim, o produto do tratamento de esgoto pode apoiar o processo de universalização do acesso ao saneamento no Brasil.

SUMÁRIO

1	CONTEXTO GERAL	9
1.1	UNIVERSALIZAÇÃO DO ACESSO AOS SERVIÇOS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO E METAS BRASILEIRAS	9
1.2	BIOGÁS COMO FERRAMENTA DE UNIVERSALIZAÇÃO DE ACESSO À COLETA E TRATAMENTO DO ESGOTO SANITÁRIO	12
2	ESTIMATIVA DE POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DO TRATAMENTO DO ESGOTO DO BRASI	14
2.1	PREMISSAS PARA A ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS	14
2.2	POTENCIAL ATUAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS DE ESGOTO SANITÁRIO NO BRASIL	19
2.3	POTENCIAL FUTURO DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DO TRATAMENTO DO ESGOTO	22
	2.3.1 Potencial futuro de produção de biogás a partir do tratamento do esgoto	
	2.3.2 Potencial futuro de produção de biogás a partir do tratamento do esgoto	
	2.3.3 Potencial futuro de produção de biogás a partir do tratamento do esgoto	
	2.3.4 Potencial futuro de produção de biogás a partir do tratamento do esgoto	
	2.3.5 Potencial futuro de produção de biogás a partir do tratamento do esgoto	
2.4	POTENCIAL DE MITIGAÇÃO DE EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA POR MEIO DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS DO TRATAMENTO DE ESGOTO.....	28
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS E DESAFIOS FUTUROS	30
4	APÊNDICES	32

POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DO TRATAMENTO DO ESGOTO

Ciclo Sustentável do Biogás
Economia circular

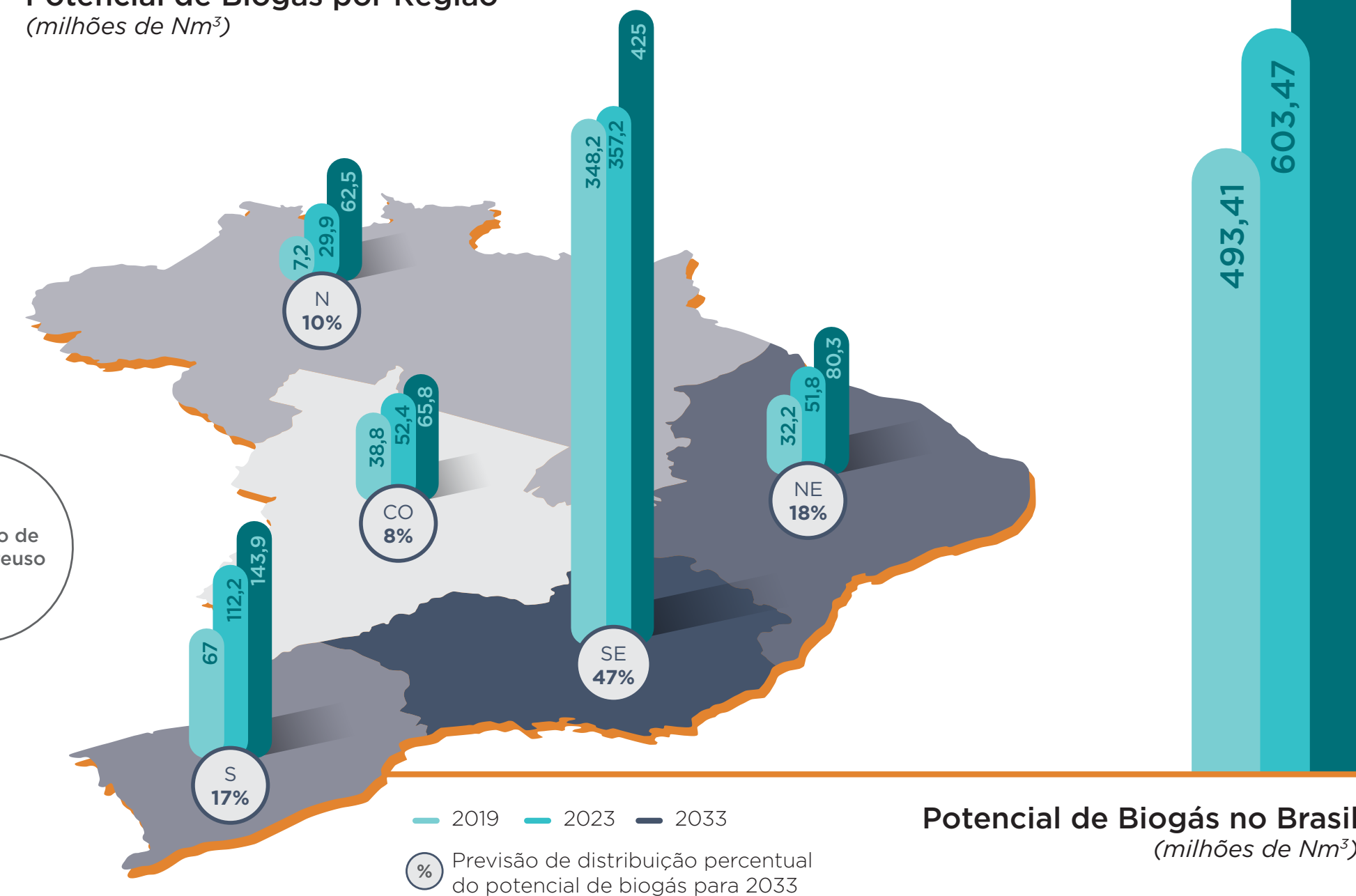


28,7%
Municípios brasileiros que possuem PMSB
(Plano Municipal de Saneamento)

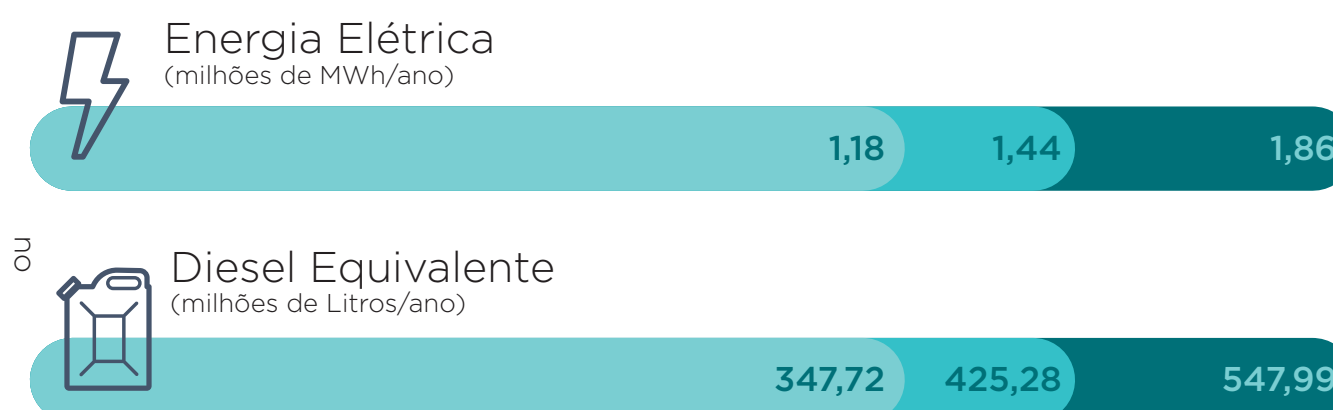
Emissões evitadas
(tCO_{2eq}/ano)



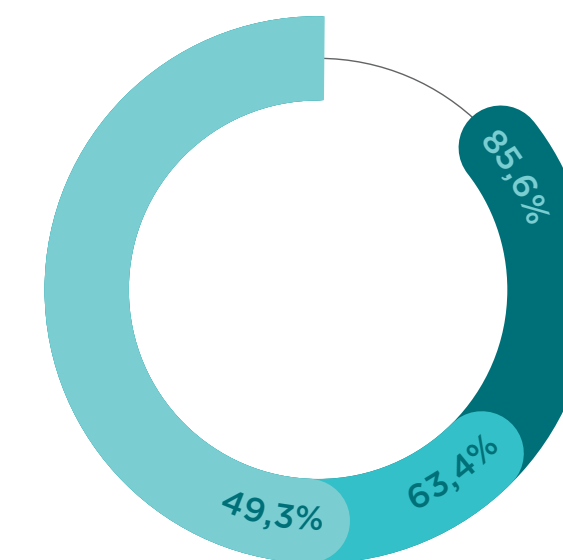
Potencial de Biogás por Região
(milhões de Nm³)



Potencial de produção energética com biogás



Universalização do acesso à coleta e tratamento de esgoto sanitário



INFO-GRÁFICO

1 CONTEXTO GERAL

1.1 UNIVERSALIZAÇÃO DO ACESSO AOS SERVIÇOS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO E METAS BRASILEIRAS

O setor de saneamento brasileiro tem sido cada vez mais cobrado pela sociedade para que melhore os índices de coleta e tratamento de esgotos, em busca da universalização dos serviços. Para tanto, faz-se necessário modificar os atuais mecanismos de atuação e governança, de modo a contribuir para o aprimoramento das condições sanitárias e ambientais de forma sustentável. Isso tem motivado o setor público e prestadores de serviços de saneamento no país a refletirem sobre seus planejamentos estratégicos, levando-os a assumir uma postura mais proativa e responsável.

Para que os avanços aconteçam, além da ampliação dos serviços de coleta de esgoto, são fundamentais o desenvolvimento e a adoção de sistemas de tratamento mais eficientes, com melhor desempenho, que considerem todos os aspectos e fases (líquida, sólida e gasosa) dos processos de tratamento, ou seja, que tenham um olhar integrado em relação à gestão e à proposição de soluções técnicas eficientes e sustentáveis. Essa gestão integrada remete ao conceito de economia circular, que cabe e deve ser usado no setor de saneamento também. Reduzir, reusar, recuperar e reciclar materiais e energia, valorizando recursos e subprodutos, são as premissas da economia circular, respeitando os pilares do desenvolvimento sustentável.

Um dos resultados da Agenda de 2030 e dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), chancelados pela Organização das Nações Unidas (ONU), é a transformação positiva do planeta em relação às atuais condições em que se encontra. Todos os países devem contribuir para o alcance dos 17 ODS e de suas respectivas 169 metas,

os quais foram criados a partir da integração de esforços entre governos e sociedade civil, visando estabelecer prioridades para o desenvolvimento sustentável do planeta. Os ODS são integrados e indivisíveis, e equilibram as três dimensões do desenvolvimento sustentável: a financeira, a social e a ambiental.

Dos 17 ODS, pelo menos sete são impactados pelo acesso à coleta e ao tratamento de esgoto, uma vez que o acesso precário ao saneamento reduz o bem-estar humano e o desenvolvimento social e econômico. O sexto objetivo, que trata, especificamente, do tema “Água limpa e saneamento”, explicita o fato de que duas em cada cinco pessoas no mundo não têm acesso a instalações básicas de higiene e mais de 2 bilhões de pessoas não têm acesso a instalações adequadas para suas necessidades fisiológicas^{1,2}.

De acordo com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) em 2019, no Brasil, apenas 54,1% da população tinha acesso à coleta de esgoto (Figura 1)³. No entanto, nem todo o esgoto coletado é encaminhado para uma estação de tratamento antes de ser enviado para o corpo hídrico receptor. O volume de esgoto tratado representa ainda menos da metade do total gerado. Portanto, a parcela da população atendida com coleta e tratamento de esgoto é baixa, sendo que quase 100 milhões de brasileiros ainda não dispõem desses serviços utilizando, portanto, medidas alternativas para destiná-lo. Em 2019, foram tratados em torno de 4,3 bilhões de m³ de esgotos, ou seja, em torno de 49,1% de todo o esgoto gerado, ou 90% de todo o esgoto coletado.

¹ Nações Unidas. Sustainable Development Goals. Goal 6: Ensure access to water and sanitation for all. Disponível em: <<https://www.un.org/sustainabledevelopment/water-and-sanitation/>>

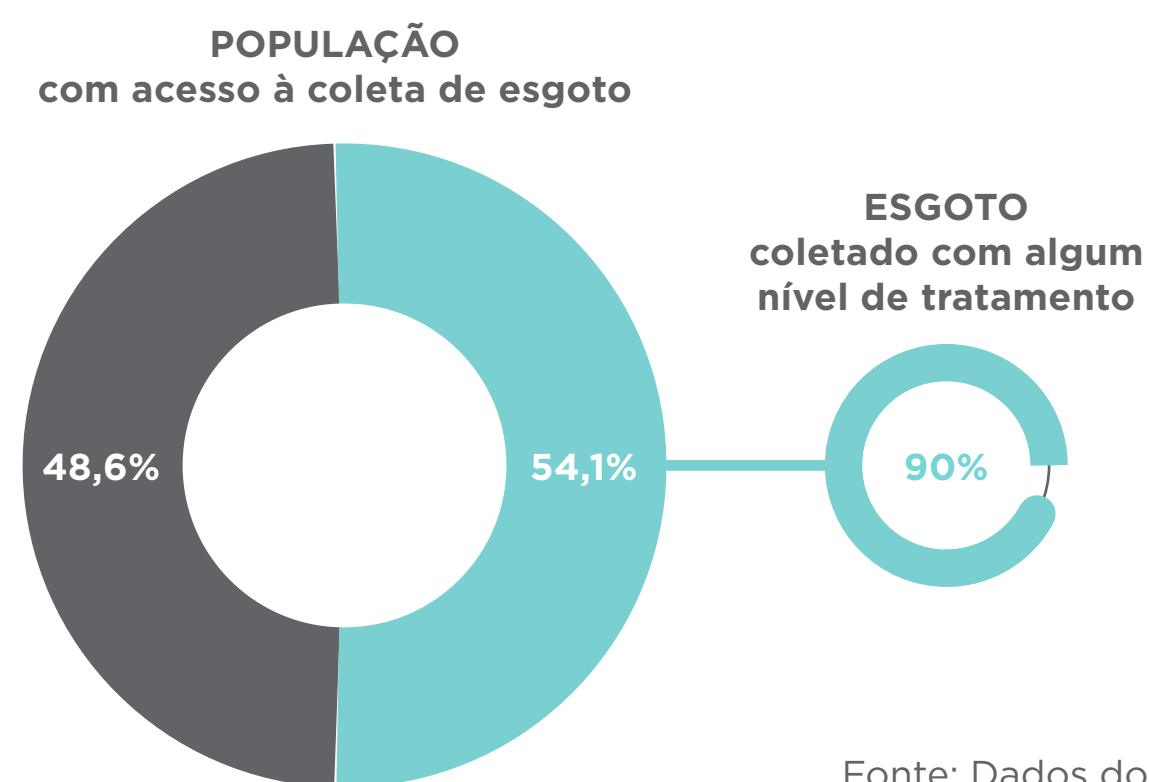
² Organização Mundial da Saúde. (2019) Sanitation. Disponível em: <<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>>

³ SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2019. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. Brasília, 2020. 183 p.

1 CONTEXTO GERAL

COLETA E TRATAMENTO DE ESGOTO SNIS | 2019

Figura 1. Índices de coleta e tratamento de esgoto no Brasil



Fonte: Dados do SNIS, 2019.

Quando se analisa a situação em um âmbito regional, esses números são ainda mais alarmantes, uma vez que as regiões Norte e Nordeste apresentam dados de cobertura de coleta e eficiência de tratamento substancialmente menores que em outras regiões, fator que já foi correlacionado com menores Índices de Desenvolvimento Humano e, maiores taxas de mortalidade (Mattos et al., 2019)⁴. A população não atendida, de forma adequada, pelos serviços de esgotamento sanitário se encontra, predominantemente, nos municípios de pequeno e médio portes e nas regiões mais afastadas dos grandes centros urbanos, onde, geralmente, a densidade populacional é menor e a renda familiar é mais baixa.

Os instrumentos regulatórios, que visam, explicitamente, a universalização do acesso aos serviços de esgoto, são objetos de um debate recente na história do país, sendo a primeira legislação específica a Lei Federal 11.445/2007⁵, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. A partir dessa diretriz foram integrados como objetos do saneamento básico a gestão de água, esgoto, drenagem e resíduos urbanos, e foram definidos papéis importantes na condução das políticas e ações voltadas ao setor.

A Lei 11.445/2007 também deu início a uma série de trabalhos nas esferas Municipais, Estaduais e Federal, sendo a criação do Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab) um dos marcos desse novo ambiente de debates, em busca de instrumentos sólidos para a universalização do acesso ao saneamento. O programa é relevante por seu pioneirismo na discussão aberta e transparente sobre as metas e possibilidades do setor, resultando em cenários regionalizados, que levam em consideração as diferentes visões do saneamento em cada uma das cinco regiões do país.

Assim, o programa define metas de curto, médio e longo prazos para atingir a universalização do acesso ao saneamento, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Metas de saneamento básico nas macrorregiões (em %) de acordo com o Plansab, para os anos de 2023 e 2033⁶.

INDICADORES DO PLANSAB	ANO	META POR REGIÃO DO PAÍS (%)				
		NORTE	NORDESTE	SUDESTE	SUL	CENTRO OESTE
Percentual de domicílios urbanos e rurais servidos por rede coletora ou fossa séptica para as excretas ou esgotos sanitários (E1)	2023	55,1	65,8	92,6	86,0	78,3
	2033	87,0	85,0	96,0	99,0	84,0
Percentual de tratamento de esgoto coletado (E4)	2023	78,1	80,1	76,4	88,4	89,9
	2033	94,0	93,0	90,0	94,0	96,0
Metas percentuais de universalização (E1xE4)	2023	43,0	52,7	70,7	76,0	70,4
	2033	81,8	79,1	86,4	93,1	80,6

⁴ Mattos, Mariana Matias; Aguiar, Raphaela Araújo de; Moreira, Fernanda Deister; Teixeira, Júlio. (2019) VII-006 – Estudo comparativo da correlação entre indicadores sociais, de saúde pública, de saneamento básico e de disponibilidade hídrica no Brasil entre 2000 e 2010. Em: 30º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

⁵ Brasil. (2007). Lei 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2007/lei-11445-5-janeiro-2007-549031-norma-actualizada-pl.pdf>>

⁶ Brasil. (2019). Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB). Coordenação: Ministério do Desenvolvimento Regional. Brasília – DF.

O alcance das metas é monitorado e avaliado anualmente, para a identificação de ajustes e desafios. De acordo com o último Relatório de Avaliação Anual, os resultados observados, para o ano de 2018, estavam desalinhados em relação aos cenários previamente delineados pelo Plansab, fazendo com que a situação atual da universalização fosse deslocada para o cenário “Distante da Universalização”, o que sinaliza risco de não cumprimento das metas. Foi observado que:

- O país chegou próximo da meta (74,3%), sendo que a região Centro-Oeste superou a meta (79,2%) e a região Norte ficou abaixo do valor projetado (35,7%) para o indicador E1.
- O Brasil ficou ligeiramente abaixo do percentual de tratamento do esgoto coletado, sendo que todas as regiões bateram ou ultrapassaram a meta definida no indicador E4, exceto a região Centro-Oeste, que alcançou 86,8% de tratamento do esgoto coletado.

Dentre os desafios para se alcançar as metas, são citados, principalmente: a gestão, uma vez que somente 28,7% dos municípios brasileiros possuem um Plano Nacional de Saneamento Básico (PMSB), e o baixo investimento executado frente ao previsto. No período entre 2014 e 2018, foram investidos R\$ 41 bilhões, ou seja, somente 52,8% do valor previsto. Entre 2003 e 2006, a média anual de investimento em saneamento foi de R\$ 1,57 bilhão, enquanto, para se alcançar a meta de universalização, seriam necessários mais de R\$ 350 bilhões em novos investimentos⁷, ou seja, um investimento anual 14 vezes maior do que o realizado entre 2003 e 2006.

Recentemente, a Lei 14.026/2020⁸ estabeleceu um novo marco regulatório do saneamento básico para o Brasil. No entanto, ainda há pouco entendimento em relação às ações efetivas de alcance das metas estabelecidas.

O caminho à universalização passa, fundamentalmente, pelo domínio de diferentes configurações de sistemas de coleta e tratamento de esgoto e de tecnologias apropriadas aos diferentes cenários regionais existentes. Assim, acredita-se ser possível promover modelos técnicos e de gestão eficientes, que tornem os prestadores de serviços

cada vez mais fortes e capacitados, frente ao ritmo de competitividade estabelecido.

Para que seja possível garantir não apenas o acesso à coleta e tratamento de esgoto, mas também à qualidade e à eficiência esperadas, a tendência é a adoção de processos unitários físicos, biológicos e químicos, que possibilitem a inserção do aproveitamento energético, recuperação e reaproveitamento de subprodutos gerados, quando viável, agregando características inerentes à economia circular e à sustentabilidade de sistemas, sempre pautadas na inovação.

Esses conceitos convergem com as Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto (ETEs Sustentáveis), que são aptas a transformar o esgoto em um recurso com valor para a sociedade, de forma sistemática, integrada e sustentável, o que difere da visão da economia linear, segundo a qual o esgoto sanitário é somente um passivo ambiental a ser tratado^{9,10}. A percepção desse potencial de recuperação de recursos provenientes do esgoto está associada ao conceito de ciclo de vida, e sua implementação contribui para a universalização sustentável dos serviços de esgotamento sanitário no Brasil.

⁷ KPMG. (2020). Quanto custa universalizar o saneamento no Brasil? Disponível em: <<https://home.kpmg/br/pt/home/insights/2020/06/quanto-custa-universalizar-o-saneamento-no-brasil.html>>

⁸ BRASIL. LEI Nº 14.026, DE 15 DE JULHO DE 2020. (2020)

⁹ Possetti, G. R. C.; Requião, G. M. O futuro do saneamento na valorização do esgoto. Portal Saneamento Básico (2018). Disponível em: <https://www.saneamentobasico.com.br/saneamento-valorizacao-esgoto/>.

¹⁰ Bressani-Ribeiro, Thiago; Mota, Cesar; Chernicharo, Carlos. Brazilian boost for a circular sanitation paradigm shift. Source (2020). Disponível em <https://www.thesourcemagazine.org/brazilian-boost-for-a-circular-sanitation-paradigm-shift/>.

1.2 BIOGÁS COMO FERRAMENTA DE UNIVERSALIZAÇÃO DO ACESSO À COLETA E TRATAMENTO DO ESGOTO SANITÁRIO

Quando a opção de tratamento do esgoto é por via anaeróbia, ocorre a formação de biogás, composto principalmente por metano (CH_4). O metano é um Gás de Efeito Estufa (GEE) com potencial de aquecimento global (GWP) cerca de 28 vezes maior que o gás carbônico (CO_2). O metano, contudo, possui significativo potencial energético. Logo, o aproveitamento energético desse gás pode ser uma maneira eficiente de produzir energia renovável e, ao mesmo tempo, mitigar impactos ambientais vinculados às mudanças climáticas. A energia química presente no biogás pode ser convertida em energia elétrica, térmica ou mecânica.

Apesar de não estar explicitamente citado no Plansab, o biogás já é amplamente conhecido pelas vantagens do seu aproveitamento energético. Especificamente no tratamento de esgoto, os seguintes pontos podem ser citados:

- **Redução da emissão de GEEs e de particulados, sendo, portanto, um aliado no combate às mudanças climáticas;**
- **Melhoria na sustentabilidade ambiental, social e financeira das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE);**
- **Mitigação da emissão de maus odores;**
- **Transformação de um passivo ambiental em um ativo energético, que pode ser utilizado na produção descentralizada de energia elétrica, energia mecânica, energia térmica e/ou biocombustível;**
- **Melhoria na qualidade dos serviços prestados no setor de saneamento;**
- **Fácil escalabilidade, permitindo a produção descentralizada em diversas escalas;**
- **Promoção de uma economia circular no setor, com impactos positivos na saúde da população em geral;**
- **Incentivo ao desenvolvimento regional e de uma cadeia de suprimentos dedicada;**
- **Acesso a linhas de créditos específicas para financiamento.**

¹¹ IPCC. Green House Gas Protocol. 2014. Global Warming Potential Values: Fifth Assessment Report (AR5).

¹² Brasil. (2015) Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. PROBIOGÁS. Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto. Organizadores: Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ). Brasília, DF.





Para alcançar o objetivo traçado no Plansab, o Brasil ainda tem um longo caminho pela frente, que passa, necessariamente, pelo direcionamento eficiente de investimentos, com o objetivo de ampla cobertura, eficaz e com o menor impacto possível para o consumidor final. É nesse ponto que o biogás se apresenta como uma ferramenta para a universalização, uma vez que é uma alternativa de redução da despesa operacional, notadamente associadas ao consumo de energia elétrica e ao gerenciamento do lodo.

O biogás pode ser aplicado na geração de energia elétrica, na cogeração de energia elétrica e térmica, na geração de energia térmica para secagem de lodo ou para aquecimento de reatores e/ou na produção de biometano para alimentação de frota própria ou injeção na rede de gás natural. Assim, o biogás, em alguns casos, pode representar uma receita acessória para os prestadores de serviços de saneamento.

Destacam-se na produção de biogás a partir do tratamento de esgoto sanitário¹³: os reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) e os digestores de lodo. Os reatores UASB são, normalmente, aplicados no tratamento primário do esgoto sanitário, conhecido por seu baixo tempo de residência e alta concentração de metano. Os digestores de lodo, por sua

vez, são aplicados no tratamento do lodo, gerado em processos aeróbios de tratamento de esgoto sanitário, com o objetivo de estabilizá-lo.

Além de propiciar redução dos custos operacionais, o biogás é um aliado relevante na redução dos impactos ambientais do gerenciamento de resíduos e esgotos urbanos. Para garantir esse impacto positivo de redução de emissões de GEEs nas ETEs, algumas medidas são necessárias, tais como uso de queimadores eficientes, cobertura de tanques e manutenção adequada do sistema, de modo a reduzir perdas de biogás dos reatores^{14,15}. Além disso, quando convertido em energia, é recomendável a aplicação de sistemas eficientes de conversão, como motores de combustão interna com pelo menos 38% de eficiência elétrica, para produção de energia elétrica, ou a utilização de sistemas de purificação de baixa perda de metano, quando da produção de biometano, a fim de se obter resultados melhores no abatimento de emissões.

Isto posto, o objetivo desta publicação é apresentar uma estimativa do potencial de produção de biogás a partir de tratamento de esgotos, considerando-se o inventário de dados disponíveis no (SNIS) referente ao ano de 2019, e os cenários de universalização dos serviços de esgotamento sanitário previstos no Plansab.

¹³ Brasil. (2015) Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. PROBIOGÁS. Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto. Organizadores: Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ). Brasília, DF.

¹⁴ POSSETTI, G. R. C.; RIETOW, J. C.; COSTA, F. J. O. G.; WAGNER, L. G.; LOBATO, L.C.S.; BRESSANI-RIBEIRO, T.; MELO, D. F.; REIS, J.A; CHERNICHARO, C. A. L. Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário - Parte 5: Biogás e emissões fugitivas de metano. Revista DAE, v. 66, p. 73-89. 2018.

¹⁵ SANTOS, J. M. B; SOUZA, C. L.; BRANDT, E. M. F.; POSSETTI, G. R. C.; CHERNICHARO, C. A. L. Avanço nas ferramentas e técnicas para estimativa de produção e tratamento de biogás em ETEs com reatores anaeróbios Nota Técnica 1 - Tópicos de interesse. Cadernos Técnicos Eng Sanit Amient, v. 1, n. 1, p. 5-19, 2021.

2 ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DO TRATAMENTO DO ESGOTO NO BRASIL

2.1 PREMISSAS PARA A ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS

O percurso metodológico adotado para a elaboração desta NT está sumarizado a seguir.

ETAPA 1

POTENCIAL ATUAL

● **Potencial de biogás de esgoto sanitário.**

Determinação de metodologia de cálculo de potencial de biogás considerando diferentes rotas tecnológicas.

● **Determinação do cenário atual.**

Levantamento de dados SNIS com acesso ao tratamento de esgoto, em 2019.

Levantamento de dados de proporção do uso de tecnologias que usam biogás.

Inventário das ETEs no Brasil que já usam biogás para fins energéticos.

Cálculo de potencial de biogás a partir do esgoto coletado e tratado por rotas anaeróbias em 2019.

ETAPA 2

POTENCIAL FUTURO

● **Meta Plansab.**

Levantamento das metas Plansab para universalização do acesso ao saneamento nos anos de 2023 e 2033.

● **Projeção da população.**

Coleta de dados IBGE sobre previsão da população, por região, para os anos de 2023 e 2033.

● **Método de estimativa de biogás.**

Determinação de metodologia de cálculo de potencial de biogás a partir do tratamento de esgoto sanitário independente da rota tecnológica adotada

● **Cenários futuros.**

Determinação de cenários de baixa, média e alta adoção de rotas anaeróbias, levando em consideração o cenário atual

● **Potencial futuro de biogás de esgoto sanitário.**

Cálculo do potencial de biogás, por região, para os anos de 2023 e 2033, levando em consideração as metas do Plansab, projeções de população do IBGE e diferentes cenários futuros

ETAPA 3

CONVERSÃO ENERGÉTICA E MITIGAÇÃO DE GEEs

● **Potencial energético.**

Cálculo potencial de conversão do biogás em energia elétrica, térmica ou biometano baseado em premissas de conversão encontradas a nível de mercado.

● **Potencial de mitigação de emissões de gases do efeito estufa.**

Cálculo do potencial de redução de emissões considerando diferentes cenários de eficiência de queima.

2 ESTIMATIVA DE POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DO TRATAMENTO DO ESGOTO DO BRASIL

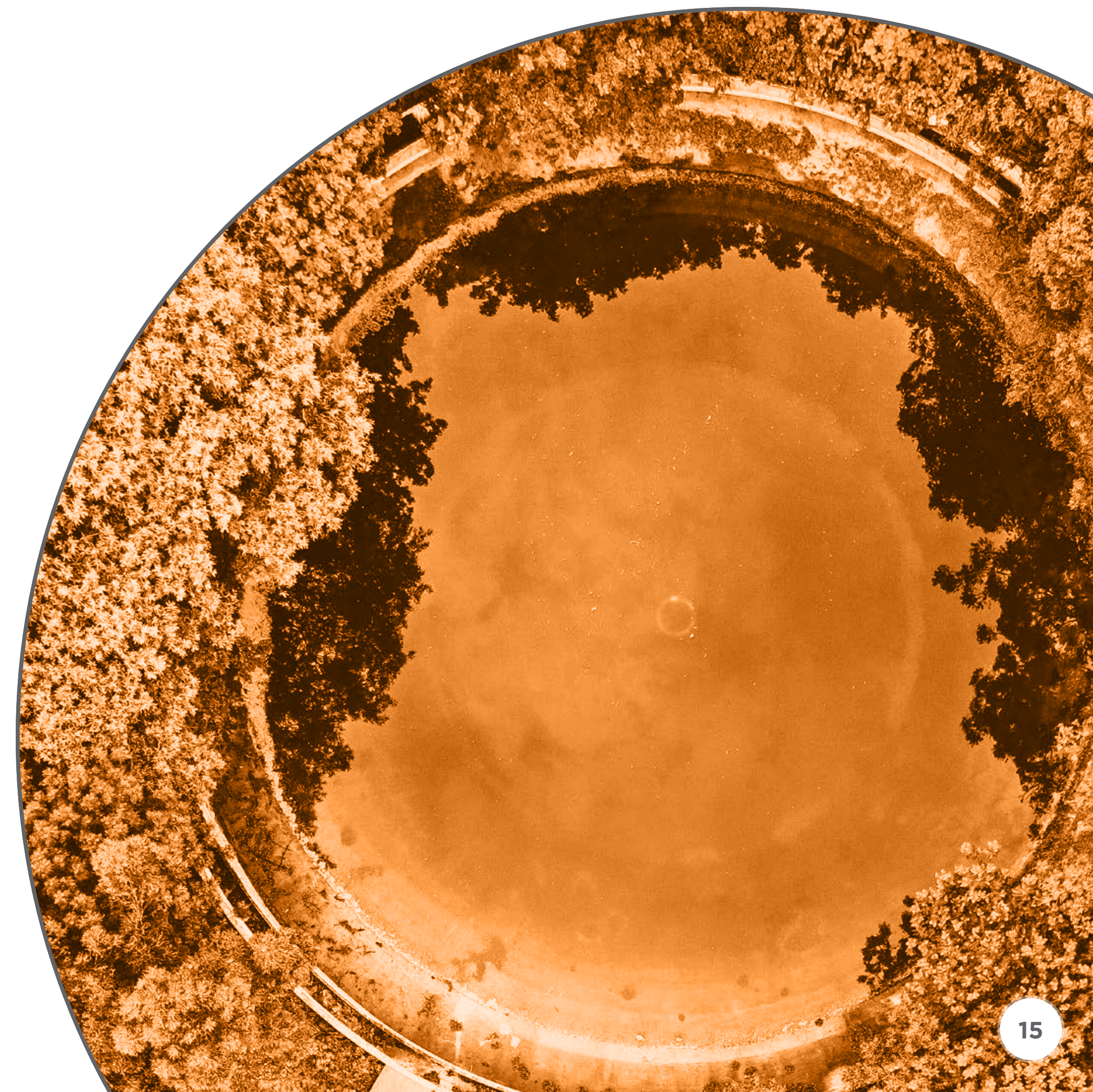
Há, basicamente, três etapas envolvidas na construção desta publicação. A primeira etapa consiste em um diagnóstico do cenário atual, com base no ano de 2019, a partir da população atendida por coleta e tratamento de esgoto, de acordo com dados do SNIS. Na segunda etapa é realizado o cálculo de potencial de biogás, levando em consideração as metas de universalização do Plansab, apresentadas na Tabela 1. O potencial de produção de biogás a partir de esgoto foi estimado com base no volume de esgoto tratado por estado do Brasil, segundo dados coletados do SNIS. Por fim, a terceira etapa trata de conversões, tanto em termos de energia quanto de emissões evitadas de GEE.

A projeção para os anos de 2023 e 2033 também levou em consideração diferentes cenários de adoção de rotas anaeróbias, de forma regionalizada, ou seja, uma porcentagem do esgoto total que será tratado pelas rotas tecnológicas aqui consideradas (Tabela 2).

A partir do diagnóstico da difusão de rotas anaeróbias em 2019, sugeriram-se cenários de baixo atendimento por rotas anaeróbias (Cenário A), médio atendimento por rotas anaeróbias (Cenário B) e elevado atendimento por rotas anaeróbias (Cenário C). Os cenários consideram os estados que compõem cada região, sendo excluídos os valores máximos e mínimos em situações muito extremas.

Tabela 2. Cenários definidos para diferentes porcentagens da população atendida com reatores UASB ou digestores de lodos, para os anos de 2023 e 2033.

REGIÃO DO PAÍS	CENÁRIO A CONSERVADOR	CENÁRIO B MÉDIO	CENÁRIO C OTIMISTA
Centro-oeste	65%	80%	95%
Nordeste	25%	31%	65%
Norte	40%	66%	95%
Sudeste	94%	95%	99%
Sul	85%	88%	95%



2 ESTIMATIVA DE POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DO TRATAMENTO DO ESGOTO DO BRASIL

Os dados sobre a população atendida com coleta e tratamento de esgoto foram obtidos do SNIS, ano base 2019, bem como, o tipo de tecnologia adotada em cada estado (Tabela 3).

Tabela 3. População atendida com coleta e tratamento de esgoto em anos de 2019 e a cobertura de tecnologias passíveis de produção de biogás.

REGIÃO	ESTADO	POPULAÇÃO ATENDIDA COM COLETA E TRATAMENTO DE ESGOTO	% DA POPULAÇÃO ATENDIDA COM UASB	% DA POPULAÇÃO ATENDIDA COM DIGESTÃO DE LODO	REGIÃO	ESTADO	POPULAÇÃO ATENDIDA COM COLETA E TRATAMENTO DE ESGOTO	% DA POPULAÇÃO ATENDIDA COM UASB	% DA POPULAÇÃO ATENDIDA COM DIGESTÃO DE LODO
Norte	Acre	87.950	68%	30%	Centro-oeste	Distrito Federal	2.605.735	54%	45%
	Amazonas	441.122	5%	50%		Goiás	3.963.522	32%	30%
	Amapá	59.574	4%	0%		Mato Grosso do Sul	1.431.033	55%	40%
	Pará	411.795	40%	40%		Mato Grosso	1.113.878	30%	35%
	Roraima	95.838	65%	25%		Alagoas	678.873	15%	10%
	Rondônia	365.286	20%	20%		Bahia	5.599.285	28%	20%
	Tocantins	457.613	65%	30%		Ceará	2.249.423	15%	10%
	Espírito Santo	2.118.133	17%	70%		Maranhão	747.063	26%	1%
Sudeste	Minas Gerais	14.608.121	50%	44%	Nordeste	Paraíba	1.333.321	10%	2%
	Rio de Janeiro	9.217.663	7%	88%		Pernambuco	2.526.141	45%	20%
	São Paulo	40.862.901	10%	87%		Piauí	509.973	5%	0%
Sul	Paraná	8.146.788	65%	30%	Rio Grande do Norte	869.766	20%	15%	
	Rio Grande do Sul	3.607.906	40%	45%	Sergipe	471.184	20%	15%	
	Santa Catarina	1.775.902	45%	40%	Brasil	106.355.789	26%	59%	

2 ESTIMATIVA DE POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DO TRATAMENTO DO ESGOTO DO BRASIL

Para os anos de 2023 e 2033, foram empregadas as metas de universalização para estimar, com base nas projeções populacionais disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população atendida por coleta e tratamento de esgoto (Tabela 4). Optou-se por uma abordagem regional ao invés de estadual, de acordo com as metas propostas no Plansab.

Tabela 4. Projeção da população atendida com coleta e tratamento de esgoto nos anos de 2023 e 2033.

REGIÃO DO PAÍS	2023	2033
Centro-Oeste	12.036.498	15.121.205
Nordeste	30.687.255	47.580.612
Norte	8.328.223	17.392.938
Sudeste	64.242.173	82.199.216
Sul	23.416.865	30.049.649
TOTAL	138.711.013	192.343.620

Como é possível observar pelos dados apresentados nas Tabelas acima, a região Sudeste, no ano de 2019, já atingiu a meta proposta pelo Plansab para o ano de 2023, uma vez que, atualmente, mais de 65 milhões de pessoas já são atendidas por coleta e tratamento de esgoto.

Para estimar o potencial de produção de biogás a partir de lodo de esgoto produzido em processos de lodos ativados e dos reatores UASB no Brasil, o presente estudo utilizou a seguinte equação:

$$P_{Biogás} = (N^{\circ} Habitantes \times \% Anaeróbio \times FC_{Biogás})$$

Em que:

$P_{Biogás}$: Potencial de produção de biogás (Nm³ biogás/ano)

$N^{\circ} Habitantes$: População atendida por coleta e tratamento de esgoto (número de habitantes)

$\% Anaeróbio$: Percentual da população atendida por sistemas anaeróbios de tratamento (%)

$FC_{Biogás}$: Fator de produção de biogás em ETEs (Nm³ biogás/hab.ano)

Para o potencial de produção de biogás, foram utilizados os dados compilados pelo PROBIOGÁS (2015)¹⁶, levando em consideração o cenário mais comum no Brasil. Calculou-se uma média de produtividade, tendo em vista uma situação típica média para os reatores UASB e uma situação de baixa produtividade de biogás, considerando um lodo com idade de 8 dias, em condições de digestão anaeróbia. A Tabela 5 sumariza os parâmetros adotados para a estimativa do potencial de produção de biogás por rotas anaeróbias.

Tabela 5. Parâmetros considerados nas estimativas do potencial de produção de biogás para tecnologias anaeróbias (reator UASB e digestor de lodo).

PRODUÇÃO UNITÁRIA DE METANO (NLCH ₄ /hab.dia)	PRODUÇÃO UNITÁRIA DE BIOGÁS (Nm ³ /hab.ano)	TEOR DE METANO (%CH ₄)
10,2	5,4	69%

¹⁶ Brasil. (2015) Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. PROBIOGÁS. Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto. Organizadores: Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ). Brasília, DF.

2 ESTIMATIVA DE POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DO TRATAMENTO DO ESGOTO DO BRASIL

Para o inventário das ETEs no país que já produzem biogás e fazem algum tipo de aplicação energética, foram levantados dados de localização, volume de produção e uso final, a fim de ser construído o mapa apresentado no panorama atual.

O biogás produzido tem diversas aplicações energéticas com potencial valor agregado em uma ETE. Dentre as aplicações mais comuns estão a autoprodução de energia elétrica, energia térmica e cogeração e, sendo mais recentemente, foi ampliada a utilização do biogás nesses sistemas para a produção de biometano, biocombustível equivalente ao gás natural. O potencial de biogás, tanto para o cenário atual (2019) quanto para as projeções futuras (2023 e 2033), foi quantificado o potencial de produção de energia (elétrica, térmica ou biocombustível) e o potencial de mitigação de emissões de GEEs. Para tanto, foram utilizados fatores de conversão conservadores para as eficiências de conversão, tendo em vista a realidade brasileira. Esses dados estão apresentados na Tabela 6.

Os dados de cálculo de emissões de GEEs levaram em consideração os seguintes cenários: a) emissões brutas, provenientes de rotas precárias de tratamento de esgoto, no qual o biogás produzido não é queimado, mas liberado diretamente para o meio ambiente; b) emissões evitadas por meio de rotas comumente encontradas no país, nas quais existem sistemas de queima de metano com 50% de eficiência; e, c) emissões evitadas via rotas eficientes, com sistemas de queima controlada, seja para aproveitamento energético do biogás ou destruição em sistema enclausurado com alta eficiência (95% de eficiência de conversão de metano).

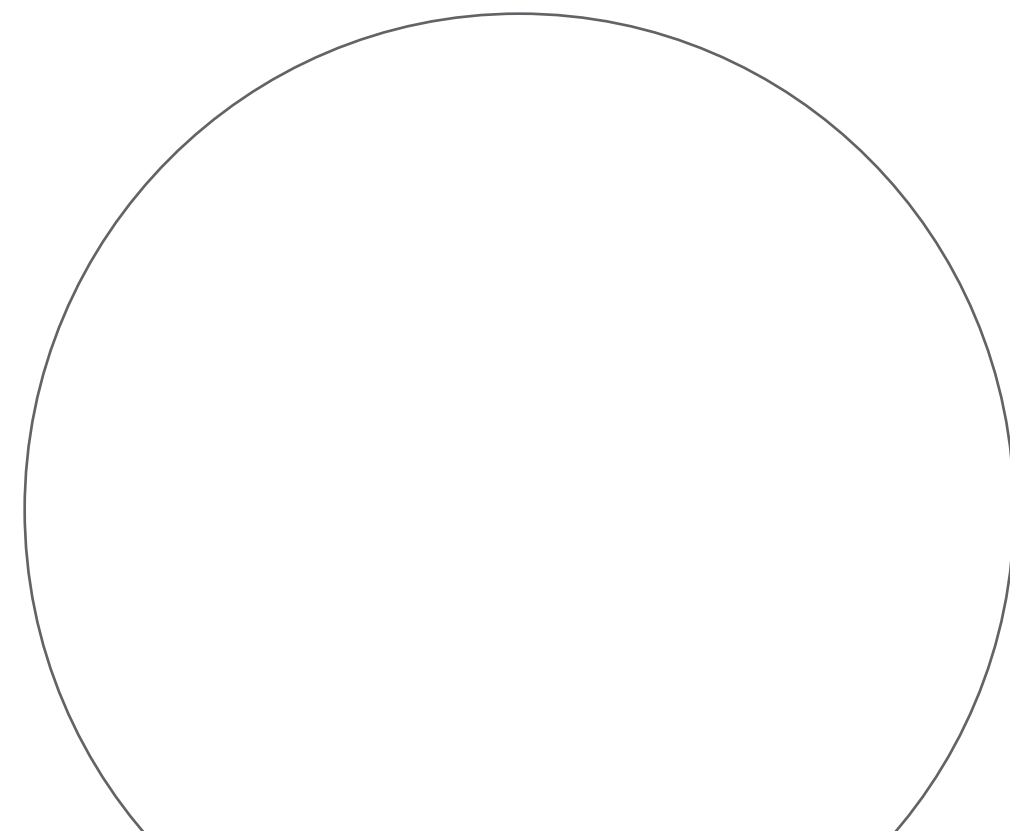
Tabela 6. Premissas para conversão do biogás em energia elétrica, térmica e biometano, bem como para estimativa do potencial de mitigação de emissões de gases de efeito estufa.

ENERGIA ELÉTRICA	
Potencial elétrico (kWh/Nm ³ CH ₄)	Eficiência de conversão
9,97	35%

ENERGIA TÉRMICA	
Potencial térmico (kWh/Nm ³ CH ₄)	Eficiência de conversão
9,97	40%

BIOMETANO	
Fator Combustível (Nm ³ CH ₄ /Nm ³ biometano)	
0,9	

EMISSIONES DE GEEs	
GWP (GgCO ₂ eq/tCH ₄)	Densidade do metano (Gg/m ³)
0,028	6,7 x 10 ⁻⁷



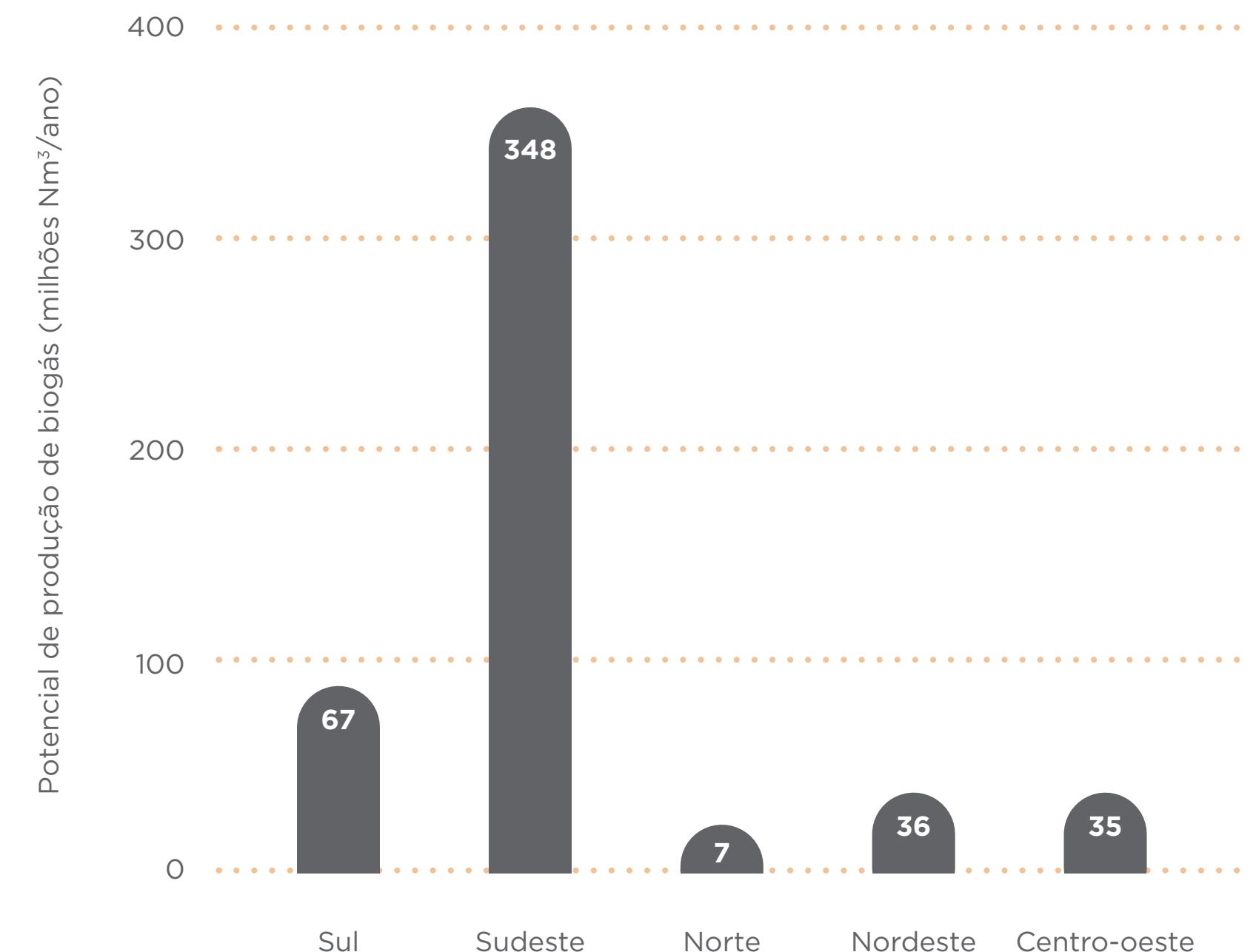
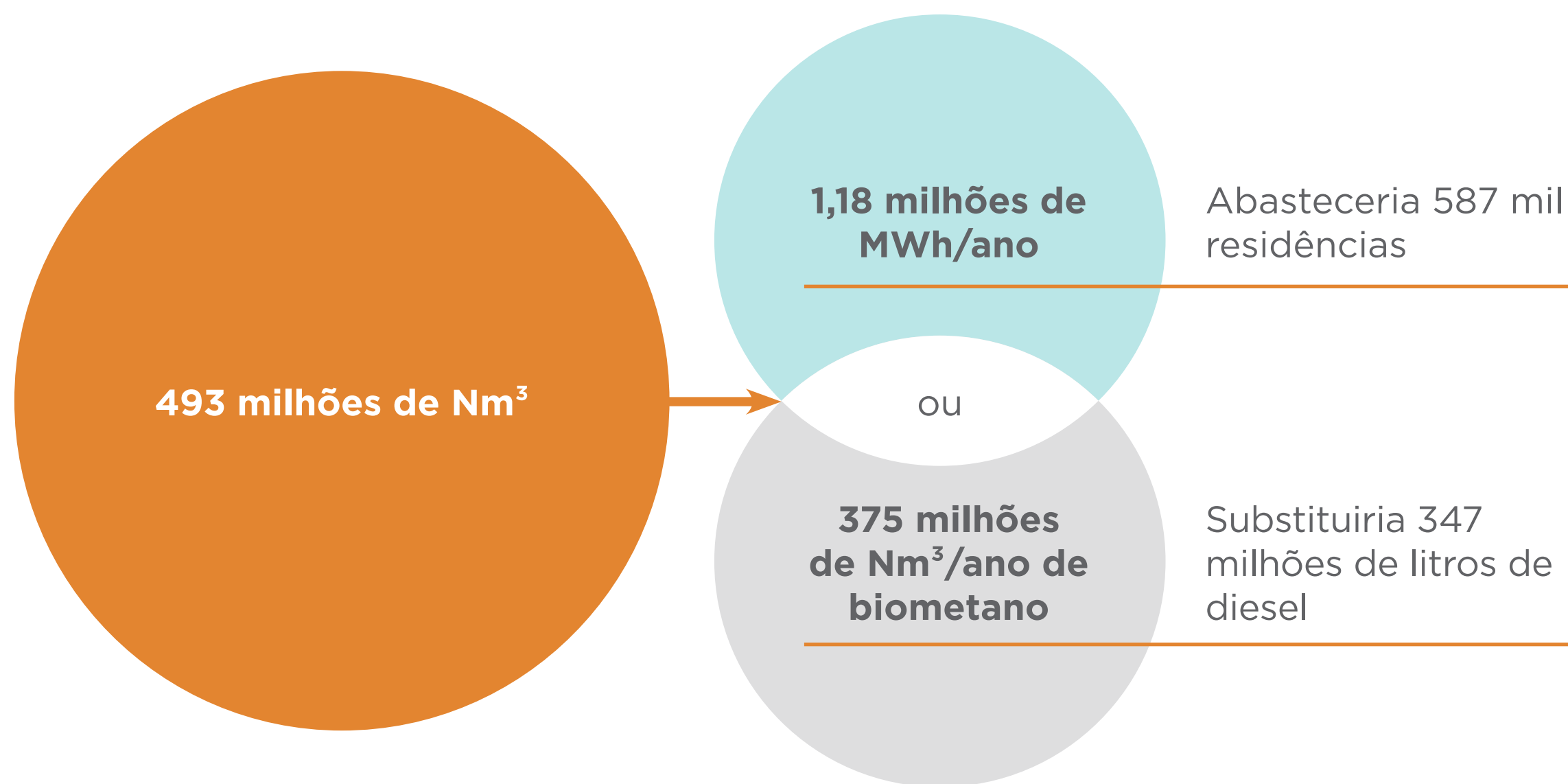
2.2 POTENCIAL ATUAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DO ESGOTO SANITÁRIO NO BRASIL

Ao se aplicar as premissas e metodologia apresentadas, estima-se que o Brasil, em 2019, tinha um potencial de produção de 493 milhões de Nm^3 de biogás no ano, a partir do esgoto coletado e tratado de 106 milhões de habitantes. Esses 493 milhões Nm^3 anuais de biogás poderiam suprir o equivalente a 1,18 milhão de MWh/ano em energia elétrica ou 375 milhões de Nm^3 /ano de biometano, que representam a demanda elétrica anual de uma cidade com 587 mil residências ou a substituição de 347 milhões de litros de diesel. A região Sudeste se destacou com 71% desse potencial, sendo que São Paulo representa 43% do total regional. A região Sul, segunda colocada, contou com aproximadamente 13% do potencial brasileiro de 2019 (Figura 3).

Apesar do grande potencial, somente 3,92% é aproveitado atualmente, ou seja, 22,9 milhões Nm^3 de biogás, em 10 plantas espalhadas por 5 estados brasileiros (Figura 4). As regiões Sul e Sudeste, além de serem detentoras do maior potencial de produção de biogás de todas as regiões, apresentam um panorama diferenciado para o aproveitamento energético do biogás a partir do esgoto sanitário. Atualmente, ambas as regiões lideram o ranking de unidades produtoras, além de contarem com políticas públicas específicas para o incentivo da produção e uso do biogás. Nesse contexto, a expansão dessa tecnologia se torna mais natural, ao passo que os desafios e as vantagens das rotas anaeróbias já estão disseminados.

Figura 3. Potencial de biogás de esgoto sanitário do Brasil em 2019.

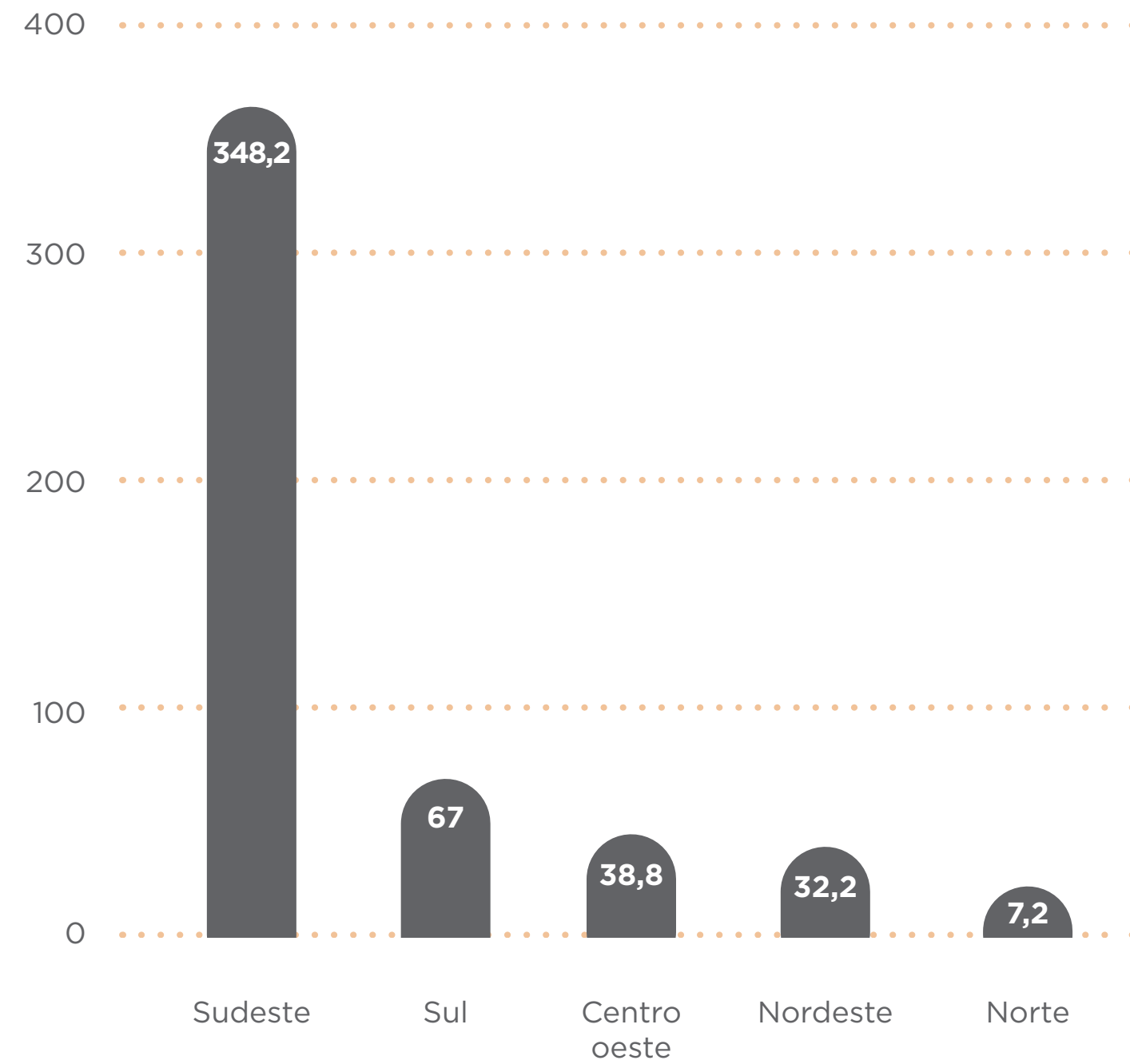
Potencial de ETEs no Brasil em 2019



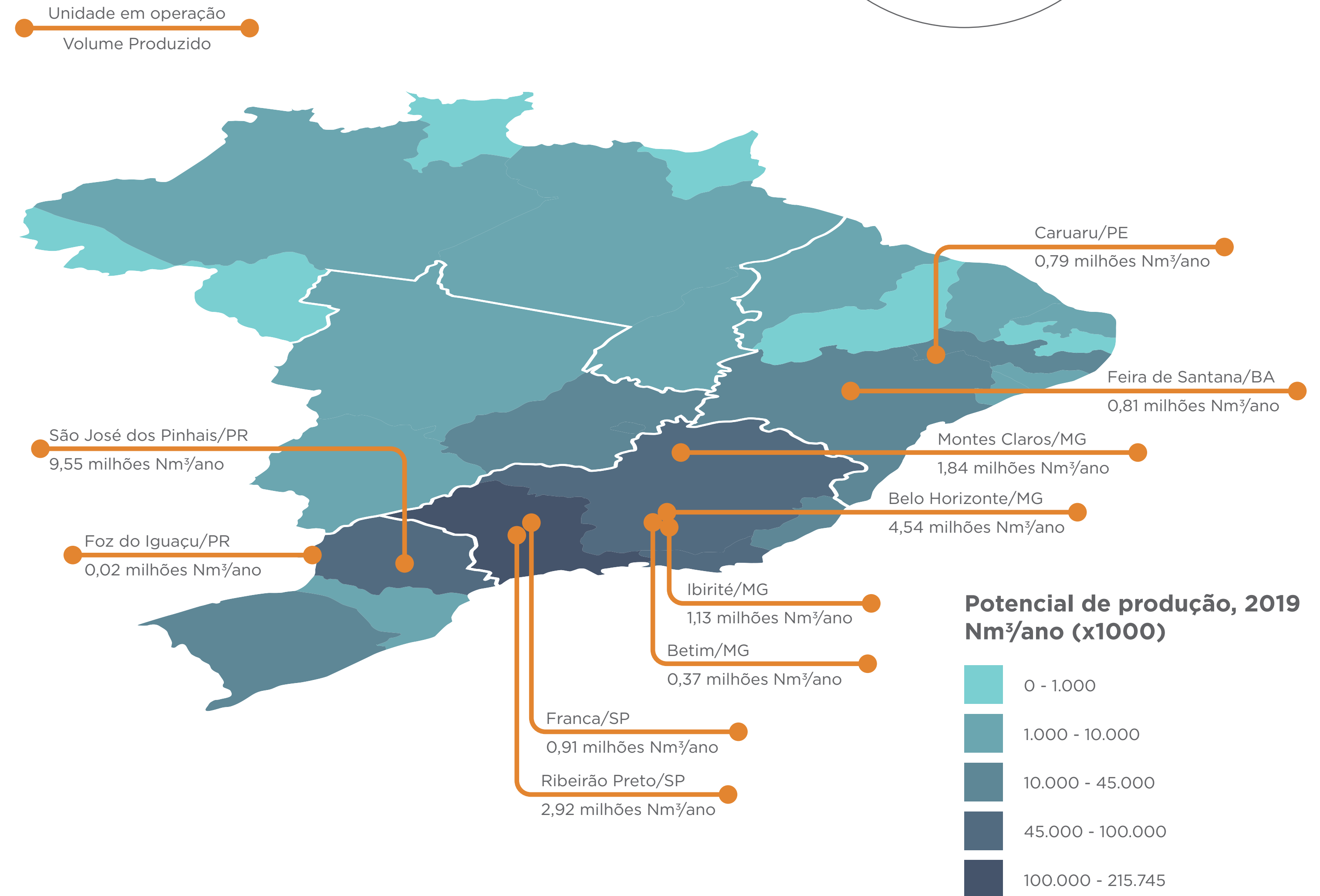
2 ESTIMATIVA DE POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DO TRATAMENTO DO ESGOTO DO BRASIL

Os estados do Paraná e Minas Gerais são líderes no aproveitamento energético do biogás de ETEs, com 4 das 5 maiores plantas em operação, o que representa 59% do aproveitamento total.

Potencial de produção, 2019
milhões Nm³/ano

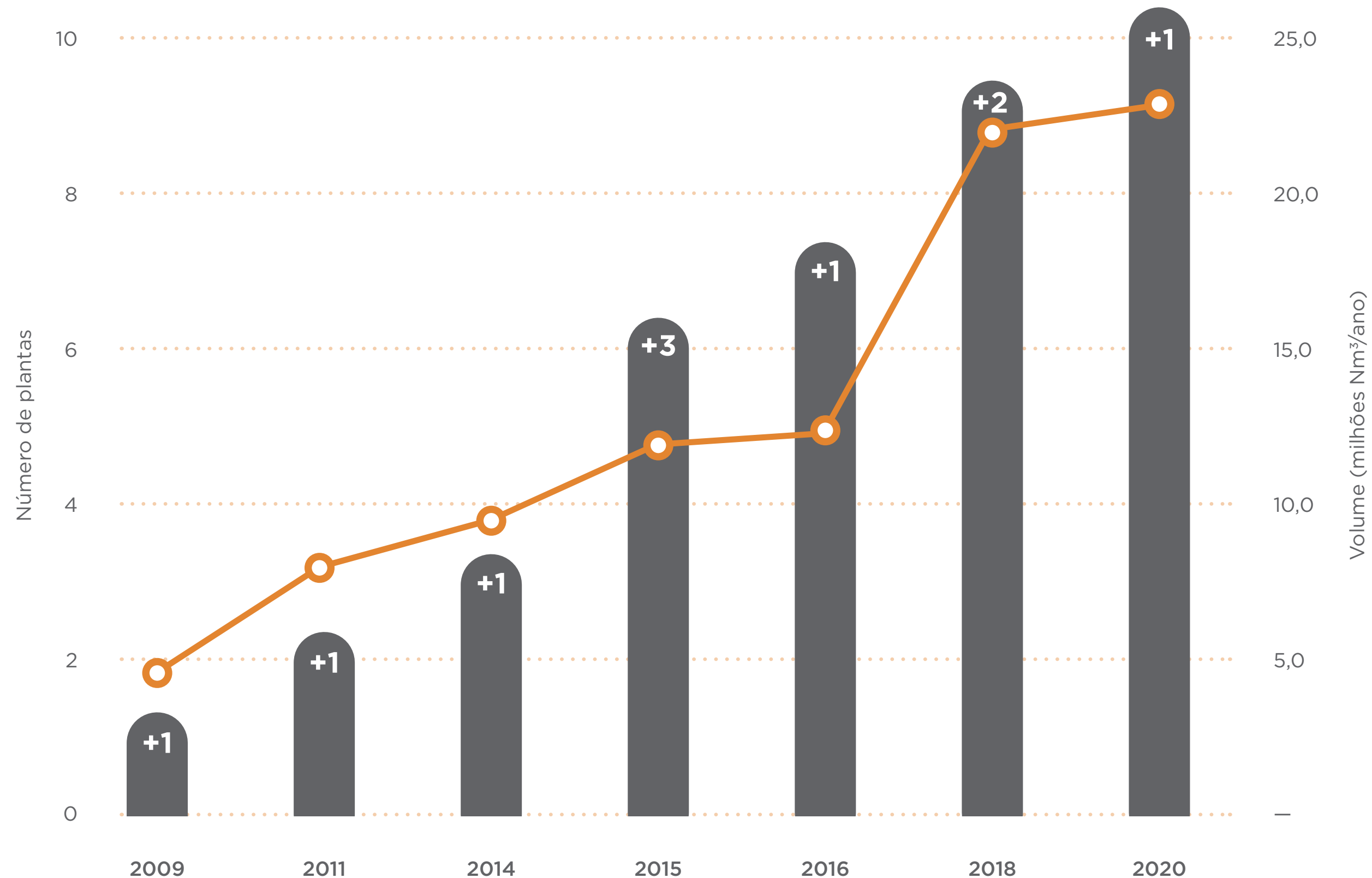


Produção de biogás, 2020
Nm³/ano



2 ESTIMATIVA DE POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DO TRATAMENTO DO ESGOTO DO BRASIL

Figura 5. Número de plantas de biogás e volume de biogás produzido entre 2009 e 2020 em ETEs.



Fonte: CIBiogás, 2021

O número de plantas de biogás tem crescido gradativamente nos últimos anos (Figura 5). Segundo dados do Biogasmapp¹⁷, em 2020, havia 10 plantas em operação no Brasil, com produção e aproveitamento energético do biogás, sendo 9 ETEs e 1 usina de codigestão de lodo de esgoto e resíduos de alimentos. Em termos da rota adotada, 4 produzem biogás a partir da digestão de lodo ou de sua codigestão, enquanto 6 plantas operam por reator anaeróbio do tipo UASB ou similar.

Cerca de 83% do volume de biogás produzido é destinado à geração de energia elétrica em unidades com potência instalada média de 1 MW. São gerados em torno 24 MWh de energia elétrica por ano no Brasil a partir de ETEs. Já para a produção de biometano, são destinados apenas 4% do biogás gerado no país em ETEs, o que corresponde a 912.500 Nm³/ano de biogás sendo convertido a biometano¹⁸. A única planta que purifica biogás de esgoto sanitário para a produção de biometano está localizada em Franca, São Paulo.

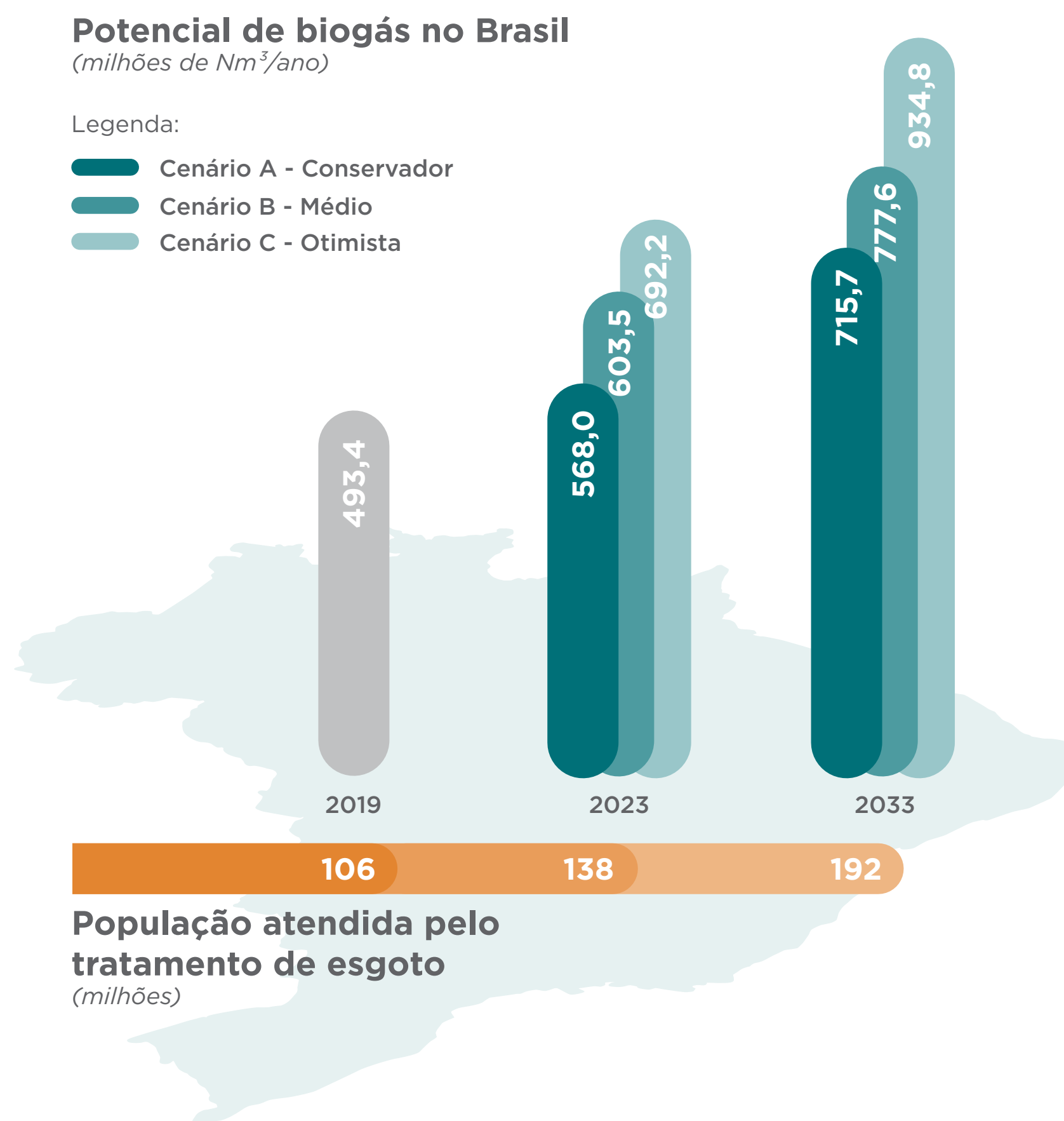
¹⁷ Ferramenta que visa integrar informações do setor de biogás no Brasil e acompanhar as diferentes aplicações energéticas do biogás no território nacional disponível em: <https://mapbiogas.cibiogas.org/>

¹⁸ Biogás purificado, com no mínimo 90% de metano, segundo especifica a Resolução ANP nº 685/2017.

2.3 POTENCIAL FUTURO DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DO TRATAMENTO DO ESGOTO

Considerando o crescimento do acesso à coleta e ao tratamento de esgoto sanitário de acordo com as metas propostas pelo Plansab, o potencial de produção de biogás no setor de esgotamento sanitário pode crescer mais de 85% até 2033 no Brasil, em um cenário otimista, conforme Figura 6.

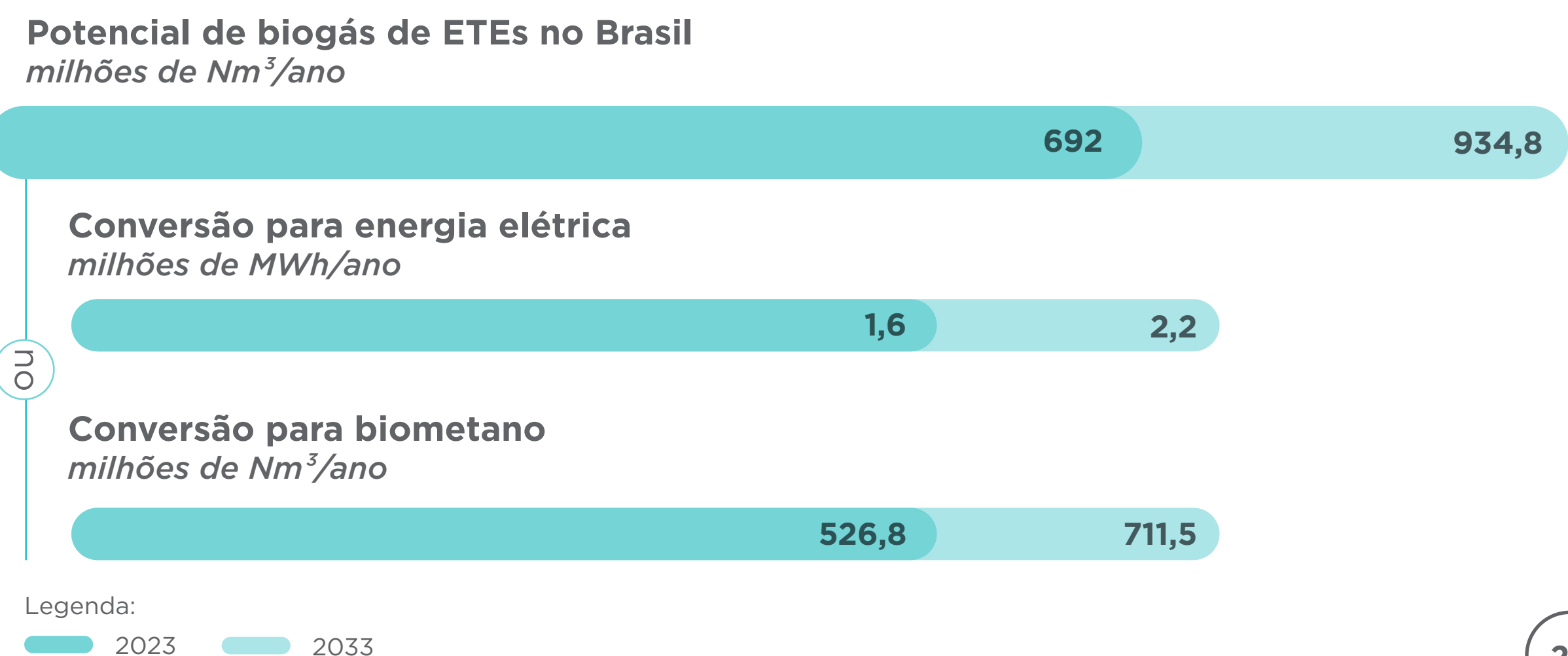
Figura 6. Potencial de produção de biogás do Brasil nos cenários analisados.



As projeções de potencial de biogás para os anos de 2023 e 2033 demonstraram resultados importantes para a viabilidade da universalização do acesso à coleta e ao tratamento de esgoto sanitário. A população atendida por rotas anaeróbias poderá superar 192 milhões de habitantes até 2033, o que significaria um alcance de até 84,5% da população brasileira atendida com coleta e tratamento de esgoto por uma rota que tem potencial para produzir energia elétrica, térmica e/ou combustível renovável.

Para o ano de 2023, projetou-se um potencial de produção entre 568 e 692,1 milhões de biogás, a depender do nível de adoção de rotas anaeróbias, enquanto, para 2033 o potencial de produção de biogás projetado varia entre 715 e 934,8 milhões de metros cúbicos de biogás. Em termos energéticos, esses volumes podem representar até 1,6 milhão de MWh de energia elétrica, 1,8 milhão de MWh de energia térmica ou o equivalente a até 475 milhões de litros de diesel em 2023. Para o ano de 2033, foi projetado um potencial anual de até 2,2 milhões de MWh de energia elétrica, 2,53 milhões de MWh de energia térmica ou o equivalente a até 652,5 milhões de litros de diesel (Figura 7).

Figura 7. Potencial de biogás de esgoto sanitário do Brasil em 2023 e 2033.



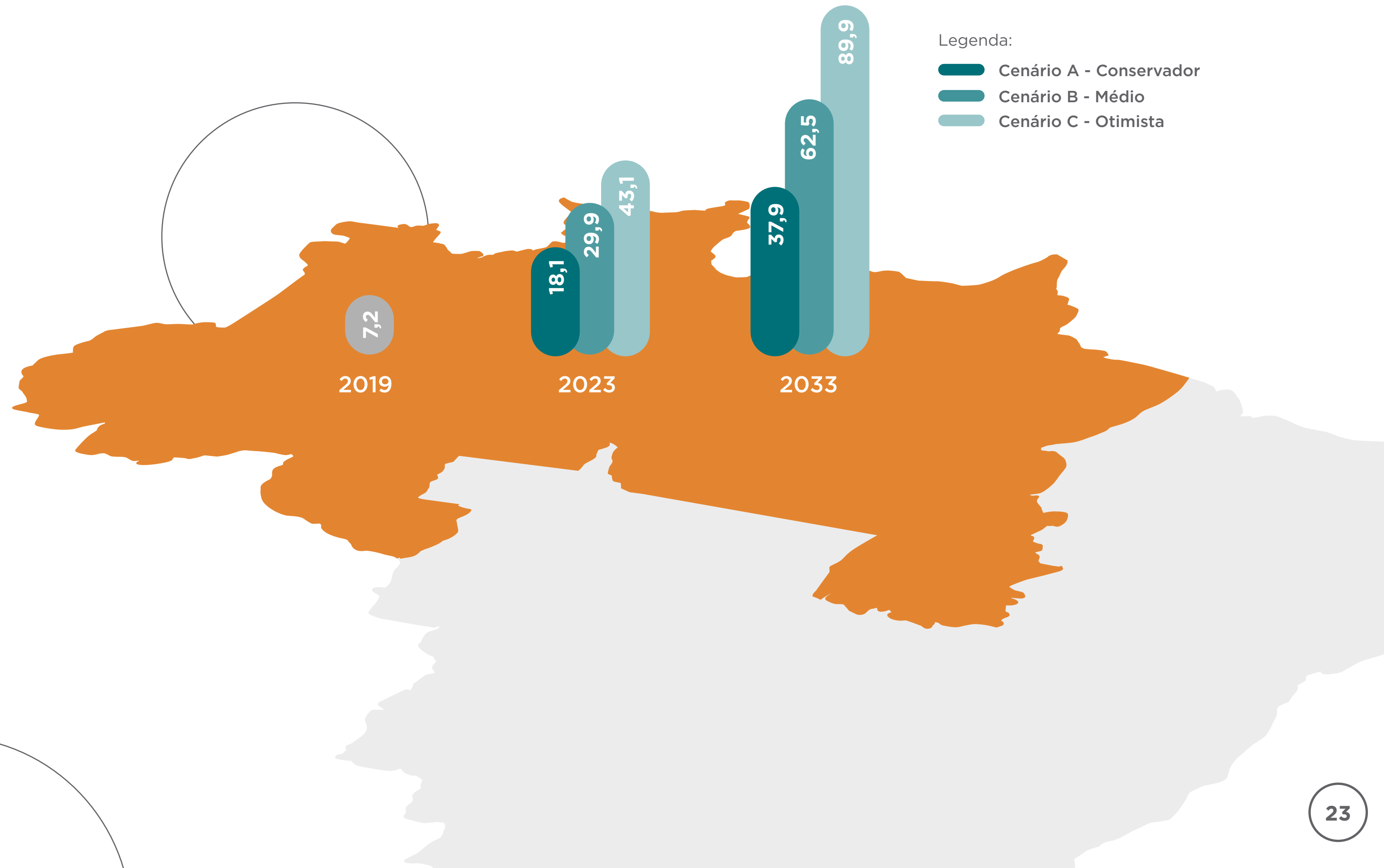
2.3.1

POTENCIAL FUTURO DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS DE ESGOTO DA REGIÃO NORTE

Com o menor índice de acesso à coleta e ao tratamento de esgoto sanitário de todo o Brasil, a região Norte, atualmente, utiliza rotas anaeróbias em torno de 66% dos sistemas de tratamento (Figura 8). Assim, espera-se na região, uma disseminação cautelosa de sistemas de tratamento com maior grau tecnológico, tendo em vista a necessidade de grandes investimentos para uma ruptura do atual sistema de baixo custo, em sua maioria fossas sépticas, para um arranjo moderno que integre o tratamento de esgoto sanitário e a geração de energia.

Neste estudo foi estimado um potencial de produção de biogás entre 37,9 e 90 milhões Nm³/ano em 2033 na região, caso seja atingida a meta proposta pelo Plansab. Esse montante significa um potencial de geração de até 215 GWh de energia elétrica, 245 GWh de energia térmica ou a substituição de cerca de 63,4 milhões de litros de diesel até 2033. Em regiões isoladas da Amazônia, o biogás pode ser visto não somente como uma ferramenta de redução de custos para o setor de saneamento, mas também como um energético firme que será disponibilizado para áreas altamente dependentes do diesel e com baixa qualidade de energia elétrica.

Figura 8. Potencial de produção de biogás dos cenários analisados para a região Norte.



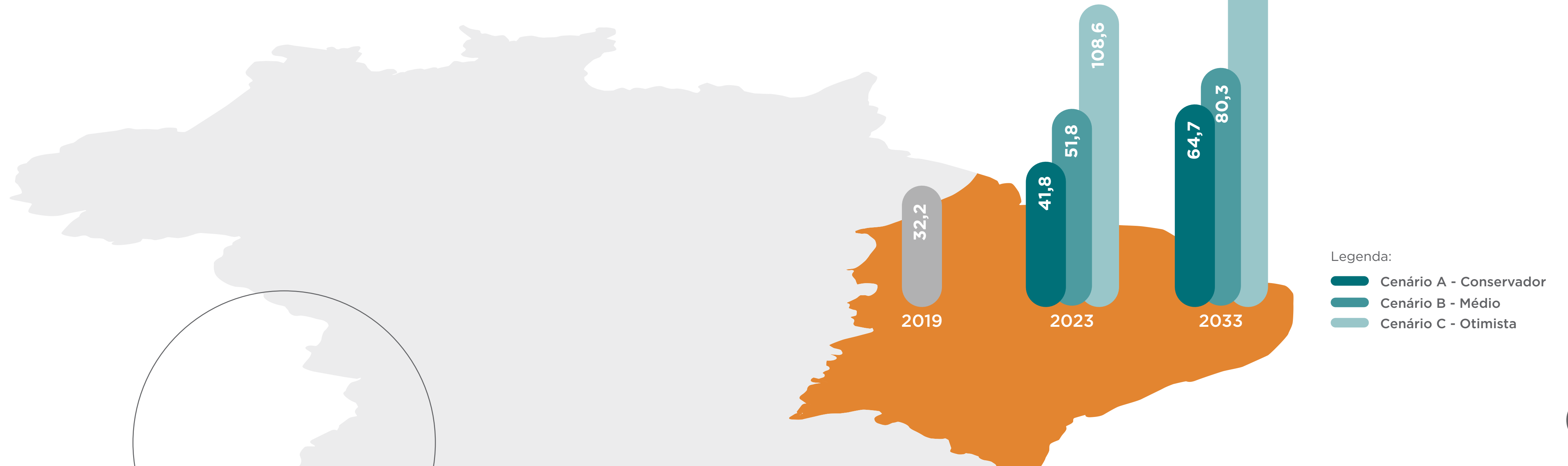
2.3.2

POTENCIAL FUTURO DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS DE ESGOTO DA REGIÃO NORDESTE

A região Nordeste, por sua vez, apresenta o menor índice de cobertura absoluta do país, pois, em torno de 3 milhões de domicílios não possuem coleta e disposição adequada de esgoto sanitário. Atualmente, é a região com menor o índice de adoção de rotas anaeróbias, tendo somente 31% das rotas de tratamento da região. No entanto, diferentemente da região Norte, o Nordeste já avançou, significativamente, na implementação e destinação de recursos para a produção de biogás no setor de saneamento.

Assim, estima-se que o setor de esgotamento sanitário tem o potencial de produzir entre 41,8 e 108,6 milhões de metros cúbicos de biogás em 2023 e entre 64,7 e 168,3 milhões de metros cúbicos de biogás em 2033. Em termos energéticos, esse potencial poderia se traduzir na geração de mais de 259 mil MWh de energia elétrica, 297 mil MWh de energia térmica e substituir mais de 76 milhões de litros de diesel em 2023, enquanto em 2033 esses valores poderiam chegar a mais de 402 mil MWh de energia elétrica, 460 mil MWh de energia térmica ou na substituição de quase 119 milhões litros de diesel (Figura 9).

Figura 9. Potencial de produção de biogás dos cenários analisados para a região Nordeste.



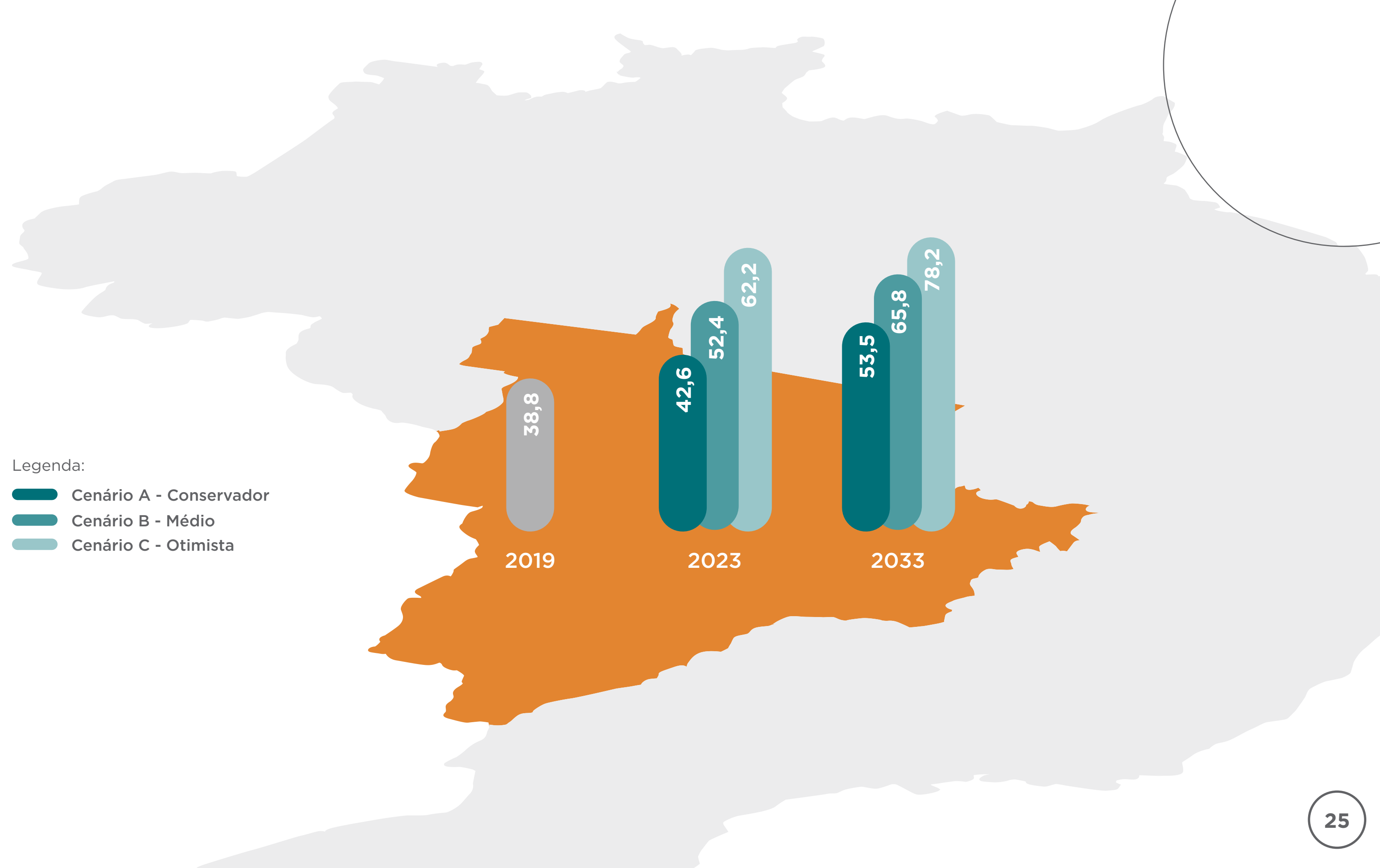
2.3.3

POTENCIAL FUTURO DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS DE ESGOTO DA REGIÃO CENTRO-OESTE

A região Centro-Oeste apresenta um dos melhores índices de tratamento do país, com 52% de tratamento de esgoto gerado. Em média, 80% das tecnologias aplicadas são anaeróbias, sendo o Distrito Federal o que possui o maior índice de adoção de rotas anaeróbias de tratamento, com 99% no total.

Estimou-se um potencial de produção entre 42,5 e 62,2 milhões de metros cúbicos de biogás por ano, em 2023, e entre 53,5 e 78,2 milhões de metros cúbicos, em 2033. Esses volumes poderiam representar a geração de quase 149 mil MWh de energia elétrica, 170 mil MWh de energia térmica ou substituir quase 44 milhões de litros de diesel, em 2023 e quase 187 mil MWh de energia elétrica, 214 mil MWh de energia térmica ou substituir mais de 55 milhões de litros de diesel, em 2033 (Figura 10).

Figura 10. Potencial de produção de biogás dos cenários analisados para a região Centro-Oeste.

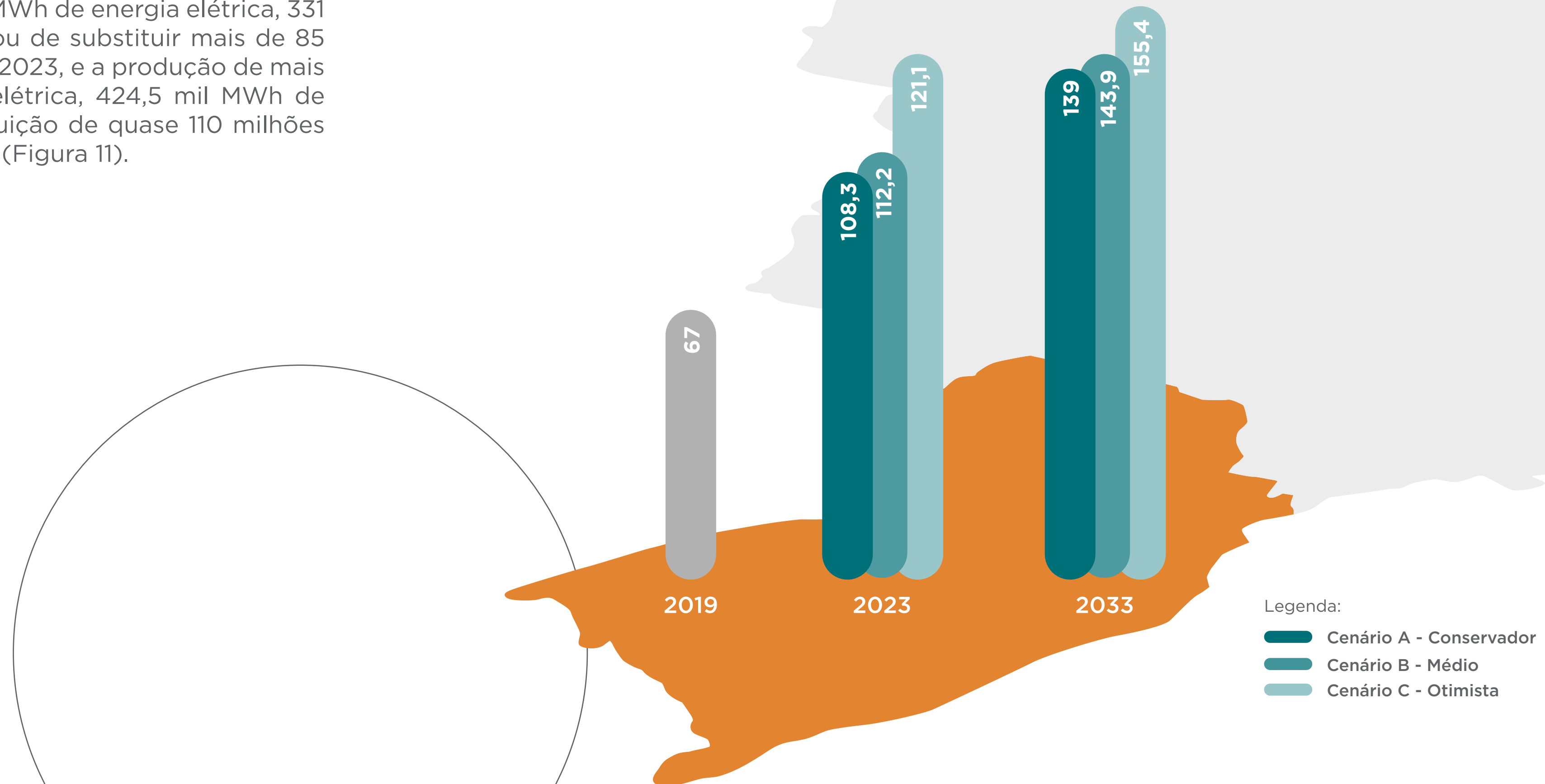


2.3.4

POTENCIAL FUTURO DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS DE ESGOTO DA REGIÃO SUL

As projeções para a região Sul apontam como o segundo maior potencial do país, podendo produzir entre 108,3 e 121,1 milhões de metros cúbicos de biogás, em 2023, e entre 139 e 155,4 milhões de metros cúbicos, em 2033. Em termos energéticos, esses volumes equivalem ao potencial de produção de até 289,5 mil MWh de energia elétrica, 331 mil MWh de energia térmica ou de substituir mais de 85 milhões de litros de diesel, em 2023, e a produção de mais de 371 mil MWh de energia elétrica, 424,5 mil MWh de energia térmica ou de substituição de quase 110 milhões de litros de gasolina, em 2033 (Figura 11).

Figura 8. Potencial de produção de biogás dos cenários analisados para a região Sul.

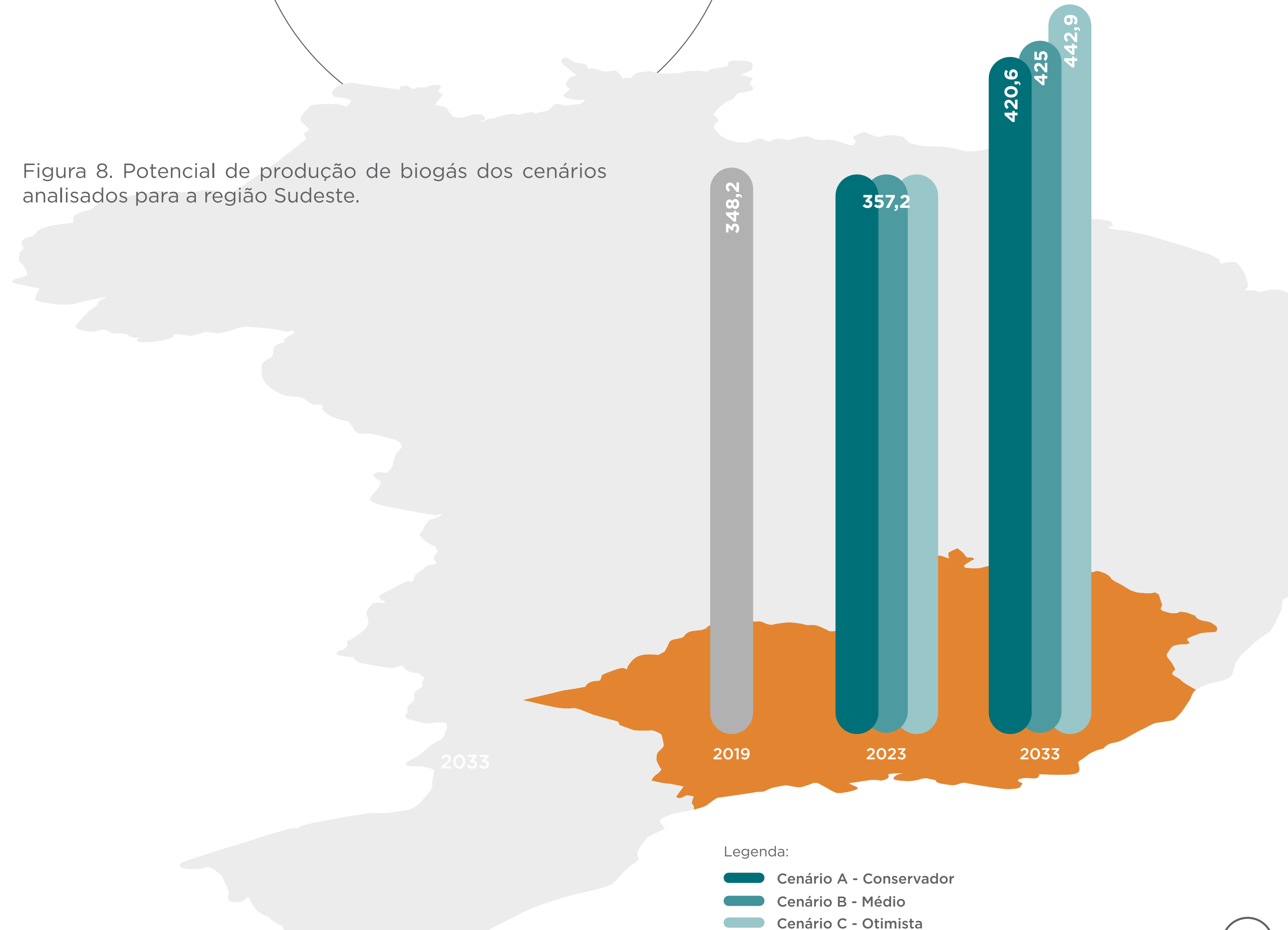


2.3.5

POTENCIAL FUTURO DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS DE ESGOTO DA REGIÃO SUDESTE

A região Sudeste, por fim, possui o maior índice de atendimento adequado de tratamento de esgoto, 93,4%, em 2017, e o maior percentual de domicílios urbanos e rurais atendidos em todo o país. Quantificou-se um potencial de produção de biogás de mais de 357,2 milhões de metros cúbicos de biogás, em 2023, e entre 420,6 e 442,9 milhões de metros cúbicos, em 2033. Essa quantidade de biogás tem o potencial de gerar quase 854 mil MWh de energia elétrica, 976 mil MWh de energia térmica ou substituir mais de 251,7 milhões de litros de diesel, em 2023, e mais de 1 milhão MWh de energia elétrica, 1,2 milhão de MWh de energia térmica ou substituir mais de 312 milhões de litros de diesel, em 2033 (Figura 12).

Figura 8. Potencial de produção de biogás dos cenários analisados para a região Sudeste.



2 ESTIMATIVA DE POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DO TRATAMENTO DO ESGOTO DO BRASIL

2.4 POTENCIAL DE MITIGAÇÃO DE EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA POR MEIO DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS DO TRATAMENTO DE ESGOTO

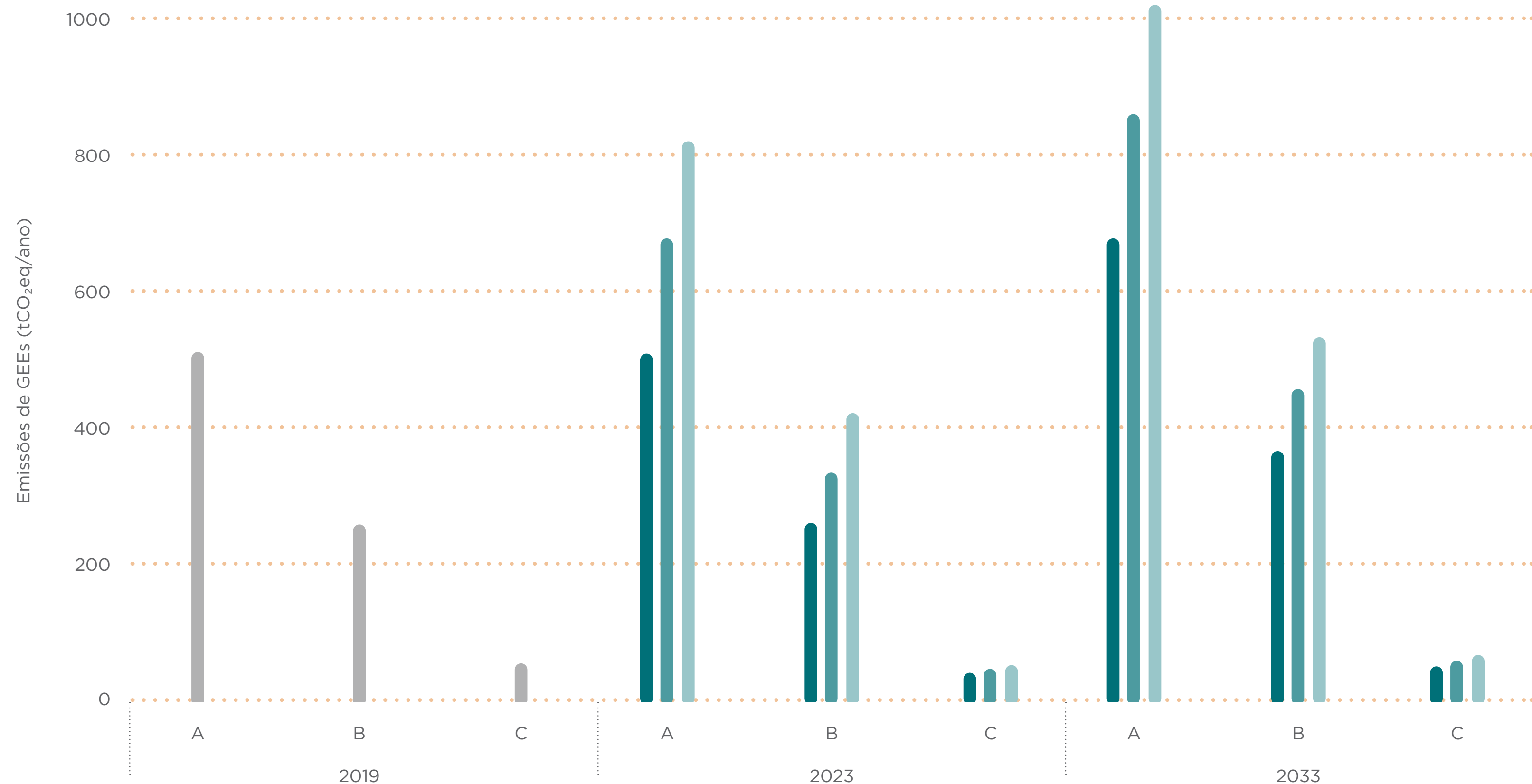
A redução das emissões de GEE é um objetivo global. Liderado pelos compromissos voluntários de diversos países, inclusive o Brasil, tem sido observado recentemente um movimento intenso de entidades públicas e privadas definindo metas e ações para a redução de emissões de suas próprias atividades.

O setor de saneamento tem um elevado potencial para atuar como um dos vetores de descarbonização, de modo a acelerar o processo de transição para um futuro de baixo carbono, o que pode, além disso, gerar uma quantidade significativa de créditos, em decorrência da mitigação dessas emissões, quando a rota utilizada atende aos critérios internacionais para a concessão de créditos. Esses créditos, inclusive, podem constituir uma nova possibilidade de receita para o setor.

De acordo com o relatório do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (2020), tratamento de esgoto foi responsável pela emissão de 18,4 GgCO₂eq em 2016, o que representa 22,3% das emissões do setor de saneamento no Brasil¹⁹. A adoção de rotas anaeróbias com aplicação energética, ou seja, sua queima em sistemas enclausurados e controlados, é uma ferramenta de redução de emissões não somente no setor de saneamento, que representa em torno de 6% das emissões no Brasil, e do setor de energia, que representa 30,3% das emissões no país.

Sistemas eficientes de uso do biogás, especialmente quando aplicado para geração de energia, emitem até 95% menos GEEs quando comparados aos sistemas de tratamento precários que não utilizam nenhum sistema de queima. (Figura 13).

Figura 13. Estimativa de emissões de GEEs de sistemas de tratamento de esgoto do Brasil para 2019, 2023 e 2033.



Legenda:

- Cenário A - Conservador
- Cenário B - Médio
- Cenário C - Otimista

A: Sem sistema de queima de biogás

B: Uso de queimador aberto (50%) IPCC

C: Uso energético do biogás e queima eficiente

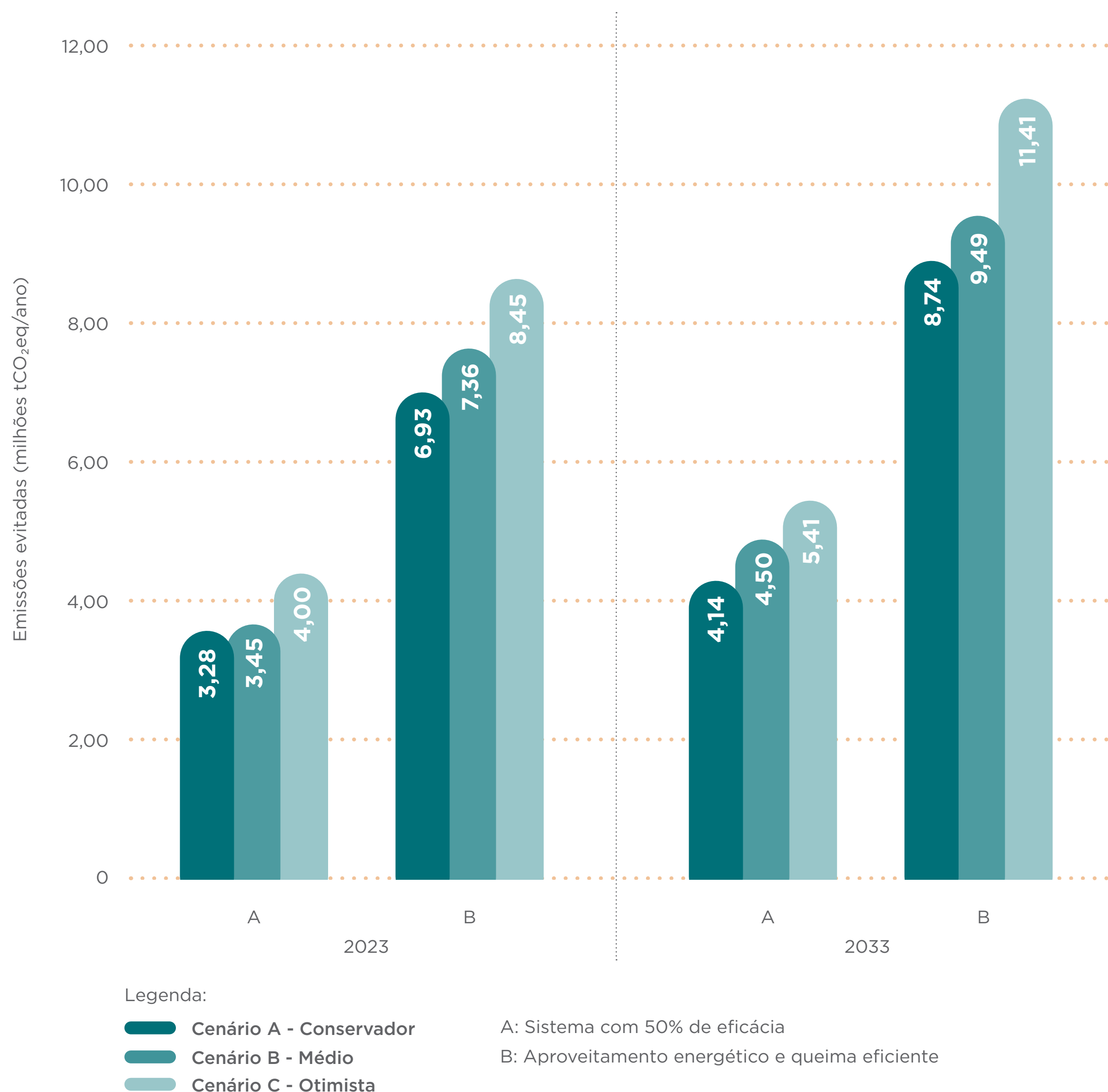
¹⁷ Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. 2020. Estimativas anuais de emissões de gases do efeito estufa no Brasil. 5ª edição. Brasília, Brasil.

2 ESTIMATIVA DE POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DO TRATAMENTO DO ESGOTO DO BRASIL

Ademais, o aproveitamento energético do biogás pode ser um importante indutor de redução da intensidade de carbono geral do setor de saneamento, uma vez que os resultados demonstraram uma redução da pegada de carbono do tratamento de esgotos sanitários de 69,9 GgCO₂eq/hab para 3,5 GgCO₂eq/hab, quando usados sistemas eficientes de queima.

Portanto, os resultados obtidos mostram que o tratamento de esgoto teria a capacidade de evitar emissões de mais de 8,4 e 11,4 milhões de toneladas de CO₂eq/ano (Figura 14), em 2023 e 2033, respectivamente. Desse modo, o aproveitamento energético do biogás pode impactar na redução de até 10,2% (2023) e 13,8% (2033) das emissões de GEEs no setor de saneamento, e em até 45,9% (2023) e 61,9% (2033) das emissões do subsetor de tratamento de esgoto.

Figura 14. Projeção de emissões evitadas de GEEs de sistemas de tratamento de esgoto do Brasil para 2023 e 2033.



3 CONSIDERAÇÕES FINAIS E DESAFIOS FUTUROS

CS bio...
energia

O biogás já tem um papel primordial na viabilização do saneamento em diversos locais do mundo e, mais recentemente, seu potencial como produto de valor agregado tem sido estudado e demonstrado em diversas escalas em todo o Brasil.

Esta publicação, resultado de um esforço conjunto de diversas instituições, demonstrou o potencial de produção de biogás e seus equivalentes em energia elétrica ou combustível, como produtos que visam substituir as atuais fontes de consumo desses energéticos ou como itens para a comercialização. Dessa forma, o biogás se torna uma ferramenta para a redução de custos operacionais ou para a geração de receitas acessórias, reduzindo a pressão dos investimentos projetados para o alcance da universalização do acesso ao esgotamento sanitário no país.

Considerar o ciclo integrado e completo de uma ETE com recuperação do biogás, vislumbrando alternativas para a implementação de uma economia circular e, portanto, agregando benefícios ao processo de tratamento e transformação do esgoto, significa, em última instância, gerar valor para a sociedade e estar alinhado com as perspectivas globais do desenvolvimento sustentável. Essa é uma tendência imprescindível para a melhoria das condições inerentes ao setor de esgotamento sanitário brasileiro.

No entanto, para que os números aqui apresentados sejam realizados, muitos são os desafios a serem enfrentados pelo setor. Atingir as metas propostas deve ser a prioridade dos municípios, uma vez que já são conhecidos os efeitos colaterais da falta de coleta e tratamento de esgoto. No entanto, o país caminha ainda lentamente para o alcance dessas metas, embora seja o 13º maior PIB do mundo.

Além do investimento previsto para o alcance das metas de saneamento, investimentos diversos se fazem necessários para a modernização de parte dos sistemas atuais, incluindo o uso energético de biogás. Nesse sentido, reforça-se a necessidade da existência de linhas de financiamento adequadas para o investimento em tecnologias eficientes, tanto de tratamento do esgoto coletado, quanto de equipamentos para coleta e uso do biogás produzido, o que reduz as chances de problemas corriqueiros como vazamentos, baixa eficiência de coleta de biogás e outros problemas operacionais comuns em ETEs.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS E DESAFIOS FUTUROS

O território brasileiro, hoje, contrasta a grande disparidade no atendimento dos serviços de saneamento. Diferentes cenários apontam a necessidade de medidas regionalizadas para cobertura e atendimento das metas de universalização. Nessa perspectiva, a criação de modelos de negócio adequados para diferentes escalas de ETEs podem propiciar a viabilidade desses arranjos, tornando o sistema economicamente mais atrativo.

É inegável a necessidade da aplicação dos conceitos da economia circular e de baixo carbono, da valoração dos subprodutos, notadamente do biogás, e da gestão sustentável de ETEs, ainda que a aplicação em larga escala no Brasil demande tempo para ser consolidada. Também é manifesto os benefícios e a importância do tratamento de esgoto, de forma sustentável, para o atingimento dos ODS e dos demais compromissos da Agenda 2030. Por outro lado, ainda há desafios e incertezas a serem equacionados, em relação: à qualidade de projetos, obras e operação; ao rendimento de rotas tecnológicas; ao valor do mercado e demanda por subprodutos; às melhores alternativas para a recuperação de subprodutos; às legislações e políticas de incentivo e regulação do saneamento; à comunicação técnica entre segmentos e atores; aos mecanismos de transmissão do conhecimento; entre vários outros. Tal fato, no entanto, não deve impedir ou desestimular que projetos inovadores sejam desenvolvidos, que novas fontes de investimento sejam atraídas e que o setor busque atualização contínua. As oportunidades inerentes à recuperação energética do biogás de ETEs e as recentes e bem-sucedidas experiências internacionais, registradas na América do Norte, Europa e Ásia, sugerem que a utilização dos potenciais, aqui apontados, é imperativa e representa o futuro para o saneamento ambiental brasileiro. Assim, o biogás é, de fato, o “combustível” que pode contribuir para o atingimento das metas previstas no Plansab, a partir de critérios de sustentabilidade, sendo determinante para o aumento da competitividade preconizada pelo novo marco regulatório vigente no país.



4 APÊNDICES

APÊNDICE 1. Dados estaduais de população atendida, potencial de produção de biogás e equivalências energéticas para o ano de 2019 – potencial atual.

ESTADO	POPULAÇÃO ATENDIDA COM COLETA E TRATAMENTO DE ESGOTO	POPULAÇÃO ATENDIDA COM COLETA E TRATAMENTO QUE PRODUZ BIOGÁS	POTENCIAL DE BIOGÁS	BIOMETANO (Nm ³ /ano)	ENERGIA ELÉTRICA (MWh/ano)	ENERGIA TÉRMICA (MWh/ano)	DIESEL EQUIVALENTE (l/ano)
Distrito Federal	2,605,735	2,579,678	14,041,261	10,686,960	33,563	38,358	9,895,333
Goiás	3,963,522	2,457,384	13,375,611	10,180,326	31,972	36,539	9,426,228
Mato Grosso do Sul	1,431,033	1,359,481	7,399,697	5,631,991	17,688	20,214	5,214,807
Mato Grosso	1,113,878	724,021	3,940,866	2,999,437	9,420	10,766	2,777,256
Alagoas	678,873	169,718	923,781	703,100	2,208	2,524	651,019
Bahia	5,599,285	2,687,657	14,628,994	11,134,290	34,968	39,963	10,309,528
Ceará	2,249,423	562,356	3,060,919	2,329,699	7,317	8,362	2,157,129
Maranhão	747,063	201,707	1,097,897	835,622	2,624	2,999	773,724
Paraíba	1,333,321	159,999	870,877	662,834	2,082	2,379	613,735
Pernambuco	1,333,321	1,641,992	8,937,408	6,802,361	21,363	24,415	6,298,482
Piauí	1,333,321	25,499	138,790	105,635	332	379	97,810

Tabela continua na próxima página

4 APÊNDICES

ESTADO	POPULAÇÃO ATENDIDA COM COLETA E TRATAMENTO DE ESGOTO	POPULAÇÃO ATENDIDA COM COLETA E TRATAMENTO QUE PRODUZ BIOGÁS	POTENCIAL DE BIOGÁS	BIOMETANO (Nm ³ /ano)	ENERGIA ELÉTRICA (MWh/ano)	ENERGIA TÉRMICA (MWh/ano)	DIESEL EQUIVALENTE (l/ano)
Rio Grande do Norte	869,766	304,418	1,656,957	1,261,128	3,961	4,526	1,167,711
Sergipe	471,184	164,914	897,634	683,199	2,146	2,452	632,592
Acre	87,950	85,927	467,704	355,975	1,118	1,278	329,606
Amazonas	441,122	240,853	1,310,968	997,792	3,134	3,581	923,882
Amapá	59,574	2,383	12,971	9,872	31	35	9,141
Pará	411,795	329,436	1,793,130	1,364,771	4,286	4,898	1,263,677
Rondônia	95,838	86,254	469,484	357,330	1,122	1,283	330,861
Roraima	365,286	146,114	795,305	605,315	1,901	2,173	560,477
Tocantins	457,613	436,105	2,373,733	1,806,675	5,674	6,485	1,672,847
Espírito Santo	2,118,133	1,842,776	10,030,282	7,634,159	23,975	27,401	7,068,666
Minas Gerais	14,608,121	13,731,634	74,741,683	56,886,726	178,656	204,178	52,672,894
Rio de Janeiro	9,217,663	8,756,780	47,663,408	36,277,150	113,930	130,206	33,589,953
São Paulo	40,862,901	39,637,014	215,745,424	164,206,240	515,698	589,369	152,042,814
Paraná	8,146,788	7,739,449	42,126,045	32,062,601	100,694	115,079	29,687,593
Rio Grande do Sul	3,607,906	3,066,720	16,692,247	12,704,655	39,900	45,600	11,763,569
Santa Catarina	1,775,902	1,509,517	8,216,343	6,253,550	19,640	22,445	5,790,324

4 APÊNDICES

APÊNDICE 2. Dados regionais de população atendida, potencial de produção de biogás e equivalências energéticas para o ano de 2023 – potencial futuro.

CENÁRIO	REGIÃO	POPULAÇÃO ATENDIDA COM COLETA E TRATAMENTO DE ESGOTO	POPULAÇÃO ATENDIDA COM COLETA E TRATAMENTO QUE PRODUZ BIOGÁS	POTENCIAL DE BIOGÁS	BIOMETANO (Nm ³ /ano)	ENERGIA ELÉTRICA (MWh/ano)	ENERGIA TÉRMICA (MWh/ano)	DIESEL EQUIVALENTE (l/ano)
Cenário A (conservador)	Centro Oeste	12,036,498	7,823,724	42,584,756	32,411,731	101,791	116,332	30,010,862
	Nordeste	30,687,255	7,671,814	41,757,906	31,782,406	99,814	114,073	29,428,154
	Norte	8,328,223	3,331,289	18,132,303	13,800,698	43,342	49,533	12,778,424
	Sudeste	64,242,173	65,624,208	357,194,478	271,864,686	853,805	975,777	251,726,561
	Sul	23,416,865	19,904,336	108,339,880	82,458,686	258,966	295,961	76,350,635
Cenário B (médio)	Centro Oeste	12,036,498	9,629,198	52,412,007	39,891,361	125,281	143,178	36,936,445
	Nordeste	30,687,255	9,513,049	51,779,803	39,410,184	123,770	141,451	36,490,911
	Norte	8,328,223	5,496,627	29,918,301	22,771,151	71,514	81,730	21,084,399
	Sudeste	64,242,173	65,624,208	357,194,478	271,864,686	853,805	975,777	251,726,561
	Sul	23,416,865	20,606,842	112,163,640	85,368,993	268,106	306,406	79,045,364
Cenário C (otimista)	Centro Oeste	12,036,498	11,434,673	62,239,259	47,370,991	148,771	170,024	43,862,029
	Nordeste	30,687,255	19,946,716	108,570,555	82,634,256	259,517	296,591	76,513,200
	Norte	8,328,223	7,911,811	43,064,220	32,776,657	102,937	117,642	30,348,756
	Sudeste	64,242,173	65,624,208	357,194,478	271,864,686	853,805	975,777	251,726,561
	Sul	23,416,865	22,246,022	121,085,748	92,159,708	289,432	330,780	85,333,063

4 APÊNDICES

APÊNDICE 3. Dados regionais de população atendida, potencial de produção de biogás e equivalências energéticas para o ano de 2033 – potencial futuro.

CENÁRIO	REGIÃO	POPULAÇÃO ATENDIDA COM COLETA E TRATAMENTO DE ESGOTO	POPULAÇÃO ATENDIDA COM COLETA E TRATAMENTO QUE PRODUZ BIOGÁS	POTENCIAL DE BIOGÁS	BIOMETANO (Nm ³ /ano)	ENERGIA ELÉTRICA (MWh/ano)	ENERGIA TÉRMICA (MWh/ano)	DIESEL EQUIVALENTE (l/ano)
Cenário A (conservador)	Centro Oeste	15,121,205	9,828,783	53,498,353	40,718,191	127,878	146,146	37,702,029
	Nordeste	47,580,612	11,895,153	64,745,666	49,278,645	154,762	176,871	45,628,375
	Norte	17,392,938	6,957,175	37,868,107	28,821,837	90,516	103,447	26,686,886
	Sudeste	82,199,216	77,267,263	420,567,967	320,098,952	1,005,287	1,148,899	296,387,919
	Sul	30,049,649	25,542,202	139,026,950	105,814,956	332,317	379,791	97,976,811
Cenário B (médio)	Centro Oeste	15,121,205	12,096,964	65,844,127	50,114,697	157,388	179,872	46,402,497
	Nordeste	47,580,612	14,749,990	80,284,625	61,105,520	191,905	219,320	56,579,186
	Norte	17,392,938	11,479,339	62,482,377	47,556,031	149,352	170,688	44,033,362
	Sudeste	82,199,216	78,089,255	425,042,094	323,504,260	1,015,981	1,161,121	299,540,982
	Sul	30,049,649	26,443,691	143,933,783	109,549,602	344,046	393,195	101,434,816
Cenário C (otimista)	Centro Oeste	15,121,205	14,365,145	78,189,901	59,511,202	186,898	213,598	55,102,965
	Nordeste	47,580,612	30,927,398	168,338,731	128,124,478	402,381	459,864	118,633,776
	Norte	17,392,938	16,523,291	89,936,754	68,451,863	214,976	245,687	63,381,355
	Sudeste	82,199,216	81,377,223	442,938,603	337,125,492	1,058,759	1,210,011	312,153,234
	Sul	30,049,649	28,547,167	155,383,062	118,263,775	371,413	424,472	109,503,495

4 APÊNDICES

APÊNDICE 4. Dados regionais de potencial de emissões evitadas (tCO₂eq/ano) para o cenário atual e futuro, comparado à ausência de queima ou a uma queima com 50% de eficiência

	2019	2023			2033			
		CENÁRIO A (CONSERVADOR)	CENÁRIO B (MÉDIO)	CENÁRIO C (OTIMISTA)	CENÁRIO A (CONSERVADOR)	CENÁRIO B (MÉDIO)	CENÁRIO C (OTIMISTA)	
Comparado à 50% eficiência	Centro Oeste	224,146	246,258	303,087	359,915	309,369	380,761	452,154
	Nordeste	186,417	241,476	299,431	627,839	374,409	464,268	973,464
	Norte	41,771	104,855	173,011	249,030	218,983	361,321	520,084
	Sudeste	2,065,574	2,065,574	2,065,574	2,065,574	2,432,048	2,457,921	2,561,412
	Sul	387,646	626,505	648,617	700,211	803,961	832,336	898,545
Comparado à ausência de queima	Centro Oeste	473,197	519,878	639,849	759,821	653,112	803,830	954,548
	Nordeste	393,547	509,783	632,131	1,325,437	790,420	980,120	2,055,091
	Norte	88,182	221,360	365,245	525,731	462,297	762,789	1,097,954
	Sudeste	4,360,655	4,360,655	4,360,655	4,360,655	5,134,323	5,188,944	5,407,425
	Sul	818,364	1,322,621	1,369,302	1,478,223	1,697,251	1,757,154	1,896,927

VENHA MUDAR
O FUTURO



ABiogás
Associação Brasileira do Biogás

CIBIOGAS
ENERGIAS RENOVÁVEIS

sabesp

SÃO PAULO
GOVERNO DO ESTADO
Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente

SANEPAR

PARANÁ
GOVERNO DO ESTADO

Biogás
BRASIL

ITAIPU
BINACIONAL

UNIDO

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS
PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL

gef

GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY
INVESTING IN OUR PLANET

MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES

PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

SEBRAE **Embrapa**

UK Government

Adam Smith
International

Instituto 17

CLT CARBON
LIMITING
TECHNOLOGIES

hubz

FGV

inct
ETEs Sustentáveis

83
ABES 55
ANOS