Instituto MBC Brasil
MOBILIDADE DE BAIXO CARBONO

De Resíduos a Rodas

Transformando resíduos orgânicos em combustível renovável para o transporte

Como o biometano descarboniza a mobilidade, mitiga as emissões de metano e reforça a segurança energética

Glaucia Mendes Souza
Universidade de São Paulo

Clayton Barcelos Zabeu
Instituto Mauá de Technology

Heitor Cantarella
Instituto Agronômico de Campinas

Luiz A. Horta Nogueira
Universidade Federal de Itajubá

2026

Síntese da literatura científica e setorial sobre biometano como combustível para descarbonizar o transporte de cargas pesadas e entregar benefícios ambientais e socioeconômicos mais amplos

Publicado por Instituto MBCBrasil | 2026

SUMÁRIO

01. Por que o biometano importa para a descarbonização do transporte?
02. O que é biometano e como é produzido?
03. Biometano no transporte: maturidade tecnológica
04. Benefícios do biometano para a sustentabilidade e o clima
05. Valor econômico e sistêmico
06. Brasil: uma oportunidade estratégica
07. Potencial do biometano em mercados emergentes
08. Políticas públicas e facilitadoras
09. Referências

*Números no parênteses se referem a lista de referências na página 129.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.



SEÇÃO 1

1 Por que o biometano importa para a descarbonização do transporte?

De modo geral, o biometano se destaca como uma das opções mais imediatas, tecnicamente maduras e sistemicamente eficientes para a descarbonização do transporte de cargas pesadas e a entrega simultânea de benefícios ambientais e socioeconômicos mais amplos.

Um combustível, dez razões pelas quais



01. Compatibilidade imediata, redução substancial de emissões de GEE e valor sistêmico ampliado

O biometano, também chamado de gás natural renovável (GNR), biogás natural comprimido (bio-GNC) e biogás natural liquefeito (bio-GNL), importa para a descarbonização do transporte porque combina três atributos raramente encontrados numa mesma solução:: compatibilidade imediata com tecnologias e infraestrutura de veículos a gás comercialmente disponíveis (1); reduções substanciais das emissões de gases de efeito estufa (GEE) durante todo o ciclo de vida, sobretudo quando é gerado a partir de resíduos (2,3); e valor sistêmico ampliado via abatimento de metano, gestão de resíduos, reciclagem de nutrientes e segurança energética (4,5).

02. Descarbonização mais rápida e mais barata

Seu papel mais forte é como solução direcionada e de alto impacto para aplicações em frotas cativas de transporte de cargas pesadas e de longa distância onde a eletrificação é mais lenta, mais cara ou sujeita a restrições operacionais (1,6). O biometano adequa-se bem às realidades operacionais do transporte pesado. O biometano liquefeito proporciona alta densidade energética, que é apropriada para o transporte de longa distância; o biometano comprimido serve para distâncias menores. Estes combustíveis podem ser utilizados em tecnologias veiculares existentes e podem alavancar parcialmente a atual infraestrutura de gás, possibilitando a implantação mais rápida em comparação com soluções que requeiram sistemas inteiramente novos (7,8).

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

03. Potencial enorme

O relatório da IEA Bioenergy sobre as perspectivas globais para biogases realça "seu enorme potencial inexplorado e escopo para crescimento tanto nas economias avançadas quanto nas emergentes e em desenvolvimento". Também destaca “o reconhecimento cada vez maior de que os biogases podem proporcionar benefícios amplos e sistêmicos desde que sejam efetivamente integrados ao sistema energético. Tais benefícios incluem ajudar a sustentar a economia circular e contribuir para a realização de objetivos de segurança energética, econômicos e ambientais” (4).

04. Soberania energética

As crises geopolíticas recentes, tais como a guerra na Ucrânia e o conflito envolvendo o Irã, reforçam a compreensão de que segurança energética e segurança nacional são inseparáveis. Nesse contexto, reconhece-se cada vez mais que o biometano é um ativo estratégico: um combustível produzido em território nacional de modo descentralizado e que reduz a dependência na importação volátil de combustíveis fósseis enquanto promove resiliência sistêmica e estabilidade de preços.

05. Segurança energética

Segurança energética é um fator-chave na elaboração de políticas de transição energética e não só as climáticas. Para a IEA, segurança energética é um fator crucial na implantação do biogás/biometano. O biometano é visto como um combustível "estratégico para a soberania". É um produto energético nacional, controlável e não geopolítico. Os especialistas em segurança fazem uma ligação explícita entre biometano e resiliência: produção local reduz a vulnerabilidade a interrupções de suprimento; descentralização melhora a robustez do sistema energético em condições de conflito. O biometano contribui para as três dimensões da segurança energética: independência de suprimento, estabilidade de preços e resiliência sistêmica. Advém domesticamente de resíduos, não depende dos mercados globais de petróleo e gás e é produzido de modo descentralizado.

06. Uma solução para setores em que é difícil reduzir emissões (hard-to-abate)

O biometano resolve uma das maiores dificuldades da transição no transporte: reduzir as emissões em aplicações onde a eletrificação nem sempre é a solução mais rápida ou mais fácil, sobretudo no transporte rodoviário de cargas pesadas, no transporte de longa distância e nas frotas de ônibus. A literatura mostra de modo consistente que o biometano não é uma opção marginal para esses segmentos. É um combustível prático de baixo carbono para caminhões e ônibus, já compatível com as tecnologias comercialmente disponíveis para veículos a gás e com as cadeias de suprimentos existentes de gás natural comprimido ou liquefeito (1,7).

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

07. Cortes profundos

O valor estratégico do biometano vem primeiro de seu desempenho em relação ao clima. Estudos mostram que seu uso em veículos pesados pode reduzir em muito as emissões de GEE em comparação com o diesel (medidas pelo critério "well to wheel", ou seja, entre a produção e o veículo) — tipicamente de 45% (esterco animal) a 75% (resíduos alimentares) — e por várias rotas, incluindo a gaseificação de biomassa (43%-67%) (9). Em alguns casos, quando se incluem no cálculo as emissões de metano evitadas pela gestão de resíduos, as rotas do biometano podem até tornar-se negativas em termos líquidos no ciclo de vida inteiro (10). Tal vantagem é ainda maior quando é produzido a partir de detritos como esterco, restos de alimentos, lodo de esgoto e resíduos sólidos urbanos. Contribui para a descarbonização não só por substituir o diesel no transporte rodoviário mas também por melhorar o sistema inteiro a montante via integração da gestão de resíduos e produção de energia num modelo circular (11,12). Porém, seu desempenho depende de fatores como tipo de insumo, controle de vazamentos de metano e eficiência da cadeia de suprimentos. Políticas públicas eficazes, desenvolvimento de infraestrutura e governança de sustentabilidade são essenciais para garantir benefícios climáticos robustos (12).

08. Mais saudável

Ao lado dos benefícios climáticos, o biometano contribui para a melhoria da qualidade do ar. Estudos indicam reduções de emissões de NOx e material particulado em comparação com o diesel, além de outros poluentes dependendo da configuração do motor (13). Tais benefícios conjuntos reforçam seu papel de solução de curto prazo para atingir objetivos tanto climáticos quanto de saúde pública.

09. Circular

Na perspectiva sistêmica, o biometano oferece uma rota estratégica que conecta os setores de energia, agricultura e gestão de resíduos. Possibilita o uso circular de recursos, reduz as emissões de metano a partir de resíduos não geridos e contribui para a segurança energética ao diversificar o suprimento de combustíveis com recursos disponíveis localmente (14). O biometano não é somente um vetor energético; é o produto de um sistema mais amplo de biogás que entrega tratamento de resíduos, biofertilizante, recuperação de CO_2, abatimento de metano e produção de combustível. Além disso, é um composto químico de plataforma (platform chemical) (15).

10. Global

O biometano é produzido em cerca de 40 países, serve de combustível de transporte em quase 30 e é utilizado em escala comercial em mais de uma dúzia, sobretudo na Europa mas com expansão rápida nas Américas e na Ásia. Uso maduro (mercados focais): ~10 a 12 países (1), com escala significativa em frotas: Suécia (caso benchmark), Alemanha, Itália, França, Países Baixos, Dinamarca, Finlândia, Suíça, Reino Unido, Noruega. Uso emergente/fase inicial: ~15 a 20 países, principalmente em frotas piloto, ônibus municipais, corredores de frete: Brasil, crescimento rápido ligado a cana e resíduos; EUA (4) GNR em caminhões, sobretudo na Califórnia; China e Índia, onde políticas públicas são o motor da expansão; Espanha, Áustria, Bélgica, Irlanda (4,16–21).

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

	STATUS DE PRODUÇÃO E USO	PRINCIPAIS MOTIVAÇÕES / PRÁTICAS DISTINTIVAS	PRINCIPAIS INSUMOS	REFERÊNCIAS COMPLETAS
	**BRASIL**			
	Setor de biometano em expansão ligado ao transporte, injeção nas redes de gás e descarbonização industrial. Mais de 755 plantas de biogás relatadas, ao lado de crescente capacidade de produção de biometano.	Integração com setor sucroenergético; uso em caminhões, indústria e máquinas agrícolas; ligação com RenovaBio e Lei do Combustível do Futuro.	Vinhaça da cana de açúcar, torta de filtro, esterco, resíduos sólidos urbanos, lodo de esgoto, resíduos agroindustriais.	(22,23)
	**CANADÁ**			
	Forte setor de gás de aterro e biogás de efluente, com crescente mercado de GNR.	Estratégia de mitigação de metano ligada à captação de gás de aterro sanitário e digestão anaeróbica agrícola.	Gás de aterro, lodo de esgoto, resíduos orgânicos segregados na fonte, esterco leiteiro.	(22,24)
	**CHINA**			
	Um dos maiores sistemas de biogás do mundo, com ~40 milhões de biodigestores residenciais e >100 mil plantas não residenciais. Setor de biometano ainda emergente.	Acesso rural à energia, gestão do esterco, controle da poluição e desenvolvimento do gás renovável.	Dejetos de animais, resíduos agrícolas, resíduos orgânicos rurais, resíduos industriais.	(22,25)
	**DINAMARCA**			
	Sistema de biogás centralizado e altamente integrado, com ampla injeção nas redes de gás.	Modelo de economia circular ligando propriedades rurais, biometano, biofertilizante e recuperação de CO_2.	Esterco, resíduos agrícolas, palha, culturas de captura de nutrientes (catch crops).	(22)

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

	STATUS DE PRODUÇÃO E USO	PRINCIPAIS MOTIVAÇÕES / PRÁTICAS DISTINTIVAS	PRINCIPAIS INSUMOS	REFERÊNCIAS COMPLETAS
	**FINLÂNDIA**			
	Escala moderada de biogás com forte ênfase no transporte para biometano..	Descarbonização do transporte de cargas pesadas, circulação de nutrientes, segurança energética regional.	Biorresíduos, lodo de esgoto, gás de aterro sanitário, esterco.	(1,22)
	**FRANÇA**			
	Setor de biometano agrícola em rápida expansão com forte crescimento da injeção nas redes de gás.	Diversificação agrícola, lavouras intermediárias, reciclagem de nutrientes e políticas públicas climáticas.	Esterco, lavouras intermediárias, resíduos agrícolas, biorresíduos.	(22,24)
	**ALEMANHA**			
	Maior produtor europeu de biogás, com >10 mil plantas e produção de ~87 TWh/ano de biogás.	Tarifas FiT (feed-in tariffs) implantadas há muito tempo e modelo de biogás agrícola.	Lavouras energéticas, esterco, resíduos agrícolas, lodo de esgoto.	(22)
	**IRLANDA**			
	Mercado de biometano emergente com ênfase em insumos agrícolas.	Desenvolvimento rural, diversificação da renda dos agricultores e descarbonização do transporte.	Silagem de capim, resíduos orgânicos líquidos (slurry), esterco, resíduos de processamento de alimentos.	(22)
	**NORUEGA**			
	Uso significativo no transporte, sobretudo de biometano produzido a partir de fluxos de resíduos.	Descarbonização do transporte, gestão de resíduos do processamento de peixes e resíduos alimentares.	Resíduos alimentares, lodo do processamento de peixes, lodo de esgoto, esterco.	(22,24)

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

	STATUS DE PRODUÇÃO E USO	PRINCIPAIS MOTIVAÇÕES / PRÁTICAS DISTINTIVAS	PRINCIPAIS INSUMOS	REFERÊNCIAS COMPLETAS
	**SUÉCIA** Um dos sistemas mais fortes do mundo em biometano para transporte, com uso muito amplo em ônibus e demais veículos automotores..	Melhoria da qualidade do ar nas regiões urbanas, descarbonização do transporte e valorização de resíduos.	Biorresíduos, lodo de esgoto, resíduos industriais, substratos agrícolas.	(15,22)
	**SUÍÇA** Ampla adoção de biogás produzido a partir do esgoto e fortes sistemas de controle da qualidade de digestato.	Tratamento de esgoto, saneamento básico e recuperação de nutrientes.	Lodo de esgoto, resíduos agrícolas, biorresíduos.	(22,24)
	**REINO UNIDO** Mercado maduro de digestão anaeróbica, com foco em resíduos agrícolas e alimentares.	Redução de metano, energia renovável e desenvolvimento econômico rural.	Resíduos alimentares, esterco, resíduos agrícolas, lodo de esgoto.	(22,25)
	**ESTADOS UNIDOS** Maior produtor mundial de biometano; Califórnia predomina no uso de GNR como combustível veicular.	Créditos de GNR, mercados de combustíveis para transporte e captura de metano de aterros sanitários.	Gás de aterro sanitário, esterco, lodo de esgoto, resíduos orgânicos.	(26,27)
	**ITÁLIA** Segundo maior mercado europeu de biogás, com forte ênfase em biometano para transporte.	Integração de GNV com uso de lixo sólido urbano.	Lixo sólido urbano, substratos agrícolas.	(28)

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Desenvolvimento sustentável

Na América do Sul, estudos indicam que o biometano permanece subdesenvolvido na maioria dos países, sobretudo devido a esforços fragmentados, infraestrutura inadequada e ausência de políticas públicas direcionadas, mas a produção está aumentando (23). O biometano tende a contribuir para vários objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) nas economias em desenvolvimento.

	STATUS DE PRODUÇÃO E USO	PRINCIPAIS MOTIVAÇÕES / PRÁTICAS DISTINTIVAS	PRINCIPAIS INSUMOS	REFERÊNCIAS COMPLETAS
🇮🇳	**ÍNDIA** Um dos maiores produtores mundiais de biogás, atrás da UE, China e EUA.	Acesso rural a energia, uso residencial de gás e mercado crescente de gás de transporte.	Resíduos agrícolas, esterco, lixo orgânico urbano.	(27)
🇦🇷	**ARGENTINA** Setor de biometano nascente com forte potencial na agricultura.	Uso de resíduos agroindustriais e sistemas rurais de energia descentralizados..	Resíduos de animais de criação, resíduos agroindustriais, lixo orgânico urbano.	(23)
🇧🇴	**BOLÍVIA** Desenvolvimento do biometano limitado por insuficiente infraestrutura de gestão de resíduos e forte presença de combustíveis fósseis.	Oportunidade associada a lixo orgânico urbano e resíduos agrícolas.	Detritos orgânicos sólidos, resíduos agrícolas, dejetos de animais de criação.	(23)

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

	STATUS DE PRODUÇÃO E USO	PRINCIPAIS MOTIVAÇÕES / PRÁTICAS DISTINTIVAS	PRINCIPAIS INSUMOS	REFERÊNCIAS COMPLETAS
CHILE	Experiência existente com biogás fornece plataforma para expansão do biometano.	Diversificação das fontes de energia renovável e valorização de resíduos.	Lodo de esgoto, lixo orgânico urbano.	(23)
COLÔMBIA	Um dos países com regulamentação que permite injeção de biometano nas redes de gás natural.	Integração do gás renovável na infraestrutura de gás existente.	Resíduos agrícolas, lodo de esgoto, lixo urbano.	(23)
EQUADOR	Existe um marco regulatório para tarifas de energia renovável, mas com efeito limitado no crescimento atual do biometano.	Tratamento de resíduos e potencial de diversificação de renováveis.	Resíduos agrícolas, lixo orgânico urbano.	(23)
PARAGUAI	Taxas muito baixas de reciclagem e reuso limitam implantação do biometano apesar de forte base no setor agrícola.	Oportunidade de conectar gestão de resíduos com produção de energia.	Resíduos agrícolas, lixo orgânico urbano.	(23)
PERU	Oportunidade importante de geração de biometano a partir do lixo orgânico urbano e resíduos agrícolas, mas pouca implantação até agora.	Modernização da gestão de resíduos e diversificação das fontes renováveis de energia.	Lixo orgânico urbano, resíduos agrícolas.	(23)

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

	STATUS DE PRODUÇÃO E USO	PRINCIPAIS MOTIVAÇÕES / PRÁTICAS DISTINTIVAS	PRINCIPAIS INSUMOS	REFERÊNCIAS COMPLETAS
URUGUAI	Uso limitado apesar do potencial agrícola. Eletricidade gerado com biogás em alguns poucos locais.	Oportunidades de recuperação de metano na indústria e gestão de resíduos.	Fluxos de metano no setor industrial e resíduos de animais de criação.	(23)
VENEZUELA	Larga disponibilidade de gás natural fóssil reduz competitividade do biometano..	Regulamentação e gestão de metano identificados como lacunas importantes.	Lixo urbano, esgoto, fluxos de metano na indústria.	(23)



© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Uma solução em evolução para muitos problemas sociais

O biometano evoluiu de biogás gerado no saneamento a gás renovável com qualidade de rede, GNC para ônibus e bio-GNL para transporte de cargas pesadas. Agora está adentrando uma fase estratégica como combustível de economia circular para transporte de difícil eletrificação, indústria e segurança energética. Os capítulos-chave são o modelo implantado na Suécia para frotas e ônibus, o mercado italiano de biometano para transporte, o mercado de GNR veicular na Califórnia e a rota emergente no Brasil de biometano gerado da cana de açúcar e agroindústria.

PERÍODO	CAPÍTULO-CHAVE	O QUE MUDOU	RELEVÂNCIA AO TRANSPORTE
1859–1895	Primeira digestão anaeróbica (DA) de engenharia.	Primeira planta de DA relatada em Mumbai, na Índia. Em 1895, biogás gerado por estações de tratamento de esgoto já era usado para iluminação pública em Exeter, no Reino Unido (29).	Usado em saneamento e iluminação, mas não no transporte ainda.
Anos 1900 até anos 1930	Gás de esgoto e digestores municipais.	Conectaram-se digestão anaeróbica, tratamento de esgoto e gestão de lixo urbano.	Aplicações de GNV começaram nos anos 1930, mas biometano ainda não era o foco.
Anos 1940 até anos 1970	Expansão do biogás rural.	China, Índia e partes da Europa expandiram o uso de digestores de pequeno porte para cozinhar, aquecer e gerar energia em propriedades rurais.	Energia estacionária prevalece ainda.
Anos 1970 até anos 1980	Crises do petróleo e regulamentações ambientais.	Biogás ganhou atenção como opção para geração de energia residencial e gestão de resíduos.	Veículos movidos a gás natural atraíram interesse renovado por causa de preocupações com poluição e segurança energética.
Anos 1980 até anos 1990	Tecnologia de purificação (upgrading) amadurece.	Upgrading do biogás por water scrubbing, PSA, absorção química/física e, mais tarde, separação por membranas permitiu que chegasse à qualidade do gás natural.	Uso do biometano em veículos a gás e nas redes de gás tornou-se tecnicamente viável.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

PERÍODO	CAPÍTULO-CHAVE	O QUE MUDOU	RELEVÂNCIA AO TRANSPORTE
Anos 1980 até anos 1990	Tecnologia de upgrading (purificação) amadurece.	Upgrading do biogás por water scrubbing, PSA, absorção química/física e, mais tarde, separação por membranas permitiu que chegasse à qualidade do gás natural.	Uso do biometano em veículos a gás e nas redes de gás tornou-se tecnicamente viável.
Anos 1990 até anos 2000	Suécia, Suíça e Alemanha lideram uso do biometano no transporte.	Uso do biometano expandiu de estações de tratamento de esgoto e usinas de geração de energia para ônibus, frotas municipais e redes de gás. IRENA identifica Suécia, Suíça e Alemanha como líderes iniciais no transporte..	Suécia tornou-se caso icônico: biogás purificado usado largamente como combustível veicular, sobretudo em ônibus e frotas cativas.
Anos 2000	Injeção nas redes de gás, mercados virtuais de biometano.	Biometano podia ser injetado nas redes de gás e alocado contratualmente a transporte, calor ou indústria.	Isso resolveu o problema da distância entre plantas e frotas.
Anos 2010	Fase de comercialização.	Em 2016, Alemanha, Suécia, Suíça, Reino Unido e EUA foram os maiores produtores de biogás veicular; cerca de **500 plantas** faziam o upgrading para que a qualidade do biogás atingisse a do GN, produzindo cerca de **50 PJ/ano**.	Biometano tornou-se um combustível real, não só uma opção para uso em projetos piloto..
	Foco emergente em transporte de cargas pesadas.	Biometano liquefeito/bio-GNL adquiriu relevância graças à maior densidade energética em comparação com biometano comprimido e porque é mais adequado para caminhões usados em transporte de longa distância..	Bio-GNL abriu o capítulo de transporte de cargas pesadas de longa distância.
2017–2020	Projetos piloto novos no setor de transporte fora da Europa	Exemplos incluem ônibus em Vaasa (Finlândia) e Kolkata (Índia) usando biogás gerado a partir de dejetos orgânicos, humanos e animais.	Demonstração de modelos de economia circular em transporte municipal.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

PERÍODO	CAPÍTULO-CHAVE	O QUE MUDOU	RELEVÂNCIA AO TRANSPORTE
2018–2023	Expansão estimulada por políticas públicas.	A Itália começou a incentivar biometano no transporte em 2018. Agora quase todo o biometano italiano é usado no transporte e a Itália tem a maior frota de veículos movidos a GN em toda a Europa, com grande participação do biometano.	A Itália tornou-se o exemplo mais forte do biometano como fonte de energia mainstream (de larga escala, não mais de nicho) para transporte..
Anos 2020	Boom de gás natural renovável (GNR) nos Estados Unidos	Expansão rápida do GNR nos EUA, sobretudo gás gerado a partir de aterros, lodo de esgoto e esterco. Em 2023, havia cerca de **470 projetos de digestão anaeróbica (DA) produzindo GNR** nos EUA (30).	Califórnia torna-se um dos líderes, com **GNR representando 97% do combustível para veículos movidos a gás natural em 2023** (31).
Anos 2010	Biometano torna-se um gás estratégico.	Segundo a IEA, o biometano está crescendo cerca de **20% por ano**, embora ainda represente apenas cerca de **10 bcme no mundo**, ou **0,2% da demanda total por gás natural** (27).	Transporte está competindo com usos na indústria, calor, gás de rede e amônia verde.
2024–2025	Escala industrial atingida na Europa.	O número de plantas europeias chegou a **1.678 em junho de 2025**, comparado com 1.548 em 2024 (32).	França, Itália e Dinamarca apresentaram cenários diferentes: frotas de transporte, injeção nas redes e substituição do gás industrial.
2024–2030 proj,	Brasil e mercados emergentes iniciam a fase de scale-up (crescimento acelerado) .	No Brasil, a Lei do Combustível do Futuro começa em 2026 com uma meta de redução de 1% das emissões de GEE para produtores e importadores de gás, subindo gradualmente para 10%; demanda final deverá advir principalmente da indústria e do transporte..	Forte potencial para caminhões, máquinas agrícolas, logística do setor de cana e substituição do diesel.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

O caso da Alemanha

O biogás produzido por digestão anaeróbica não é uma novidade. Nos anos 1980, muitos países viram esforços de promoção do uso de resíduos orgânicos de diversas origens para gerar biogás como combustível de múltiplos usos. O resíduo mais frequentemente focalizado foi o esterco animal, em muitos casos também objetivando a eliminação de mau cheiro e gases tóxicos.

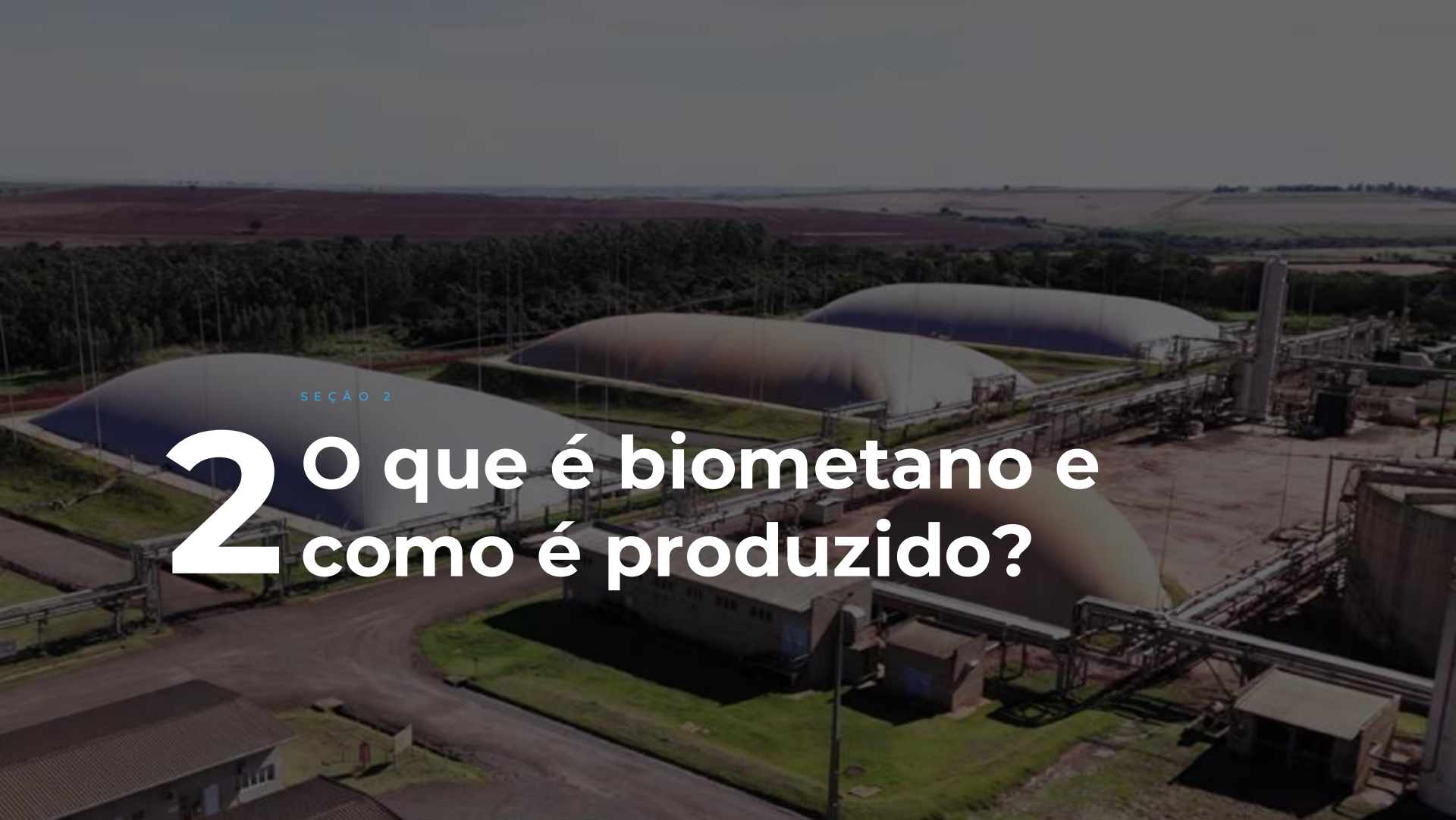
Os preços da energia foram outra preocupação nessa época. Na maioria dos países, as iniciativas de biogás foram perdendo terreno com o passar do tempo.

Mas a Alemanha é um caso interessante. A produção de biogás foi incentivado pelas mesmas razões, inclusive para eliminar odores, já que a pecuária era amplamente praticada e as fazendas tipicamente ficavam perto de vilarejos e cidades menores. O governo estimulou a construção de biodigestores, garantindo um mercado para o biometano, que podia ser inserido na rede de GN. Além disso, há muitos possíveis usos do biometano, desde aquecimento local até geração de eletricidade. Isso levou a Alemanha a liderar o desenvolvimento do setor de biogás na Europa e no mundo. Houve um aumento enorme nas duas últimas décadas na Europa, mas especialmente na Alemanha.

Muitas empresas novas, principalmente pequenas e médias, começaram com esse objetivo, desenvolvendo tecnologias para toda a cadeia do setor de biogás — aperfeiçoando biodigestores, fornecendo peças e serviços, purificando biometano (separando CO2, água e gases que contêm S) e gerando eletricidade em instalações de pequeno porte alimentadas por biogás, entre outras coisas. Todo um setor novo foi criado na Alemanha graças aos incentivos do governo.

Em 2017, quase 9,5 mil das cerca de 13,4 mil plantas de biogás na Europa era alemãs. Processavam biorresíduos urbanos e industriais, esterco, outros resíduos agrícolas e culturas energéticas. Quando se incluem as plantas que usavam gás de aterro e esgoto, o número sobe para um total de 17.783 plantas de biogás europeias. Há associações locais e internacionais que lidam com biogás, tais como a Associação Alemã de Biogás (Fachverband Biogas e.v.), a Associação Indiana de Biogás (IBA), a Associação Internacional de Resíduos Sólidos (ISWA) e a Associação Mundial de Biogás (WBA) (33–36). Portanto, o exemplo alemão de construção de uma indústria de biogás/biometano pode ser replicado em outros países onde há muitas oportunidades de produção e uso do biometano.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.



SEÇÃO 2

2 O que é biometano e como é produzido?

O que é biometano e como é produzido?

ENERGIA DE RESÍDUOS

Sociedades em todo o mundo geram quantidades enormes de resíduos orgânicos, tais como resíduos de animais e esterco, resíduos agrícolas, resíduos orgânicos industriais do processamento de alimentos, lodo de esgoto e outros resíduos urbanos. Quando descartado inadequadamente – em aterros, por exemplo – tais materiais orgânicos são danosos porque, além de ocuparem espaço ao redor das cidades, podem gerar metano, um importante gás de efeito estufa que escapa para a atmosfera, e lixiviados que contaminam a água subterrânea. Tudo isso tem efeitos adversos ambientais e sociais. Por outro lado, se os resíduos orgânicos forem anaerobicamente decompostos em biodigestores, resultam num combustível útil: biogás/biometano (33,34).

COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS

Biogás

O biogás é produzido pela biodigestão de resíduos orgânicos e consiste numa mistura de metano (CH_4), CO_2 e água. O biogás de resíduos agrícolas tipicamente contém, por volume, CH_4 (55%-70%) e CO_2 (25%-40%), além de proporções menores de umidade, sulfeto de hidrogênio (H_2S, 0,5%-1%) e amônia (NH_3, <0,01%). A composição pode variar, dependendo do insumo utilizado no biodigestor (33,37).

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Produção de biometano

O biogás pode ser utilizado diretamente para produzir eletricidade ou calor para aplicações industriais. Porém, a produção de biometano exige mais uma etapa conhecida como purificação (upgrading), onde se removem CO2, água e pequenas quantidades de outros gases, além de compostos de enxofre (37).

UPGRADING · CINCO TECNOLOGIAS

Cinco tecnologias de purificação (upgrading) predominam no mercado global:

WATER SCRUBBING
(lavagem com água) tecnologia madura e amplamente usada, baseada na absorção preferencial do CO_2 em água.

PRESSURE SWING ADSORPTION (PSA)
(adsorção por oscilação de pressão) usa materiais de adsorção seletiva para separar CO_2 do metano em ciclos de pressão alternada..

CHEMICAL SCRUBBING AMINE SYSTEMS
(lavagem química com aminas) realiza grau muito alto de pureza com baixa fuga de metano via absorção química seletiva.

SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS
atualmente uma das tecnologias que estão crescendo com maior rapidez, graças a modularidade, menor consumo de energia, escalabilidade e altas taxas de recuperação de metano.

SEPARAÇÃO CRIOGÊNICA
remove CO_2 por resfriamento e condensação, oferecendo a vantagem adicional de produzir biometano liquefeito (BML/bio-GNL) e fluxos de CO_2 biogênico de alta pureza. Atualmente, sistemas de membranas, PSA, water scrubbing e absorção química são as soluções comerciais predominantes no mundo.

Fonte Ref (33); Refs (34–45)

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Várias tecnologias de próxima geração estão sendo desenvolvidas ou em implantação comercial inicial:

- Metanação biológica, em que hidrogênio renovável reage com CO_2 biogênico para produzir metano adicional.
- Metanação catalítica (conversão de energia em gás - Power-to-Gas), em que produção de biometano é integrada com sistemas de eletricidade renovável.
- Tecnologias de separação eletroquímica de CO_2.
- Sistemas híbridos de upgrading que combinam membranas, PSA e processos criogênicos.
- Rotas avançadas de captura e utilização de carbono que produzem renováveis como metanol, hidrogênio, amônia e combustíveis sintéticos a partir de correntes de carbono derivado do biometano.

Essas inovações estão transformando plantas de biometano em biorrefinarias circulares integradas capazes de produzir ao mesmo tempo gás renovável, biofertilizantes, CO_2 biogênico, hidrogênio, e-fuels (eletrocombustíveis) e produtos químicos renováveis.

Nenhuma tecnologia de upgrading é universalmente superior. A escolha depende do tamanho da planta, da composição dos insumos, das necessidades de recuperação de metano, da disponibilidade de água e calor, do produto desejado (injeção em redes de gás vs bio-GNC vs bio-GNL), dos custos operacionais e das condições locais.

Nenhuma tecnologia de upgrading é universalmente superior. A escolha depende do tamanho da planta, da composição dos insumos, das necessidades de recuperação de metano, da disponibilidade de água e calor, do produto desejado (injeção em redes de gás vs. bio-GNC vs bio GNL), dos custos operacionais e das condições locais.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

TECNOLOGIA	PRINCÍPIO DE SEPARAÇÃO	PRINCIPAIS VANTAGENS	PRINCIPAIS LIMITAÇÕES	MELHORES APLICAÇÕESS
Water Scrubbing	CO_2 dissolve preferencialmente em água	Madura, confiável, não requer produtos químicos, operação relativamente simples	Requer muita água e energia para bombeamento; menos atraente em áreas com pouca água	Plantas pequenas ou médias, regiões com muita água
Chemical Scrubbing (aminas)	Absorção química de CO_2	Pureza muito alta de metano (>99%), alta taxa de recuperação de CH_4, apropriada para biogás com baixo teor de CH_4	Requer calor para regeneração de solventes; maior CAPEX e OPEX; degradação de solventes	Plantas grandes; processos que requerem gás de alta pureza
Pressure Swing Adsorption (PSA)	Adsorção seletiva de CO_2 sob pressão	Sem água ou produtos químicos; design modular; tecnologia madura	Algum escape de metano; múltiplos ciclos de compressão e descompressão aumentam consumo de energia	Plantas médias, aplicações descentralizadas
Membrane Separation	Permeabilidades diferentes a CH_4 e CO_2 na separação por membranas	Pegada compacta, modular, baixa complexidade operacional, custos cada vez mais competitivos	Perdas de metano em casos de baixa qualidade de design; frequente necessidade de múltiplas etapas para garantir alta pureza	Opção em crescimento rápido para produtores de pequeno e grande porte
Cryogenic Separation	Resfriamento e liquefação de CO_2 e/ou CH_4	Produz biometano liquefeito (bio-GNL), recupera CO_2 de alta pureza, recuperação muito alta de metano	Alto consumo de eletricidade, processo mais complexo, maiores custos de investimento	Plantas de grande porte que produzem bio-GNL
Biological Upgrading	Microorganismos metanogênicos convertem CO_2 + H_2 em CH_4	Utilização direta de CO_2, integração com hidrogênio verde, aumento do rendimento de metano	Ainda emergente; cinética mais lenta; controle do processo biológico é difícil	Sistemas Power-to-Gas e biorrefinarias integradas futuras

Fonte Refs (38-49)

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Na última década, as membranas tornaram-se uma das tecnologias de purificação de maior crescimento graças a expansão modular, pouca manutenção, ausência de necessidade de manusear solventes, baixo consumo de água e pegada compacta de instalação. Para plantas de biometano com capacidade abaixo de 500–1000 Nm^3 de biogás h^{-1}, as membranas são cada vez mais competitivas com PSA and water scrubbing.

PSA permanece atraente porque não requer água ou produtos químicos, além da durabilidade dos materiais adsorventes e da operação relativamente simples. Todavia, as perdas de metano são ligeiramente maiores na tecnologia PSA do que nas de membranas otimizadas e de lavagem com aminas.

A absorção química fica atraente em escalas maiores porque a recuperação de metano pode ultrapassar 99%, a pureza do biometano é extremamente alta e as flutuações na qualidade do gás impactam menos o desempenho. A principal desvantagem é a necessidade de energia térmica para regenerar o solvente. O upgrading criogênico está atraindo atenção quando o objetivo é bio-GNL.

Cada vez mais, o transporte rodoviário e marítimo requerem combustível liquefeito.

O upgrading criogênico pode produzir biometano liquefeito diretamente, recuperar CO_2 biogênico de grau alimentício (food-grade) e minimizar as perdas de metano. Por isso, os sistemas criogênicos são especialmente atraentes em projetos de grande porte de produção de combustível para transporte de cargas pesadas a partir de esterco, gás de aterro e resíduos.

A literatura científica identifica cada vez mais três tendências em pesquisa e desenvolvimento: integração com hidrogênio verde, uso em vez de remoção de carbono e desenvolvimento de biorrefinarias para produzir biometano. Em vez de remoção, o hidrogênio verde pode converter o CO_2 em metano adicional, potencialmente elevando o rendimento de metano em 50% a 70%, a depender da composição do biogás original.

Para usar o carbono em vez de liberá-lo na atmosfera ou vendê-lo, no futuro as plantas poderão usar CO_2 biogênico para produzir metanol renovável, e-combustíveis, produtos químicos verdes e algas, além de usá-lo em aplicações de estufa. As biorrefinarias futuras provavelmente irão produzir simultaneamente biometano, CO_2 biogênico e fertilizantes de digestato, além de hidrogênio, amônia e metanol renováveis. Isso é considerado cada vez mais a direção de longo prazo para maximizar tanto o valor econômico quanto a mitigação do impacto dos gases de efeito estufa.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Usos do biometano

O biometano é composto majoritariamente de CH4, ou metano, que combina bem com GN, amplamente utilizado no mundo como fonte energética e pela indústria química (35). O biometano é um biocombustível pronto para uso em veículos automotores (ônibus, caminhões, máquinas agrícolas, carros). O biometano purificado pode ser injetado em redes de GN e substituir GN em seus inúmeros usos, inclusive para gerar eletricidade. CH4 é uma molécula versátil que pode servir de componente básico na indústria química (33,35,36,50–52).

PLATAFORMA DE BIOMETANO / METANO	PRINCIPAL ROTA DE CONVERSÃO	PRODUTO FÓSSIL SUBSTITUÍDO	MATURIDADE TECNOLÓGICA	PONTOS-CHAVE / RELEVÂNCIA
Biometano → Steam Methane Reforming (SMR) → H_2	Reforma a vapor de CH_4	Hidrogênio fóssil (“grey hydrogen”) obtido de gás natural	Comercial / alta	Rota mais direta de substituição industrial. Infraestrutura SMR existente pode operar com biometano com um mínimo de adaptação (53).
Biometano → H_2 → Haber–Bosch	Amônia e ureia renováveis	Fertilizantes de amônia fóssil e nitrogênio fóssil	Comercial / alta	Uma das melhores oportunidades de descarbonização industrial para o Brasil, sobretudo integrada com os setores de açúcar e etanol (3).
Biogás/biometano → singás (SMR, ATR, POX) → metanol	Produção de gás de síntese seguida de síntese de metanol	Methanol fóssil	Média-alta	Biometano pode servir de insumo de carbono renovável para produção de metanol. Especialmente atraente quando combinado com CO_2 biogênico capturado (54).
Biogás + CO_2 → Dry Reforming → singás	Reforma a seco de metano com CO_2	Singás fóssil para combustíveis e produtos químicos	Média	Possibilita uso simultâneo de CH_4 e CO_2 biogênico vindos das correntes de upgrading. Produz singás adequado para metanol, DME e combustíveis Fischer–Tropsch (5).

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

PLATAFORMA DE BIOMETANO / METANO	PRINCIPAL ROTA DE CONVERSÃO	PRODUTO FÓSSIL SUBSTITUÍDO	MATURIDADE TECNOLÓGICA	PONTOS-CHAVE / RELEVÂNCIA
Biometano + H_2 verde → metanação	Metanação catalítica ou biológica	Gás natural fóssil	Média	Purifica fluxos de CO_2 em metano adicional (“e-metano” ou metano sintético), melhorando a eficiência da utilização do carbono (54).
Biometano / singás → combustíveis Fischer–Tropsch (FT)	Síntese FT	Diesel, querosene de aviação, combustíveis marítimos	Média	Rota potencial para hidrocarbonetos renováveis e produção de SAF (combustível sustentável de aviação) em plataformas de metano renovável (54).
Biometano / singás → dimetil éter (DME)	Conversão de singás	Substituto de GLP/diesel	Média	DME promete como combustível de baixas emissões para transporte de cargas pesadas e marítimo (56).
Biometano → calor e vapor industrial	Combustão direta	GN fóssil na indústria	Comercial / alta	Opção de descarbonização imediata para setores de alimentos, bebidas, celulose e químico (5).
Upgrading de biogás → recuperação de CO_2 biogênico	Purificação e liquefação de CO_2	CO_2 fóssil na indústria	Comercial / emergente	CO_2 capturado pode ser usado em bebidas, produtos químicos, síntese de metanol, Power-to-Gas e estufas (57).
Digestato de sistemas de digestão anaeróbica	Recuperação de nutrientes e uso em fertilizantes	Fertilizantes sintéticos	Comercial / alta	Digestato fecha ciclos de nutrientes e é central no conceito de biorrefinaria circular (24).
Biorrefinarias de digestão anaeróbica	Produção integrada de biometano, CO_2, digestato, produtos químicos e energia	Múltiplos produtos fósseis simultaneamente	Emergente / em expansão	Biorrefinarias integradas maximizam a eficiência de recursos e trazem benefícios econômicos através da valorização dos coprodutos (58).
Digestão anaeróbica industrial + integração de biometano	Uso integrado em alimentos, bebidas, frigoríficos, destilarias	Energia fóssil e sistemas de descarte de resíduos	Comercial / em expansão	Oportunidade forte para sistemas de simbiose agroindustriais e sistemas circulares de carbono (56).

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Tipos de biodigestor

O biogás/biometano é produzido por digestão anaeróbica em biodigestores de vários tipos, tamanhos e modelos. Têm em comum a criação de um ambiente anaeróbico em que material orgânico é decomposto. A biodigestão anaeróbica compreende várias etapas, incluindo hidrólise, acidogênese e metanogênese, cada uma das quais é realizada por microorganismos diferentes (37). Portanto, dependendo dos tipos e da quantidade de resíduos orgânicos a serem processados, recomenda-se um biodigestor. Podem ser utilizados equipamentos de pequeno porte em fazendas e demais locais que dispõem de esterco animal, enquanto lagoas grandes podem ser utilizadas no processamento de vinhaça. Os biodigestores do tipo lagoa têm a desvantagem de não misturar bem os insumos e não controlar adequadamente as reações da biodigestão. Os biodigestores verticais são preferidos quando as condições da biodigestão têm de ser monitorados atentamente. O Brasil tem muitas empresas que fornecem equipamentos e serviços para biodigestores (8,59).



© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Purificação

A digestão anaeróbica combinada com a purificação do biogás (upgrading) é a rota predominante para produção de biometano. A tecnologia está madura e é utilizada em muitos países (60,61). Outras rotas incluem:



Gaseificação com metanação do gás de síntese, a “rota do singás”, em que biorresíduos secos ou quase secos são gaseificados para gerar gás de síntese, seguida por limpeza, metanação e purificação (62). Oferece altas taxas de eficiência energética e de uso de carbono, mas sua complexidade e custo reduzem sua adoção (62).

Power-to-Gas/metanação biológica, que requer o uso de H_2 eletrolítico e do CO_2 gerado pela digestão anaeróbica de biogás (63,64). Dado o custo alto do H_2 eletrolítico, esta rota é menos competitiva que a dos biodigestores predominantes (63,65).

Fonte Refs (1), (2), (28), (32), (91–94)

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.



SEÇÃO 3

3 Biometano no transporte: maturidade tecnológica

Biometano versus gás natural fóssil para transporte e máquinas agrícolas

Uso potencial como substituto do diesel.

Segundo Righi et al., o setor de transporte responde por ~23% das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE), sendo o transporte rodoviário (carros, caminhões pesados, veículos comerciais leves, ônibus e veículos de duas rodas) a fonte predominante, com 77% do total de emissões do setor (66).

Em 2019, caminhões pesados consumiram um quarto da energia utilizada no transporte nos EUA, produzindo uma porcentagem semelhante das emissões de GEE do setor e cerca da metade do NOx e fuligem ou material particulado (MP) emitidos por veículos rodoviários (67).

O transporte é um dos setores que apresentam desafios em relação à descarbonização, devido às variações no consumo de combustíveis e geração de emissões por toda a cadeia. Além disso, o segmento de frete enfrenta o enorme desafio da descarbonização pelo uso de eletricidade e/ou hidrogênio, devido às dificuldades do armazenamento da energia, da escassez de pontos de recarga e de outras limitações do abastecimento (68).

O biometano é uma opção mais barata e rápida de descarbonização no setor. É também uma alternativa muito atraente de substituição do diesel na agricultura.

Assandri et al. frisam que metade do CO2e gerado na agricultura deriva do uso de combustíveis fósseis em tratores e outras máquinas. Segundo esse estudo, o potencial anual de energia de biometano é 3,8 vezes maior que as necessidades energéticas da frota de tratores na região de Piemonte na Itália, com base no volume médio de resíduos agrícolas disponíveis nos sete anos entre 2015 e 2021 (69).

Hannukainen & Åman realçam o potencial do uso de biometano/biogás na agricultura, onde alguns projetos mostram como o custo direto da energia pode ser reduzido pela substituição parcial ou total do combustível fóssil usado em tratores e outras máquinas por GNR de produção própria (caso de simbiose agroecológica em Palopuro), com efeitos colaterais adicionais, tais como a redução da procura por fertilizantes fósseis via utilização do digestato (70).

Kivekäs & Lajunen comparam tratores equipados com bateria, célula de combustível, motor de combustão interna a hidrogênio (HICE) e biocombustível, concluindo que a versão movida a biometano gerado de esterco úmido teve o volume menor de emissões de CO2e. As emissões WtW desse trator foram negativas por causa do nível alto de crédito de carbono proporcionado pela prevenção da decomposição anaeróbica do esterco (71).

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Drop-in

O biometano – gás natural renovável (GNR), bio-GNC (comprimido) ou bio-GNL (liquefeito) – é amplamente reconhecido como substituto "drop-in" renovável do GN fóssil no transporte leve e pesado porque pode ser usado em infraestruturas e motores existentes sem grandes modificações técnicas (72–75).

Pode ser produzido de fontes diferentes como resíduos agrícolas, alimentares e domésticos, esterco animal, lodo de esgoto, resíduos orgânicos industriais e águas residuais (76).

A digestão anaeróbica desse tipo de material orgânico produz um biogás composto basicamente de CH_4 e CO_2. A purificação desse biogás (por membranas, lavagem com água ou PSA, por exemplo) gera biometano (tipicamente >95% CH_4), enquanto o GN fóssil é composto por metano misturado com hidrocarbonetos (HC) mais pesados.



© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Comparação de especificações-chave

Os requisitos técnicos do biometano como combustível veicular na Europa são definidos sobretudo pela norma EN 16723-2, a principal regulamentação europeia da qualidade do gás usado como combustível automotivo. A norma cobre o gás natural (Grupos L e H) e o biometano e suas misturas, seja na forma comprimida (GNC) ou liquefeita (GNL) (75,77)..

Além disso, a norma garante aos motorista o direito de abastecer com GNC totalmente fóssil num dia e com bio-GNC no dia seguinte sem que a unidade de controle do motor (ECU) precise de recalibração manual. Isso é assegurado pela manutenção do índice Wobbe e da densidade numa faixa tal que a ECU possa compensar utilizando o feedback de seu sensor de oxigênio (lambda).

A norma ainda adiciona à EN 16726 (cujo foco é a injeção nas redes de gás) proteções específicas para componentes automotivos. As principais diferenças entre GN e biometano são:

ITEM	BIOMETANO (PURIFICADO)	GÁS NATURAL FÓSSIL (GNC/GNL)
Metano (CH_4)	90%–98%+ (75,78)	80%-95% (variação típica de gasoduto)
Alcanos exceto metano	Próximo de zero (78,79)	3%-15% (etano, propano, butano)
Teor de CO_2	< 2% (após purificação)	< 3% (padrão da indústria)
Número metano	Alto (~130-140) (78,79)	Menor (~70-90) devido ao teor de CO_{2+}
Densidade energética	Densidade volumétrica um pouco menor	Maior devido aos HC mais pesados
Principais riscos	Siloxanos, terpenos, amônia	Enxofre, mercúrio, hélio

A presença de compostos orgânicos voláteis (COV) no biogás, sobretudo vindos de aterros ou ETEs, é um problema significativo. Os siloxanos (compostos voláteis organossilícicos encontrados em concentrações pequenas mas operacionalmente importantes no biogás de aterro) decompõem-se em micropartículas de sílica (SiO2) durante a combustão se não forem removidos corretamente no processo de purificação que gera biometano.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

As micropartículas formam depósitos abrasivos semelhantes a vidro nas cabeças dos cilindros, velas e sensores de oxigênio. Essa sílica cristalina tem propriedades físicas e químicas semelhantes ao vidro e pode causar abrasão nas superfícies do motor, além de submeter os componentes sensíveis do motor a temperaturas elevadas devido a suas propriedades termoisolantes. Além disso, age como isolante elétrico, prejudicando o funcionamento das velas e resultando em danos graves e na formação de depósitos em vários componentes, como velas, pistões, cabeçote e escapamento depois dos sistemas de tratamento. Tais depósitos também acumulam no óleo do motor e podem levar à severa desativação dos monólitos de catalisador à jusante (77,80).

Estudos recentes indicam que o biometano pode conter altas concentrações de terpenos, dependendo do insumo (p. ex. resíduos alimentares) e do método de purificação. Esses compostos podem mascarar odorizadores (como tetrahidrotiofeno) acrescentados para segurança, dificultando a detecção de vazamentos se a purificação for insuficiente (77).

O número ou índice metano mede a resistência do combustível a detonação (knocking) em motores de ignição por centelha. Sendo composto quase por inteiro de metano, o número metano do biometano é mais alto que o do GN, cujos alcanos mais pesados reduzem esse valor. Essa alta estabilidade frequentemente permite ao biometano superar a qualidade do gás fóssil em termos de características de combustão (79).

Quanto ao teor energético, biometano é mais "pobre" que GN por não conter os HCs pesados etano (C2H6), propano (C3H8) e butano (C4H10), de modo que sua densidade energética é geralmente menor que a do GN fóssil "rico" (81), como se pode observar na tabela abaixo (82). Um motor de caminhão movido a biometano pode requerer um volume de injeção ligeiramente maior para atingir a mesma potência que teria com um gás fóssil rico (23). Um metro cúbico de GN e de biometano têm a densidade energética volumétrica aproximadamente igual à de um litro de diesel puro.

TIPO DE COMBUSTÍVEL	PCI POR MASSA	PCI POR VOLUME	DENSIDADE	DETALHES DA COMPOSIÇÃO
Metano puro CH_4	50,0 MJ/kg	35,8 MJ/Nm^3	0,716 kg/Nm^3	Baseline teórico
Biometano	47-49 MJ/kg	34-36 MJ/Nm^3	0,723-0.735 kg/Nm^3	~95%-98% CH_4
GN fóssil	45-52 MJ/kg	37-41 MJ/Nm^3	0,788- 0,822 kg/Nm^3	Contém C_{2+} e alcanos
Diesel regular (sem biodiesel)	42,8-43,2 MJ/kg	35,0-36,8 MJ/L	0,818-0,852 kg/L	Blends de HCs

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Padrões de referência

Para testes e certificação de caminhões, o setor costuma utilizar gases de referência definidos na norma EN 16723-2 (77):

- G20 (Alto Teor de Metano): 34,02 MJ/m3 (PCI)
- G25 (Baixo Teor de Metano/Alto Teor de Nitrogênio): 29,30 MJ/m3 (PCI)
- Biometano: alinhado tipicamente com o G20 mas com concentração menor de alcanos pesados (83)

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Disponibilidade de tecnologias

Carros de passeio, caminhões pesados e grupos geradores (gensets) já estão disponíveis para uso do biometano na Europa, no Brasil, nos Estados Unidos e na China. Grandes fabricantes de veículos pesados têm caminhões a GNC/GNL disponíveis para venda hoje (84–89).

Fabricantes de máquinas agrícolas já lançaram alguns modelos movidos a gás liquefeito, além de protótipos a gás comprimido (90), com potência e torque iguais aos das versões a diesel equivalentes (91–93).

Em termos de tecnologias de propulsão disponíveis para uso do GN ou biometano, atualmente há quatro alternativas de uso do biometano no segmento de veículos pesados a diesel:

- bicombustível (diesel + gás)
- ignição por centelha com combustão pobre (só gás)
- ignição por centelha estequiométrica (só gás)
- injeção direta a alta pressão (HPDI (diesel + gás)

As tecnologias mais usadas atualmente são ignição por centelha estequiométrica e bicombustível (89).

Para a versão com ignição por centelha estequiométrica, os caminhões usam um catalisador de três vias (TWC) regular como principal sistema de pós-tratamento, para redução simultânea de NO e NO2, além de oxidação dos hidrocarbonetos não queimados (THC) e do CO, sem necessidade de filtro para material particulado. O motor opera perto da condição lambda=1, onde o catalisador apresenta sua maior eficiência de conversão para os três gases. Um dos principais benefícios desta tecnologia na substituição da combustão normal do diesel é a virtual ausência de material particulado.

Para a versão bicombustível, que utiliza uma pequena "chama piloto" de diesel para acender a mistura metano-ar, o motor tipicamente emprega um catalisador de oxidação de metano (MOC) ou um catalisador de oxidação de diesel (DOC) especializado, devido à necessidade de minimizar o escape de metano (methane slip) da câmara de combustão. Os DOCs regulares não convertem metano em CO2 e H2O com eficiência. São usadas estratégias regulares de redução catalítica seletiva (SCR) para reduzir os óxidos de nitrogênio nesses motores, devido à operação pobre em geral. Além disso, é necessário um filtro de partículas de diesel, já que há combustão de diesel e geração de material particulado.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Benefícios do uso de gás natural e biometano no transporte

Em termos de consumo de combustível e desempenho, um veículo movido a gás natural fóssil exibe o mesmo comportamento que outro movido a biometano (94), já que a composição de ambos os combustíveis é muito semelhante.

No Brasil, a Resolução ANP No. 886 de 29/09/2022 estabelece as especificações e regras para aprovação e controle de qualidade do biometano oriundo de aterros e ETEs para uso veicular e em instalações residenciais, industriais e comerciais (95), enquanto a Resolução ANP No. 906 de 18/11/2022 define as especificações do biometano gerado de produtos e resíduos orgânicos agrossilvopastoris e comerciais e destinado ao uso veicular, residencial e comercial (96). Desde que esteja em conformidade com essas especificações, o biometano pode ser injetado nas redes de GN nacionais.

Na Europa, para ser usado em gasodutos ou transporte, o biometano tem de estar em conformidade com as especificações de qualidade contidas nas normas europeias EN 16723-1, para injeção em redes de GN, e EN 16723-2, para transporte rodoviário (97). Vários países já usam GNL como alternativa ao diesel no transporte de longa distância.

Modelagens e testes indicam que caminhões GN emitem 10%-20% menos CO2e que diesel e que a redução chega a 92% para caminhões a biometano. Vários estudos indicam reduções de >70% no ciclo de vida completo (76,89,98).

Na Europa, o Plano REPowerEU de 18/05/2022 preconiza um grande aumento da produção de biometano até 2030. Aumentar a produção e uso dessa fonte de energia renovável e despachável também ajuda a enfrentar a crise climática. A produção de biometano na EU, tanto como biogás quanto na versão purificada, precisa alcançar 35 bmc/ano até 2030 e o investimento necessário está estimado em € 37 bilhões (98). A norma sobre CO2 (99), Regulamento (EU) 2024/1610, Considerandos 17 e Art. 15 para HDVs prevê reconhecimento e implementação assim que possível de combustíveis CO2-neutros como biometano para descarbonizar o setor (100).

Relatório técnico emitido por consórcio brasileiro e coordenado pela Fiesp em 2025 mostra que no estado de São Paulo o custo total da propriedade (TCO) pode ser entre -30 e + 25% para HDVs a biometano em comparação com o diesel, dependendo da distribuição do custo do biometano nas regiões consideradas (101).

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Benefícios do uso de gás natural e biometano no transporte

Estudos feitos por Hoffelner et al (101) sugerem que GNL pode custar menos que diesel e eletricidade, embora veículos a GNL emitam mais CO2 que versões elétricas. Artigo publicado por Rajalehto & Helo mostra que o TCO de um caminhão não varia significativamente entre diesel e biometano, mesmo sem incentivos fiscais (102). Segundo Pääkkönen et al., na Finlândia o custo dos combustíveis em 2019 variaram de € 81 a € 190/MWh para biometano e € 15/MWh para diesel, o que ajudou a trazer o TCO a níveis comparáveis (103).

De modo geral, o biometano exibe emissões WtW bem menores que o diesel e pode reduzir muito as emissões de GEE no ciclo de vida completo quando comparado com diesel e gasolina. Madhusudhanan et al. constatam uma redução de 91.87 para 16.87 gCO2e/MJ, o que corresponde a uma redução de mais de 70% nas emissões de carbono equivalente por caminhões a biometano no transporte de longa distância quando comparados a caminhões a diesel (75).

Segundo Han et al. no Argonne National Laboratory, todas as rotas de biometano exibem muito menos consumo de combustíveis fósseis e emissões de GEE que GN fóssil convencional e gasolina. Os autores estimam reduções de 81%-91% nas emissões de GEE por MJ no caso do GNC renovável gerado por DA em comparação com gasolina, dependendo do tipo de reator e de 86%-94% no caso do GNL gerado por DA em comparação com diesel (104).



* Sem levar em conta os efeitos dos preços internacionais do petróleo devidos aos conflitos Irã Israel-EUA.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Transporte, armazenamento e postos de abastecimento

O biometano pode beneficiar-se da disponibilidade de gasodutos de gás natural. A injeção ou inserção de biometano nas redes existentes é considerado por muitos a maneira mais eficiente de expandir o uso do produto. Sendo quimicamente idêntico ao GN fóssil e estando em conformidade com as normas de qualidade do gás de gasoduto, pode utilizar a infraestrutura existente sem o risco de ativos obsoletos (stranded assets) ou a necessidade de modificações dos gasodutos (105). Nos EUA, há mais de 4,8 milhões de km de gasodutos, que em 2022 transportaram mais de 800 milhões de metros cúbicos. Desse total, 40% foram utilizados para gerar eletricidade, 32% para operações industriais, 14% para atividades residenciais, 10% para atividades comerciais e 4% para transporte (106). A Europa tem mais de 260 mil km de gasodutos instalados, sendo a Itália o único país europeu a ter uma infraestrutura de gás bem distribuída, com mais de 32 mil km de gasodutos e numerosas conexões com outras redes transnacionais (96).

Empresas em vários países já aceitam o biometano para injeção nas redes de gás existentes. Alguns exemplos de operadores de redes nos EUA que já aceitam biometano são mostrados na tabela abaixo (106).

NOME DA EMPRESA E WEBSITE	ESTADOS EM QUE GNR É INJETADO	INSUMOS[1]
Enterprise Pipeline	Texas	GA
Equitrans Midstream	Pensilvânia	GA
Four-S Oil Company	Texas	GA
Fremont Department of Utilities Gas Distribution	Nebraska	ARA
General Gas Pipeline, LLC	Tennessee	GA
Great Lakes Gas Transmission Company	Michigan	GA

(1) GA - Gás de aterro, **ARA** - Águas residuais/Água, **RO** – Digestor de resíduos orgânicos

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

NOME DA EMPRESA E WEBSITE	ESTADOS EM QUE GNR É INJETADO	INSUMOS[1]
Gulf South Pipeline	Louisiana, Texas	GA
Hawaii Gas Transmission and Distribution	Havaí	ARA
Houston Pipe Line Company	Texas	GA
Kinder Morgan	Arizona, Mississippi, Oklahoma, Texas	GA, ARA
Memphis Light, Gas and Water (MLGW)	Tennessee	GA
Metropolitan Utilities District of Omaha	Nebraska	GA
Montana-Dakota Utilities Co.	Montana	GA
Mountaineer Gas Company	Virgínia Ocidental	GA
National Fuel Gas	Pensilvânia	GA
National Gas & Oil Cooperative	Ohio	ARA
National Grid	Nova Iorque	GA, ARA
Northern Indiana Public Service Company (NIPSCO)	Indiana	Ag
Northern Natural Gas	Kansas, Nebraska, Wisconsin	Ag, ARA
NW Natural	Oregon	ARA
Pacific Gas and Electric Company (PG&E)	Califórnia	Ag
Panhandle Eastern Pipe Line Company	Kansas	GA
Peoples Natural Gas	Pensilvânia	GA

(1) **GA** - Gás de aterro, **ARA** - Águas residuais/Água, **RO** – Digestor de resíduos orgânicos

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

NOME DA EMPRESA E WEBSITE	ESTADOS EM QUE GNR É INJETADO	INSUMOS[1]
Philadelphia Gas Works	Nacional	GA
Piedmont Natural Gas Company, Inc.	Carolina do Norte	Ag
Puget Sound Energy	Washington	GA, ARA
Southern California Gas Company (SoCalGas)	Califórnia	Ag, RO, ARA
Southern Company Gas	Geórgia	GA
Southern Company Gas (Atlanta Gas Light Company)	Geórgia	GA
Southern Star Central Gas Pipeline	Kansas, Oklahoma	GA
Summit Utilities, Inc.	Maine	Ag
Texas Gas Transmission LLC	Kentucky	GA
UGI Utilities	Pensilvânia	GA
Utica Gas Services (subsidiary of Williams Gas Pipeline)	Ohio	GA
Vectren Energy Delivery	Ohio	GA
Vermont Gas	Iowa, Quebec, Vermont	Ag, GA, ARA
Williams Gas Pipeline	Washington	GA
Wisconsin Public Service Corporation	Wisconsin	RO
Xcel Energy	Colorado	ARA
XTO Energy	Oklahoma	GA

(1) **GA** - Gás de aterro, **ARA** - Águas residuais/Água, **RO** – Digestor de resíduos orgânicos

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

A injeção de biometano nas redes de gás existentes é uma maneira de começar a substituir o combustível fóssil gradualmente, não só no setor de transporte mas também em outros setores que consomem gás como combustível.

Além de ser fornecido através das redes existentes, o biometano também pode ser produzido e transportado na forma comprimida ou líquida, como bio-GNC ou bio-GNL respectivamente.

Isso acontece tipicamente em regiões onde a rede de gasodutos está distante demais (106). O conceito de "gasoduto virtual“ refere-se a um sistema de logística utilizado para transportar gás natural ou biometano (tipicamente comprimido ou liquefeito) a regiões onde não há redes de gasodutos físicos, os custos de construção seriam altos demais ou a construção não seria tecnicamente viável. Em vez dos tradicionais tubos de aço enterrados, cria-se um "duto" formado de uma frota de veículos — caminhões, trens ou balsas — que transportam o gás continuamente de um ponto de fornecimento até o consumidor final (109). Em estudo de Bhatt et al., o transporte de GNR por gasoduto teve a menor intensidade de carbono (IC) em distâncias médias a longas devido à alta eficiência energética das redes de transmissão. Carretas carregando tubos de GNC (tube trailers) tiveram a menor IC (3,2 gCO2e/MJ) em distâncias mais curtas (até 250 milhas) devido a emissões estáticas mínimas, mas sua capacidade limitada de carga útil leva a maiores emissões (1,56 gCO2e/MJ por 100 milhas) em distâncias acima de 250 milhas. Por isso, o transporte de GNL por carreta, apesar de ter emissões estáticas maiores (10,2 gCO2e/MJ), torna-se mais favorável em distâncias mais longas (acima de 650 milhas) devido à eficiência superior de entrega. Essas conclusões sugerem que, embora o transporte de GNC seja vantajoso em distâncias curtas, a transmissão por gasoduto permanece sendo a opção mais eficiente, com carretas de GNL se tornando competitivas apenas em distâncias longas (mais de 900 milhas) (73).

Hoje, enquanto o setor de biometano está fazendo a transição para um modelo mais industrializado, as fontes da vantagem competitiva estão mudando. Escala, excelência operacional e competências integradas estão se tornando diferenciais críticos. No setor de transporte, o biometano vem sendo usado principalmente por produtores de combustíveis no agronegócio, na indústria sucroenergética e no tratamento de esgoto doméstico. Empresas com acesso direto a resíduos orgânicos (esterco animal, resíduos agrícolas ou vinhaça) são os usuários mais frequentes porque as frotas das empresas de logística usam biometano gerado diretamente do processamento dos resíduos e utilizam um sistema de circuito fechado em que os caminhões são abastecidos pelos próprios resíduos que coletam (110).

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Reservatórios de gás para caminhões pesados

A densidade energética do GN e do biometano é muito baixa em comparação com a do combustível líquido. Ambos devem ser comprimidos ou liquefeitos para atingir a densidade energética volumétrica necessária para seu uso como combustíveis de transporte. Embora a densidade do GNL seja cerca de 40% mais baixa que a do diesel, ainda assim é significativamente mais alta que a do GNC, sendo portanto adequado para o transporte de longa distância (111,112).

Os caminhões movidas a GNC ou biometano tipicamente são equipados com reservatórios de alta pressão na forma de cilindros. Esses cilindros são classificados em quatro tipos de acordo com os materiais e a configuração, conforme mostrado na tabela:

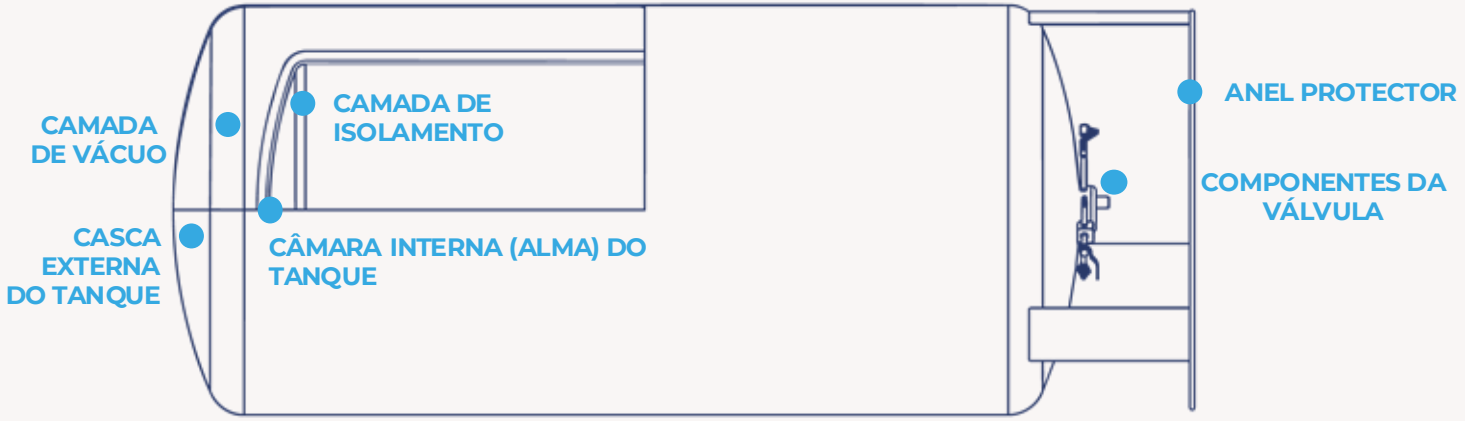
TIPO 01	Inteiro de metal, aço ou alumínio	**~1,0kg/l**
TIPO 02	Alma de metal envolta por plástico reforçado com fibra em formato de aro	**~0,75 kg/l**
TIPO 03	Alma de metal totalmente revestido por plástico reforçado com fibra	**~0.4 kg/l**
TIPO 04	Alma de plástico totalmente revestido por plástico reforçado com fibra	**~0,25-0,35 kg/l**

A norma ISO 11439:2013 estabelece os requisitos mínimos para cilindros recarregáveis de gás projetados exclusivamente para o armazenamento de GNC como combustível a bordo de veículos automotores (113). A norma é também aplicada no Mercosul.

A autonomia de um caminhão movido a GNC ou biometano comprimido varia de 300 km a 700 km, dependendo do número de cilindros de alta pressão a bordo. Essa capacidade pode alcançar um total de 16 cilindros, armazenando 406 Nm^3 a 220 bar de pressão máxima, por exemplo (114,115).

Normalmente os caminhões movidos a GNL ou biometano liquefeito são equipados com dois tanques de 540 litros de combustível criogênico com isolamento a vácuo, totalizando 1.080 litros, a cerca de 10 bar e com GNL a temperaturas de -125 °C a -160 °C (89,116). A figura abaixo mostra esquema de um tanque criogênico para aplicação em caminhões (112). A norma ISO 12991:2012 define os requisitos de um tanque para armazenamento de GNL como combustível a bordo de veículos automotores (117).

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.



A instalação típica para um caminhão pesado compreende dois tanques criogênicos. Devido à maior densidade energética do combustível em estado líquido, a autonomia de um caminhão a GNL pode chegar a 1,200-1,700 km (84,115).

Quando a pressão interna do GNL atinge 16 bar e na ausência de consumo do combustível (motor desligado), a porção vaporizada tem de ser purgada, o que deve ser evitado na medida do possível devido ao alto potencial de aquecimento do metano. Segundo o Regulamento no. 110 da Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa (UNECE) (118), os tanques de GNL veicular devem possuir um tempo de retenção de projeto de no mínimo cinco dias após o abastecimento completo na temperatura e pressão máximas permitidas pelas especificações de projeto. Porém, ao longo da vida útil de um caminhão movido a GNL há momentos em que o limite de cinco dias pode ser ultrapassado. Tais exceções incluem os dois estágios do processo de fabricação (chassi e instalação dos sistemas internos), o transporte da fábrica até a concessionária, manutenções, interrupções inesperadas das operações de logística e o final da vida útil do veículo.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Principais componentes de um posto de abastecimento de GNC / biometano

Um posto de abastecimento de gás natural comprimido (GNC) é uma instalação especializada com muitos equipamentos projetados para resistir a pressões altas (tipicamente desde a pressão de um gasoduto municipal até 200-250 bar). Já que o sistema lida exclusivamente com compressão gasosa, os componentes são intensivos em capital e sujeitos a normas rigorosas de segurança (119,120). A norma EN/ISO 16923:2026 (121) “Natural gas fueling stations – CNG stations for fueling vehicles" (“Postos de abastecimento de gás natural – estações de GNC para abastecimento de veículos") cobre o projeto, construção, operação, inspeção e manutenção de postos de abastecimento de veículos movidos a GNC, incluindo equipamentos, segurança e dispositivos de controle. Esta norma europeia também aplica-se a partes de um posto onde o gás natural está em estado gasoso e é fornecido GNC derivado de gás natural liquefeito (GNC-L) de acordo com a norma EN ISO 16924. Aplica-se ainda ao biometano, ao metano de leito de carvão (CBM) purificado e ao gás advindo da vaporização de GNL (no local ou fora dele). Os elementos da norma EN ISO 16923 que visam assegurar a interoperabilidade de posto de abastecimento de GNC e dos veículos devem ser obedecidos em pontos de recarga de GNC.

Um posto típico de abastecimento rápido, projetado para abastecer caminhões pesados e carros tão rapidamente quanto uma bomba de diesel, compreende cinco principais blocos de equipamentos (122).

[Gasoduto] ➔ [1. Secador de gás] ➔ [2. Compressor] ➔ [3. Painel de prioridade] ➔ [4. Cascatas de armazenamento] ➔ [5. Dispenser]

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

A. Sistema de admissão e secagem do gás

- **Função:** O gás natural bruto fornecido pelo gasoduto contém umidade. A unidade de desidratação usa leitos de dessecantes para remover o vapor de água antes da compressão.
- **Por que é crítico:** Se a água não for removida, irá congelar nas linhas de combustível e válvulas de pressão alta do caminhão quando a pressão do gás cair bruscamente durante o abastecimento (122).

B. Bloco compressor de GNC

- **Função:** O "coração" do posto. Admite o gás fornecido pela distribuidora a pressão média ou alta e o comprime em múltiplas etapas mecânicas até que chegue a 250 bar.
- **Por que é crítico:** Determina a capacidade de abastecimento (throughput) do posto. As cargas elétricas envolvidas são tão grandes que requerem transformadores dedicados de 480V com três fases fornecidos pela empresa de energia elétrica (120).

C. Painel de prioridades e lógica de controle

- **Função:** Matriz automatizado de roteamento de válvulas que direciona o gás comprimido dinamicamente.
- **Por que é crítico:** Determina se o gás que sai do compressor vai diretamente para um veículo que chega ou para os reservatórios de armazenamento de pressão alta, média e baixa, otimizando a eficiência do abastecimento (122).

D. Cascatas de armazenamento de alta pressão

- **Função:** Banco de cilindros de paredes grossas em aço ou compósitos projetado para armazenar gás a cerca de 275 bar.
- **Por que é crítico:** O compressor não consegue bombear gás com a velocidade requerida para fast fill de caminhões. A cascata age como bateria, enviando gás pré-comprimido rapidamente a pressões diferenciados (120).

E. Dispensers e sistemas de metering

- **Função:** Bombas que servem o consumidor, com bico breakaway de alta resistência, medidores integrados de vazão mássica (Coriolis) e loops de compensação de temperatura.
- **Por que é crítico:** O gás expande à medida que a temperatura sobe e o dispenser calcula a massa entregue em vez do mero volume (119).

Custos típicos de instalação e de capital (CAPEX) para um posto de abastecimento de GNC

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

O custo muda dramaticamente conforme a finalidade do posto: custa menos construir um posto que abastecerá uma frota particular lentamente durante a noite (time-fill) que um hub de transporte público com grande movimento de veículos (fast-fill) (120).

Custo por componente e fase do projeto

COMPONENTE / ITEM DE CUSTO	FAIXA TÍPICA (US$)	VARIÁVEIS-CHAVE
Bloco compressor	$150k – $500k	Potência do motor, vazão, sequência
Cascatas de armazenamento	$50k – $150k	Número de cilindros, capacidade (volume)
Desidratação do gás (dryer)	$20k – $50k	Umidade e vazão do gás de admissão
Dispensers (por unidade)	$30k – $60k	Mangueira dupla v. única, integração de pagamentos
Painel de prioridades e automação	$15k – $40k	Complexidade do controle, acionadores de válvula
Obras civis e sistema elétrico	$50k – $150k	Fundações, ligação transformador 480 V
Engenharia e permissões	$20k – $60k	Zoneamento, licenças ambientais

Totais: posto privado / time-fill $400k–800k (omite cascatas pesadas e painéis de prioridades — caminhões abastecidos diretamente em 6 a 8 h); público / fast-fill $1.0–1.8M; prontidão para H_2 e demais inovações (future proofing) acrescenta 10%-20% e pode trazer financiamento verde..

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Resumo dos custos de um posto de abastecimento

Particular / Time-Fill: US$ 400.000 – US$ 800.000
(Economiza por omitir cascatas pesadas de armazenamento e painéis de prioridades; caminhões abastecidos diretamente via pequenos compressores em 6 a 8 horas) (119,120).

Público / Comercial Fast-Fill: US$ 1.000.000 – US$ 1.800.000
(O usuário precisa sentir que a experiência com o sistema de alta capacidade como um todo é igual à de uma parada normal de caminhão) (120).

Pronto para H2 - Future-Proofing
Alguns investidores já estão solicitando postos H2-Ready que possam ser convertidos para operações com mistura de hidrogênio no futuro. Isso acrescenta de 10% a 20% ao custo inicial dos equipamentos mas poderá ser elegível para financiamento verde.



Sources Ch.3 (commercial maturity)

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Principais componentes de um posto de GNL

Um posto de GNC depende de compressores mecânicos para comprimir o gás fornecido pelo gasoduto. Um posto de GNL manuseia um líquido criogênico armazenado a cerca de -162°C. O GNL sendo muito denso, esses postos não precisam de blocos compressores pesados, a não ser que operem também como postos de GNC-L (instalações que bombeiam GNL líquido e depois o vaporizam para abastecer veículos convencionais movidos a GNC). A norma EN/ISO 16924:2026 – “Natural gas fuelling stations — Liquefied natural gas (LNG) stations for fuelling road vehicles” (123) estabelece os requisitos para o projeto, construção, operação, inspeção e manutenção de postos de abastecimento de veículos movidos a GNL, inclusive equipamentos, segurança e dispositivos de controle. Um posto comercial de abastecimento rápido (fast-fill) de GNL/GNC-L tem cinco módulos criogênicos (124):

[Tanqueiro criogênico] ➔ [1. Tanque de armazenamento com isolamento] ➔ [2. Bombas criogênicas] ➔ [3. Sistema de saturação] ➔ [4. Dispenser] (➔ Opcional: [5. Vaporizador de alta pressão para GNC-L]

A. Tanque de armazenamento de GNL criogênico

- Função: Tanque maciço de parede dupla com isolamento por vácuo projetado para manter o líquido super-resfriado (-162°C) sem refrigeração externa.
- Contexto técnico: Esses tanques utilizam sistemas de gestão de "boil-off gas" (BOG) para captar o líquido eventualmente vaporizado devido a vazamentos de calor no ambiente ou escape, reciclando-o de volta nos tubos para evitar perda de combustível.

B. Bombas submersas de líquido criogênico

- Função: Bombear o GNL líquido diretamente do tanque de armazenamento aos dispensers de combustível.
- Contexto técnico: Diferentemente de bombas de combustível regulares, estas unidades operam totalmente submersas numa câmara ou coluna criogênica para prevenir choque térmico e travamento por vapor.

C. Sistema de saturação (circuito de condicionamento)

- Função: Aquece o GNL ligeiramente (até cerca de -130°C) antes que o gás adentra o veículo..
- Por que é crítico: Motores de caminhões pesados (como os da Scania ou da Volvo) precisam que o combustível esteja na pressão especificada como de saturação (usualmente de 6 a 10 bar) para que entre corretamente no sistema de injeção do motor. O circuito de condicionamento faz com que parte do líquido frio passe por um trocador de calor aquecido a ar de modo a elevar a pressão de vapor dentro do tanque.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Principais componentes de um posto de GNL

D. Dispensers e bicos criogênicos

- Função: Bomba de combustível com duas mangueiras (uma para entregar líquido e a outra para equilibrar a pressão de vapor no tanque).
- Por que é crítico: Requer bicos breakaway especializados com isolamento. O operador precisa usar luvas criogênicas e máscara porque qualquer contato da pele com GNL queima imediatamente, causando frostbite.

E. Bomba de alta pressão e vaporizadores de ar ambiente (só módulo GNC-L)

- Função: Opcional mas muito comum. Uma bomba criogênica de alta pressão força o GNL a passar por vaporizadores de ar ambiente, convertendo o líquido instantaneamente em gás comprimido a 200–250 bar (125).
- Por que é crítico: Isso permite ao posto vender tanto GNL (para caminhões de longa distância) quanto GNC (para furgões de entrega ou carros de passeio) a partir de uma única fonte de armazenamento de líquido, melhorando a rentabilidade do posto.
- Custos típicos de instalação e de capital (CAPEX)

Por causa da metalurgia especializada, isolamento pesado e zonas rigorosas de segurança exigidos para líquidos criogênicos, postos de GNL requerem mais CAPEX que instalações simples de GNC.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Custo por componente e fase do projeto

Com base em dados de campo coletados de redes implantadas na Europa, como por exemplo o projeto de "LGN Blue Corridors", e análises de logística norte americanas, o custo pode ser discriminado assim (124):

COMPONENTE / ITEM DE CUSTO	FAIXA TÍPICA (US$)	VARIÁVEIS-CHAVE
Tanque de armazenamento criogênico (cerca de 40-80 m³)	$180,000 – $350,000	Capacidade do tanque, orientação vertical vs. horizontal
Bombas de líquido criogênica e câmara	$70,000 – $140,000	Vazão, bomba única vs. múltiplas para redundância
Skid de condicionamento / saturação	$40,000 – $80,000	Reguladores dinâmicos de pressão,, tamanho
Dispensers (por unidade)	$45,000 – $75,000	Duas configurações: só liquido ou GNL/GNC-L
Obras civis, isolamento e tubulação	$150,000 – $300,000	Tubulação dupla parede com isolamento a vácuo, manuseio de gás evaporado (boil-off gas)
Sistema elétrico, circuitos de segurança e automação	$110,000 – $160,000	Iluminação segura, subestações, sensores de vazamento
Engenharia, zoneamento e permissões	$40,000 – $100,000	Grandes distâncias de segurança criogênica, barreiras anti-explosão

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Resumo dos custos de postos de abastecimento

Posto de GNL puro (só líquido)
US$ 550.000 – US$ 800.000 (equivalente a € 500.000 – € 600.000) (125). Projetado especificamente para abastecer frotas dedicadas de caminhões pesados de longa distância (124).

Posto de GNL + GNC-L
US$ 1.000.000 – US$ 1.500.000 (equivalente a € 850.000 – € 1.250.000), subindo para US$ 2.000.000 em certos casos que envolvem circuitos de vaporização de alta pressão em maior escala (124).

Apesar do CAPEX mais alto, esta configuração oferece um retorno sobre investimento mais rápido por captar tanto o mercado de GNC quanto o de GNL simultaneamente. Além disso, pode utilizar o gás que evapora (BOG) do GNL armazenado, comprimi-lo em reservatórios de GNC e reduzir as parcelas fugitivas de metano.



© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Custo total da propriedade (TCO) no transporte de cargas pesadas

O transporte de cargas pesadas continua sendo uma das aplicações mais promissoras do biometano. O parâmetro mais usado para avaliar sua viabilidade econômica é o custo total da propriedade (TCO), uma estimativa financeira que visa descobrir os custos diretos e indiretos de um produto ou ativo ao longo do ciclo de vida inteiro. Vai além do preço de compra para incluir os custos de manutenção, operação, treinamento e descarte.

O biometano pode ser utilizado como bio-GNC ou bio-GNL em tecnologias existentes de gás natural, proporcionando reduções substanciais das emissões de gases de efeito estufa e utilizando a infraestrutura já implantada.

CONSTATAÇÕES ILUSTRATIVAS FEITAS POR ESTUDOS BRASILEIROS DO SETOR DE FRETE:

COMBUSTÍVEL	TCO (US$/km)
GNL	1,59
GNC/biometano	1,73
Diesel	1,87

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Considerações adicionais

Todo OEM é obrigado a cumprir os limites de emissões na produção e comercialização de veículos novos. Na Europa, os limites de CO, NOx, THC, MP e NP são determinados pelas normas EURO 6 para veículos de passageiros e comerciais leves e EURO VI para veículos pesados, entre outras restrições atuais (126). No Brasil, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) também determina limites de emissões, sendo que para veículos pesados a etapa atual (P8) é semelhante à EURO VI.

Todavia, apenas alguns países também determinam como veículos convertidos para gás devem cumprir os limites de emissões. Por exemplo, há regulamentos específicos para conversão de caminhões de diesel para GNC/GNL na Europa (UNECE Regulation no. 115); segundo esta norma, veículos convertidos devem obedecer os limites de acordo com o tipo de aprovação do veículo original, incluindo os fatores de deterioração aplicados na saída da fábrica (118). No Brasil, não há testes de emissões para veículos convertidos, que são obrigados apenas a obedecer ou serem compatíveis com os parâmetros aplicáveis aos sistemas de armazenamento de alta pressão (127,128).

É da maior importância que se introduza legislação específica sobre a conversão de veículos, principalmente por causa do problema potencial do escape de metano nos motores convertidos.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.



SEÇÃO 4

4 Benefícios do biometano para a sustentabilidade e gestão da crise do clima

Principais determinantes da sustentabilidade

O desempenho climático "do poço às rodas" (well to wheel - WtW) varia significativamente em função dos insumos, da gestão de resíduos com análise contrafactual, do vazamento de metano e do uso de energia elétrica para purificação e liquefação, além da decisão de creditar ou não, na avaliação do ciclo de vida (LCA,) a substituição de digestato e as emissões de metano de esterco ou lixo evitadas.

Fator: insumos (lixo/esterco v. resíduos agrícolas)
Impacto nas emissões de GEE e na sustentabilidade: lixo e esterco levam a reduções muito maiores, às vezes tornando as emissões negativas em termos líquidos; o uso de resíduos agrícolas pode ter um impacto menor e até ser problemático (2,10,129).

Fator: vazamento de metano (digestão anaeróbica, purificação, recarga)
Impacto nas emissões de GEE e na sustentabilidade: se o vazamento exceder ~3%–6%, o biometano poderá perder sua vantagem e ser pior que diesel com base na análise “do poço ao tanque” (12,129–131).

Fator: contornos do sistema e co-produtos
Impacto nas emissões de GEE e na sustentabilidade: creditar as emissões de metano do lixo evitadas e a substituição de fertilizantes minerais melhora muito os resultados (2,10,129,132).

Fator: mix de eletricidade para purificação/liquefação
Impacto nas emissões de GEE e na sustentabilidade: energia de baixo carbono é crítica; sistemas intensivos em carbono reduzem ou cancelam os benefícios em termos de emissões de GEE ((2,14,129,133).

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Redução de emissões de GEE no ciclo de vida inteiro

01. Há uma base sólida que mostra que produzir biogás de **vinhaça** através de DA pode melhorar o perfil ambiental das biorrefinarias alimentadas com cana e deslocar a energia fóssil. Biometano gerado de resíduos pode entregar reduções de GEE muito grandes com base numa análise WtW. Pode até tornar essas emissões negativas em termos líquidos. Biometano gerado de **resíduos agrícolas** é muito menos robusto (134-137).

02. Digestão anaeróbica de **esterco animal** é a rota de melhor desempenho na literatura.

Uma importante rota visada pela JEC/Comissão Europeia e citada no relatório sobre bioenergia da IEA deu ~67g de CO2e/MJ em bases WtW para biometano de esterco quando se credita a prevenção das emissões de metano do armazenamento convencional de esterco. O relatório nota ainda que biometano gerado do mix de esterco e resíduos alimentares deu 0,6g na fase de expansão. Há ainda um estudo bem menos favorável com uma média de ~30g para biometano de esterco (-44 a +72g), mas com um alto nível de escape de metano a montante que poderia prejudicar o desempenho (138).

03. Biometano de **lixo e biorresíduos orgânicos sólidos urbanos** (OFMSW) mostra força consistente da redução de emissões.

No transporte de cargas pesadas, Gustafsson & Svensson concluíram que o biometano liquefeito de resíduos alimentares pode diminuir o impacto climático em 50%–75% em comparação com o diesel, dependendo do mix de eletricidade e outros pressupostos. Afirmam ainda que se o digestato substituir o fertilizante mineral, o impacto poderá cair abaixo de zero. A IRENA, com sua visão mais ampla das tecnologias envolvidas, chegou a conclusões semelhantes, relatando reduções de emissões de GEE na faixa de 60%–80% para biogás e biometano como combustíveis veiculares versus combustíveis fósseis, com resultados ainda melhores para lixo e resíduos do que para culturas energéticas. Observa-se um impacto 68%–98% menor para coleta e transporte do lixo urbano quando os caminhões usam biometano em vez de diesel (139). Para caminhões de lixo movidos a biometano comprimido, as emissões de GEE caem 55%–75% em comparação com gás natural comprimido (140). Em alguns testes de mobilidade urbana com ônibus, observaram-se reduções de CO2 de ~70%–85% em comparação com diesel (141, 142).

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Redução de emissões de GEE no ciclo de vida inteiro

04. **Lodo de esgoto e de águas residuais** mostram reduções favoráveis mas sensíveis à metodologia.

O relatório técnico (white paper) do ICCT sobre rotas da UE menciona um caso central de 69g de CO2e/MJ para biometano gerado a partir de lodo de águas residuais, mas nota que as estimativas da JEC para essa rota são maiores porque a JEC não aplica a mesma lógica para estimar emissões evitadas que o ICCT, cujo modelo é baseado em GREET. O trabalho do ICCT cita a estimativa compatível de 20g de COe/MJ feita pela JEC, de modo que o biometano gerado a partir de lodo continua sendo favorável em muitos casos, desde que se especifique a metodologia.

05. Observa-se que o uso do **gás de aterro** leva a reduções boas mas não tão fortes quanto o esterco. O caso central do ICCT para biometano derivado de gás de aterro estima redução de 30g de CO2e/MJ. Segundo o mesmo estudo, , o gás de aterro pode entregar reduções significativas de carbono em comparação com combustíveis fósseis mas grande parte já está alocada à geração de calor e eletricidade na Europa, sendo que isso limita o escopo para seu uso adicional no transporte.

06. Muitos estudos na literatura científica tratam do impacto no clima do metano contido no biometano e biogás como combustível veicular (comprimido ou liquefeito) usado no transporte rodoviário, sobretudo de cargas pesadas.

Tais estudos em seu conjunto fornecem a principal base de evidências científicas para o uso do biometano no transporte terrestre, sobretudo por caminhões pesadas e ônibus, incluindo desempenho ambiental (GEE e algumas categorias relacionadas a MP/NOx), viabilidade técnica e econômica, infraestrutura e comportamento poluidor do motor.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

FOCO	PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES (TRANSPORTE E EMISSÕES)	CITAÇÕES
BML v. GNL v. diesel em caminhões pesados	LCA "do poço às rodas" (WtW) do biometano liquefeito (BML), GNL e diesel para veículos pesadas: BML de esterco ou resíduos alimentares reduz impacto no clima em 45%–75% v. diesel; trabalho anterior citado mostra biometano entre os combustíveis de ônibus de menor impacto e BML superior ao diesel na maioria das categorias	(2)
Biometano via gaseificação em motores de veículos pesados (UE)	Comparação WtW de bio-GNC/bio-GNL a partir da gaseificação de biomassa vs GNC, GNL e diesel em motores pesados: redução de emissões de GEE de 60%–67% v. diesel (ignição via centelha), 43%–47% (bicombustível), 64% (HPDI); compatível com cadeias de fornecimento existentes de GNC/GNL	(9)
Potencial do biometano em frota de veículos pesados (Finlândia)	Análise de cenário: ~50% do transporte rodoviário de cargas pesadas na Finlândia poderá ser movido a biometano até 2030; redução de CO de ~50% v. diesel; discute caminhões dual-fuel e a gás com ignição via centelha, além das necessidades de infraestrutura	(1)
Emissions negativas líquidas de veículos pesados via upcycling de biometano	Avaliação regional do sudeste da Inglaterra: caminhões BML reduzem emissões de GEE em ~75% no ciclo de vida inteiro v. diesel; quando se creditam as emissões de metano evitadas, torna-se possível CO_2e negativo em termos líquidos (redução de até 246% v. diesel)	(10)
Biometano para frete via metanação catalítica	LCA da produção de biometano (purificação v. metanação catalítica) para combustível de caminhão de esterco de porco: neutralidade de emissões com pressuposto da fase de uso → emissões totais do frete,0,03–0,07 kg CO_2e/t·km v. 0,17–0,19 para diesel	(14)
Avaliação ambiental e econômica: injeção de biometano e veículos de cargas pesadas	LCA resultante de plantas de biometano para veículos pesados a GN e aquecimento residencial: biometano em veículos pesados reduz significativamente aquecimento global, formação de material particulado fino e acidificação v. diesel; ênfase nos limites para vazamento de metano e gargalos nas redes de gás	(12)
Impacto ambiental dos usos do biometano	LCA comparando biometano em veículos pesados, veículos leves e cozinhas: substituição do diesel em veículos pesados é benéfico em todas as categorias de impacto (acidificação, eutrofização, oxidação fotoquímica, mudança climática); combustão predomina nos impactos	(11)

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

FOCO	PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES (TRANSPORTE E EMISSÕES)	CITAÇÕES
Panorama dos combustíveis veiculares baseados em biogás (BGC e BGL)	Avaliação do biometano comprimido (BGC) e do biometano liquefeito (BGL) enquanto combustíveis veiculares: conclui que são os únicos combustíveis derivados de biogás utilizados comercialmente no transporte, com o maior potencial no curto prazo, inclusive para frete pesado	(143)
Corredor BML no setor de frete em São Paulo	Implantação de um corredor espacial-econômico para frete pesado movido a biometano liquefeito de vinhaça de cana e lixo urbano: constatou-se que custo do BML é competitivo com diesel e capaz de substituir até ~50% do uso regional do diesel, com redução associada das emissões de GEE	(8)
Análise do ecossistema local para caminhões pesados (Reino Unido)	Mostra que conversão de caminhões pesados de diesel para biometano possibilita redução rápida das emissões de GEE com custo de conversão modesto, complementando caminhões elétricos com bateria, a depender das condições da rede de gás	(10)
Motor a diesel bicombustível com biometano	Testes de motor experimental com bicombustíveis: diesel–metano e HVO–"biogás/biometano" (60% CH_4/40% CO_2); bicombustíveis reduziram NOx em 67%–82% e fumaça em 23%–39%, às custas de aumento de CO/HC e queda de eficiência; ilustra tradeoffs combustão/NOx–MP	(13)

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Redução de GEE no ciclo de vida inteiro

07. Do poço às rodas (WtW), biometano de resíduos (esterco animal, restos alimentares, lodo de esgoto e gás de aterro) pode reduzir dramaticamente as emissões de GEE no setor de transporte quando comparado com diesel e gás natural. Em alguns sistemas com esterco, pode até torná-las negativas em termos líquidos quando se creditam corretamente as emissões de metano evitadas e a reciclagem de nutrientes. Biometano derivado de **resíduos agrícolas e culturas de captura de nutrientes (catch crops)** é descrito como forte redutor de emissões. Relatório da Agência Internacional de Energia (IEA Bioenergy Task 37) (18) conclui que biometano de esterco, resíduos, lixo e catch crops tem emissões de GEE mais baixas que outros combustíveis renováveis, notando especificamente que culturas de cobertura e intermediárias podem ultrapassar 100% de redução de emissões de GEE em relação a combustíveis fósseis quando se creditam os ganhos de carbono no solo. Por outro lado, o ICCT (138) constata que biometano derivado de **milho de silagem** pode ser pior para o clima que combustíveis fósseis quando se inclui a mudança de uso da terra. Noussan et al. mostram forte redução dos benefícios quando são aplicados créditos e penalidades relativos a culturas na Itália (3).

08. Quanto ao transporte rodoviário de cargas pesadas, dois trabalhos são especialmente úteis. Gustafsson and Svensson (2) mostram que substituir diesel com BML em caminhões pode reduzir muito o impacto no clima, sendo que esse resultado é fortemente influenciado pelo mix de insumos e eletricidade. Noussan et al. concluem que, dependendo do mix de insumos e da aplicação, 1 bcm de biometano pode evitar 2,33-4,37 MtCO2e e mostram que o benefício é maior em caminhões e navios, não em carros leves.

09. Biometano de esterco: contribui −67g de CO2e/MJ na análise WtW em casos do tipo JEC quando se credita a não emissao de metano do esterco armazenado; -30g no caso central do ICCT sem esse tipo de crédito. Biometano de lodo de esgoto: −69 a 20g, dependendo sobretudo da metodologia e da abordagem a créditos. Biometano de gás de aterro: -30g no caso central do ICCT central case. Biometano de restos alimentares/BML para caminhões: impacto no clima 50%–75% menor que diesel; potencialmente abaixo de zero quando se credita a substituição por fertilizante de digestato. Rotas envolvendo resíduos tipicamente têm emissões 60%–80% menores que combustíveis fósseis no transporte na maioria das avaliações mais amplas das tecnologias. Rotas baseadas em milho e demais culturas: podem ser muito pior que rotas de resíduos e até pior que combustíveis fósseis quando se leva em conta o impacto de mudanças nos usos da terra..

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Melhorias na qualidade do ar (redução de NOx e material particulado)

01. O biometano frequentemente reduz **material particulado (MP)** (Keogh et al., 2024; Ferreira et al., 2019; De Almeida Roque et al., 2025; Gustafsson & Svensson, 2020; Bidart et al., 2022). Do lado negativo, algumas LCAs constataram aumento de eutrofização e formação de oxidantes fotoquímicas em comparação com diesel ou GNC, dependendo do projeto da planta e do controle de emissões (11,12,14,144).

02. Na Índia, o governo incentiva o uso de GNC como combustível de transporte para melhorar a qualidade do ar. O país tem um dos maiores mercados do mundo para GNC em transporte, com cerca de 7,7 milhões de veículos movidos a GNC em circulação. Em 2023, 7,6 bcme de GNC foram consumidos no transporte rodoviário, ou quase 40% a mais que em 2021 (IEA, 2025c).

03. Estudo de uma planta de biogás no ciclo de vida e com modelagem de dispersão comparou duas opções: (1) combustão de biogás em unidade CHP na própria planta; (2) purificação para produzir biometano para injeção na rede ou uso como combustível de transporte. Os impactos locais da combustão em termos de NOx e MP não foram desprezíveis; adotar biometano em vez de produzir biogás localmente por combustão poderia evitar parcial ou totalmente essas emissões de NOx and MP, mesmo assim entregando reduções semelhantes de CO_2e, desde que se controle o escape de metano (145).

04. Uma breve avaliação do impacto ambiental do biogás conclui que biometano como substituto de diesel deve melhorar a qualidade do ar urbano porque as emissões de MP, COVs e HPAs do metano são até 10 vezes menores em comparação com combustíveis fósseis líquidos (146). Nota ainda que o biometano, após a purificação, melhora a qualidade do ar mas vazamentos de metano podem erodir os benefícios (146).

05. Uma análise mais ampla conclui que o biometano como alternativa ao diesel melhora a qualidade do ar local com respeito a NOx e MP e que a purificação do biogás para produzir combustível veicular tem altos benefícios em termos da formação de oxidantes fotoquímicos e demais categorias de impacto (146).

06. No nível do uso final, constata-se que veículos a gás reduzem poluentes locais em comparação com diesel convencional: medições no mundo real num ônibus urbano movido a biogás com catalisador de três vias mostraram que essa é uma maneira econômica de reduzir NOx e MP em comparação com ônibus a diesel, enquanto na análise WtW (do poço às rodas) o biometano reduz emissões de GEE em ~80% contra diesel (147). Mesmo em ônibus velhos com catalisador parcialmente desativado, o biometano é preferível em termos do impacto ambiental, segundo o estudo, desde que se faça pós-tratamento adequado (147).

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Melhorias na qualidade do ar (redução de NOx e material particulado)

07. Uma LCA que examinou diferentes usos finais de biometano (cozinha, transporte leve e transporte pesado) em comparação com GLP, gasolina e diesel concluiu que substituir o diesel por biometano em veículos pesados foi benéfico em todas as categorias de impacto (acidificação, eutrofização, oxidação fotoquímica, mudança climática). Apesar das diferenças entre essas categorias e as do escapamento (NOx e MP), a análise das contribuições mostrou que a queima de combustível predomina entre os impactos, o que sugere que as emissões do NOx e MP são menores quando o diesel é substituído pelo biometano (11).

08. Uma avaliação global do biometano como substituto do GN fóssil enfoca emissões de GEE mas confirma que tal substituição reduz substancialmente as emissões do sistema em termos líquidos, desde que haja pouco vazamento de metano (148). Quando o biometano é usado na infraestrutura de gás existente, o MP local relacionado com a combustão é intrinsecamente baixo porque a queima de metano quase não produz fuligem, ao contrário dos combustíveis derivados do petróleo (146).

09. A qualidade do pós-tratamento importa: catalisadores velhos em veículos a gás podem diminuir os benefícios em termos de NOx se não houver monitoramento e manutenção adequados (147).

10. O escape de metano é crítico para o clima, mas nem tanto para a qualidade do ar local. Níveis altos (p. ex. 4%) podem anular os benefícios para emissões de GEE. Níveis baixos (~0,05%) conservam fortes vantagens climáticas (145,146). Ganhos locais de NOx e MP permanecem mas a sustentabilidade geral é afetada.

11. Nos estudos na escala de planta ou regional e nos de revisão, há evidências consistentes de que usar biometano como substituto do diesel, biogás queimado localmente e biomassa residencial leva a reduções substanciais das emissões de MP e a níveis geralmente mais baixo de NOx desde que se usem tecnologias modernas de combustão com NOx baixo e desde que haja pós-tratamento eficaz do escapamento, com o mínimo possível de escape de metano (11,145–147,149,150).

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Redução de ruído no transporte urbano

01. O nível de ruído gerado pelos motores a combustão no trânsito urbano tipicamente varia de 50 dB a 90 dB e é uma grave preocupação de saúde (151,152). Com variadas cargas, o aumento da participação do metano reduziu esse nível, que chegou ao pico de 95 dB, o que é menor que diesel sozinho com qualquer carga (153).

02. Uma análise de ônibus urbanos na Suécia modelou o ruído durante a aceleração de ônibus movidos a biogás, diesel e eletricidade num itinerário urbano (154). Começando a 60 dBA para diesel em fachadas, a substituição de diesel por eletricidade reduziu os custos sociais do ruído em ~1,00 coroa (SEK) por km, enquanto o biogás aumentou esses custos em ~1,10 SEK/km v. diesel (154).

03. Há poucas evidências sobre ônibus movidos por biometano vem comparação com ônibus a diesel em termos de ruído urbano real. Um estudo envolvendo motores sugere que a substituição por biometano pode reduzir o ruído da combustão, mas outro focado em ônibus indica que o biogás pode ser ligeiramente mais ruidoso que o diesel durante a aceleração, enquanto ônibus elétricos claramente fazem menos ruído. Para reduções substanciais de ruído no transporte urbano, pesquisas atuais apontam mais para eletrificação que substituição do diesel por biometano apenas.



© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Gestão de resíduos e desvio de aterro

01. Os aterros sanitários são uma importante fonte humana de metano, um potente gás de efeito estufa. Pesquisadores quantificaram emissões de metano em aterros, demonstrando que captar e usar gás de aterro pode reduzir substancialmente o impacto no clima e ao mesmo tempo gerar energia.

02. Os aterros estão entre as maiores fontes antropogênicas de metano, contribuindo 10%-18% do metano global gerado por humanos e alguns pontos percentuais do total de GEE (155–158).

03. O metano aqueceu o planeta de 28 a 32 vezes mais que o CO_2 em 100 anos e ~84 vezes em 20 anos. Portanto, reduzir metano de aterro reduz o aquecimento global significativamente no curto prazo (156,157).

04. Estudos nos EUA, Indonésia, Índia, Tailândia e Camboja constatam grandes volumes de metano vazando de aterros, frequentemente $>10^4$-10^5 Mg/ano em aterros individuais. Muitos não têm sistemas de recuperação de gás (159–164).

05. O sensoriamento remoto nos EUA detecta emissões significativas concentradas em pontos geográficos específicos na maioria dos aterros de grande porte, frisando que as frentes de trabalho (“work faces”) são fontes predominantes e muitas vezes pouco ou nada controladas (155,165–167).

06. A digestão anaeróbica de resíduos orgânicos urbanos desvia o material habitualmente enviado a aterros e produz biometano e digestato, melhorando a gestão de resíduos e reduzindo o vazamento de metano em aterros (168,169).

07. O volume de metano emitido por resíduos urbanos enviados a aterros mundialmente é estimado em ~75 bilhões Nm^3 de CH_4 por ano; menos de 10% são captados (158,164).

08. Recuperação precoce de gás e redução de resíduos biodegradáveis são identificadas como as medidas mais eficazes de mitigação das emissões de metano em aterros globalmente (157,167,170).

09. A queima (flaring) do CH_4 captado pode reduzir as emissões de GEE dos aterros em ≥55%. Usar o CH_4 captado para gerar eletricidade pode mitigar ≥83% das emissões, evitando 52-63 kg de CO_2e por tonelada de resíduos (162).

10. Estudos de ciclo de vida (LCAs) constataram que a coleta ativa de gás e a geração de eletricidade podem reduzir o impacto das emissões de GEE em aterros em ~40%-45% em relação ao não-gestão de aterros, destruindo metano e substituindo a energia elétrica fóssil (Lee et al., 2017; Scheutz et al., 2023). O potencial de aquecimento global do biometano gerado a partir de resíduos e usado no transporte é até 79% menor que o do biometano de resíduos usado só para eletricidade e calor (168).

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Reciclagem de nutrientes e produção de biofertilizante

01. Sistemas de biometano contribuem para o fechamento dos circuitos de nutrientes, reduzindo nossa dependência de fertilizantes sintéticos e melhorando a saúde do solo, sobretudo quando são baseados em esterco, resíduos agrícolas e detritos orgânicos (14,15).

02. O digestato gerado por digestão anaeróbica de esterco animal, resíduos alimentares e outros orgânicos é rico em nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre, micronutrientes e material orgânico, podendo ser usado diretamente como adubo ou para condicionar o solo (171–174).

03. Estudos de revisão da literatura científica sobre o assunto realçam o digestato como produto-chave de plantas de biogás, não como algo a ser descartado, demonstrando um aumento de rendimento, maior absorção de N e recuperação de P quando usado em lavouras (172,174). Produtos baseados em digestato (líquido, sólido, pellets, fertilizante organomineral) podem servir de fertilizante de liberação lenta e ajudar a diversificar a renda agrícola (175–177).

04. Várias análises publicadas pela European Biogas Association (EBA) (178–180) depois da crise energética Rússia–Ucrânia frisaram o papel estratégico da digestão anaeróbica (DA) e dos sistemas de biometano no reforço da resiliência da agricultura em meio a disrupções nos mercados de fertilizantes e energia. Os relatórios mostraram que o forte aumento dos preços do gás natural levou diretamente a aumentos sem precedentes dos preços de fertilizante sintético de amônia na Europa, elevando substancialmente os custos de produção para os agricultores.

Entre 2021 e 2022, os preços do fertilizante de nitrogênio na Europa subiram mais de 140%-150% em alguns mercados, enquanto os preços do GN subiram temporariamente mais de 400% acima das médias pré-crise. Nessas condições, o digestato de sistemas de DA adquiriu valor econômico estratégico como substituto de fertilizante mineral, ajudando a reduzir a dependência do fertilizante de nitrogênio fóssil importado e reciclando nutrientes localmente. Avaliações da EBA indicaram que o digestato pode substituir parcelas substanciais dos fertilizantes minerais, particularmente N, P e K, reduzindo os custos da compra de fertilizante em centenas de euros por hectare, dependendo do tipo de cultura e da intensidade do fertilizante. Em vários sistemas agrícolas europeus, estimou-se que a substituição por digestato reduziu a procura por fertilizante mineral em 20%-40%, além de reduzir a exposição à volatilidade do mercado de fertilizantes. A EBA frisou ainda que fazendas com sistemas de DA e biometano eram menos vulneráveis economicamente durante a crise energética porque gastaram menos em fertilizante e aumentaram sua renda com eletricidade, biometano, calor, uso de CO_2 e serviços de tratamento de resíduos orgânicos. O efeito combinado melhorou a estabilidade do fluxo de caixa e aumentou a resiliência contra choques de preços de insumos. Com isso, sistemas de biometano contribuíram não só para a geração de energia renovável e a mitigação de metano mas também para a resiliência econômica rural, segurança energética, gestão circular de nutrientes e estabilização dos custos da produção agrícola durante a crise energética na Europa.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Redução da poluição da água via melhor gestão de resíduos

01. Melhor gestão de resíduos orgânicos via digestão anaeróbica pode simultaneamente gerar biometano e reduzir cargas de poluição que contaminariam corpos de água. Isso fica ainda mais claro quando os fluxos de resíduos (esterco, lodo de esgoto, resíduos de alimentos e de aquicultura) são desviados do descarte não controlado e aterros para sistemas de biogás controlados.

02. O tratamento de esgoto remove poluentes e patógenos, produzindo ao mesmo tempo biometano e adubo rico em nutrientes. Assim, reduz a pressão sobre mananciais e apoia a agricultura sustentável (181).

03. O lodo das estações de tratamento de esgoto é identificado como insumo-chave de biometano numa economia circular, reduzindo a necessidade de descarte e o impacto ambiental (182).

04. Um modelo regional baseado em GIS mostra como o envio de lodo a plantas de biogás pode aumentar a produção de bioenergia e minimizar o impacto ambiental do descarte do lodo (182).

05. Uma instalação de biogás e compostagem ligada a uma fazenda de gado leiteiro, com separação de sólidos e líquidos e DA, relata “melhoria da qualidade ambiental via controle de odores e redução da poluição da água”, além de recuperação de fertilizante e reciclagem de água (reuso do overflow tratado em limpeza de celeiros e galpões) (183).

06. Na aquicultura, DA dos sólidos do pescado produz biogás rico em metano; os autores realçam a mitigação do impacto ambiental dos fluxos de resíduos via tratamento in loco e valorização (184).

07. Relatórios com avaliações de biogás/biometano frisam DA de resíduos agrícolas, dejetos animais, industriais e alimentares e lodo de esgoto como solução eficiente para gerir resíduos e contribuir para a economia circular e economia verde (185–187).

08. Rotas de resíduos alimentares ao biometano são apresentados como “solução apreciável” para a gestão dos resíduos alimentares, evitando descarte que causa poluição do ar, da água e do solo (188).

09. Esquemas de biohitano (biohidrogênio + biometano de resíduos orgânicos, inclusive a fração orgânica do lixo urbano (OFMSW) e lodo) são vistos como soluções que geram energia limpa e melhoram a gestão de resíduos em casos de fluxos desafiadores (189).

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

FLUXO DE RESÍDUOS	ROTA DE VALORIZAÇÃO	PRINCIPAIS CO-BENEFÍCIOS ALÉM DE ENERGIA	CITAÇÕES
Águas residuais urbanas e industriais	DA em ETEs → biogás/biometano	Água potável, pressão menor sobre mananciais	(181,182,186,187)
Lodo de esgoto	Co-digestaõ em plantas de biogás	Descarte reduzido de lodo, impacto ambiental menor	(182,187)
Restos alimentares	DA para biometano	Menos descarte de lixo sem controle, poluição reduzida do ar, da água e do solo	(169,188)
Esterco animal e resíduos lácteos	DA em escala de fazenda + compostagem	Redução de odores e poluição da água, recuperação de fertilizante	(183,186)
Sólidos de aquicultura	DA para biometano	Tratamento in loco, impactos reduzidos do fluxo de resíduos	(184)

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Benefícios socioeconômicos

01. A valorização do digestato pode reforçar a viabilidade econômica e sustentabilidade da produção rural de biogás, tornando o modelo comercial mais robusto. Ao produzir digestato como substituto de fertilizante sintético comprado de empresas estrangeiras, agricultores na Indonésia reduziram seu consumo de fertilizante sintético em mais de 30% no ano seguinte ao da instalação dos biodigestores. Além disso, relataram aumento da resistência de plantas a secas e doenças.

02. A expansão de biometano/biogás pode gerar emprego, renda e benefícios fiscais mensuráveis no campo. Na Dinamarca (190), expandir a produção de biogás usando 10% do esterco disponível criaria 342 empregos permanentes, gerando € 20,8 milhões por ano de renda adicional e € 6,3 milhões por ano de receita tributária, com potencial teórico de até 3.420 empregos com utilização plena dos recursos.

03. Nas residências, sistemas de biogás podem gerar economias monetárias diretas e outros benefícios econômicos. No Nepal (191), uma planta residencial de biogás típica gera cerca de NRs 9 mil por ano em economias diretas e os benefícios monetizados totais seriam 35%-43% maiores se fossem incluídos os efeitos indiretos (economia de tempo, saúde, substituição de fertilizante).

04. Estudos de percepção pública mostram que sistemas de biometano podem ter valor econômico percebido pelo consumidor. Em Roma (192,193), respondentes disseram que pagariam um prêmio de 11,2% por serviços de energia derivada de biometano e esperavam uma redução de 18,7% na taxa de coleta de lixo, refletindo antecipação de redistribuição dos ganhos econômicos locais.

05. Estudos de otimização no Brasil (194) indicam que a produção de biometano a partir de resíduos de animais de criação pode ser economicamente mais atraente que a geração de eletricidade, apoiando infraestrutura rural descentralizada e melhorando o desempenho econômico regional, sobretudo quando integrada às cadeias de valor locais.

06. No nível macro, a expansão de bioenergia (incluindo biometano) está ligada a benefícios econômicos substanciais. Na Austrália (195), projeções indicam até 26,2 mil empregos novos, cerca de AUD 10 bi por ano de PIB adicional e melhor segurança de combustíveis.

07. Múltiplos estudos constataram VPL e TIR positivos ou potencialmente positivos para plantas de biometano a ser usado no transporte, muitas vezes com taxa de recepção ou subsídios moderados (196–202).

08. Os benefícios incluem diversificação de combustíveis e segurança energética, sobretudo usando lixo urbano, esterco e resíduos agrícolas com poucos usos alternativos (141,198,203–205).

09. Projetos criam empregos e valor local na cadeia de resíduos para combustíveis (coleta, digestão, upgrading, abastecimento) (200,202,204).

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Segurança alimentar e biocombustíveis

As evidências não sustentam a simples afirmação de que biocombustíveis “contribuem” ou “não contribuem” para a segurança alimentar. Biocombustíveis baseados em culturas podem competir por terra e água, elevando preços e até reduzindo a disponibilidade de comida, sobretudo quando o cultivo de culturas básicas é prejudicado. Todavia, a ligação dos biocombustíveis com melhorias ambientais, sistemas agroflorestais, co-produtos usados como ração e cadeias de valor inclusivas pode apoiar a produção de alimentos e a segurança alimentar das famílias. Os resultados dependem de políticas de uso da terra e condições econômicas mais amplas. Não há correlação entre insumos serem comestíveis ou não (ou ambos) e segurança alimentar. O apontamento de correlações entre biocombustíveis e aumentos dos preços de comida é derivado mais frequentemente de estudos de modelagem e observações dos efeitos em países com alto índice de desenvolvimento (IDH).

REFERÊNCIA	TIPO DE ESTUDO	PRINCIPAIS CONCLUSÕES SOBRE BIOCOMBUSTÍVEIS E SEGURANÇA ALIMENTAR	REFERÊNCIA COMPLETA
O efeito do cultivo de culturas de biocombustíveis na estabilidade dos preços dos alimentos e na segurança alimentar - revisão da literatura	Revisão da literatura	Não encontra correlações entre insumos serem comestíveis ou não e segurança alimentar. Relação entre biocombustíveis e segurança alimentar depende do contexto em vez de ser sempre negativa. Biocombustíveis de primeira geração podem elevar preços dos alimentos através de competição por terra, água e culturas, mas impactos variam de acordo com design de políticas, ganhos de produtividade e escolha de insumos.	(206)
Biocombustíveis versus produção de alimentos: a produção de biocombustíveis eleva os preços dos alimentos?	Análise econômica/revisão	Conclui que biocombustíveis contribuíram para aumentos de preços de comida na crise de alimentos de 2007–08, mas não foram o único ou principal fator. Os preços do petróleo, a especulação, o clima e a crescente procura por carne tiveram um papel importante.	(207)
Os efeitos dos biocombustíveis na segurança alimentar em países selecionados	Análise econométrica de vários países	Relata efeitos heterogêneos em países diferentes. Em alguns, biocombustíveis prejudicam a acessibilidade econômica dos alimentos; em outros, o reforço do investimento no agronegócio e da renda rural compensam esses efeitos.	(208)

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

REFERÊNCIA	TIPO DE ESTUDO	PRINCIPAIS CONCLUSÕES SOBRE BIOCOMBUSTÍVEIS E SEGURANÇA ALIMENTAR	REFERÊNCIA COMPLETA
Biocombustíveis e segurança alimentar: evidências de Indonésia e México	Estudo de caso empírico focado em dois países	Nenhum resultado universal relativo a comida versus combustíveis. Biocombustíveis criam empregos rurais e aumentam renda em alguns contextos mas elevam vulnerabilidade aos preços dos alimentos em outros.	(209)
Distribuição dos impactos dos biocombustíveis na segurança alimentar: estudo de caso de Gana	Estudo de caso focado em distribuição	Impactos na segurança alimentar não são distribuídos uniformemente. Algumas famílias rurais foram beneficiadas por empregos e renda; outras perderam acesso à terra e tiveram maior despesa com comida.	(210)
Desafios na alocação de terras agrícolas: biocombustíveis versus produção de alimentos no Brasil	Análise brasileira de uso da terra	Brasil é diferente das narrativas simplistas sobre comida versus combustíveis porque expansão da cana de açúcar ocorreu sobretudo em pasto, não substituindo cultivo de alimentos.	(211)
Impactos locais dos biocombustíveis sobre segurança alimentar no sul da África	Estudo de campo cobrindo vários países	Resultados mistos no sul da África. Benefícios incluem emprego e infraestrutura. Há impactos negativos quando direitos fundiários são fracos.	(212)
Biocombustíveis e segurança alimentar	Revisão da literatura	Revisão das evidências globais leva à conclusão de que biocombustíveis de primeira geração podem criar riscos para segurança alimentar, mas impactos diferem muito entre países e políticas públicas.	(213)
Segurança alimentar no contexto da produção de biocombustíveis líquidos	Revisão e avaliação de políticas	Há riscos e oportunidades. Riscos incluem pressão sobre preços da terra e das commodities; benefícios incluem diversificação da renda do agricultor e desenvolvimento rural.	(214)
Efeitos dos biocombustíveis na segurança alimentar: uma abordagem de dinâmica sistêmica ao caso colombiano	Modelagem de dinâmica sistêmica	Expansão dos biocombustíveis pode estimular desenvolvimento rural e ao mesmo tempo aumentar riscos quanto aos preços dos alimentos, dependendo de produtividade e eficiência dos usos da terra.	(215)

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

REFERÊNCIA	TIPO DE ESTUDO	PRINCIPAIS CONCLUSÕES SOBRE BIOCOMBUSTÍVEIS E SEGURANÇA ALIMENTAR	REFERÊNCIA COMPLETA
Biocombustíveis e seus co-produtos como forragem animal: implicações econômicas e ambientais globais	Revisão da literatura	Coprodutos de biocombustíveis como DDGS compensam substancialmente a competição com o mercado de forragens e rações e melhoram a eficiência do uso da terra.	(216)
Bioenergia em sistemas agroflorestais pode melhorar segurança alimentar, resiliência climática, qualidade do solo e desenvolvimento rural	Revisão sobre sistemas agroflorestais	Bioenergia baseada em sistemas agroflorestais pode melhorar segurança alimentar, diversificar renda do agricultor, reforçar fertilidade do solo e aumentar resiliência climática.	(217)
Biocombustíveis, sustentabilidade ambiental e segurança alimentar: uma análise de 51 países	Ampla visão panorâmica comparando muitos países	Não há relação universalmente consistente entre expansão de biocombustíveis e insegurança alimentar em 51 países. Resultados dependem de governança e produtividade rural.	(218)
O impacto dos biocombustíveis na segurança alimentar	Análise econométrica	Produção de biocombustíveis pode afetar negativamente segurança alimentar em países com sistemas agrícolas fracos, mas pode melhorar o acesso a comida quando há aumento de renda rural.	(219)
Crescimento populacional, produção de biocombustíveis e segurança alimentar	Análise macroeconômica	Pressões futuras sobre segurança alimentar são reforçadas por interações entre crescimento populacional, mudança climática e limitações de recursos, não por biocombustíveis apenas.	(220)
Aumentar a produção de biocombustíveis no contexto da insegurança alimentar	Análise de políticas e aspectos econômicos	Insumos sustentáveis, melhor produtividade e biocombustíveis avançados são críticos para minimizar os riscos aos sistemas alimentares e apoiar a descarbonização.	(221)

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Outras dimensões ambientais

Avaliações de ciclo de vida (LCAs) indicam que o biometano pode também reduzir impactos relacionados com acidificação e eutrofização, sobretudo quando integrado com melhor gestão de nutrientes e uso de digestato (15,222,223).

Vários estudos sistêmicos e revisões de literatura frisam o benefício em termos de poluentes do ar locais quando o biogás é purificado para produção de biometano e usado como substituto do diesel/gasóleo ou outros combustíveis fósseis.

ROTA DA TRANSIÇÃO	IMPACTO EM NOX	IMPACTO EM MP E OUTROS POLUENTES	EVIDÊNCIAS E PRINCIPAIS CONCLUSÕES	REFS.
Co-geração de biogás → biometano para rede de gás e transporte	NOx local evitado em grande medida, NOx regional menor quando biometano é usado em motores com NOx baixo	MP do stack (chaminé de escape) evitado; uso de biometano elimina fuligem em comparação com combustíveis líquidos	Modelagem de dispersão mostra emissões de chaminés em sistemas de co-geração; mudar para biometano evita ou reduz em muito a exposição a MP perto de usinas e fábricas	(145,146)
Diesel/gasóleo → biometano em veículos pesados	Menor NOx por unidade em motores modernos a gás com pós-tratamento	Forte redução de MP, COV e HPA (até ~10× menos que combustíveis líquidos)	LCAs e revisões da literatura mostram que combustão tem o maior impacto na qualidade do ar; ônibus e caminhões a gás identificados como alternativas pouco poluentes	(11,146,147)
Biomassa residencial → biometano (aquecedor a gás e rede de gás)	Previsão de redução de NO_2 versus muitos sistemas de combustão que usam biomassa	Grande redução de MP2,5 com biometano versus lenha e outras biomassas sólidas	Análises de impactos na saúde e de políticas identificam substituição de biometano como estratégia forte em regiões dominadas por uso residencial de biomassa	(146,149, 150)

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.



SEÇÃO 5

5 Valor econômico e sistêmico

Substituição de combustíveis fósseis para mitigação de metano, proteção ambiental, benefícios sociais e resiliência econômica

O biometano é frequentemente avaliado pela perspectiva limitada do mercado energético, onde sua competitividade é medida primordialmente contra gás fóssil, diesel ou eletricidade. Embora tais comparações sejam relevantes, captam apenas uma fração do valor gerado por sistemas de biometano. Ao contrário dos combustíveis fósseis, o biometano é produzido a partir de detritos orgânicos e outros resíduos, gerando múltiplos benefícios ambientais, econômicos e sociais simultaneamente. Portanto, sua contribuição ao desenvolvimento sustentável vai muito além do conteúdo energético do próprio combustível.

Essa perspectiva mais ampla é cada vez mais reconhecida por organismos internacionais. Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA) (224), a produção global sustentável de biogás e biometano poderá alcançar 1 trilhão de metros cúbicos ao ano, ou cerca de um quarto da atual procura mundial por gás natural. No entanto, somente uma pequena fração desse potencial está sendo realizada atualmente. Além disso, os benefícios do biometano vão muito além da substituição de combustíveis: incluem mitigação de metano, gestão de resíduos, reciclagem de nutrientes, produção de carbono renovável e segurança energética reforçada.

Avaliações recentes da IEA, da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), da Parceria Global de Bioenergia (GBEP) e da Associação Europeia de Biogás (EBA) frisam que muitos projetos bem-sucedidos de biometano derivam grande parte de sua viabilidade econômica de co-produtos e serviços ambientais. Tratamento de esgoto, valorização de digestato, dióxido de carbono renovável, emissões de GEE evitadas e conformidade com a regulamentação ambiental contribuem significativamente para a lucratividade de muitos projetos.

Por esse ângulo, o biometano deve ser visto não só como um combustível renovável mas como uma plataforma integrada da bioeconomia circular capaz de gerar múltiplas correntes de valor ao mesmo tempo.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Biometano na bioeconomia circular

A bioeconomia circular visa maximizar a gestão eficiente de recursos mantendo materiais biológicos, nutrientes e carbono nos ciclos produtivos pelo maior tempo possível. A produção de biometano é um dos exemplos mais claros desse conceito na prática.

Os insumos apropriados para produção de biometano incluem esterco animal, lixo orgânico urbano, lodo de esgoto, resíduos agrícolas, restos de processamento de alimentos e subprodutos agroindustriais. Nos sistemas convencionais de gestão de resíduos, muitos desses materiais geram emissões de metano através de decomposição não controlada ou impõem custos significativos de descarte. Através de digestão anaeróbica e purificação (upgrading), porém, tornam-se recursos valiosos capazes de produzir energia renovável, biofertilizante e dióxido de carbono renovável.

Ao contrário dos combustíveis fósseis, que liberam carbono geológico para a atmosfera, o biometano usa o carbono biológico contemporâneo que já está circulando nos ecossistemas. Por isso, o biometano contribui para a circularidade do carbono e ao mesmo tempo reduz as emissões de metano geradas por correntes de resíduos.

A circularidade dos sistemas de biometano vai além do carbono. Nutrientes originalmente contidos nos insumos continuam a ser disponíveis em grande parte dentro do digestato, possibilitando sua volta para os solos agrícolas. Os processos de purificação também geram correntes concentradas de dióxido de carbono biogênico, do tipo apropriado para aplicações industriais. Tais características distinguem biometano de muitas tecnologias de energia renovável e explicam seu crescente destaque nas políticas públicas referentes à economia circular e ao clima (224–226).

Resíduos Orgânicos → Digestão Anaeróbica → Biogás → Upgrading → Biometano

CO-PRODUTOS E SERVIÇOS:

- DIGESTATO → BIOFERTILIZANTE
- CO_2 BIOGÊNICO → APLICAÇÕES INDUSTRIAIS
- MITIGAÇÃO DE METANO
- TRATAMENTO DE ESGOTO
- CRÉDITOS DE CARBONO

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Fluxos múltiplos de valor

PRODUÇÃO DE COMBUSTÍVEIS RENOVÁVEIS

O principal produto da purificação do biogás é o biometano, um combustível gasoso renovável que pode ser plenamente compatível com a infraestrutura de gás natural e as tecnologias de uso final. Após a purificação, o biometano pode ser injetado nas redes de gás, comprimido para ser usado como bio-GNC no transporte, liquefeito para ser usado como bio-GNL no frete de longa distância e em navios ou utilizado em processos industriais.

Sua compatibilidade com a infraestrutura existente reduz significativamente os custos da transição e facilita a introdução rápida no mercado.

SERVIÇOS DE GESTÃO DE RESÍDUOS

Uma das contribuições mais importantes, mas frequentemente desconsideradas, de projetos de biometano é o fornecimento de serviços de gestão de resíduos. A avaliação regional da GBEP concluiu que tratamento de esgoto, melhorias no saneamento básico, menor contaminação do solo e da água e reduções das emissões de metano são alguns dos principais fatores que explicam o sucesso de projetos de biogás e biometano na África, Ásia e América Latina (225). O custo do descarte de resíduos evitado constitui um componente substancial da renda de muitos projetos.

DIGESTATO E CIRCULARIDADE DE NUTRIENTES

O digestato é reconhecido cada vez mais como um produto agrícola valioso em vez de algo a ser descartado. Hurst & Allwood (2026) frisam que a digestão anaeróbica deve ser vista como um sistema combinado de energia e recuperação de nutrientes.

O digestato contém quantidades significativas de nitrogênio, fósforo, potássio e matéria orgânica. Pode substituir fertilizantes sintéticos parcialmente, além de melhorar a qualidade do solo e contribuir para a circularidade de nutrientes. Tal característica é particularmente importante em países que dependem de importações de fertilizante, de modo que a recuperação de nutrientes pode melhorar a resiliência agrícola e reduzir a exposição à volatilidade do mercado internacional.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Fluxos múltiplos de valor

DIÓXIDO DE CARBONO RENOVÁVEL

A purificação (upgrading) do biogás remove dióxido de carbono do biogás bruto para elevar a concentração de metano. Tradicionalmente visto como resíduo a ser descartado, o CO_2 biogênico está se tornando cada vez mais um produto comercialmente valioso.

O CO_2 biogênico pode ser usado nas seguintes aplicações:

- nas indústrias de alimentos e bebidas
- no cultivo de plantas em estufas
- na produção de metanol renovável
- em rotas de combustível sustentável de aviação (SAF)
- na produção de combustíveis sintéticos e combustíveis renováveis de origem não biológica (RFNBO)

O crescimento dos mercados de produtos de carbono renovável deverá fazer com que o CO_2 biogênico se torne uma fonte de renda cada vez mais importante.

ATRIBUTOS AMBIENTAIS E MERCADOS DE CARBONO

Projetos de biometano podem gerar renda através de créditos de carbono, certificados de gás renovável, garantias de origem e normatização de combustíveis de baixo carbono (LCFS na Califórnia, por exemplo).

Com a expansão dos mercados de carbono e a difusão da certificação no campo de sustentabilidade, esses atributos ambientais deverão ter um papel cada vez mais importante na economia dos projetos.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Monetização dos benefícios sistêmicos

Comparações convencionais dos mercados de combustíveis frequentemente subestimam o valor econômico do biometano porque enfocam exclusivamente a receita gerada por suas vendas. Na verdade, porém, projetos de biometano geram múltiplos produtos e benefícios ambientais que contribuem significativamente para a viabilidade econômica dos projetos.

Estudos internacionais recentes indicam que esses fluxos adicionais de valor podem coletivamente representar entre 20% e 60% da receita total de muitos projetos em mercados maduros de biometano.

EXEMPLO ILUSTRATIVO DE MONETIZAÇÃO DOS BENEFÍCIOS DE SISTEMAS DE BIOMETANO

FLUXO DE VALOR		OBSERVAÇÕES
Combustível renovável	8–18	Depende dos preços do gás e do diesel
Serviços de tratamento de resíduos	1–6	Desvio de aterro e gestão de esterco
Digestato / biofertilizante	0,5–4	Depende dos mercados de fertilizante
Créditos de carbono	1–8	Depende muito do preço do carbono
CO_2 renovável	0,5–5	Mercado emergente
Garantias de origem	0,5–3	Comum na Europa
Valor para segurança energética*	Difícil de monetizar	Valor estratégico

*Os benefícios para a segurança energética são captados em geral na redução das importações e melhoria da resiliência, em vez de receita gerada diretamente pelo projeto. Fonte: Adaptado de (17,224,226,227).

A tabela mostra que a receita gerada por produtos e serviços além do combustível pode ser substancial. Em projetos baseados em esterco, lixo urbano ou gás de aterro, o valor combinado do tratamento de resíduos, recuperação de nutrientes e créditos ambientais pode igualar ou superar a receita obtida pela venda do biometano.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Valor climático e ambiental

O valor climático do biometano vai além da substituição de combustíveis fósseis. Uma de suas contribuições mais importantes reside na captura de metano. O potencial de aquecimento do metano é significativamente maior que o do dióxido de carbono no curto e médio prazo. Portanto, captar metano dos fluxos de resíduos orgânicos gera benefícios substantivos para o clima.

Várias LCAs mostram que rotas de biometano podem reduzir emissões de GEE em mais de 80% em comparação com gás natural e que sistemas baseados em esterco animal podem atingir emissões negativas em termos líquidos quando se contabiliza plenamente o escape de metano evitado (224, 228, 229).

Há mais benefícios ambientais ainda, incluindo::

- redução de odores
- melhor saneamento
- menor contaminação de águas subterrâneas
- menor dependência de aterros
- melhor gestão de nutrientes

PRINCIPAIS BENEFÍCIOS AMBIENTAIS DOS SISTEMAS DE BIOMETANO

BENEFÍCIO	MECANISMO
Mitigação climática	Captação de metano e substituição de combustíveis fósseis
Redução do lixo e outros resíduos	Desvio de resíduos orgânicos
Proteção das águas	Melhor tratamento de esgoto
Qualidade do ar	Redução da decomposição não controlada
Reciclagem de nutrientes	Recuperação de N, P e K
Eficiência de recursos	Uso circular de resíduos

Fonte Adaptado de (224 – 226)

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Segurança energética e valor estratégico

Turbulências geopolíticas recentes reforçaram a vulnerabilidade de muitos países a flutuações dos mercados de combustíveis fósseis. Por isso, a segurança energética ressurgiu como objetivo central de políticas energéticas.

O biometano contribui para a segurança energética através de vários mecanismos:

- utilização de recursos domésticos
- menor dependência de combustíveis importados
- sistemas de produção distribuídos
- compatibilidade com a infraestrutura de gás existente
- diversificação de fontes de energia

A IEA identifica segurança energética como um dos principais fatores que estão motivando a rápida expansão das políticas de promoção de biometano introduzidas pelo mundo afora desde 2020. Para economias emergentes, o biometano oferece uma oportunidade única de reforçar a soberania energética e ao mesmo tempo melhorar a gestão de resíduos e apoiar os objetivos climáticos.



© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Digitalização e otimização de sistemas de biometano

As tecnologias digitais está ficando cada vez mais importantes no setor de biometano.

Diálogos recentes entre especialistas da Europa e China na GBEP realçaram as crescentes aplicações de:

- inteligência artificial (IA)
- sistemas digitais de rastreabilidade
- monitoramento de emissões
- gestão de precisão de nutrientes
- tecnologias inteligentes de fertirrigação

Instalações chinesas de grande porte estão utilizando IA cada vez mais para otimizar processos de digestão anaeróbica, logística e cadeias de serviços. Ferramentas digitais também melhoram a rastreabilidade do digestato e o monitoramento ambiental para a produção de relatórios, apoiando a conformidade com as exigências de sustentabilidade cada vez mais rigorosas.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Composição da receita de um projeto de biometano típico

Quando se incluem receitas de tratamento de resíduos, créditos de carbono, valorização de digestato e venda de CO_2 renovável, o biometano frequentemente se torna consideravelmente mais atraente do que sugerem as comparações entre preços de combustíveis apenas (17,224–226).

Finalmente, vale a pena considerar o custo de oportunidade em potencial de um projeto de biometano estacionário. O uso direto de biogás em sistemas de secagem ou na geração de eletricidade, por exemplo, pode representar alternativas mais viáveis economicamente.

COMPOSIÇÃO DA RECEITA DE UM PROJETO DE BIOMETANO TÍPICO

VENDA DE COMBUSTÍVEL (40%–70%)	CRÉDITOS DE CARBONO (5%–20%)
TRATAMENTO DE RESÍDUOS (10–20%)	CO_2 RENOVÁVEL (0%–10%)
DIGESTATO / BIOFERTILIZANTE (%5–15%)	CERTIFICADOS / GARANTIAS DE ORIGEM (0%–10%)

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

O valor econômico do biometano vai muito além de seu papel como substituto renovável do gás natural. Além de energia renovável, projetos de biometano simultaneamente geram vários outros benefícios, tais como serviços de gestão de resíduos, recuperação de nutrientes, dióxido de carbono renovável, mitigação de metano e reforço da segurança energética.

Esses múltiplos fluxos de valor explicam por que o biometano é cada vez mais reconhecido como uma das mais versáteis tecnologias disponíveis para apoiar a transição para sistemas de energia de baixo carbono. Em vez de ser visto somente como combustível, o biometano deveria ser compreendido como uma plataforma integrada de economia circular capaz de gerar valor econômico, ambiental e social simultaneamente.

No contexto da busca por governos de soluções alinhadas com os objetivos do COP30, COP31 e agendas mais amplas de desenvolvimento sustentável, o biometano se destaca como uma tecnologia que pode conectar mitigação climática, princípios de economia circular, sustentabilidade agrícola e segurança energética em uma única estrutura integrada.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.



SEÇÃO 6

6 Brasil: uma oportunidade estratégica

O potencial de biogás/biometano no Brasil

No Brasil, a ABIOGAS congrega um grande número de empresas e instituições de biogás/biometano (230,231). Tendo as políticas públicas certas, a produção de biogás/biometano no Brasil poderá crescer rapidamente, tanto com o uso de tecnologia local quanto aproveitando os conhecimentos e experiência de outros países. O potencial é enorme, já que resíduos são o principal insumo da digestão anaeróbica. Isso é verdade para o Brasil e o resto do mundo, pois estima-se que cada pessoa gera cerca de 1 kg de resíduos por dia. Para além dos centros urbanos, as propriedades rurais produzem resíduos orgânicos como esterco animal, restos de culturas e outros materiais orgânicos que podem ser convertidos em biogás. Vários trabalhos examinam o potencial do biogás/biometano no Brasil. As perspectivas são muito animadoras (37,50–52,59,232–240). Como grande produtor de alimentos, tanto vegetais quanto animais, o setor agroindustrial brasileiro gera grande quantidade de resíduos orgânicos que podem ser transformados em biogás/biometano. O potencial do biometano apenas no estado de São Paulo varia de 8,5 bilhões a 15,5 bilhões de Nm3 por ano, considerando insumos diferentes (36). São números gigantescos diante da constatação de que cada Nm3 de biometano tem o equivalente energético de 1 litro de óleo diesel.



© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Biometano de esgoto

A maior parte do lodo de esgoto gerado em cidades brasileiras vai para aterros, sendo essa uma solução cara e ambientalmente imprópria. Lodo de esgoto pode ter usos melhores. Pode ser usado para produzir fertilizante orgânico, por exemplo, através de mistura com material proveniente da poda e corte municipal de árvores e compostagem aeróbica. Campinas, uma cidade de 1,2 milhões de habitantes no estado de São Paulo, é um exemplo interessante. Em 2020, uma parceria entre o Instituto Agronômico de Campinas (IAC), que pertence ao governo estadual, e a Prefeitura Municipal de Campinas começou a produzir cerca de 80 t/dia de composto gerado de lodo de esgoto e materiais vegetais coletados pela cidade. O composto é um fertilizante orgânico aprovado para uso geral na agricultura pelo Ministério da Agricultura. Investiu-se cerca de US$ 2 milhões para preparar o local da compostagem, comprar maquinário e obter as permissões necessárias para operar a instalação. O investimento foi recuperado em menos de um ano, pois a Prefeitura gastava US$ 2 mil por mês com transporte de resíduos e gestão de aterros antes do projeto, que agora pode ser emulado por muitas cidades porque é economicamente viável e ambientalmente saudável. Atualmente, uma nova etapa está em análise: produzir biogás por digestão anaeróbica do lodo de esgoto. Isso também evitaria o mau cheiro de lodo de esgoto ao ser transportado pela cidade. Além da produção de biocombustível valioso, haverá a oportunidade de levar o digestato de volta à compostagem aeróbica e continuar a gerar fertilizante orgânico.

Informação pessoal do autor como membro da diretoria do IAC.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Biogás/biometano de resíduos agrícolas e esterco animal

Biogás/biometano gerado de esterco animal, restos de culturas e outros resíduos agrícolas têm o potencial de produzir bioenergia útil e fertilizante orgânico em fazendos em todas as partes do Brasil. Biodigestores pequenos e médios estão disponíveis para serem instalados e operados localmente; financiamento adequado e políticas públicas são necessários para apoiar essa atividade. Empresas de alimentos de vários tamanhos no Brasil inteiro geram resíduos orgânicos cuja destinação o setor precisa escolher, às vezes criando um pesado ônus ou passivo. Há vários esquemas pelos quais se transferem resíduos e lixo com custos baixos ou até negativos para outras empresas, que os usam para compostagem por processos aeróbicos ou para produzir biogás por biodigestão anaeróbico. Essa é uma oportunidade para criar muitos negócios novos. Portanto, estão surgindo múltiplas oportunidades para a indústria de alimentos promover uma economia circular e produzir fertilizante e/ou bioenergia de modo descentralizado. Além disso, promove-se um mercado para biodigestores e outros equipamentos e serviços, criando empregos novos.. Há muitas empresas no Brasil com as competências e capacidade para fornecer equipamentos e serviços (236).

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Biogás/biometano obtido do lixo em aterros

Aterros em todo o Brasil são o destino da maioria dos resíduos industriais e urbanos, incluindo materiais orgânicos descartados por famílias e lodo de esgoto. Os aterros ocupam espaços valiosos próximos aos centros urbanos, causam poluição na forma tanto de lixiviados (chorume) que contaminam as águas subterrâneas quanto de emissões de GEE. E sua manutenção custa caro.

Muitos aterros são na verdade lixões quase sem controle nenhum. Cerca de 40% do lixo urbano brasileiro é descartado de forma inadequada (237). Uma lei federal de 2010 estabeleceu regras para aterros e prazos para sua desativação (238), mas muitos municípios pequenos tiveram dificuldade para obedecê-la devido ao alto investimento e a aplicação das regras vem sendo adiada várias vezes.

Estima-se que cada pessoa gera 384 kg de lixo urbano ao ano e que o total brasileiro seria de 81,6 milhões de toneladas, embora os números sejam ainda maiores nas cidades grandes do Sudeste (237). Aterros emitem volumes grandes de metano devido à carga alta de material orgânico e às condições anaeróbicas que normalmente prevalecem. Felizmente, muitos aterros, especialmente aqueles localizados perto de cidades maiores, passaram a ser administradas por empresas privadas, que podem investir na extração de CH_4.

Biogás gerado pela transformação anaeróbica de cargas orgânicas em aterros pode ser coletado. Normalmente, furos verticais e horizontais são feitos na massa do aterro para extrair gases (CH_4, CO_2 e vapor de água, entre outros) e levá-los a uma rede de dutos interligados.

O biogás passa por processos de resfriamento, filtragem e remoção de umidade e impurezas. O gás tratado é queimado para destruir o metano, usado como combustível de gerador de eletricidade ou refinado para produzir biometano, um substituto do gás natural.

O estado de São Paulo tem hoje 15 plantas de biogás em operação ou sendo implantadas em aterros (36). Recentemente, a maior unidade de biogás/biometano foi inaugurada em Paulínia, no estado de São Paulo, com capacidade nominal de 225 mil Nm^3/dia (239). Estatísticas e dados sobre projetos envolvendo todo tipo de resíduo, incluindo esses em aterros, são coletados e organizados periodicamente por ABREMA, a Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (241, que congrega dezenas de empresas que oferecem equipamentos e serviços para operações de biogás/biometano e outras destinações dos resíduos da sociedade.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Biogás/biometano produzido pelo setor de etanol

Um exemplo interessante de uma fonte promissora de biometano é o setor sucroenergético, que produz biometano de vinhaça de cana de açúcar. Há 345 usinas de açúcar e etanol em operação no Brasil atualmente e quase 92% estão na região Centro-Sul. O potencial do biogás no setor é estimado em 41,4 bilhões de metros cúbicos por ano, mas menos de 2% foram realizados até agora (37).



© 2026 Instituto MBCBrasil | Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Insumos para biogás/biometano no setor de etanol brasileiro

Vinhaça: A safra de cana de açúcar em 2024-25 totalizou aproximadamente 680 milhões de toneladas, que geraram 94 milhões de toneladas de açúcar e 38 bilhões de litros de etanol (230). O grande volume de vinhaça gerado (~380 bilhões de litros) foi reciclado nas plantações de cana. Além de vinhaça da cana de primeira geração, hoje há outros tipos de vinhaça, tais como vinhaça de etanol e vinhaças de segunda geração (de materiais lignocelulósicos).

Vinhaças são aplicadas em plantações de cana reciclando principalmente K, em que são ricas, mas outros nutrientes são também presentes nesse subproduto líquido. Vinhaças ainda fornecem matéria orgânica que tem um papel relevante na melhoria do solo. Porém, a vinhaça tem uma concentration relativamente baixa de C, que varia de 23 kg a 52 kg de matéria orgânica por metro cúbico de vinhaça, dependendo da fonte do resíduo, que pode ser melaço, caldo ou mosto misto (231). Portanto, a biodigestão de vinhaça pura rende pouco metano. Mas há mais materiais orgânicos em volta das usinas de etanol que podem ser usadas, tais como torta de filtro e resíduos de colheita (palha e bagaço, por exemplo), entre outros.

Vinhaças, combinadas ou não com outros resíduos do setor sucroenergético (torta, palhada, bagaço etc.), podem ser utilizadas para produzir biogás/biometano. Vários autores mostram o potencial e as vantagens do uso de vinhaças para produção de bioenergia (50–52). A geração de biometano de vinhaça pode tornar-se uma fonte nova de renda para o setor, somando-se aos créditos de carbono (CBIOs). Sessenta usinas de açúcar e etanol no estado de São Paulo estão localizadas a 20 km ou menos de um duto de gás natural, o que significa que biometano gerado pelo setor de etanol pode, com investimentos relativamente módicos, ser misturado ao gás natural para uso na indústria ou como biocombustível em áreas urbanas, aproveitando a infraestrutura existente (50).

Biodigestão é um processo biológico em que microorganismos transformam matéria orgânica em biogás sob condições anaeróbicas. Dependendo do material colocado no biodigestor, deve-se ajustar o pH do meio reagente, o teor de nutrientes e outras condições (33).

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Tipos de biodigestor usados para gerar biogás de vinhaça

O tipo menos caro de biodigestor é uma grande lagoa horizontal coberta com uma manta impermeável para captar os gases produzidos durante a biodigestão. Todavia, lagoas têm desvantagens como falta de mistura de vinhaça e/ou outros insumos orgânicos, o que diminui o rendimento de biogás. A biodigestão anaeróbica é um processo microbial que ocorre numa cascata de reações bioquímicas, incluindo hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, cada etapa sendo feita por grupos diferentes de microorganismos (37). Lagoas horizontais de grande porte dificilmente garantem condições ótimas de biodigestão anaeróbica e portanto não são um meio de produção de biogás muito eficiente.

Projetos de biogás/biometano já estão operando na Usina Cocal em Narandiba, Raízen em Guariba e São Martinho em Pradópolis, todas no estado de São Paulo. Quatro outros projetos estavam sendo implantados em 2024 (36). Projetos semelhantes estão sendo instalados por empresas sucroenergéticas em outros estados, como Adecoagro em Mato Grosso do Sul (232).

Projetos mais recentes de biogás/biometano começam a fazer uso de biodigestores verticais capazes de misturar insumos, monitorar pH e temperatura e controlar o rendimento de biogás. É o caso da Usina Cocal em Narandiba (SP) (www.cocal.com.br). Há muitas empresas brasileiras que podem produzir biodigestores verticais ou outros equipamentos para projetos de biometano de vinhaça (233).

Digestato como fertilizante

O uso atual de vinhaça como fertilizante líquido aplicado na plantação de cana não é comprometido porque apenas parte do C contido na vinhaça é convertido em biogás. Além disso, após a biodigestão a maior parte dos nutrientes na vinhaça é conservada e pode ser direcionada à plantação como fertilizante na forma de efluente líquido ou digestato (37).

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Fertilizante com baixa pegada de carbono produzido a partir de biometano de vinhaça

Biometano também pode ser utilizado para produzir fertilizante renovável baseado em amônia verde. A Yara Fertilizers, uma das maiores empresas de fertilizante no mundo, tem um projeto em andamento para produção de amônia verde e nitrato de amônio verde numa fábrica localizada em Cubatão (SP) (234).O insumo é biometano de vinhaça como substituto de gás natural fóssil, o principal componente da síntese de amônia (37). Biometano pode ser injetado por usinas de açúcar em gasodutos que cruzam o estado de São Paulo e coletado na fábrica de fertilizante em Cubatão. Produtores de etanol podem beneficiar-se desse modelo de negócio de duas maneiras: além da renda adicional obtida pela venda de biometano, usinas de etanol que utilizarem fertilizante verde nas plantações de cana poderão obter CBIOs adicionais porque fertilizantes a base de nitrogênio respondem por uma proporção substancial do teor de C no biocombustível (235).

Apesar do grande potencial do biometano de vinhaça, até agora a Yara só contratou uma pequena fração do biometano necessário para operar a fábrica de fertilizante em Cubatão. O custo do biometano e o pagamento da infraestrutura são questões que exigem mais atenção para que a fábrica de amônia verde possa operar apenas com energia renovável. Todavia, as perspectivas são animadoras.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Leis e regulamentos

Diante das perspectivas para biogás/biometano no Brasil, surgiram várias leis e iniciativas nacionais e regionais para estimular sua produção. Legislação e regulamentação apropriadas são tão importantes quanto incentivos monetários para que essa indústria nascente decole (230,231,242,243). Uma importante peça legislativa proposta pelo governo brasileiro é a Lei do Combustível do Futuro (Lei no. 14.993), sancionada em outubro de 2024 (231). Estabelece um marco regulatório para reduzir as emissões de CO2 do setor de transporte. Biogás e biometano são partes relevantes da lei, pela qual empresas que operam com gás natural serão obrigadas a inserir 1% de biometano na rede de gás natural a partir de janeiro de 2026. A porcentagem subirá à medida que evoluir a produção nacional de biometano. A lei cria um mercado claro de biometano no Brasil e certamente irá estimular iniciativas de produção dessa fonte renovável de energia.

"Combustível do Futuro": Lei no. 14.993/2024

Legislação boa é tão importante quanto incentivos monetários para essa indústria nascente. A lei cria um mercado claro de biometano e estimula a produção.

Descarbonização do transporte
Além da mistura de gases, a lei estabelece um programa para reduzir emissões de CO2 especificamente no setor de transporte.

Garantia de origem
O certificado de garantia de origem do biometano (CGOB) é negociável e desvincula o valor ambiental do biometano da molécula física do gás.

Mercados gêmeos
A certificação visa dois mercados: um compulsório para fornecedores de gás e outro voluntário para ESG de empresas.

Produto premium
O esquema acrescenta uma fonte de renda puramente financeira, fazendo do biometano um produto premium que acelera o payback das plantas de biometano.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Unidades de produção do biometano no Brasil (seleção representativa)

Projetos de biogás/biometano já estão operando na Usina Cocal em Narandiba, Raízen em Guariba e São Martinho em Pradópolis, todas no estado de São Paulo. Quatro outros projetos estavam sendo implantados em 2024 (36). Projetos semelhantes estão sendo instalados por empresas sucroenergéticas em outros estados, como Adecoagro em Mato Grosso do Sul (232). Projetos mais recentes de biogás/biometano começam a fazer uso de biodigestores verticais capazes de misturar insumos, monitorar pH e temperatura e controlar o rendimento de biogás. É o caso da Usina Cocal em Narandiba (SP) (www.cocal.com.br). Há muitas empresas brasileiras que podem produzir biodigestores verticais ou outros equipamentos para projetos de biometano de vinhaça (233). Vários projetos de produção de biogás/biometano foram anunciados recentemente (237,244,245).

Uma iniciativa interessante é a da capital do estado de Goiás. A Prefeitura de Goiânia anunciou que a frota de ônibus será movida a biometano gerado de resíduos para estimular a atividade na região. Fabricantes de ônibus e motores estão comprometidos com a produção de veículos que utilizarão esse biocombustível (246). Fabricantes de caminhões e máquinas agrícolas pesadas estão adaptando e testando motores a biometano. Isso é importante porque biometano produzido em áreas rurais pode ter uso direto, reduzindo os custos da logísticos e tributários.

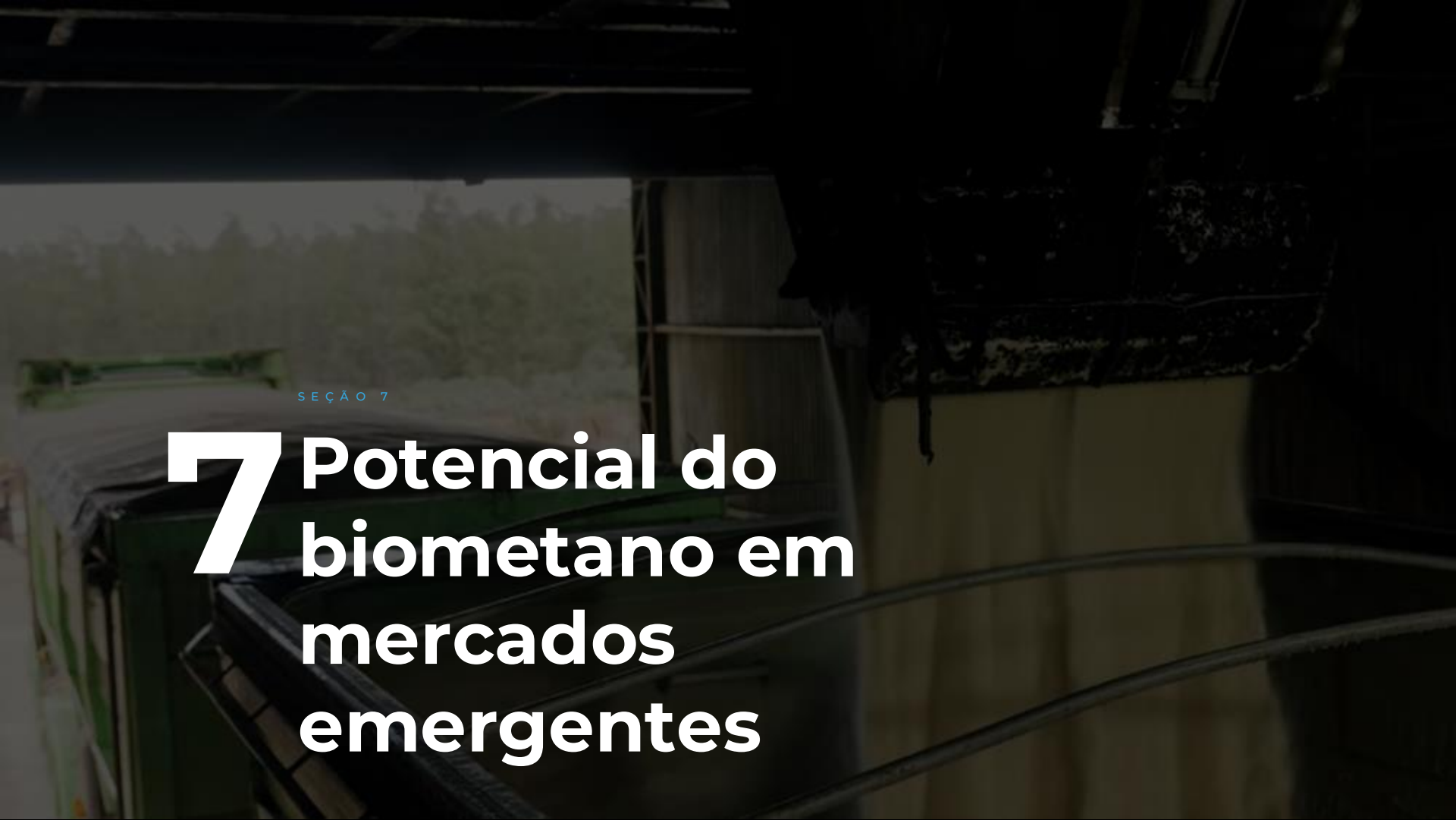


© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

PROJETO / PLANTA	LOCALIZAÇÃO	BIOMASSA / ORIGEM	PROPRIETÁRIOS / OPERADORAS	PRODUÇÃO (NM^3/DIA)	INÍCIO DA OPERAÇÃO
GNR Fortaleza	Caucaia (CE)	Aterro	Environmental Canopy + MDC Energy	~100.000	2018
GNR Two Arcos	São Pedro da Aldeia (RJ)	Aterro	MDC Energy + parceiros	~60.000	2017
Cocal – Narandiba	Narandiba (SP)	Vinhaça + torta de filtro	Cocal Responsible Energy	~50.000	2020
Cocal – Paraguaçu Paulista	Paraguaçu Paulista (SP)	Vinhaça + resíduos de cana de açúcar	Cocal Responsible Energy	~30.000–40.000	2022
FS Bioenergy	Lucas do Rio Verde (MT)	Resíduos de etanol de milho	FS	~20.000–30.000 (estimativa)	2023
GNR Paulínia	Paulínia (SP)	Aterro	OneBio (Edge+Orizon)	até 225.000	2026
H2A Bioenergia / Copercampos	Campos Novos (SC)	Esterco de porco	H2A + Copercampos	~16.000	2026

Sources (247)

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.



SEÇÃO 7

7 Potencial do biometano em mercados emergentes

Introdução

Com a aceleração da transição energética global, as atenções voltam-se cada vez mais para soluções capazes de lidar simultaneamente com mudanças climáticas, segurança energética, gestão de resíduos e desenvolvimento sustentável. A maioria das economias avançadas vêm enfocando a descarbonização dos sistemas de energia existentes, mas muitas economias emergentes enfrentam um duplo desafio: ampliar o acesso a energia financeiramente acessível e reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE). Nesse contexto, o biometano surge como uma das poucas opções de energia renovável capaz de entregar múltiplos benefícios ao mesmo tempo.

A relevância estratégica do biometano para mercados emergentes resulta de uma característica fundamental: esses países muitas vezes possuem recursos orgânicos abundantes mas sua infraestrutura de gestão de resíduos é relativamente limitada. Urbanização rápida, produção agrícola crescente, aumento de populações pecuárias e setores agroindustriais em expansão geram grandes quantidades de resíduos orgânicos que frequentemente são subutilizados. Quando esses recursos não são geridos corretamente, tornam-se fontes significativas de emissões de metano, contaminação das águas e degradação ambiental local, mas quando convertidos em biogás e esse produto é purificado para ser transformado em biometano, esses mesmos resíduos tornam-se fontes valiosas de energia renovável, biofertilizante e dióxido de carbono renovável.

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA 2025), o potencial sustentável de produção global de biogás e biometano é estimado em 1 trilhão de metros cúbicos ao ano, equivalente a cerca de um quarto da demanda atual mundial de gás natural. Atualmente, porém, apenas uma pequena fração desse potencial seria aproveitado. As maiores oportunidades inexploradas estão concentradas precisamente em regiões onde produção agrícola, atividade pecuárias e crescimento urbano estão aumentando mais rapidamente, incluindo a América Latina, a África Subsaariana e o Sul e Sudeste da Ásia.

Para economias emergentes, o biometano deve ser considerado não apenas um combustível renovável mas uma solução integrada de desenvolvimento capaz de apoiar simultaneamente objetivos climáticos, diversificação energética, estratégias de economia circular e desenvolvimento rural.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Disponibilidade global de insumos e potencial inexplorado

Um dos argumentos mais fortes a favor do desenvolvimento da produção de biometano em economias emergentes é o da abundância de insumos disponíveis.

Ao contrário de muitas tecnologias de energia renovável que dependem de condições geográficas específicas, o biometano pode ser produzido a partir de uma ampla gama de resíduos orgânicos, incluindo:

- esterco animal
- resíduos de culturas agrícolas
- subprodutos agroindustriais
- lixo orgânico urbano
- gás de aterro
- lodo de esgoto
- resíduos do processamento de alimentos

A disponibilidade desses recursos está intimamente ligada ao desenvolvimento econômico e crescimento populacional. À medida que economias emergentes aumentam sua produção agrícola e populações urbanas, o volume de resíduos orgânicos gerados também aumenta.

A avaliação geoespacial global mais recente da IEA demonstra que a base de recursos tecnicamente sustentável é significativamente maior que os níveis atuais de produção. A maior parte das correntes disponíveis de biomassa permanece inexplorada, sobretudo em regiões em desenvolvimento onde sistemas de coleta, instalações de purificação e estruturas regulatórias de apoio ainda estão emergindo (IEA 2025).

É importante notar que muitos desses insumos já estão gerando emissões de metano através da decomposição não controlada. Portanto, a produção de biometano capta uma fonte existente de emissão em vez de competir por recursos fundiários adicionais. Essa característica diferencia o biometano de alguns biocombustíveis de primeira geração e fortalece seus credenciais de sustentabilidade.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Principais insumos do biometano em economias emergentes

CATEGORIA DE INSUMO	FONTES TÍPICAS	PRINCIPAIS REGIÕES
Esterco animal	Gado bovino de corte e leiteiro, produção de laticínios, suínos, aves	Brasil, Índia, China, Argentina
Resíduos agrícolas	Cana de açúcar, arroz, milho, mandioca	Brasil, Índia, Tailândia, Indonésia
Lixo orgânico urbano	Resíduos alimentares e feiras livres	Índia, China, Indonésia
Resíduos agroindustriais	Destilarias, processamento de alimentos, abatedouros e frigoríficos	América Latina, Sudeste da Ásia
Gás e lodo de aterro	Lixões e aterros urbanos	Regiões metropolitanas maiores
Lodo de esgoto	Sistemas municipais de saneamento	Centros urbanos emergentes

Fonte Adaptado de IEA (2025), FAO (2026) e GBEP (2020).

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Benefícios climáticos e mitigação de metano

O metano tornou-se objeto cada vez mais importante das políticas climáticas pelo mundo. Embora o dióxido de carbono continue sendo o gás de efeito estufa predominante em termos de emissões cumulativas, a contribuição do metano ao aquecimento global é muito maior em horizontes temporais mais próximos..

O Compromisso Global sobre Metano, lançado no COP26, reforçou o reconhecimento internacional de que mitigar metano é uma das maneiras mais rápidas de frear as mudanças climáticas no curto prazo. Projetos e biometano contribuem diretamente para esse objetivo pela captação de metano que de outra forma seria liberado de aterros, esterco animal, sistemas de tratamento de esgoto e correntes de resíduos orgânicos.

Para economias emergentes, esse benefício climático é particularmente relevante porque a infraestrutura de gestão de resíduos frequentemente fica atrás do crescimento urbano e emissões não controladas de resíduos orgânicos constituem um componente significativo dos inventários nacionais de gases de efeito estufa.

Portanto, sistemas de biometano proporcionam dois benefícios climáticos:

- prevenção de emissões de metano derivadas de decomposição dos resíduos
- substituição de combustíveis fósseis através de produção de energia renovável.

Várias LCAs mostram que rotas de biometano podem levar a reduções de GEE que ultrapassam 80% em comparação com gás natural fóssil. Em circunstâncias específicas, particularmente quando se utiliza esterco animal como insumo, emissões negativas em termos líquidos podem ser realizadas porque as emissões de metano evitadas superam as emissões geradas por toda a cadeia de produção.

Consequentemente, o biometano é um dos poucos combustíveis renováveis capazes de contribuir simultaneamente para estratégias de abatimento de metano e objetivos de descarbonização de longo prazo.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Biometano e desenvolvimento urbano sustentável

Urbanização rápida é uma das tendências mais significativas do século XXI. Até 2050, estima-se que quase 70% da população mundial residirá em áreas urbanas. Grande parte desse crescimento ocorrerá na Ásia, África e América Latina.

A expansão urbana cria desafios substanciais ligados a gestão de resíduos, saneamento e suprimento de energia. A geração de lixo sólido urbano aumenta rapidamente em muitos países em desenvolvimento, enquanto a capacidade dos aterros e da infraestrutura de tratamento de resíduos frequentemente enfrentam dificuldades para acompanhar esse ritmo.

O biometano oferece uma solução prática para esses desafios através da transformação dos resíduos orgânicos urbanos em recursos valiosos.

A cidade de Surat na Índia oferece um exemplo ilustrativo. Apoiada por iniciativas documentadas pela FAO, uma planta de bio-GNC processa cerca de 50 toneladas de lixo orgânico coletado em feiras livres por dia, produzindo combustível renovável para transporte, além de biofertilizante, e evitando emissões de GEE estimadas em 7,5 mil toneladas ao ano. O projeto demonstra como sistemas de gestão de resíduos podem ser integrados com produção de energia renovável e princípios de economia circular.

Oportunidades semelhantes existem em regiões metropolitanas grandes no Brasil, Indonésia, Tailândia, México, Colômbia e muitas cidades africanas. À medida que as populações urbanas continuarem a crescer, resíduos orgânicos urbanos deverão tornar-se uma fonte cada vez mais importante de insumos para a produção de biometano.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Desenvolvimento agrícola e oportunidades rurais

Embora resíduos urbanos ofereçam oportunidades substanciais, a agricultura ainda é a maior fonte de insumos de biometano globalmente.

As economias emergentes respondem por uma porcentagem significativa da produção agrícola global e dos rebanhos de animais de produção de diferentes espécies, gerando grandes quantidades de esterco e resíduos agrícolas que podem ser convertidos em biometano através de digestão anaeróbica.

A produção de biometano pode contribuir para o desenvolvimento rural de várias maneiras:

- diversificação das fontes de renda dos agricultores
- redução do custo de gestão de resíduos
- melhoria da reciclagem de nutrientes
- produção local de energia
- criação de empregos em áreas rurais
- dependência reduzida da importação de combustíveis e fertilizantes

O digestato produzido através de digestão anaeróbica representa uma oportunidade econômica adicional. Em vez de ser tratado como fluxo de resíduos, o digestato pode ser utilizado como biofertilizante com nutrientes e matéria orgânica valiosos. Essa característica é particularmente importante em países que dependem de fertilizantes importados, já que a recuperação de nutrientes pode melhorar a resiliência da agricultura e a balança comercial nacional.

Pesquisas recentes enfatizam cada vez mais a visão das fábricas de biometano como centros integrados de biorrecursos em vez de instalações de produção de energia apenas. Sua viabilidade econômica frequentemente depende do valor combinado da energia, recuperação de nutrientes, gestão de resíduos e serviços ambientais.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Perspectivas regionais

AMÉRICA LATINA

A América Latina possui algumas das condições mais favoráveis do mundo para o desenvolvimento de biometano. Grandes setores agrícolas, extensos rebanhos de animais de produção e populações urbanas crescentes geram abundância de insumos disponíveis.

O Brasil tornou-se um dos principais mercados de biometano do mundo em desenvolvimento, graças aos resíduos do processamento de cana e esterco de animais de produção, além do material fornecido pela gestão correta do lixo urbano. Argentina, Colômbia e México também têm potencial técnico significativo.

A experiência da região demonstra a importância de integrar biometano com a bioeconomia mais ampla e com as estratégias de descarbonização do transporte.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

ÁSIA

A Ásia tem a maior concentração de instalações de biogás globalmente. A China sozinha instalou milhões de digestores domiciliares e continua a expandir seus sistemas de grande porte de biogás e biometano.

Mais recentemente, a purificação do biogás para produzir biometano vem sendo enfatizada cada vez mais, de modo a facilitar a injeção nas redes de gás e o uso em caminhões. A inovação tecnológica também avançou rapidamente, incluindo sistemas digitais de monitoramento, aplicações de inteligência artificial e ferramentas de gestão de nutrientes.

A Índia tornou-se outro importante mercado em crescimento. Iniciativas de bio-GNC ligadas a lixo urbano, resíduos de animais de produção e insumos agrícolas estão sendo cada vez mais integrados com programas nacionais de gestão de resíduos, mobilidade limpa e desenvolvimento rural.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

ÁFRICA

A longo prazo, a África pode ter algumas das maiores oportunidades, embora a produção de biometano esteja relativamente limitada agora.

O continente combina resíduos agrícolas abundantes, populações urbanas crescentes e substancial demanda não atendida por energia. Estudos conduzidos pela FAO, PNUD e GBEP indicam que sistemas de biogás e biometano poderiam ao mesmo tempo melhorar o acesso à energia, reduzir a degradação ambiental e fortalecer a resiliência diante da crise climática..

Os principais desafios continuam sendo acesso ao financiamento, capacidade técnica e regulamentação que apoie as iniciativas no setor. Todavia, o crescente interesse internacional nas questões de financiamento climático e mitigação de metano poderá criar condições favoráveis para que a implantação acelere.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Cooperação internacional e intercâmbio de conhecimentos

A expansão do biometano nos países emergentes depende cada vez mais de cooperação internacional. Iniciativas recentes coordenadas por GBEP, FAO, PNUD e IEA realçam a importância de um intercâmbio de conhecimentos entre regiões. Experiências na Europa, China, Índia e América Latina demonstram que o sucesso no desenvolvimento do biometano requer não só tecnologia mas também arcabouços regulatórios, sistemas de certificação, treinamento dos operadores e estruturação do mercado (248).

O diálogo GBEP de 2026 entre especialistas europeus e chineses identificou várias áreas prioritárias para cooperação, tais como:

- tecnologias de purificação de biometano
- gestão de digestato
- metodologias de contabilização de carbono
- garantias de origem
- certificação de sustentabilidade
- treinamento de operadores
- digitalização e inteligência artificial

Particularmente relevante para economias emergentes é a transferência de conhecimentos operacionais práticos. Programas de construção de competências e capacitação podem acelerar a implantação de projetos de biometano e ao mesmo tempo reduzir os riscos e melhorar o desempenho no longo prazo. A cooperação Sul-Sul também poderá tornar-se cada vez mais importante. Países como Brasil, Índia e China possuem experiência prática na adaptação de tecnologias de biometano às condições dos países em desenvolvimento e poderão proporcionar lições valiosas para outros países emergentes.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Conclusões

O biometano possui potencial excepcional em economias emergentes por causa da convergência de três fatores: insumos orgânicos abundantes, demanda crescente por energia e pressões crescentes por melhorias nos sistemas de gestão de resíduos.

Ao contrário de muitas tecnologias de energia renovável que visam superar um único desafio, o biometano contribui simultaneamente para mitigação climática, redução de metano, produção de combustíveis renováveis, reciclagem de nutrientes, gestão de resíduos e desenvolvimento rural. Dada essa multifuncionalidade, o biometano é particularmente atraente para países que buscam soluções integradas alinhadas com objetivos de desenvolvimento sustentável.

A base de recursos técnicos disponível nos países emergentes ainda é claramente subutilizada. De acordo com avaliações internacionais recentes, a produção atual representa apenas uma pequena porcentagem do potencial global sustentável. Para alavancar essa oportunidade, será necessário investir em infraestrutura, marcos regulatórios, mecanismos de financiamento e construção de capacidade.

Com a continuação da ênfase em mitigação de metano, economia circular e transição energética justa na COP30 no Brasil e na COP31, o biometano está sendo posicionado cada vez mais como tecnologia estratégica capaz de entregar benefícios tangíveis para o clima e o desenvolvimento simultaneamente. Para muitas economias emergentes, o biometano poderá representar uma das rotas mais práticas e escalonáveis em direção a um futuro de baixo carbono com uso eficiente de recursos.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.



SEÇÃO 8

8 Políticas públicas facilitadoras

Políticas públicas facilitadoras

O custo de produção do biometano constitui uma desvantagem estrutural em relação ao gás natural convencional (fóssil) e ao diesel, pelo menos em alguns cenários atuais, e por isso sua expansão depende fundamentalmente de políticas públicas robustas e coerentes. Em paralelo, reformar os subsídios dados aos combustíveis fósseis é uma maneira eficaz de aumentar a competitividade dos biocombustíveis e reduzir o consumo de diesel (249). Os principais pontos das políticas públicas de vários países que estão facilitando a substituição do diesel pelo biometano para frotas de caminhões são destacados abaixo em quatro categorias-chave: regras quanto à mistura de combustíveis, metas setoriais para energia renovável, implantação de infraestrutura física e incentivos financeiros de mercado ou tributários.

NORMAS SOBRE MISTURA DE COMBUSTÍVEIS

01. ESTADOS-MEMBROS DA UNiÃO EUROPEIA (UE)

•A RED III (diretiva de energia renovável da UE) obriga fornecedores de combustíveis a a incluir porcentagens mínimas de energia renovável no transporte, com contagem dobrada para combustíveis avançados. À medida que a regulamentação da UE evoluiu, o principal mecanismo das regras sobre mistura de combustíveis mudou de cotas baseadas em volume para reduções obrigatórias baseadas em intensidade de emissões de GEE (251).

•**Países Baixos e Alemanha:** os fornecedores de combustíveis são obrigados por lei a atingir uma redução percentual gradual da intensidade de GEE no volume total distribuído, valendo pelo ciclo de vida inteiro. Já que a intensidade de carbono do biometano derivado de resíduos agrícolas e orgânicos é excepcionalmente baixa ou até negativa, serve como ferramenta para que os fornecedores obedeçam a regra relativa a cotas usando biometano com muito mais eficiência em comparação com biocombustíveis líquidos de primeira geração, cujo desempenho é mais fraco (75).

•**Alemanha:** em vez de uma regra simples baseada em volume, a Alemanha usa uma “cota de redução de emissões de GEE” (Treibhausgasminderungsquote), pela qual os fornecedores de combustíveis são legalmente obrigados a reduzir a pegada de carbono dos combustíveis que vendem numa porcentagem específica a cada ano (252).

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

•**Suécia:** historicamente, priorizava isenções amplas de impostos para incentivar o uso do biometano, mas agora implantou um sistema chamado de “obrigação de redução” (Reduktionsplikt) para se alinhar com os modelos estatutários europeus. Por esse sistema, os distribuidores de combustíveis têm de reduzir continuamente a pegada de carbono de seus produtos, gerando um mercado doméstico estável para biometano e bio-GNL usados em frotas de caminhões comerciais (253).

•**França:** utiliza uma combinação de regras rigorosas sobre insumos e obrigações de fornecedores para acelerar a adoção de biometano. A lei “clima e resiliência” (Climat et Résilience) introduziu o Certificado de Produção de Biogás (CPB), obrigando fornecedores de gás natural a comprar CPBs com base no volume total de gás natural que vendem ou produzir biometano. Objetivando reforçar os benefícios climáticos e proteger as cadeias de produção de alimentos, outra regra estabelece o limite de 15% para o uso de culturas alimentares e energéticos como insumos de biogás e biometano. A produção depende intensamente de resíduos agrícolas e culturas de cobertura.

•**Portugal:** implementação de obrigações de substituição volumétrica/injeção para operadoras de redes de gás no Plano de Ação de Biometano (PAB) 2024-2040 criado pela Resolução Federal n° 41/2024 (254). O governo prevê substituição de 18 % do gás natural por biometano até 2040, tomando 2030 como referência.

•**Itália:** diferentemente de alguns países que priorizam aquecimento residencial, a Itália alinhou seu marco regulatório sobre biometano estruturalmente com sua vasta infraestrutura de transporte movido a gás e seu grande setor agrícola. O esquema de apoio do biometano é plenamente financiado pelos fornecedores de combustíveis para transporte como parte de suas obrigações de mistura de biocombustíveis. As empresas que vendem diesel e gasolina de origem fóssil na Itália são legalmente obrigadas a incluir uma porcentagem de biocombustíveis renováveis (incluindo biometano) no mix anual de combustíveis e a porcentagem irá elevar-se gradualmente. Em vez de financiamento do biometano pelos contribuintes via subsídios governamentais diretos, o programa inteiro é financiado pelos fornecedores através da obrigação de comprar certificados (Certificati di Immissione in Consumo ou CIC) de produtores de biometano para comprovar o cumprimento de suas cotas legais de mistura.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

02. ESTADOS UNIDOS

Nos EUA, há leis federais e estaduais que exigem ou incentivam fortemente a mistura ou uso de biometano, frequentemente chamado de gás natural renovável (RNG na sigla em inglês), nos sistemas de energia e transporte.

Há basicamente dois tipos de mecanismo na regulamentação:
Normas sobre mistura de combustíveis do transporte: os fornecedores de combustíveis são obrigados a misturar RNG em seus produtos com base em parâmetros volumétricos ou intensidade de emissões de carbono.
Regras sobre compras por distribuidores de gás: regulamentos estaduais obrigam as concessionárias de energia a comprar porcentagens específicas de RNG para sua infraestrutura de gasodutos responsáveis pela distribuição a residências e empresas (semelhante a Renewable Portfolio Standards para eletricidade).

Legislação Federal: Renewable Fuel Standard (RFS)

Administrada pela Environmental Protection Agency (EPA), a RFS é a principal força por trás da mistura de biometano nos combustíveis utilizados no setor de transporte dos EUA. Os Renewable Identification Numbers (RIN) são a "moeda" do programa RFS, através do qual se relacionam com metas de redução de GEE. O programa obriga refinadores de petróleo e importadores de combustíveis (“partes obrigadas”) a misturar volumes mínimos anuais de combustíveis renováveis no suprimento nacional de combustível de transporte. Segundo a RFS, o RNG é elegível de acordo com as categorias RIN “Cellulosic Biofuel (D3)”, que responde por mais de 95% do biometano nos EUA, e “Advanced Biofuel (D5)”, que responde por menos de 5% (250,255).

Pelo princípio da substituição comercial, quem produz RNG pode injetar biometano num gasoduto comercial que transporta gás natural em qualquer parte do país, desde que um volume físico equivalente de gás seja retirado como gás natural comprimido ou liquefeito para uso no transporte em algum ponto da rede.

Legislação Estadual: Low-Carbon Fuel Standards

Embora funcionem como programas de crédito baseados no mercado em vez de serem obrigações de mistura volumétrica, essas regras estaduais acabam servindo de exigências de mistura porque penalizam o uso de combustíveis fósseis e sua alta carga de carbono. Seguem abaixo alguns exemplos:

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Califórnia: Norma sobre Combustível de Baixo Carbono (LCFS)

A LCFS requer uma redução progressiva da intensidade de carbono do mix de combustíveis usados no setor de transporte estadual. A California Air Resources Board (CARB) estabelece metas de intensidade de carbono e atribui “notas” de intensidade de carbono aos combustíveis vendidos no estado, mas não se envolve diretamente em transações privadas no mercado de créditos de LCFS. Empresas que vendem combustíveis acumulam déficits e as que vendem alternativas de baixo carbono, incluindo biorrefinarias, produtores de biometano e agregadores de carregamento de veículos elétrico, ganham créditos baseados na nota de intensidade de carbono atribuída pela CARB.

Gás natural renovável derivado de resíduos orgânicos (como esterco de gado leiteiro) aprisiona metano que de outra forma escaparia para a atmosfera e recebe nota alta pela intensidade de carbono negativa. Isso forçou integração maciça de infraestrutura, fazendo com que praticamente todo o bio-GNC vendido nos sistemas de transporte da Califórnia seja derivado de gás natural renovável (250). A LCSF é administrada pela California Air Resources Board (CARB) sob autoridade da Global Warming Solutions Act de 2006 (Assembly Bill 32) e extensões subsequentes (256).

California: Senate Bill 1440 (Compra de Biometano)

Em 2018, a California Public Utilities Commission (CPUC) decretou normas estritas que obrigam concessionárias de GN do estado (tais como SoCalGas e PG&E) a comprar determinados volumes anuais de biometano coletivamente. Em 2022, a CPUC estabeleceu metas de curto e médio prazo: 17,6 bilhões de pés cúbicos de biometano para 2025 e 72,8 bi para 2030. Isso corresponde a cerca de 12,3% da média anual do consumo residencial e comercial de gás no estado (257). Foi estabelecido em California Public Utilities Code §2840 e regulamentado pela resolução “CPUC Decision (D) (22-02-025)”.

Oregon: Senate Bill 844 e Senate Bill 98

A lei SB 98 (2019) do Senado estadual de Oregon estabeleceu regras voluntárias que rapidamente viraram um mecanismo regulatório ativo com metas para concessionárias de GN de grande porte realizarem a substituição do gás convencional fóssil por gás natural renovável. As metas aumentam agressivamente, visando mistura de 15% de GN renovável nas redes de gasodutos até 2030. A lei foi codificada nos Oregon Revised Statutes (ORS) §757.390-§757.398.

Nevada: Senate Bill 154

A lei SB 154 (2019) do Senado de Nevada obriga os fornecedores públicos de GN a oferecer ao consumidor a opção de receber o produto misturado com GN renovável, contratando suprimento de biometano para esse fim, e a obter determinada porcentagem do suprimento total de gás junto a fontes renováveis, desde que sejam compatíveis com os limites mínimos de custo-benefício estabelecidos pela Public Utilities Commission of Nevada (PUCN). A lei foi codificada como emenda aos Nevada Revised Statutes (NRS) Chapter 704.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

03. BRASIL

O Brasil tem um dos mais antigos e mais integrados arcabouços regulatórios de bioenergia do setor de transporte mundial. A Lei Federal no. 13.576/2017 (a Política Nacional de Combustíveis, RenovaBio) estabeleceu regras baseadas no mercado e na estrutura de fornecimento nacional (258).

A Resolução CNPE no. 4 aprovada em 1 de abril de 2026 pelo Conselho Nacional de Política Energética (259) fixa a meta de redução de emissões de GEE no mercado de gás natural para o ano de 2026. Estabelece a meta anual de 0,5%, a ser cumprida por produtores e importadores de GN por meio da participação do biometano no seu consumo ou da aquisição de certificados de garantia de origem do biometano (CGOB), conforme determinado pela Lei Federal no. 14.993/2024, chamado de Lei do Combustível do Futuro (231). De acordo com essa lei, a redução de emissões de GEE pela introdução de biometano é obrigatória e as metas anuais de descarbonização aumentam até 10%.

O CGOB é o certificado oficial de rastreabilidade que especifica o volume de biometano produzido e vendido pelo produtor, com seu teor renovável. É emitido por um agente certificador de origem (ACO) credenciado pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Atesta as características do processo produtivo, a origem dos insumos e a localização exata da planta produtora do biometano, além de outros itens especificados no regulamento.

A principal inovação é a desvinculação: o CGOB possibilita separar o atributo ambiental (valor verde) do biometano e a molécula física, de modo que o produtor possa injetar biometano na rede de gasodutos e vender o gás físico a um consumidor local, enquanto o certificado ambiental (CGOB) pode ser vendido independentemente a uma empresa em outra parte do país que queira descarbonizar sua operação.

O ECOSSISTEMA DO CGOB ESTÁ ESTRUTURADO JURIDICAMENTE EM TRÊS NÌVEIS DISTINTOS:

Base legal: estabelecida pela Lei do Combustível do Futuro (Lei no. 14.993/2024) (231), que criou o Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano.

Regulamentação: Detalhada pelo Decreto no. 12.614/2025 (260) e operacionalizada pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) nas Resoluções no. 995/2026 e no. 996/2026 (261,262).

Fiscalização e emissão: A ANP atua como entidade central regulatória. A emissão de CGOB é feita por agentes certificadores de origem (ACO), entidades independentes credenciados pela ANP para auditar e validar o volume produzido.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

RESUMO DAS REGRAS SOBRE CGOB

PARÂMETRO	REGRA
Unidade	1 CGOB = 100 m³ de biometano efetivamente injetados na rede ou vendidos
Vencimento	18 meses após a data da emissão
Rastreabilidade	Registrado em plataformas digitais auditáveis (utilizando tecnologias como blockchain) para garantir a transparência do inventário e evitar dupla contagem
Coexistência com CBIO	Produtores certificados de acordo com a regra do RenovaBio podem emitir CGOB e CBIO na mesma nota fiscal desde que a informação de emissão do CBIO conste no registro do CGOB, em prol da transparência regulatória plena

MERCADOS DE CGOB · O MERCADO DE CGOB PODE SER DIVIDIDO EM DUAS FRENTES PRINCIPAIS:

Mercado compulsório (mandato do biometano): produtores e importadores de **gás natural fóssil** têm metas anuais obrigatórias de redução de emissões de GEE. Devem adquirir CGOB para comprovar a inserção dos equivalentes renováveis na matriz, atendendo assim às metas individualizadas pela ANP,

Mercado voluntário (empresas/ESG): indústrias, transportadoras e multinacionais que usam combustíveis fósseis (gás natural, diesel, GNC) compram CGOB para neutralizar suas emissões Escopo 1 ou Escopo 2. Aceitação excelente em inventários de sustentabilidade globais como o Protocolo GHG.

Benefícios estratégicos

Para produtores de biogás/biometano: cria uma fonte nova de renda puramente financeira e transforma biometano em produto premium, acelerando o retorno sobre investimento (ROI) para plantas novas.

Para o setor de gás natural: garante a segurança jurídica e previsibilidade da demanda em anos futuros devido ao cumprimento de metas compulsórias.

Para compradores (ESG): permite descarbonizar operações imediatamente sem a necessidade de investimentos pesados ou modificação da infraestrutura física para queima de gás e logística.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

O mandato de mistura de gás natural renovável do Quebec, no Canadá, obriga distribuidores de GN a atingir **10% de biometano nas redes até 2030**.

O mandato de mistura de biogás comprimido da Índia obriga distribuidores a começar com **1% em 2025/26 e atingir 5% até 2028/29** para GNC e GN nas redes.

Implantação de infraestrutura

Para que o biometano seja uma alternativa viável ao diesel no transporte de cargas pesadas em longas distâncias, é preciso ter infraestrutura de distribuição sincronizada. No transporte de longa distância, caminhões precisam de combustíveis de alta densidade energética para manter a autonomia operacional. Por isso, as políticas devem apoiar ativamente a implantação de postos de GNC para logística regional e GNL para frete transfronteiriço. A IEA frisa que enquanto cerca de 60% do potencial europeu de biometano se encontra a 20 km ou menos de gasodutos existentes, na China a proporção cai para 50% e na América do Sul para apenas 10%, fazendo das conexões com redes de gás um aspecto importante da distribuição e da localização dos postos de abastecimento (224).

Os custos das interligações das redes representam uma barreira substancial. As políticas devem incluir mecanismos para superá-la, tais como:

- **Programas de compartilhamento de custos:** Programa de incentivo monetário ao biometano da Califórnia reembolsa até 50% do custo de interligações (limitado a US$ 80 milhões) e metade dos recursos vem de leilões cap-and-trade;
- **Apoio governamental à construção de gasodutos:** Esquema de 2024 da Índia assume até 50% do custo de gasodutos para injeção de biogás comprimido em redes urbanas a 75 km ou menos de plantas elegíveis;
- **Obrigação legal de avaliar ligações com redes:** França (Lei 2018-938), Suécia (Lei sobre Gás Natural) e República Tcheca (Lei 458/2000) obrigam operadoras de gasodutos a avaliar e facilitar pedidos de injeção de biometano, removendo a discrição regulatória que pode bloquear projetos.

Já que veículos pesados frequentemente retornam à base vazios ou operam em corredores logísticos, a implantação de infraestrutura deve priorizar hubs de distribuição, portos e centros logísticos. Nos EUA, o plano nacional para veículos comerciais médios e pesados (MHDV National Plan) frisa que o planejamento de portos deve considerar a demanda por equipamentos de manejo de cargas marítimas, ferroviárias, fora-de-estrada (offroad) e rodoviárias para identificar soluções coordenadas de menor custo no suprimento de eletricidade, hidrogênio e biocombustíveis (263).

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Diretivas da União Europeia sobre infraestrutura

A implantação física de infraestrutura para combustíveis gasosos em toda a Europa foi guiada inicialmente pela Diretiva de Infraestrutura para Combustíveis Alternativos (AFID), conhecida como Diretiva 2014/94/UE, a qual obrigou os Estados-Membros da União Europeia a estabelecerem “quadros de ação nacionais (QAN)” para a criação de redes de abastecimento de veículos movidos a metano (264).

Para eliminar disparidades geográficas e assegurar corredores de frete transeuropeus, a UE substituiu esse marco com o Regulamento de Infraestrutura para Combustíveis Alternativos (AFIR), que define metas obrigatórias baseadas em distância para a infraestrutura de combustíveis alternativos ao longo dos principais corredores da Rede Transeuropeia de Transportes (TEN-T). Para veículos pesados movidos a gás liquefeito, isso assegura uma densidade confiável de pontos de abastecimento pela Europa, permitindo aos operadores de frotas investir em caminhões de bio-GNL com absoluta certeza da disponibilidade de combustíveis (265).

Além disso, o biometano pode funcionar como combustível “drop-in” direto, já que é quimicamente idêntico ao GN fóssil, e portanto utiliza plenamente essa infraestrutura em expansão sem necessitar de gasodutos dedicados ou redes de dispensers alternativos.

POLÍTICAS DE INJEÇÃO NAS REDES E A BASE DE DADOS DA UE

A construção de infraestrutura na Europa é fortemente estimulada pelo apoio da regulamentação à injeção direta de biometano purificado nas redes de gás nacionais e pan-europeias.

Rastreamento de balanço de massa: a regulamentação utiliza um sistema de balanço de massa pelo qual uma frota de caminhões pode comprar os atributos ambientais do biometano injetado na rede a milhares de quilômetros de distância. No mercado europeu de biometano, o rastreamento de balanço de massa é o modelo obrigatório de cadeia de custódia usado para verificar que o biometano injetado na rede de GN retém seus atributos de sustentabilidade e verdes desde a produção até o consumidor final (267). A rede de gás europeia mistura gases de origens diferentes num único fluxo físico e por isso é impossível rastrear moléculas individuais de biometano. O sistema de balanço de massa resolve isso criando uma conexão digital entre os volumes físicos injetados e os respectivos dados de sustentabilidade, garantindo que os atributos de energia limpa sejam compatíveis com os do combustível vendido a jusante (266).

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

- Base de dados da União (UDB) para combustíveis gasosos e líquidos: iniciativa da UE que visa garantir o rastreamento transfronteiriço desses fluxos físicos e mitigar o risco de dupla contagem. Trata-se de um registro digital de infraestrutura que rastreia a documentação de sustentabilidade de cada unidade de biometano desde um local de produção até o consumo final numa bomba de abastecimento de caminhões, proporcionando a necessária transparência para assegurar o compliance nas operações de logística das empresas. Ao rastrear lotes de combustíveis e matérias primas a partir de sua origem por toda a cadeia de suprimentos, a UDB garante que cada remessa seja contada apenas uma vez para os fins da contabilização de cotas de energia renovável (268).

A implementação da UDB representa uma grande mudança estrutural para os mercados europeus de gás renovável:

- Um pré-requisito para mercados de compliance: o ciclo de vida do biometano deve ser verificado e registrado na UDB para que seja elegível em mercados de compliance de alto risco como os do Regulamento Marítimo FuelEU ou do Sistema de Comércio de Emissões da UE (EU ETS).
- A padronização da comprovação de sustentabilidade pela UDB ajuda a manter a alta flexibilidade e foco no mercado da rede comercial pan-europeia. Tal configuração é essencial para a realização dos objetivos maiores da UE, como a meta REPowerEU, que visa escalonar a produção sustentável de biometano. Estudo da CE Delft recomenda o acompanhamento constante dos **modelos da Suécia e Itália**, onde as estratégias de biometano para o setor de transporte estão integradas com o planejamento da infraestrutura para gás natural em geral, criando igualdade de condições para biocombustíveis e biometano através da unificação dos padrões de infraestrutura (269).

ESTADOS UNIDOS

No transporte rodoviário de longa distância, a infraestrutura para biometano liquefeito (bio-GNL) é crítica devido às exigências de densidade energética. A estratégia de corredores do Departamento de Energia do governo federal dos Estados Unidos objetiva a finalização da Fase I até 2027, através da implantação de infraestrutura de abastecimento em hubs regionais de frete para apoiar a adoção de veículos pesados e médios de emissão zero (ZE-MHDV). O esquema de créditos do imposto de propriedade para empresas que instalarem postos de abastecimento de combustíveis alternativos (Alternative Fuel Refueling Property Tax Credit, IRC Sec. 30C) promete proporcionar créditos correspondentes a valores de até 30% ou US$ 100 mil por item de equipamento elegível, embora ainda falte orientação das autoridades tributárias para algumas categorias.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

BRASIL E AMÉRICA DO SUL

Cilindros leves para GNC dos tipos III e IV adequados a veículos pesados não estão disponíveis no Brasil. Custa caro obter homologação/certificação desses tanques no Brasil e certificação no exterior não é aceita no país. A regulamentação atual também obriga fabricantes de cilindros de GNC sediados no exterior a obter recertificação a cada três anos. Isso tem efeito duplo: reduz a presença de cilindros leves no Brasil e aumenta o custo total da propriedade de caminhões movidos a biometano (270). Além disso, a falta de regulamentação de caminhões, tanques, conectores/recipientes de combustível e postos de abastecimento de GNL (inclusive postos que transformam GN líquido em GN comprimido – L-GNC) impede o uso da opção GNL (270). Os usuários atuais de GNL são principalmente empresas que possuem instalações próprias (terminais de GNL para regaseificação, por exemplo). O problema da vaporização espontânea de GNL (boil-off) é uma questão que ainda não foi resolvida.

No Brasil, os gasodutos ainda estão concentrados perto do litoral. Maior penetração de caminhões movidos a GN e biometano requer a instalação de postos de abastecimento não só na costa mas também no interior (271).

Várias opções e estratégias privadas e semipúblicas de postos de abastecimento estarão disponíveis para servir o crescente mercado de combustíveis para veículos pesados: postos in loco para frotas (móveis e estacionários); postos compartilhados para múltiplas frotas de veículos pesadas em centros urbanos; postos para caminhões em “corredores azuis” (271). As opções incluem:

- Postos de compressão – abastecimento com GNC na proximidade de gasodutos
- Postos mãe-filha ou gasodutos virtuais – abastecimento com GNC por regaseificação de LNG trazido por caminhões-tanque de GNL e compressão para convertê-lo em GNC
- Postos portáteis de GNL (usando GNL trazido por caminhões) – fornecimento de gás a operadoras de frotas pequenas/privadas

O uso do balanço de massa foi impugnado por vários estados-membros da UE, particularmente Países Baixos, onde se introduziu a obrigação de separar fisicamente o biometano importado (bio-GNL/GNC), com a justificativa de preocupações quanto à aplicação do balanço de massa sobretudo ao GNL importado. A principal preocupação é quanto à integridade dos registros de projetos de renováveis e ao risco de “esverdeamento (greening) administrativo” (266).

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Incentivos tributários, créditos e precificação do carbono

Viabilidade financeira é o fator que determina em última instância se a operadora de uma frota vai decidir que vale a pena empreender a transição do diesel para um biocombustível. As políticas públicas combinam instrumentos fiscais como isenções tributárias diretas com mecanismos de precificação de carbono e mercados de créditos ambientais negociáveis para fechar o hiato entre os preços do biometano e do diesel fóssil. O custo maior do biometano relativo ao do GNC e do diesel significa que será difícil penetrar esse mercado sem apoio público mais forte (224).



© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

O programa RenovaBio do Brasil e o mecanismo do CBIO

- A política brasileira de biocombustíveis, RenovaBio, é inovadora e orientada para o mercado, pois a estratégia de descarbonização focada em créditos de carbono não depende de subsídios governamentais diretos ou alocação de capital estatal. O programa inteiro opera como mercado aberto de ativos ambientais integrado com os sistemas nacionais de finanças climáticas.

- Créditos de carbono (CBIO): o CBIO é um ativo financeiro negociado abertamente na bolsa brasileira B3 e nos mercados de balcão, representando exatamente uma tonelada métrica de emissões de CO2 equivalente evitadas.

- Avaliação do ciclo de vida RenovaCalc: para gerar CBIO, os produtores de biometano devem ser certificados por terceiros através do RenovaCalc, uma ferramenta padronizada de contabilização de emissões de GEE, a qual calcula a as emissões “do poço às rodas" (WtW), incluindo o ciclo de vida inteiro desde a coleta de insumos e a digestão anaeróbica até a purificação do gás e a distribuição final.

- Vantagem da eficiência ambiental: a diferença entre a intensidade do produtor certificado de biometano e a do diesel fóssil que substitui define a “Nota de Eficiência Energética-Ambiental” do produtor. O biometano gerado a partir de resíduos orgânicos tem o menor teor de carbono dentre todos os biocombustíveis certificados no Brasil e portanto as plantas de biometano geram um volume alto de CBIO por metro cúbico de gás produzido, proporcionando um fluxo de renda autônomo que compensa grande parte das despesas de capital e dos custos de produção.

- Prevenção de impactos negativos no uso da terra: para manter um nível alto de integridade ambiental e impedir a expansão indireta de usos inadequados da terra, é rigorosamente vedada a participação no programa por biomassa produzida em terras cultivadas que foram desmatadas após dezembro de 2018.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Precificação do carbono na Europa: ETS2 e Eurovignette

Na Europa, a competitividade econômica do biometano para transporte comercial pesado é profundamente reforçada por estruturas abrangentes de precificação de carbono.

ETS2: a partir de 2027, o Sistema de Comércio de Emissões da UE irá expandir via ETS2, um mecanismo separado de cap-and-trade criado especificamente para os setores de transporte rodoviário comercial, construção e edifícios, entre outros. Impõe um custo direto de carbono aos atacadistas de diesel fóssil, aumentando o preço na bomba dos combustíveis derivados de petróleo e reforçando estruturalmente a competitividade de combustíveis renováveis sem emissões (zero-rated) como biometano.

Diretiva Eurovignette: a precificação da infraestrutura da malha rodoviária europeia depende cada vez mais da Diretiva Eurovignette revisada, que obriga os sistemas de pedágios a reajustar suas tarifas com base no desempenho dos veículos pesados em termos de emissões certificadas de CO2. Caminhões movidos a bio-GNL ou bio-GNC certificados têm direito a descontos significativos nessas tarifas (muitas vezes acima de 50% a 75% em comparação com os veículos a diesel enquadrados na norma Euro VI), alterando dramaticamente o custo total da propriedade para operadoras de logística.

Subsídios e estruturas financeiras nacionais

- Países Baixos e Alemanha: ambos usam mecanismos de apoio temporários e direcionados, tais como isenção do pagamento de pedágios para veículos pesados (por exemplo., a isenção alemã chamada de “Mautbefreiung” para caminhões que transportam GN) e subsídios de investimento (capex) para transportadoras que compram caminhões movidos a biogás.

- Brasil (linhas de crédito do BNDES): complementando as receitas do mercado de CBIO, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) proporciona capital estruturado via linhas especiais de crédito, sendo a mais crítica o Fundo Clima, que oferece financiamento de longo prazo a juros baixos visando apoiar iniciativas corporativas de descarbonização, infraestrutura de coleta de biogás industrial e aquisição de frotas de caminhões movidos a biometano.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Mercados de créditos baseados na intensidade de carbono

Os mecanismos de precificação mais eficazes para biometano operam através de créditos por redução da intensidade de carbono em vez de simples subsídios volumétricos. A norma LCFS da Califórnia define um benchmark (padrão) de intensidade de carbono que diminui a cada ano para combustíveis de transporte. Os combustíveis cujas emissões ficam abaixo do benchmark geram créditos negociáveis, os quais podem ser comprados pelos responsáveis por combustíveis que o superam para compensar o déficit. Para biometano produzido com esterco leiteiro, os créditos LCFS proporcionam incentivos equivalentes a cerca de US$ 45 por MMBtu. Biometano de gás de aterro recebe US$ 4,00-US$ 4,25 por MMBtu (dependendo da contabilização do volume de metano evitado). A norma RFS do governo federal complementa isso através de números de identificação de renováveis (RIN). Para biometano derivado de resíduos com redução de GEE de 60% no ciclo de vida inteiro (RIN D3, biocombustível celulósico), os incentivos chegaram historicamente a cerca de US$ 23,32 por MMBtu a preços de 2016.

No contexto europeu, as diretivas RED II e III definem mínimos de sustentabilidade: biometano usado em transporte deve reduzir as emissões de GEE em pelo menos 65% em relação ao comparador fóssil (94g CO_2e por MJ), com teto de 33g CO_2e por MJ. A diretiva permite dupla contagem de combustíveis avançados (incluindo certos biometanos derivados de resíduos), o que acaba aumentando o valor de cada unidade de biometano em direção aos objetivos nacionais de transporte movido a combustível renovável.

Mecanismos de paridade de preços de combustíveis

Na Suécia, a Lei 1994:1776 estabeleceu isenção plena de impostos para biometano usado como combustível automotivo, combinado com impostos altos sobre combustíveis fósseis, criando um dos mercados de biometano para veículos pesados mais bem-sucedidos do mundo. Na Itália, o Decreto sobre Biometano (2018/2022) rege a emissão de certificados específicos para transporte valendo em média € 375 por MWh para biometano usado no transporte, com adicionais por infraestrutura de compressão e liquefação.

EUA: créditos tributários federais de produção e investimento

A Lei de Redução da Inflação (IRA) de 2022 estabeleceu créditos tributários (48E) por produção e investimento em projetos de combustíveis limpos, independentemente da tecnologia usada. O AFTC (crédito tributário de combustíveis alternativos) dá US$ 0,50 por galão equivalente no dispenser para gás natural e GNR usados no transporte. A Lei de Incentivo para Gás Natural Renovável de 2023 introduziu um crédito de US$ 1,00 por galão para biometano usado em veículos pesados. Esses são incentivos focados no usuário final que reduzem diretamente os custos de abastecimento de frotas e melhoram o ROI por veículo.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Tarifas feed-in e prêmios para certas tecnologias

Tarifas feed-in (FiTs na sigla em inglês) continuam sendo o principal mecanismo de apoio nos mercados maduros de biometano. Na Alemanha, a Lei de Fontes Renováveis de Energia (Erneuerbare-Energien-Gesetz, EEG), atualizada em 2021 e 2025, mudou de tarifas fixas para sistemas baseados em leilões com operações flexíveis, incluindo leilões específicas para rotas de biometano de transporte. O Reino Unido encerrou seu esquema de FiTs mas mantém os de "calor renovável" (Renewable Heat Incentive) e combustíveis renováveis no transporte (Renewable Transport Fuels Obligation, RTFO), que obriga fornecedores de combustíveis a incluir conteúdo renovável, com biometano pesando na contabilização do cumprimento da obrigação.

Na Itália, os decretos mais recentes que se referem ao biometano (Decreto Bollette e Decreto PNRR) proporcionam contribuições de capital e FiTs de 15 anos para plantas de biometano. Usos de biometano no transporte recebem tarifas maiores em comparação com aplicações de aquecimento e eletricidade.

Mercados de créditos de carbono e instrumentos negociáveis

Para além dos mercados de compliance (focados no cumprimento de obrigações regulatórias), créditos de carbono voluntários podem apoiar o financiamento de projetos. O mecanismo emergente de precificação de GEE promovido pela IMO no setor de transporte marítimo poderia ser adaptado para o transporte rodoviário de cargas pesadas, criando um preço de carbono setorial que apoiaria a competitividade do biometano se fosse suficientemente alto.

Incentivos para compra de veículos

Para operadoras de frotas, incentivos diretos diminuem a barreira do custo de capital para investimento em veículos movidos a GN (tipicamente mais caros que os movidos a diesel). O projeto da Califórnia de incentivar a compra de caminhões e ônibus de emissão zero (Hybrid and Zero-Emission Truck and Bus Voucher Incentive Project, HVIP) proporciona vouchers no ponto de venda. Iniciativas federais nos EUA, como o programa de subsídios para veículos pesados limpos (Clean Heavy-Duty Vehicles Grant Program), com US$ 1 bilhão, e o programa iMHZEV, apoiam a adoção precoce. A revogação do imposto de 12% (federal excise tax, FET) sobre caminhões pesados movidos a combustíveis gasosos, reivindicada por grupos setoriais, eliminaria um custo adicional discriminatório que pesa sobre a compra de tecnologias mais limpas.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Síntese: recomendações para a política sobre biometano no transporte de cargas pesadas

ELEMENTO DA POLÍTICA	INSTRUMENTO RECOMENDADO	AUTORIDADES E REFERÊNCIAS
Precificação do carbono	Comércio de créditos baseados em intensidade de carbono (estilo LCFS) + créditos por metano evitado pelo uso de esterco e resíduos como insumos	IEA (2025); CARB LCFS; EU RED III
Precificação dos combustíveis	Paridade/isenção tributária para biometano vs. diesel; créditos tributários neutros em relação a tecnologias para produtores	Suécia, Lei 1994:1776; IRA 48E/45X; AFTC
Infraestrutura	Injeção na rede de gasodutos com compartilhamento de custos (50% financiamento público); ligação obrigatória com operadoras de rede; corredores com hubs de frete e postos de abastecimento	Programa de interligações da Califórnia (interconnector program); esquema de gasodutos da Índia; estratégia de corredores para veículos médios e pesados dos EUA (MHDV Corridor Strategy)
Integração de resíduos	Separação obrigatória de resíduos orgânicos (2024+); regras sobre gestão de esterco limitando aplicação do material bruto; apoio à valorização do digestato	EU Waste Framework Directive; EU Nitrates Directive; GOBAR-Dhan
Créditos/incentivos	Tarifas feed-in diferenciadas por insumo e uso final; mandatos de mistura com dupla contagem para avançados e uso de resíduos; vouchers para compras de veículos	Itália, decreto biometano; EU RED III; HVIP; Quebec, mandato GNR

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Agradecimentos

Este trabalho foi custeado por MBCBrasil, com auxílio parcial da FAPESP (Proc. 2022/11460-1).

Nossos agradecimentos a Arthur Menezes e Rafael Mosquim por suas contribuições à edição e revisão do estudo.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

BIBLIOGRAFIA

Referências

Bibliografia consolidada deste material

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

1. Pääkkönen A, Aro K, Aalto P, Konttinen J, Kojo M. The Potential of Biomethane in Replacing Fossil Fuels in Heavy Transport—A Case Study on Finland. Sustainability. 2019 Aug 30;11(17):4750. doi:10.3390/su11174750

1. Gustafsson M, Svensson N. Cleaner heavy transports – Environmental and economic analysis of liquefied natural gas and biomethane. J Clean Prod. 2021 Jan;278:123535. doi:10.1016/j.jclepro.2020.123535

1. Noussan M, Negro V, Prussi M, Chiaramonti D. The potential role of biomethane for the decarbonization of transport: An analysis of 2030 scenarios in Italy. Appl Energy. 2024 Feb;355:122322. doi:10.1016/j.apenergy.2023.122322

1. International Energy Agency. Outlook for biogas and biomethane: Prospects for organic growth [Internet]. OECD; 2020 Mar [acesso em 2026 May 4]. Disponível em: https://www.oecd.org/en/publications/outlook-for-biogas-and-biomethane_040c8cd2-en.html doi:10.1787/040c8cd2-en

1. Ammenberg J, Gustafsson M, O'Shea R, Gray N, Lyng KA, Eklund M, et al. Perspectives on biomethane as a transport fuel within a circular economy, energy, and environmental system [Internet]. IEA Bioenergy Task 37; 2021. p. 12. Disponível em: https://www.ieabioenergy.com/blog/publications/perspectives-on-biomethane-as-transport-fuel-within-a-circular-economy-energy-and-environmental-system/

1. Rajalehto C, Helo P. Comparing feasibility of low-carbon heavy-duty road freight vehicles. J Clean Prod. 2025 Jun;509:145524. doi:10.1016/j.jclepro.2025.145524

1. Dahlgren S. Biogas-based fuels as renewable energy in the transport sector: an overview of the potential of using CBG, LBG and other vehicle fuels produced from biogas. Biofuels. 2022 May 28;13(5):587–99. doi:10.1080/17597692020.1821571

1. Nunes Ferraz Júnior AD, Machado PG, Jalil-Vega F, Coelho ST, Woods J. Liquefied biomethane from sugarcane vinasse and municipal solid waste: Sustainable fuel for a green-gas heavy duty road freight transport corridor in Sao Paulo state. J Clean Prod. 2022 Feb;335:130281. doi:10.1016/j.jclepro.2021.130281

9. Alamia A, Magnusson I, Johnsson F, Thunman H. Well-to-wheel analysis of bio-methane via gasification, in heavy duty engines within the transport sector of the European Union. Appl Energy. 2016 May;170:445-54. doi:10.1016/j.apenergy.2016.02.001

9. Atkins P, Milton G, Atkins A, Morgan R. A Local Ecosystem Assessment of the Potential for Net Negative Heavy-Duty Truck Greenhouse Gas Emissions through Biomethane Upcycling. Energies. 2021 Feb 3;14(4):806. doi:10.3390/en14040806

9. Ferreira SF, Buller LS, Berni M, Forster-Carneiro T. Environmental impact assessment of end-uses of biomethane. J Clean Prod. 2019 Sep;230:613-21. doi:10.1016/j.jclepro.2019.05.034

9. Keogh N, Corr D, Monaghan RFD. An environmental and economic assessment for biomethane injection and natural gas heavy goods vehicles. Appl Energy. 2024 Apr;360:122800. doi:10.1016/j.apenergy.2024.122800

9. Rimkus A, Stravinskas S, Matijošius J. Comparative Study on the Energetic and Ecologic Parameters of Dual Fuels (Diesel–NG and HVO–Biogas) and Conventional Diesel Fuel in a CI Engine. Appl Sci. 2020 Jan 3;10(1):359. doi:10.3390/app10010359

9. Bidart C, Wichert M, Kolb G, Held M. Biogas catalytic methanation for biomethane production as fuel in freight transport - A carbon footprint assessment. Renew Sustain Energy Rev. 2022 Oct;168:112802. doi:10.1016/j.rser.2022.112802

9. Ammenberg J, Gustafsson M, O'Shea R, Gray N, Lyng KA, Eklund M, et al. Perspectives on biomethane as a transport fuel within a circular economy, energy, and environmental system [Internet]. IEA Bioenergy Task 37; 2021. p. 12. Disponível em: https://www.ieabioenergy.com/blog/publications/perspectives-on-biomethane-as-transport-fuel-within-a-circular-economy-energy-and-environmental-system/16. IEA [Internet]. [acesso em 2026 Jun 9]. Biogases – Renewables 2025 – Analysis. Disponível em: https://www.iea.org/reports/renewables-2025/biogases

16. European Biogas Association. EBA Statistical Report 2024 [Internet]. Brussels, Belgium: European Biogas Association (EBA); 2024 Dec [acesso em 2026 Jun 9]. Disponível em: https://www.europeanbiogas.eu/publication/eba-statistical-report-2024/

16. Liebetrau, Jan, Ammenberg, Jonas, Gustafsson, Marcus, Pelkmans, Luc, Murphy, Jerry D. The role of biogas and biomethane in pathway to net zero [Internet]. IEA Bioenergy Task 37; 2022 Dec. Report no.: TR2212. Disponível em: https://task37.ieabioenergy.com/technical-reports/the-role-of-biogas/

16. IEA Bioenergy. Implementation of bioenergy in Brazil – 2024 update [Internet]. International Energy Agency; 2024 Dec. (Country Reports). Disponível em: https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2024/12/CountryReport2024_Brazil_final.pdf

16. United States Environmental Protection Agency. Information about Renewable Fuel Standard for Landfill Gas Energy Projects [Collections and Lists] [Internet]. 2020 [acesso em 2026 Jun 9]. Disponível em: https://www.epa.gov/lmop/information-about-renewable-fuel-standard-landfill-gas-energy-projects

16. Indian Oil Corporation Ltd. IndianOil [Internet]. [acesso em 2026 Jun 9]. SATAT (Sustainable Alternative Towards Affordable Transportation) Overview. Disponível em: https://iocl.com/pages/satat-overview

16. Gustafsson M, Meneghetti R, Marques FS, Trim H, Dong R, Seadi TA, et al. A Perspective on the State of the Biogas Industry in 12 member countries of IEA Bioenergy Task 37 [Internet]. Gustafsson M, Liebetrau J, editors. IEA Bioenergy Task 37; 2024 [acesso em 2026 Jun 12]. Report 2024:2. Disponível em: https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2024/10/IEA_Bioenergy_T37_CountryReportSummary_2024.pdf

16. Vidigal LPV, De Souza TAZ, Da Costa RBR, Roque LFDA, Frez GV, Pérez-Rangel NV, et al. Biomethane as a Fuel for Energy Transition in South America: Review, Challenges, Opportunities, and Perspectives. Energies. 2025 Jun 4;18(11):2967. doi:10.3390/en18112967

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

23. Ammenberg J, Baier U, Lyng KA, Nägele HJ, Thual J, Wellisch M. Identification and Assessment of Sustainability Effects Associated with Biogas Solutions: Literature Review and Perspectives from Five Countries [Internet]. Ammenberg J, Wellisch M, Liebetrau J, editors. IEA Bioenergy Task 37; 2025 Mar [acesso em 2026 Jun 12]. Disponível em: https://task37.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/32/2025/06/IEA-Bioenergy-Task-37-Biogas-Sustainability-Effects-2025.pdf

23. Bywater A, Lyng KA, Plataniti L, Wellisch M, Liu M, Dong R, et al. Potential for Manure-based Anaerobic Digestion: Motivations, Barriers and Approaches in Six Countries [Internet]. Dong R, editor. IEA Bioenergy Task 37; 2025 Mar [acesso em 2026 Jun 12]. Disponível em: https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2025/09/IEA-Bioenergy-Task-37-Manure-utilization-2025.pdf

23. IEA Bioenergy Task 37. Technical Reports [Internet]. IEA Bioenergy Task 37; 2026 [acesso em 2026 Jun 12]. Disponível em: https://task37.ieabioenergy.com/technical-reports/

23. IEA. Outlook for Biogas and Biomethane – A global geospatial assessment [Internet]. 2025 [acesso em 2026 May 4]. Disponível em: https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane

23. International Energy Agency. Renewables 2025 [IEA Report] [Internet]. Paris: International Energy Agency (IEA); 2025 [acesso em 2026 Jun 12]. Disponível em: https://www.iea.org/reports/renewables-2025

23. Ciolkosz D. A Short History of Anaerobic Digestion [Internet]. Penn State Extension; 2026 [acesso em 2026 Jun 19]. Disponível em: https://extension.psu.edu/a-short-history-of-anaerobic-digestion

23. Alternative Fuels Data Center. Renewable Natural Gas Production [Internet]. U.S. Department of Energy; 2023. Disponível em: https://afdc.energy.gov/fuels/natural-gas-renewable

30. The Transport Project. Better Than Zero: Achieve a Carbon-Negative Transportation Outcome Today with Renewable Natural Gas [Internet]. The Transport Project; 2024. Disponível em: https://transportproject.org/wp-content/uploads/2024/10/Achieve-Better-Than-Zero-with-RNG-10-10-24.pdf

30. European Biogas Association. European Biomethane Map 2025 [Internet]. European Biogas Association; 2025. Disponível em: https://www.europeanbiogas.eu/publication/european-biomethane-map-2025/

30. Wilken D, Rauh S, Bontempo G, Hofmann F, Strippel F, Kramer A. Biowaste to Biogas - The production of energy and fertilizer from organic waste. 2nd ed. 2019.

30. Jain S. World Biogas Association - Market Report. London: World Biogas Association; 2019.

31. Wilken D, Strippel F, Hofmann F, Maciejczyk M, Klinkmüller L, Wager L. Biogas to biomethane - Flexible energy supply from biomass. Freising - Germany: Fachverband Biogas e.V.; 2017.

30. Wilken D, Rauh S, Fruhner Weiss R, Strippel F, Bontempo G, Kramer A. Digestate as Fertilizer [Internet]. Freising - Germany: Fachverband Biogas e.V; 2018. Disponível em: https://www.yumpu.com/en/document/view/62954601/digestate-as-fertilizer

30. Cantarella H, DallaNora D, Ferrari R, Neves C. Biogás – roteiro para estimular a produção de biometano no estado de São Paulo [Internet]. Zenodo; 2026 Apr [acesso em 2026 Jun 22]. Disponível em: https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.19390652 doi:10.5281/ZENODO.19390652

30. Ryckebosch E, Drouillon M, Vervaeren H. Techniques for transformation of biogas to biomethane. Biomass Bioenergy. 2011;35(5):1633–45. doi:10.1016/j.biombioe.2011.02.033

30. Muñoz R, Meier L, Diaz I, Jeison D. A review on the state-of-the-art of physical/chemical and biological technologies for biogas upgrading. Rev Environ Sci Biotechnol. 2015;14(4):727–59. doi:10.1007/s11157-015-9379-1

39. Angelidaki I, Treu L, Tsapekos P, Luo G, Campanaro S, Wenzel H, et al. Biogas upgrading and utilization: Current status and perspectives. Biotechnol Adv. 2018;36(2):452–66. doi:10.1016/j.biotechadv.2018.01.011

39. Ahmed SF, Mofijur M, Rafa N, Chowdhury AT, Chowdhury S, Nahrin M, et al. Biogas upgrading, economy and utilization: A review. Environ Chem Lett. 2021;19:4137–64. doi:10.1007/s10311-021-01277-9

39. Upadhyay A, Kumar A, Singh A. Recent development in physical, chemical, biological and hybrid biogas upgrading technologies. Sustainability. 2023;15(1):476. doi:10.3390/su15010476

39. Galloni E, Di Marcoberardino G. Biogas upgrading technology: Conventional processes and emerging solutions analysis. Energies. 2024;17(12):2907. doi:10.3390/en17122907

39. Tomczak W, Urbanowska A, Kasprzycka-Guttman T. Biogas upgrading using a single-membrane system: A review. Membranes. 2024;14(4):83. doi:10.3390/membranes14040083

39. Hidalgo D, Martín-Marroquín JM, Corona F, Rodríguez R, Pérez M. Cryogenic technologies for biogas upgrading: A critical review. Technologies. 2025;13(8):364. doi:10.3390/technologies13080364

39. Luo G, Angelidaki I. Integrated biogas upgrading and hydrogen utilization in an anaerobic reactor containing enriched hydrogenotrophic methanogenic culture. Biotechnol Bioeng. 2012;109(11):2729–36. doi:10.1002/bit.24557

39. Kougias PG, Treu L, Benavente DP, Boe K, Campanaro S, Angelidaki I. Ex-situ biogas upgrading and enhancement in different reactor systems. Bioresour Technol. 2017;225:429–37. doi:10.1016/j.biortech.2016.11.124

39. Petersson A, Wellinger A. Biogas Upgrading Technologies – Developments and Innovations. Paris, France: IEA Bioenergy Task 37, International Energy Agency Bioenergy; 2009.

39. Swinbourn MJ, Salema V, Hoadley A, Pareek V. A comprehensive review on biomethane production from biogas. ChemSusChem. 2024;17(15):e202400779. doi:10.1002/cssc.202400779

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

49. Campos P. Futuro do biogás no setor energético. In. São Paulo, SP, Brasil: ABIOGÁS; 2021. Disponível em: https://www.abegas.org.br/arquivos/82205

49. RENI - Renewable Insight - Energy Industry Guides. Biogas - an all rounder - New opportunities for farming, industry and the environment [Internet]. Berlin: Solarpraxis AG; 2013. Disponível em: https://energypedia.info/images/a/a3/Biogas_-_Opportunities_for_Farming%2C_Industry_and_Environment.pdf

49. Yara Brasil. Yara anuncia aquisição de biometano e dá primeiro passo para a produção de amônia verde no Brasil [Internet]. São Paulo; 2021. Disponível em: https://www.yarabrasil.com.br/noticias-e-eventos/press-releases/biometano/

49. Singh D, Sirini P, Lombardi L. Green Hydrogen Production from Biogas or Landfill Gas by Steam Reforming or Dry Reforming: Specific Production and Energy Requirements. Energies. 2025 May 20;18(10):2631. doi:10.3390/en18102631

49. Zhao X, Joseph B, Kuhn J, Ozcan S. Biogas Reforming to Syngas: A Review. iScience. 2020 May;23(5):101082. doi:10.1016/j.isci.2020.101082

49. Schiaroli N, Volanti M, Crimaldi A, Passarini F, Vaccari A, Fornasari G, et al. Biogas to Syngas through the Combined Steam/Dry Reforming Process: An Environmental Impact Assessment. Energy Fuels. 2021 Mar 4;35(5):4224–36. doi:10.1021/acs.energyfuels.0c04066

49. Pesta G. Implementation of Anaerobic Digestion Facilities in the Food and Beverage Industry [Internet]. IEA Bioenergy; 2025. Report nos.: 979-12-80907-60–8. Disponível em: https://www.biogas.org.nz/documents/resource/IEA-Bioenergy-Task-37-Food-and-Beverage_250302.pdf

49. Liebetrau J. Reduction of Methane Emissions from Biogas Systems and Landfills: Methane Oxidation Treatment for Systems with Low Gas Fluxes and Low Methane Concentrations [Internet]. IEA Bioenergy; 2025. Report nos.: 979-12-80907-55–4. Disponível em: https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2025/07/IEA-Bioenergy_T37_Reduction-of-methane-emissions-from-biogas-systems-and-landfills-oxidation.pdf

57. Cherubini F. The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. Energy Convers Manag. 2010 Jul;51(7):1412–21. doi:10.1016/j.enconman.2010.01.015

57. Nogueira CEC, De Souza SNM, Micuanski VC, Azevedo RL. Exploring possibilities of energy insertion from vinasse biogas in the energy matrix of Paraná State, Brazil. Renew Sustain Energy Rev. 2015 Aug;48:300–5. doi:10.1016/j.rser.2015.04.023

57. Nguyen LN, Kumar J, Vu MT, Mohammed JAH, Pathak N, Commault AS, et al. Biomethane production from anaerobic co-digestion at wastewater treatment plants: A critical review on development and innovations in biogas upgrading techniques. Sci Total Environ. 2021 Apr;765:142753. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.142753

57. Iglesias R, Muñoz R, Polanco M, Díaz I, Susmozas A, Moreno AD, et al. Biogas from Anaerobic Digestion as an Energy Vector: Current Upgrading Development. Energies. 2021 May 11;14(10):2742. doi:10.3390/en14102742

57. Ardolino F, Arena U. Biowaste-to-Biomethane: An LCA study on biogas and syngas roads. Waste Manag. 2019 Mar;87:441–53. doi:10.1016/j.wasman.2019.02.030

57. Michailos S, Walker M, Moody A, Poggio D, Pourkashanian M. Biomethane production using an integrated anaerobic digestion, gasification and CO2 biomethanation process in a real waste water treatment plant: A techno-economic assessment. Energy Convers Manag. 2020 Apr;209:112663. doi:10.1016/j.enconman.2020.112663

57. Elhaus N, Volkmann M, Kolb S, Schindhelm L, Herkendell K, Karl J. Techno-economic evaluation of anaerobic digestion and biological methanation in Power-to-Methane-Systems. Energy Convers Manag. 2024 Sep;315:118787. doi:10.1016/j.enconman.2024.118787

57. Vinardell S, Feickert Fenske C, Heimann A, Cortina JL, Valderrama C, Koch K. Exploring the potential of biological methanation for future defossilization scenarios: Techno-economic and environmental evaluation. Energy Convers Manag. 2024 May;307:118339. doi:10.1016/j.enconman.2024.118339

65. Righi M, Ehrenberger S, Brinkop S, Hendricks J, Hellekes J, Banyś P, et al. The ELK global emission inventory for the transport sectors. Earth Syst Sci Data. 2026;18(2):1619–64. doi:10.5194/essd-18-1619-2026

65. Davis SC, Boundy RG. Transportation Energy Data Book: Edition 40 [Internet]. 2022. Disponível em: https://tedb.ornl.gov/wp-content/uploads/2022/03/TEDB_Ed_40.pdf

65. IEA. Transport energy and CO_2 : moving toward sustainability [Internet]. OECD/IEA; 2009. Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net/assets/34816408-681f-4dbb-9a1c-8bf787bf8ad3/transport2009.pdf

65. Assandri D, Bagagiolo G, Cavallo E, Pampuro N. Replacing Agricultural Diesel Fuel with Biomethane from Agricultural Waste: Assessment of Biomass Availability and Potential Energy Supply in Piedmont (North-West Italy). Agronomy. 2022;12(12). doi:10.3390/agronomy12122996

65. Hannukainen P, Åman R. Biomethane as tractor fuel: Opportunities for customer, manufacturer or climate. VDI Berichte. 2017;2017(2300):355–65. doi:10.51202/9783181023006

65. Kivekäs K, Lajunen A. Energy efficiency and carbon dioxide emissions of agricultural tractors using different powertrains. Energy Rep. 2025;14:2755–67. doi:10.1016/j.egyr.2025.09.025

65. Vollmer A, Lynch M, Esri AV. A holistic view of biomethane: Insights from a systematic review of biomethane in Ireland (ESRI Working Paper No. 819) [Internet]. 2026. Disponível em: https://www.esri.ie/system/files/publications/WP819_0.pdf

65. Bhatt V, Noe CA, Mahajan D. Comparative Carbon Intensity Assessment for Renewable Natural Gas Transportation Options. ACS Omega. 2026;11(6):9567–74. doi:10.1021/acsomega.5c09259

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

73. Environment Protection Agency U, Change Division. An overview of renewable natural gas from biogas [Internet]. 2020. Disponível em: https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-07/documents/lmop_rng_document.pdf

73. Prussi M, Padella M, Conton M, Postma ED, Lonza L. Review of technologies for biomethane production and assessment of Eu transport share in 2030. J Clean Prod. 2019;222:565–72. doi:10.1016/j.jclepro.2019.02.271

73. Madhusudhanan AK, Na X, Boies A, Cebon D. Modelling and evaluation of a biomethane truck for transport performance and cost. Transp Res Part Transp Environ. 2020;87. doi:10.1016/j.trd.2020.102530

73. Arrhenius K, Hultmark S. Compositional Changes of Volatile Organic Compounds in Biogases and Biomethanes Depending on the Feedstock in Sweden. Gases. 2025;5(1). doi:10.3390/gases5010003

73. Hocevar L. Energetic Use of Biomethane in Brazil. In. 2025. Disponível em: https://doity.com.br/anais/senaicimatec/trabalho/472567

73. Hocevar LS, D´Aquino C de A, Alves CT, Santos AÁB. Energy Use of Biomethane: Potential, Challenges and Opportunities in Brazil. Rev Gest Soc E Ambient. 2025;19(6):e012707. doi:10.24857/rgsa.v19n6-092

73. Nitin Nair, Xianwei Zhang, Jorge Gutierrez, Jack Chen, Fokion Egolfopoulos, Theodore Tsotsis. Impact of Siloxane Impurities on the Performance of an Engine Operating on Renewable Natural Gas. Ind Eng Chem Res. 2012;51(48):15786–95. doi:10.1021/ie302751n

73. Bakkaloglu S, Hawkes A. A comparative study of biogas and biomethane with natural gas and hydrogen alternatives. Energy Environ Sci. 2024;17(4):1482–96. doi:10.1039/d3ee02516

73. Heywood JB. Internal Combustion Engine Fundamentals. 2nd ed., editor. 2018.

74. Moghaddam EA, Larsolle A, Tidåker P, Nordberg Å. Gas Hydrates as a Means for Biogas and Biomethane Distribution. Front Energy Res. 2021;9. doi:10.3389/fenrg.2021.568879

83. Scania. Scania Solutions [Internet]. 2026. Disponível em: https://www.solucoesscania.com.br/transporte/caminhoes-a-gas-e-biometano/

83. Volvo. Volvo [Internet]. 2026. Disponível em: https://www.volvotrucks.com/en-en/trucks/gas-powered.html

83. IVECO. IVECO Gas engines [Internet]. 2025. Disponível em: https://www.iveco.com/uk/S-Way

83. Sinotruk. Sinotruk LNG [Internet]. 2025. Disponível em: https://sinotrukhowo.cn/catalog/engine/sinotruk-t10-lng-cng/

83. MWM. Motores a biometano [Internet]. 2025. Disponível em: https://mwm.com.br/pt/transformacao-veicular-2/motores-biometano-gas-natural/

83. Moritz Mottschall, Peter Kasten, Felipe Rodríguez. Decarbonization of on-road freight transport and the role of LNG from a German perspective [Internet]. 2020 May. Disponível em: https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/LNG-in-trucks.pdf

83. Durczak K. Future-oriented development of agricultural tractor engines: efficiency, modularity and powertrain electrification. J Res Appl Agric Eng. 2026;71(1):40–8. doi:10.53502/jraae

83. Case New-Holland. How biopower is gaining traction on the farm [Internet]. 2025. Disponível em: https://publications.cnhindustrial.com/a-sustainable-year-2024-2025/new-holland-t7-cng-tractor

83. Case New-Holland. T6 Methane power [Internet]. 2025. Disponível em: https://agriculture.newholland.com/pt-br/brasil/produtos/tratores/t6-methane-power

83. Assandri D, Cavallo E, Tamagnone M, Pampuro N. Performances of methane-powered crawler tractor tested in stationary and field conditions. Energy Convers Manag X. 2025;26. doi:10.1016/j.ecmx.2025.101031

93. Tratzi P, Terenzi V, Torre M, Fois F, Bianconi D, Paolini V. Well-to-wheels emissions of garbage trucks fuelled with compressed biomethane. Transp Res Part Transp Environ. 2025 Jun;143:104746. doi:10.1016/j.trd.2025.104746

93. Brasil. Agência Nacional do Petróleo GN e B (ANP). Resolução ANP no 886, de 29 de setembro de 2022 [Internet]. Diário Oficial da União; 2022 Sep 29. Disponível em: https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-886-2022

93. Brasil. Agência Nacional do Petróleo GN e B (ANP). Resolução ANP no 906, de 18 de novembro de 2022 [Internet]. Diário Oficial da União; 2022 Nov 24. p. 46. Disponível em: https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-906-2022

93. Prussi M, Julea A, Lonza L, Thiel C. Biomethane as alternative fuel for the EU road sector: analysis of existing and planned infrastructure. Energy Strategy Rev. 2021;33. doi:10.1016/j.esr.2020.100612

93. Barelli L, Bidini G, Perla M, Pilo F, Trombetti L. Boil-off gas emission from the fuel tank of a LNG powered truck. Fuel. 2022;325. doi:10.1016/j.fuel.2022.124954

93. European Commission. Implementing the repower EU action plan: investment needs, hydrogen accelerator and achieving the bio-methane targets [Internet]. 2022 May. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022SC0230&from=EN

93. European Union, Luxembourg L. Regulation (EU) 2024/1610 of the European Parliament and of the Council [Internet]. 2024 May 14. Disponível em: http://data.europa.eu/eli/reg/2024/1610/oj

93. Noussan M, Laveneziana L, Prussi M, Chiaramonti D. Well-to-wheel greenhouse gas emissions comparison of electricity and biomethane urban buses. Energy Convers Manag X. 2025;28. doi:10.1016/j.ecmx.2025.101232

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

101. Hoffelner M, Kopeinig J, Schieler P. The future of freight: Evaluating the environmental and economic benefits of diesel, LNG, and electric trucks in multimodal transport. Res Transp Bus Manag. 2025;59. doi:10.1016/j.rtbm.2025.101319

101. Rajalehto C, Helo P. Comparing feasibility of low-carbon heavy-duty road freight vehicles. J Clean Prod. 2025 Jun;509:145524. doi:10.1016/j.jclepro.2025.145524

101. Pääkkönen A, Aro K, Aalto P, Konttinen J, Kojo M. The Potential of Biomethane in Replacing Fossil Fuels in Heavy Transport—A Case Study on Finland. Sustainability. 2019 Aug 30;11(17):4750. doi:10.3390/su11174750

101. Han J, Mintz M, Wang M. Waste-to-Wheel Analysis of Anaerobic-Digestion-Based Renewable Natural Gas Pathways with the GREET Model [Internet]. 2011. Disponível em: https://publications.anl.gov/anlpubs/2011/12/71742.pdf

101. Gray L, Smit E, Peters D, Leun K. Using gas infrastructure for biomethane - How existing pipelines and storages enable the future use of biomethane in the EU [Internet]. 2024. Disponível em: https://www.commonfutures.com/files/Using-gas-infrastructure-for-biomethane_Common-Futures-study-for-GIE_December-.pdf

101. US Energy Information Administration. Natural gas pipelines [Internet]. 2026. Disponível em: https://www.eia.gov/energyexplained/natural-gas/natural-gas-pipelines.php

101. EPA. An overview of renewable natural gas from biogas [Internet]. 2024. Disponível em: https://www.epa.gov/system/files/documents/2024-01/lmop_rng_document.pdf

101. Ansone A, Rozentale L, Rochas C, Blumberga D. Decision-Support Analysis of Biomethane Infrastructure Options Using the TOPSIS Method. Sustainability. 2026;18(2):1086. doi:10.3390/su18021086

101. Giudici M, Agosta A, Bacchini F, Enrico B. Scaling biomethane: The next phase of growth in renewable gas [Internet]. 2026. Disponível em: https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/oil-and-gas-blog/scaling-biomethane-the-next-phase-of-growth-in-renewable-gas

110. Ryste AJ. Comparison of Alternative Marine Fuels [Internet]. SEA\LNG Ltd.; 2019. Disponível em: https://sea-lng.org/wp-content/uploads/2020/04/Alternative-Marine-Fuels-Study_final_report_25.09.19.pdf

110. Sharafian A, Blomerus P, Mérida W. Liquefied natural gas tanker truck-to-tank transfer for on-road transportation. Appl Therm Eng. 2019;162. doi:10.1016/j.applthermaleng.2019.114313

111. International Organization for Standardization. ISO 11439:2013 Gas cylinders — High pressure cylinders for the on-board storage of natural gas as a fuel for automotive vehicles [Internet]. 2013. Disponível em: https://www.iso.org/standard/44755.html

112. Scania. Manual do Sistema Gás Natural Veicular (GNV) Original SCANIA [Internet]. 2024. Disponível em: https://www.scania.com/content/dam/www/market/br/pdfs1/Manual_Sistema_Gas_Novembro2024.pdf

110. Scania Gas Trucks. Tomorrow´s power today [Internet]. 2020. Disponível em: https://www.scania.com/content/dam/scanianoe/market/master/products-and-services/trucks/pdf/20MC102.pdf

110. IVECO, Unilever, Cryogas. Test report of Iveco LNG-powered HD-truck [Internet]. 2017. Disponível em: https://www.iveco.com/poland/-/media/Iveco---Press-Import/poland/Pdfs/20171110_Raport-LNG_Unilever_Link_Iveco_Cryogas.pdf?rev=-1

110. International Organization for Standardization. ISO 12991:2012 Liquefied natural gas (LNG) — Tanks for on-board storage as a fuel for automotive vehicles [Internet]. 2012. Disponível em: https://www.iso.org/standard/52299.html

110. European Commission. Regulation No 115 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) [Internet]. 2014 Nov 7. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:42014X1107(02)

118. Gonzales J, Smith M. Costs Associated With Compressed Natural Gas Vehicle Fueling Infrastructure Factors to consider in the implementation of fueling stations and equipment [Internet]. 2014. Disponível em: https://afdc.energy.gov/files/u/publication/cng_infrastructure_costs.pdf

118. MINNUO. How Much Does It Cost to Build a CNG Filling Station? (2026 Investment Guide) [Internet]. 2026. Disponível em: https://mncompressor.com/how-much-does-it-cost-to-build-a-cng-filling-station-2026-investment-guide/

118. International Organization for Standardization. ISO 16923:2026 - Natural gas fuelling stations — Compressed natural gas (CNG) stations for fuelling vehicles [Internet]. 2026. Disponível em: https://www.iso.org/standard/85907.html

118. America's Natural Gas Alliance (ANGA), American Gas Association (AGA). CNG Infrastructure Guide - for the prospective CNG developer [Internet]. 2013. Disponível em: https://tulsacleancities.com/wp-content/uploads/2015/12/ANGA_CNG_Guide.pdf

118. International Organization for Standardization. ISO 16924:2026 Natural gas fuelling stations — Liquefied natural gas (LNG) stations for fuelling road vehicles [Internet]. 2026. Disponível em: https://www.iso.org/standard/85908.html

118. Kinder Morgan. The Definitive Guide for LNG in fleets [Internet]. 2019. Disponível em: https://www.kindermorgan.com/getmedia/ad372076-74f6-42db-bd86-cb983a93a3b8/Kinetrex-LNG-Fleet-Guide.pdf

118. Mariani F. Cost Analysis of LNG Refueling Stations [Internet]. 2016. Disponível em: https://lngbc.eu/downloads

118. European Commission. Emissions in the automotive sector [Internet]. 2025. Disponível em: https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/automotive-industry/environmental-protection/emissions-automotive-sector_en

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

126. INMETRO. Aprova os Requisitos de Avaliação da Conformidade para Inspeção de Veículos Rodoviários Automotores com Sistemas de Gás Natural Veicular. Portaria INMETRO No 147 DE 28/03/2022 [Internet]. 2022. Disponível em: https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=429566

126. INMETRO. Aprova o Regulamento Técnico da Qualidade e os Requisitos de Avaliação da Conformidade para Componentes do Sistema para Gás Natural Veicular. Portaria INMETRO No 111 DE 17/03/2022 [Internet]. 2022. Disponível em: https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=429380

126. Kolb S, Plankenbühler T, Hofmann K, Bergerson J, Karl J. Life cycle greenhouse gas emissions of renewable gas technologies: A comparative review. Renew Sustain Energy Rev. 2021. doi:10.1016/j.rser.2021.111147

126. Lyng K, Brekke A. Environmental Life Cycle Assessment of Biogas as a Fuel for Transport Compared with Alternative Fuels. Energies. 2019. doi:10.3390/en12030532

126. Stettler M, Woo M, Ainalis D, Achurra-Gonzalez P, Speirs J, Cooper J, et al. Review of Well-to-Wheel lifecycle emissions of liquefied natural gas heavy goods vehicles. Appl Energy. 2023. doi:10.1016/j.apenergy.2022.120511

127. Pérez-Camacho M, Curry R, Cromie T. Life cycle environmental impacts of biogas production and utilisation substituting for grid electricity, natural gas grid and transport fuels. Waste Manag. 2019;95:90–101. doi:10.1016/j.wasman.2019.05.045

126. Shanmugam K, Tysklind M, Upadhyayula V. Use of Liquefied Biomethane (LBM) as a Vehicle Fuel for Road Freight Transportation: A Case Study Evaluating Environmental Performance of Using LBM for Operation of Tractor Trailers. Procedia CIRP. 2018;69:517–22. doi:10.1016/j.procir.2017.11.133

126. Longati AA, Lino ARA, Giordano RC, Furlan FF, Cruz AJG. Biogas Production from Anaerobic Digestion of Vinasse in Sugarcane Biorefinery: A Techno-economic and Environmental Analysis. Waste Biomass Valorization. 2020 Sep 1;11(9):4573–91. doi:10.1007/s12649-019-00811-w

134. Longati AA, Cavalett O, Cruz AJG. Life Cycle Assessment of vinasse biogas production in sugarcane biorefineries. In: Espuña A, Graells M, Puigjaner L, editors. 27th European Symposium on Computer Aided Process Engineering [Internet]. Elsevier; 2017. p. 2017–22. (Computer Aided Chemical Engineering). Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444639653503 38X doi:https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63965-3.50338-X

134. Moraes BS, Junqueira TL, Pavanello LG, Cavalett O, Mantelatto PE, Bonomi A, et al. Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane biorefineries in Brazil from energy, environmental, and economic perspectives: Profit or expense? Appl Energy. 2014;113:825–35. doi:https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.07.018

134. Neto JVS, Gallo WLR. Potential impacts of vinasse biogas replacing fossil oil for power generation, natural gas, and increasing sugarcane energy in Brazil. Renew Sustain Energy Rev. 2021;135:110281. doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110281\

134. Zhou Y, Pavlenko N, Searle S, Christensen A. Life-cycle greenhouse gas emissions of biomethane and hydrogen pathways in the European Union. International Council on Clean Transportation (ICCT); 2021.

134. Ramalho JCM, Calmon JL, Colvero DA, Siman RR. Environmental assessment of municipal solid waste collection/transport using biomethane in mid-sized metropolitan areas of developing countries. Int J Environ Sci Technol. 2022 Oct;19(10):9991–10006. doi:10.1007/s13762-021-03837-7

134. Tratzi P, Terenzi V, Torre M, Fois F, Bianconi D, Paolini V. Well-to-wheels emissions of garbage trucks fuelled with compressed biomethane. Transp Res Part Transp Environ. 2025 Jun;143:104746. doi:10.1016/j.trd.2025.104746

134. Pasqual JC, Bollmann HA, Scott CA, Edwiges T, Baptista TC. Assessment of Collective Production of Biomethane from Livestock Waste for Urban Transportation Mobility in Brazil and the United States. Energies. 2018 Apr 20;11(4):997. doi:10.3390/en11040997

141. Un C. A Sustainable Approach to the Conversion of Waste into Energy: Landfill Gas-to-Fuel Technology. Sustainability. 2023 Oct 12;15(20):14782. doi:10.3390/su152014782

141. Dahlgren S. Biogas-based fuels as renewable energy in the transport sector: an overview of the potential of using CBG, LBG and other vehicle fuels produced from biogas. Biofuels. 2022 May 28;13(5):587–99. doi:10.1080/17597269.2020.1821571

141. De Almeida Roque L, Da Costa R, Capaz R, Da Silva D, Vidigal L, De Souza T, et al. Biomethane in Brazilian light commercial vehicles: a Case Study in Performance, emissions, GT-SUITE simulations and Life Cycle Assessment. Case Stud Therm Eng. 2025. doi:10.1016/j.csite.2025.106966

141. Ravina M, Genon G. Global and local emissions of a biogas plant considering the production of biomethane as an alternative end-use solution. J Clean Prod. 2015;102:115–26. doi:10.1016/j.jclepro.2015.04.056

141. Paolini V, Petracchini F, Segreto M, Tomassetti L, Naja N, Cecinato A. Environmental impact of biogas: A short review of current knowledge. J Environ Sci Health Part A. 2018;53:899–906. doi:10.1080/10934529.2018.1459076

141. Spoof-Tuomi K, Arvidsson H, Nilsson O, Niemi S. Real-Driving Emissions of an Aging Biogas-Fueled City Bus. Clean Technol. 2022. doi:10.3390/cleantechnol4040059

141. Marconi P, Rosa L. Role of biomethane to offset natural gas. Renew Sustain Energy Rev. 2023 Nov;187:113697. doi:10.1016/j.rser.2023.113697

141. Ozgen S. Potential impact of economic incentives to reduce primary air emissions related to residential biomass combustion: the case of Lombardy region, Italy. Biofuels. 2024;18. doi:10.1002/bbb.2655

141. Petrov O, Bi X, Lau A. Impact assessment of biomass-based district heating systems in densely populated communities. Part II: Would the replacement of fossil fuels improve ambient air quality and human health? Atmos Environ. 2017;161:191–9. doi:10.1016/j.atmosenv.2017.05.001

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

150. Arana M, Martín RS, Urroz JC, Diéguez PM, Gandía LM. Acoustic and psychoacoustic levels from an internal combustion engine fueled by hydrogen vs. gasoline. Fuel. 2022 Jun;317:123505. doi:10.1016/j.fuel.2022.123505

150. Hvastja A, Ćirić D, Milivojčević M, Prezelj J. Assessing air and noise pollution through acoustic classification of vehicles fuel types using deep learning. Heliyon. 2025 May;11(10):e43426. doi:10.1016/j.heliyon.2025.e43426

150. Abdul Hameed N, Kurien C, Kaipakam Jaychandra R, Mittal M. Effect of biomethane substitution on combustion noise and performance of a dual fuel common rail direct injection diesel engine. Environ Prog Sustain Energy. 2022 Nov;41(6):e13915. doi:10.1002/ep.13915

150. Borén S. Electric buses' sustainability effects, noise, energy use, and costs. Int J Sustain Transp. 2020 Oct 1;14(12):956–71. doi:10.1080/15568318.2019.1666324

150. Cusworth DH, Duren RM, Ayasse AK, Jiorle R, Howell K, Aubrey A, et al. Quantifying methane emissions from United States landfills. Science. 2024 Mar 29;383(6690):1499–504. doi:10.1126/science.adi7735

150. Przydatek G, Generowicz A, Kanownik W. Evaluation of the Activity of a Municipal Waste Landfill Site in the Operational and Non-Operational Sectors Based on Landfill Gas Productivity. Energies. 2024 May 18;17(10):2421. doi:10.3390/en17102421

150. Scharff H, Soon HY, Rwabwehare Taremwa S, Zegers D, Dick B, Villas Bôas Zanon T, et al. The impact of landfill management approaches on methane emissions. Waste Manag Res J Sustain Circ Econ. 2024 Nov;42(11):1052–64. doi:10.1177/0734242X231200742

150. Themelis NJ, Ulloa PA. Methane generation in landfills. Renew Energy. 2007 Jun;32(7):1243–57. doi:10.1016/j.renene.2006.04.020

150. Boongla Y, Changphuek S, Saehuang A. Estimation of Characteristics, Methane Generated and Sustainability of Municipal Landfill Waste in Urban City, Thailand. Recycling. 2025 Jan 18;10(1):15. doi:10.3390/recycling10010015

159. Chandra S, Ganguly R. Assessment of landfill gases by LandGEM and energy recovery potential from municipal solid waste of Kanpur city, India. Heliyon. 2023 Apr;9(4):e15187. doi:10.1016/j.heliyon.2023.e15187

159. Citrasari N, Rachman I, Matsumoto T. Methane Emissions from Indonesian Landfills: Site Conditions, Scientific Evidence, and Environmental Risks. Int J Sci Adv. 2025;6(3). doi:10.51542/ijscia.v6i3.7

159. Pheakdey DV, Noudeng V, Xuan TD. Landfill Biogas Recovery and Its Contribution to Greenhouse Gas Mitigation. Energies. 2023 Jun 13;16(12):4689. doi:10.3390/en16124689

159. Ramprasad C. Quantification of Methane Emissions Rate Using Landgem Model and Estimating the Hydrogen Production Potential from Municipal Solid Waste Landfill Site. Nat Environ Pollut Technol. 2023 Dec 1;22(4):1845–56. doi:10.46488/NEPT.2023.v22i04.012

159. Wang Y, Fang M, Lou Z, He H, Guo Y, Pi X, et al. Methane emissions from landfills differentially underestimated worldwide. Nat Sustain. 2024 Mar 5;7(4):496–507. doi:10.1038/s41893-024-01307-9

159. Jain P, Wally J, Townsend TG, Krause M, Tolaymat T. Greenhouse gas reporting data improves understanding of regional climate impact on landfill methane production and collection. Xu Y, editor. PLOS ONE. 2021 Feb 26;16(2):e0246334. doi:10.1371/journal.pone.0246334

159. Krause MJ, Thoma ED, Bryant A, Brantley H, MacDonald M, Green R, et al. A High-Resolution Satellite Survey of Methane Emissions from 60 North American Municipal Solid Waste Landfills. Environ Sci Technol. 2025 Jul 29;59(29):15080–91. doi:10.1021/acs.est.5c01409

159. Scarpelli TR, Cusworth DH, Duren RM, Kim J, Heckler J, Asner GP, et al. Investigating Major Sources of Methane Emissions at US Landfills. Environ Sci Technol. 2024 Dec 10;58(49):21545–56. doi:10.1021/acs.est.4c07572

167. Ardolino F, Parrillo F, Arena U. Biowaste-to-biomethane or biowaste-to-energy? An LCA study on anaerobic digestion of organic waste. J Clean Prod. 2018 Feb;174:462–76. doi:10.1016/j.jclepro.2017.10.320

167. Saravanakumar A, Sudha MR, Chen WH, Pradeshwaran V, Ashokkumar V, Selvarajoo A. Biomethane production as a green energy source from anaerobic digestion of municipal solid waste: A state-of-the-art review. Biocatal Agric Biotechnol. 2023 Oct;53:102866. doi:10.1016/j.bcab.2023.102866

167. Lair A, Mansuy M, Romand C, Oberti O, Pradels C, Barina G, et al. Enhancing landfill efficiency to drive greenhouse gas reduction: A comprehensive study on best practices and policy recommendations. Waste Manag Res J Sustain Circ Econ. 2024 Oct;42(10):889–900. doi:10.1177/0734242X241270951

167. Chozhavendhan S, Karthigadevi G, Bharathiraja B, Praveen Kumar R, Abo LD, Venkatesa Prabhu S, et al. Current and prognostic overview on the strategic exploitation of anaerobic digestion and digestate: A review. Environ Res. 2023 Jan;216:114526. doi:10.1016/j.envres.2022.114526

167. Czekała W, Jasiński T, Grzelak M, Witaszek K, Dach J. Biogas Plant Operation: Digestate as the Valuable Product. Energies. 2022 Nov 5;15(21):8275. doi:10.3390/en15218275

168. Neri A, Bernardi B, Zimbalatti G, Benalia S. An Overview of Anaerobic Digestion of Agricultural By-Products and Food Waste for Biomethane Production. Energies. 2023 Sep 27;16(19):6851. doi:10.3390/en16196851

167. Samoraj M, Mironiuk M, Izydorczyk G, Witek-Krowiak A, Szopa D, Moustakas K, et al. The challenges and perspectives for anaerobic digestion of animal waste and fertilizer application of the digestate. Chemosphere. 2022 May;295:133799. doi:10.1016/j.chemosphere.2022.133799

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

174. Romio C, Ward AJ, Møller HB. Characterization and valorization of biogas digestate and derived organic fertilizer products from separation processes. Front Sustain Food Syst. 2024 Jul 12;8:1415508. doi:10.3389/fsufs.2024.1415508

174. Szymańska M, Ahrends HE, Srivastava AK, Sosulski T. Anaerobic Digestate from Biogas Plants—Nuisance Waste or Valuable Product? Appl Sci. 2022 Apr 17;12(8):4052. doi:10.3390/app12084052

174. Unyay H, Piersa P, Perendeci NA, Wielgosinski G, Szufa S. Valorization of anaerobic digestate: innovative approaches for sustainable resource management and energy production - case studies from Turkey and Poland. Int J Green Energy. 2024 Jun 20;21(8):1928–43. doi:10.1080/15435075.2023.2276158

174. EBA Activity Report 2022 [Relatório] [Internet]. European Biogas Association (EBA); 2022. Disponível em: https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2025/06/EBA-Activity-Report-2022.pdf

174. EBA Statistical Report 2022: Tracking biogas and biomethane deployment across Europe [Relatório] [Internet]. European Biogas Association (EBA); 2022. Disponível em: https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2022/12/EBA-Statistical-Report-2022_-Short-version.pdf

174. EBA. 2023 EBA Statistical Report Tracking Biogas and Biomethane Deployment Across Europe 2023 [Internet]. Disponível em: https://www.europeanbiogas.eu/publication/eba-statistical-report-2024/

174. Silva JA. Wastewater Treatment and Reuse for Sustainable Water Resources Management: A Systematic Literature Review. Sustainability. 2023 Jul 12;15(14):10940. doi:10.3390/su151410940

174. Valenti F, Toscano A. A GIS-Based Model to Assess the Potential of Wastewater Treatment Plants for Enhancing Bioenergy Production within the Context of the Water–Energy Nexus. Energies. 2021 May 14;14(10):2838. doi:10.3390/en14102838

182. Ghaly AE, Hattab MA. An Innovative Farm Scale Biogas/Composting Facility for a Sustainable Medium Size Dairy Farm. Am J Agric Biol Sci. 2012 Jan;7:1–16. doi:10.3844/ajabssp.2012.1.16

182. Lobanov V, De Vrieze J, Joyce A. Simultaneous biomethane production and nutrient remineralization from aquaculture solids. Aquac Eng. 2023 May;101:102328. doi:10.1016/j.aquaeng.2023.102328

182. Gontaruk Y, Kolomiiets T, Honcharuk I, Tokarchuk D. Production and Use of Biogas and Biomethane from Waste for Climate Neutrality and Development of Green Economy. J Ecol Eng. 2024 Feb 1;25(2):20–32. doi:10.12911/22998993/175876

182. Mignogna D, Ceci P, Cafaro C, Corazzi G, Avino P. Production of Biogas and Biomethane as Renewable Energy Sources: A Review. Appl Sci. 2023 Sep 12;13(18):10219. doi:10.3390/app131810219

182. Swinbourn R, Li C, Wang F. A Comprehensive Review on Biomethane Production from Biogas Separation and its Techno-Economic Assessments. ChemSusChem. 2024 Oct 7;17(19):e202400779. doi:10.1002/cssc.202400779

182. Sethupathy A, Arun C, Vigneswaran V, Rajendran K, Akshaya K, Selvasembian R. Advances on characteristics and valorization of food waste towards the sustainable production of bio-methane and purification. Fuel. 2024 Jun;366:131388. doi:10.1016/j.fuel.2024.131388

182. Ali HM, Tyagi VK, Kazmi AA, Ojha CSP. Biohythane production from organic fraction of municipal solid waste: Clean and green energy generation under circular economy framework. Int J Hydrog Energy. 2024 Dec;95:1080–94. doi:10.1016/j.ijhydene.2024.11.251

182. Sørensen JFL, Jørgensen HP. Rural Development Potential in the Bioeconomy in Developed Countries: The Case of Biogas Production in Denmark. Sustainability. 2022 Sep 5;14(17):11077. doi:10.3390/su141711077

190. Ghimire M, Pandey S, Woo J. Accounting socio-economic benefits of household biogas towards net zero energy transition in developing countries: A case study of Nepal. Energy Sustain Dev. 2025 Apr;85:101634. doi:10.1016/j.esd.2024.101634

190. Brahmi M, Bruno B, Dhayal KS, Esposito L, Parziale A. From manure to megawatts: Navigating the sustainable innovation solution through biogas production from livestock waste for harnessing green energy for green economy. Heliyon. 2024 Jul;10(14):e34504. doi:10.1016/j.heliyon.2024.e34504

190. D'Adamo I, Fuoco M, Gastaldi M, Lupi B. The Economics and Policy of Biomethane: A Pragmatic Approach to Renewable Energy and Waste Valorization. Int J Energy Econ Policy. 2025 Aug 20;15(5):377–87. doi:10.32479/ijeep.20887

190. Schmedeman P, Rajasekaran K, Siddiqi A, Junge C, Tan CH, Pasqual Lofhagen J, et al. Optimizing energy production from livestock biogas networks in southern Brazil: economic and environmental perspectives. Environ Res Infrastruct Sustain. 2025 Sep 30;5(3):035003. doi:10.1088/2634-4505/aded33

190. ARENA. Australia's Bioenergy Roadmap [Internet]. 2021 Nov [acesso em 2026 May 15]. p. 28. Disponível em: https://arena.gov.au/assets/2021/11/australia-bioenergy-roadmap-report.pdf

190. Barisa A, Dzene I, Rosa M, Dobraja K. Waste-to-biomethane Concept Application: A Case Study of Valmiera City in Latvia. Environ Clim Technol. 2015 Dec 1;15(1):48–58. doi:10.1515/rtuect-2015-0005

190. Chan Gutiérrez E, Wall DM, O'Shea R, Novelo RM, Gómez MM, Murphy JD. An economic and carbon analysis of biomethane production from food waste to be used as a transport fuel in Mexico. J Clean Prod. 2018 Sep;196:852–62. doi:10.1016/j.jclepro.2018.06.051

190. D'Adamo I, Falcone PM, Huisingh D, Morone P. A circular economy model based on biomethane: What are the opportunities for the municipality of Rome and beyond? Renew Energy. 2021 Jan;163:1660–72. doi:10.1016/j.renene.2020.10.072

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

198. D'Adamo I, Falcone PM, Ferella F. A socio-economic analysis of biomethane in the transport sector: The case of Italy. Waste Manag. 2019 Jul;95:102–15. doi:10.1016/j.wasman.2019.06.005

198. Nunes Ferraz Júnior AD, Machado PG, Jalil-Vega F, Coelho ST, Woods J. Liquefied biomethane from sugarcane vinasse and municipal solid waste: Sustainable fuel for a green-gas heavy duty road freight transport corridor in Sao Paulo state. J Clean Prod. 2022 Feb;335:130281. doi:10.1016/j.jclepro.2021.130281

198. Sales Silva ST, Barros RM, Silva Dos Santos IF, Maria De Cassia Crispim A, Tiago Filho GL, Silva Lora EE. Technical and economic evaluation of using biomethane from sanitary landfills for supplying vehicles in the Southeastern region of Brazil. Renew Energy. 2022 Aug;196:1142–57. doi:10.1016/j.renene.2022.07.020

198. Singh P, Kalamdhad AS. Biomethane plants based on municipal solid waste and wastewater and its impact on vehicle sector in India — An Environmental-economic-resource assessment. Environ Technol Innov. 2022 May;26:102330. doi:10.1016/j.eti.2022.102330

198. Argalis PP, Vegere K. Perspective Biomethane Potential and Its Utilization in the Transport Sector in the Current Situation of Latvia. Sustainability. 2021 Jul 13;13(14):7827. doi:10.3390/su13147827

198. D'Adamo I, Falcone PM, Huisingh D, Morone P. A circular economy model based on biomethane: What are the opportunities for the municipality of Rome and beyond? Renew Energy. 2021 Jan;163:1660–72. doi:10.1016/j.renene.2020.10.072

198. Oehmichen K, Majer S, Thrän D. Biomethane from Manure, Agricultural Residues and Biowaste—GHG Mitigation Potential from Residue-Based Biomethane in the European Transport Sector. Sustainability. 2021;13(24):14007. doi:10.3390/su132414007

198. Ahmed JO. The effect of biofuel crops cultivation on food prices stability and food security-A Review. EurAsian J Biosci. 2020 Jan 1;14(1):613–21. Located at: Academic Search Premier; 146289667

206. Ajanovic A. Biofuels versus food production: Does biofuels production increase food prices? Energy. 2011 Apr;36(4):2070–6. doi:10.1016/j.energy.2010.05.019

206. Babakhani E, Rostamian R, Goudarzi M. The Effects of Biofuels on Food Security in Selected Countries. Agris-Line Pap Econ Inform. 2023 Dec 30;15(4):3–18. doi:10.7160/aol.2023.150401

206. Boly M, Sanou A. Biofuels and food security: evidence from Indonesia and Mexico. Energy Policy. 2022 Apr;163:112834. doi:10.1016/j.enpol.2022.112834

206. Brinkman M, Levin-Koopman J, Wicke B, Shutes L, Kuiper M, Faaij A, et al. The distribution of food security impacts of biofuels, a Ghana case study. Biomass Bioenergy. 2020 Oct;141:105695. doi:10.1016/j.biombioe.2020.105695

206. Clivelaro AA, Alvim DS, D'Amelio MTS, Alcântara MAKD. Challenges in Agricultural Land Allocation: Biofuel Versus Food Production in Brazil. Rev Gest Soc E Ambient. 2025 Mar 19;19(3):e09314. doi:10.24857/rgsa.v19n3-070

206. Gasparatos A, Mudombi S, Balde BS, Von Maltitz GP, Johnson FX, Romeu-Dalmau C, et al. Local food security impacts of biofuel crop production in southern Africa. Renew Sustain Energy Rev. 2022 Feb;154:111875. doi:10.1016/j.rser.2021.111875

206. Koizumi T. Biofuels and food security. Renew Sustain Energy Rev. 2015 Dec;52:829–41. doi:10.1016/j.rser.2015.06.041

206. Kurowska K, Marks-Bielska R, Bielski S, Kryszk H, Jasinskas A. Food Security in the Context of Liquid Biofuels Production. Energies. 2020 Nov 26;13(23):6247. doi:10.3390/en13236247

206. Martínez-Jaramillo JE, Arango-Aramburo S, Giraldo-Ramírez DP. The effects of biofuels on food security: A system dynamics approach for the Colombian case. Sustain Energy Technol Assess. 2019 Aug;34:97–109. doi:10.1016/j.seta.2019.05.009

206. Popp J, Harangi-Rákos M, Gabnai Z, Balogh P, Antal G, Bai A. Biofuels and Their Co-Products as Livestock Feed: Global Economic and Environmental Implications. Molecules. 2016 Feb 29;21(3):285. doi:10.3390/molecules21030285

216. Sharma N, Bohra B, Pragya N, Ciannella R, Dobie P, Lehmann S. Bioenergy from agroforestry can lead to improved food security, climate change, soil quality, and rural development. Food Energy Secur. 2016 Aug;5(3):165–83. doi:10.1002/fes3.87

216. Subramaniam Y, Masron TA, Azman NHN. Biofuels, environmental sustainability, and food security: A review of 51 countries. Energy Res Soc Sci. 2020 Oct;68:101549. doi:10.1016/j.erss.2020.101549

216. Subramaniam Y, Masron TA, Azman NHN. The impact of biofuels on food security. Int Econ. 2019 Dec;160:72–83. doi:10.1016/j.inteco.2019.10.003

216. Subramaniam Y. Population Growth, Biofuel Production, and Food Security. Green Low-Carbon Econ. 2023 Aug 2;2(4):259–68. doi:10.47852/bonviewGLCE3202948

216. Yakimovich E. Growing Biofuel Production in the Context of Food Security. Vestn Volgogr Gos Univ Ekon. 2025 Mar 6;26(4):194–206. doi:10.15688/ek.jvolsu.2024.4.15

216. Hijazi O, Munro S, Zerhusen B, Effenberger M. Review of life cycle assessment for biogas production in Europe. Renew Sustain Energy Rev. 2016 Feb;54:1291–300. doi:10.1016/j.rser.2015.10.013

216. Pöschl M, Ward S, Owende P. Evaluation of energy efficiency of various biogas production and utilization pathways. Appl Energy. 2010 Nov;87(11):3305–21. doi:10.1016/j.apenergy.2010.05.011

216. IEA. Outlook for Biogas and Biomethane – A global geospatial assessment [Internet]. 2025 [acesso em 2026 May 4]. Disponível em: https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane

216. Miller C, Coronel LCP, Pirelli T. Stocktaking Paper: Regional analysis of biogas value chains - Based on SWOT analysis [Report] [Internet]. Global Bioenergy Partnership (GBEP); 2020. Disponível em: https://www.globalbioenergy.org/fileadmin/user_upload/gbep/docs/AG7/Stocktaking_AG7_Biogas_06.04.2020.pdf

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

225. From Waste to Wealth: How Asia's Wholesale Markets Are Turning Food Loss into Climate Solutions [Internet]. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) - Regional Office for Asia and the Pacific; 2026. Disponível em: https://www.fao.org/asiapacific/news/news-detail/from-waste-to-wealth--how-asia-s-wholesale-markets-are-turning-food-loss-into-climate-solutions/en

225. Hurst CF, Allwood JM. Modelling the technical production potential of biomethane from anaerobic digestion to decarbonise the gas grid. Energy Policy. 2026 Mar;210:115041. doi:10.1016/j.enpol.2025.115041

225. Börjesson P, Berglund M. Environmental systems analysis of biogas systems—Part I: Fuel-cycle emissions. Biomass Bioenergy. 2006 May;30(5):469–85. doi:10.1016/j.biombioe.2005.11.014

225. Directive - EU - 2023/2413 - EN - RED III - EUR-Lex [Internet]. [acesso em 2026 Jun 26]. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/2413/oj/eng

225. Vaurof FC, Garcia RS. Financiamento para o Setor de Biogás: Mecanismos financeiros para investimentos em projetos de biogás no Brasil [Internet]. Brasília: Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO); 2026 Jun. p. 26. Disponível em: https://abiogas.org.br/wp-content/uploads/protectedfiles/Financiamento%20para%20o%20Setor%20de%20Biog%C3%A1s%20Mecanismos%20financeiros%20para%20investimentos%20em%20projetos%20de%20biog%C3%A1s%20no%20Brasil%20(2022).pdf

225. Brasil. Congresso Nacional. Lei no 14.993, de 8 de outubro de 2024 [Internet]. Presidência da República; 2024 Oct 8. Disponível em: https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2024/lei-14993-8-outubro-2024-796443-publicacaooriginal-173317-pl.html

225. ABiogás. Potencial Brasileiro de Biogás: Nota Técnica [Internet]. ABiogás; 2026 Jun. Disponível em: https://abiogas.org.br/wp-content/uploads/protectedfiles/6390e394c734a95f3032a2da_NOTA-TECNICA_POTENCIAL_ABIOGAS.pdf

232. Bernal AP, dos Santos IFS, Moni Silva AP, Barros RM, Ribeiro EM. Vinasse biogas for energy generation in Brazil: An assessment of economic feasibility, energy potential and avoided CO2 emissions. J Clean Prod. 2017;151:260–71. doi:10.1016/j.jclepro2017.03.038

232. CIBiogás. Panorama do Biogás no Brasil 2020 [Nota Técnica] [Internet]. Vol. 001. Foz do Iguaçu, PR, Brasil: Centro Internacional de Energias Renováveis - Biogás (CIBiogás); 2021 Mar. Disponível em: https://uploads-ssl.webflow.com/632ab10950c5e334290bfadf/6390e019fff062ab7bcaa338_PANORAMA-DO-BIOGAS-NO-BRASIL-2020-v.8.0-1_1.pdf

232. Copersucar. Estudo Biometano: Brasil vai mais do que triplicar a produção de biometano até 2027 e tem potencial para descarbonizar indústria e transporte pesado [Estudo Técnico] [Internet]. Brasil: Copersucar; 2025. Disponível em: https://www.copersucar.com.br/website/wp-content/uploads/2025/10/estudo_copersucar_biometano_lv.pdf

232. Esteves HBB. Biogás no Brasil: Visão atual e futura. In. São Paulo, SP, Brasil: ABIOGÁS; 2020. Disponível em: https://uploads-ssl.webflow.com/632ab10950c5e334290bfadf/6390e3649196ed0b9c6a79c2_VII-Forum-Biogas-Heloisa-05-11-2020-1.pdf

232. FIESP. O Biometano em São Paulo: Potencial e Medidas para alavancar a produção [Relatório Técnico] [Internet]. São Paulo, SP, Brasil: Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP); 2025 Jun. Disponível em: https://abiogas.org.br/wp-content/uploads/2025/06/O-Biometano-em-Sao-Paulo_Potencial-e-Medidas-para-alavancar-a-producao_2025.pdf

232. Moraes BS, Junqueira TL, Pavanello LG, Cavalett O, Mantelatto PE, Bonomi A, et al. Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane biorefineries in Brazil from energy, environmental, and economic perspectives: Profit or expense? Appl Energy. 2014;113:825–35. doi:https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.07.018

232. Moraes BS, Zaiat M, Bonomi A. Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane ethanol production in Brazil: Challenges and perspectives. Renew Sustain Energy Rev. 2015 Apr;44:888–903. doi:10.1016/j.rser.2015.01.023

239. Nunes Ferraz Júnior AD, Machado PG, Jalil-Vega F, Coelho ST, Woods J. Liquefied biomethane from sugarcane vinasse and municipal solid waste: Sustainable fuel for a green-gas heavy duty road freight transport corridor in Sao Paulo state. J Clean Prod. 2022 Feb;335:130281. doi:10.1016/j.jclepro.2021.130281

239. ABREMA - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais [Internet]. ABREMA; 2026. Disponível em: https://www.abrema.org.br/

239. Governo de São Paulo. Governo de SP firma acordo internacional e lança app para impulsionar setor de biometano [Internet]. NovaCana; 2025 Jun. Disponível em: https://www.novacana.com/noticias/governo-sp-firma-acordo-internacional-lanca-app-impulsionar-setor-biometano-050625

239. Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Portaria MMA no 71, de 21 de março de 2022. Institui o Programa Nacional de Redução de Emissões de Metano - Metano Zero [Internet]. Diário Oficial da União; 2022 Mar 22. p. 64. Disponível em: https://in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-mma-n-71-de-21-de-marco-de-2022-387378473

239. SEMIL. Governo de São Paulo inaugura a maior planta de biometano do Brasil em Paulinia [Internet]. São Paulo: SEMIL; 2026 Mar. Disponível em: https://semil.sp.gov.br/2026/03/governo-de-sao-paulo-inaugura-a-maior-planta-de-biometano-do-brasil-em-paulinia/

239. SEMIL. SP avança na descarbonização e se aproxima da marca de 700 mil m3 por dia de produção de biometano [Internet]. São Paulo: SEMIL; 2025 Dec. Disponível em: https://semil.sp.gov.br/2025/12/sao-paulo-avanca-na-descarbonizacao-e-se-aproxima-da-marca-de-700-mil-metros-cubicos-por-dia-de-producao-de-biometano/

239. Grecco D. Biometano surge como nova opção de combustível limpo. O Estado Paulo. 2026 Apr 27;A18–A18.

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

246. Painel Dinâmico de Produtores de Biometano [Internet]. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP); 2026. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp/paineis-e-mapa-dinamicos-de-produtores-de-combustiveis-e-derivados/painel-dinamico-de-produtores-de-biometano

246. GBEP [Internet]. [acesso em 2026 Jun 30]. The biogas and biomethane sector in Europe and China: Fostering knowledge exchange and collaboration. Disponível em: https://www.fao.org/in-action/global-bioenergy-partnership/news-and-events/news/news-detail/the-biogas-and-biomethane-sector-in-europe-and-china--fostering-knowledge-exchange-and-collaboration/en

246. Argueyrolles R, Heimann T, Delzeit R. Impact of Gasoline and Diesel Subsidy Reforms on Global Biofuel Mandates. GCB Bioenergy. 2025;17(2). doi:10.1111/gcbb.70019

246. Aui A, Wang Y. Policy support and technology development trajectory for renewable natural gas in the U.S. Renew Energy. 2025;244. doi:10.1016/j.renene.2025.122669

246. Joint Research Centre. Advanced biofuels in the European Union - 2023 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets. 2024. doi:10.2760/6538066

246. Umwelt B. GHG Reduction Quota [Internet]. 2025. Disponível em: https://www.bundesumweltministerium.de/gesetz/entwurf-eines-zweiten-gesetzes-zur-weiterentwicklung-der-treibhausgasminderungs-quote

246. Swedish Energy Agency. Sweden's 2019 report under the Directive on the deployment of alternative fuels infrastructure [Internet]. 2019. Disponível em: https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/system/files/documents/2022-12/SE%20NPF%202019%20Report%20ENG.pdf

246. Portugal. Resolução do Conselho de Ministros no 41/2024 [Internet]. 2024. Disponível em: https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/resolucao-conselho-ministros/41-2024-855593245

254. Yacobucci BD. CRS Report for Congress Renewable Fuel Standard (RFS): Overview and Issues [Internet]. 2013. Disponível em: https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc463124/m1/1/high_res_d/R40155_2013Mar14.pdf

254. Cullenward D. California's Low Carbon Fuel Standard [Internet]. 2024. Disponível em: https://kleinmanenergy.upenn.edu/wp-content/uploads/2024/10/KC-Paper-16-Californias-Low-Carbon-Fuel-Standard.pdf

254. Commission CPU. CPUC Sets Biomethane Targets for Utilities [Internet]. 2022. Disponível em: https://www.cpuc.ca.gov/news-and-updates/all-news/cpuc-sets-biomethane-targets-for-utilities

254. Brasil. Lei nº 13.576/2017 [Internet]. 2017. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13576.htm

254. Brasil. Resolução CNPE nº 4/2026 [Internet]. 2026. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpe/resolucoes-do-cnpe/2026/resolucao-4-publicada.pdf

254. Brasil. Decreto no 12.614/2025 [Internet]. 2025. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2025/decreto/d12614.htm

254. ANP. Resolução ANP nº 995/2026 [Internet]. 2026. Disponível em: https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-995-2026

254. ANP. Resolução ANP nº 996/2026 [Internet]. 2026. Disponível em: https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-996-2026

254. Departments of Energy, U., Development, U., Environmental Protection Agency, U. An Action Plan for Medium- and Heavy-Duty Vehicle Energy and Emissions Innovation [Internet]. 2024. Disponível em: https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/2024-12/MHDV%20Plan.pdf

263. European Union. Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council [Internet]. 2014. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0094

263. European Union. Regulation EU 2023/1804 [Internet]. 2023. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R1804

263. Olczak M. Biomethane in Europe: Why scaling up is harder than it looks [Internet]. 2026. Disponível em: https://hdl.handle.net/10419/339524

263. Almeida LD, Olczak M. Mass Balance Systems cannot hinder cross-border trade of renewable gas: E.ON. Biofor case [Internet]. 2018. doi:10.13140/RG.2.2.22952.01285

263. European Union. Directive 2018/2001/EU of the European Parliament and of the Council [Internet]. 2018. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001

263. Grinsven A van, Leguijt C, Tallat-Kelpsaite J. Supporting mechanisms for the development of biomethane in transport [Internet]. 2017. Disponível em: https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/04/CE_Delft_3K49_Supporting_mechanisms_biomethane_in_transport_FINAL.pdf

263. EPE. Brazil Roadmap for Natural Gas and Biomethane Heavy Duty Trucks & Buses Part 1 [Internet]. 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/mapa-estrategico-para-desenvolvimento-do-mercado-de-veiculos-medios-e-pesados-movidos-a-gas-natural-e-biometano

263. EPE. WebMap - EPE [Internet]. 2026. Disponível em: https://gisepeprd2.epe.gov.br/WebMapEPE/

Instituto MBCBrasil
MOBILIDADE DE BAIXO CARBONO

© 2026 Instituto MBCBrasil. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução sem autorização prévia.

Instituto MBC Brasil
MOBILIDADE DE BAIXO CARBONO