

# **P310 – Avaliação de Impacto Ambiental do Ciclo de Vida da cadeia de fornecimento do Gás Natural distribuído pela Comgás e estudo de cenários comparativos com outros energéticos.**

Silva, D.A.L.<sup>2</sup>; Giusti, G.<sup>2</sup>; Silva, D.V.<sup>2</sup>; Freitas, G.A.<sup>2</sup>; Nogueira, G.P.<sup>3</sup>; Gauto, M.<sup>3</sup>; Pereira, G.A.G.<sup>3</sup>; Dionisio, G.F.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Companhia de Gás de São Paulo (COMGÁS)

<sup>2</sup>Grupo de Pesquisa em Engenharia da Sustentabilidade (Grupo EngS) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) – campus Sorocaba/SP

<sup>3</sup>Laboratório de Gestão de Energia (LGE) de Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

**Resumo** – O projeto P310 teve como objetivo desenvolver uma análise ambiental detalhada do ciclo de vida do gás natural (GN) distribuído pela Comgás, bem como avaliar alternativas energéticas com menor impacto ambiental no setor de transporte de carga e mobilidade urbana de passageiros. Para isso, foram realizados dois estudos complementares por grupos de pesquisa parceiros: o Grupo de Engenharia da Sustentabilidade (Grupo EngS/UFSCar) e o Laboratório de Gestão de Energia (LGE/UNICAMP). O Grupo EngS concentrou-se na análise "cradle-to-distribution" da cadeia de fornecimento do GN, utilizando ferramentas de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para quantificar os impactos ambientais da produção, transporte e distribuição do GN, bem como identificar oportunidades de redução de impactos por meio da injeção de biometano. Já o LGE realizou um estudo comparativo de cenários energéticos para o setor de transporte pesado, com foco em alternativas ao diesel fóssil, como biometano, biodiesel, óleo vegetal hidrotratado (HVO) e eletrificação. Os resultados revelam que o uso do biometano não só é tecnicamente viável, mas também apresenta ganhos ambientais expressivos em comparação ao GN e demais fontes tradicionais. Esse achado reforça a necessidade de fomentar políticas de incentivo à produção e distribuição de biometano, bem como sua utilização prioritária no transporte e na malha de distribuição de gás canalizado.

Palavras-chave: análise do ciclo de vida; gás natural; biometano; descarbonização do transporte pesado; infraestrutura de distribuição de gás.

## **Introdução**

A descarbonização da matriz energética é um dos pilares para o enfrentamento das mudanças climáticas, e os setores de energia e transporte são protagonistas nesse desafio. No Brasil, apesar da ampla utilização de etanol no transporte leve, ainda há uma alta dependência de combustíveis fósseis no transporte pesado, sendo o diesel responsável por aproximadamente 48,6% do consumo energético do setor.

Nesse contexto, o gás natural tem sido considerado um "combustível de transição", mas seu impacto ambiental precisa ser

analisado sob uma perspectiva completa. Além disso, alternativas emergentes como o biometano, que pode ser produzido a partir de resíduos urbanos, industriais e agropecuários, surgem como opção viável para substituição do diesel em aplicações de transporte.

Este projeto parte da premissa de que uma análise integrada da cadeia de fornecimento do GN e de suas aplicações finais no transporte pode oferecer subsídios concretos para a tomada de decisão técnica, regulatória e estratégica.

## **Desenvolvimento**

## I. Metodologia

### Avaliação da Cadeia de Fornecimento de GN (UFSCar)

A modelagem da cadeia de fornecimento do GN foi realizada por meio de ACV com base nas normas ISO 14040 e 14044. Utilizou-se o software OpenLCA (v2.2) com base de dados ecoinvent 3.10 (cut-off regionalizado). A unidade funcional considerada foi 1 m<sup>3</sup>.km de GN.

O sistema de produto foi dividido em três blocos:

- Upstream: extração e transporte do GN até os City Gates (CGs);
- Core: operação da rede e manutenção da infraestrutura;
- Downstream: emissões fugitivas, odorizantes e gestão de resíduos.

Três cenários foram modelados:

- Cenário base: distribuição com 100% GN;
- C1: injeção de biometano (RSU, vinhaça, misto);
- C2: comparação com combustíveis alternativos na indústria (GLP, óleo diesel, biomassa).

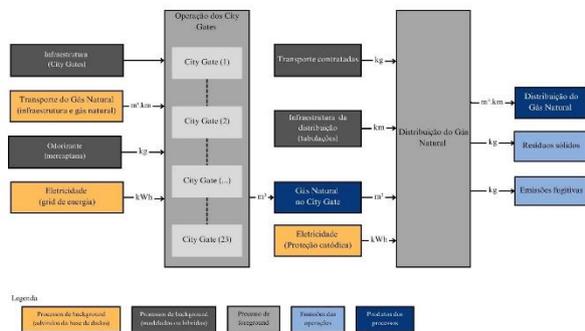


Figura 1 - Fluxograma do sistema de produto do cenário-base da ACV.

### Avaliação de Alternativas no Transporte (UNICAMP)

O estudo do LGE considerou sete combinações entre motorização (ICE, HEV, BEV) e vetores energéticos (B12, HVO, CNG, bioCNG, BR Mix). Utilizou-se o OpenLCA 2.4 com método ReCiPe 2016 (midpoint e endpoint). A unidade funcional foi 1 passageiro.km.

As categorias de impacto incluíram:

- Midpoint: Potencial de Aquecimento Global (GWP);
- Endpoint: Saúde Humana, Qualidade dos Ecossistemas e Recursos Naturais.

Os dados primários foram obtidos da literatura e bases regionais. O inventário incluiu emissões no escapamento, produção dos combustíveis, manutenção e depreciação dos veículos.

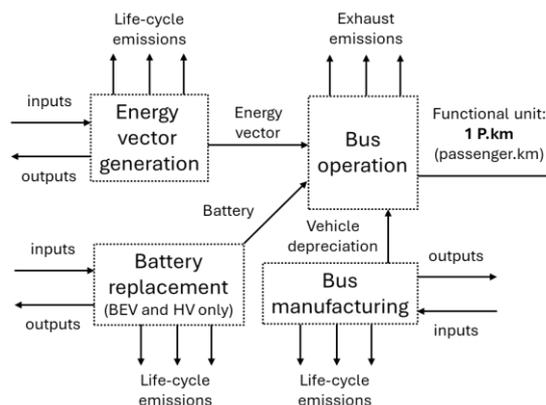


Figura 2 – fronteiras do sistema de produto para a avaliação de alternativas para transporte público de passageiros

## II. Resultados

### Cadeia do GN (UFSCar)

Os resultados da análise do sistema de distribuição de GN mostraram que a infraestrutura (especialmente a construção de tubulações e City Gates) representa uma fração significativa dos impactos ambientais em múltiplas categorias. Destaque para as seguintes contribuições:

- Eutrofização (marinha, de água doce e terrestre): até 35% dos impactos totais;
- Formação de material particulado e oxidação fotoquímica: impacto superior a 30%;
- Radiação ionizante: contribuição significativa da geração de eletricidade envolvida no transporte.

O uso de aço reforçado nas tubulações chegou a representar 21,22% dos impactos na categoria de eutrofização terrestre. A substituição por materiais alternativos e práticas de ecodesign pode gerar reduções expressivas nesses impactos.

### Cenários de injeção de biometano:

- Cenário com 100% de biometano de RSU reduziu os impactos totais em até 56,68% na eutrofização terrestre;
- Na categoria “Depleção da camada de ozônio”, os Bio CGs reduziram impactos em até 85,23%;
- A eliminação da infraestrutura de transporte e emissões fugitivas reduziu em 58,66% os impactos por mudanças climáticas.

### *Transporte Pesado (UNICAMP)*

O estudo comparativo de alternativas energéticas para transporte urbano indicou que:

- O bioCNG utilizado em veículos HEV apresentou o menor GWP (Potencial de Aquecimento Global);
- O BR Mix (BEV) também apresentou baixo GWP, mas teve altos impactos nas categorias de Saúde Humana e Recursos Minerais devido à matriz elétrica e à troca de baterias;
- O HVO (ICE e HEV) demonstrou bom desempenho em GEE, mas com penalização relevante em uso da terra;
- O B12 (ICE) teve desempenho intermediário, melhor que o CNG, mas inferior ao bioCNG.

Nas análises de endpoint:

- O bioCNG (HEV e ICE) apresentou os menores impactos em Saúde Humana e Qualidade dos Ecossistemas;
- O BR Mix (BEV) foi o mais impactante em Recursos Minerais, principalmente pelo uso intensivo de baterias e extração de metais críticos;
- O HVO mostrou-se sensível à origem da biomassa: fontes como óleo de cozinha usado podem melhorar significativamente seu perfil ambiental.

Estes resultados serão complementados com gráficos extraídos dos estudos originais, incluindo:

- Indicadores de GWP por cenário energético e motorização;
- Comparação de categorias de endpoint entre as alternativas avaliadas;
- Contribuição percentual de hotspots como matriz elétrica, baterias e emissões fugitivas.

### **Conclusão e Recomendações**

As análises conduzidas ao longo deste projeto evidenciam, com base em dados robustos e modelagens reconhecidas internacionalmente, que o gás natural ainda possui externalidades ambientais significativas ao longo de sua cadeia de distribuição, especialmente relacionadas à infraestrutura e às emissões fugitivas. No entanto, a principal contribuição reside na demonstração de que há um potencial real de mitigação de impactos ambientais quando se introduz o biometano na matriz energética — não apenas como substituto, mas como catalisador de um novo modelo de rede de distribuição e uso energético.

No transporte, o estudo do LGE mostrou de forma detalhada que o biometano comprimido (bioCNG) aplicado a veículos híbridos elétricos (HEV) é uma das opções mais equilibradas em termos de desempenho ambiental. Essa combinação obteve destaque por apresentar baixo potencial de aquecimento global, menor toxicidade à saúde humana e baixa dependência de recursos fósseis e minerais, quando comparada com outras alternativas como o HVO, o diesel com adição de biodiesel e a eletrificação convencional com matriz brasileira. Tais achados não apenas reforçam a relevância do biometano, como evidenciam sua aplicabilidade imediata e escalável.

A articulação entre os dois estudos — UFSCar e UNICAMP — demonstra que é possível abordar toda a cadeia energética, do berço à aplicação, integrando avaliações de infraestrutura, operação e uso final. Essa abordagem sistêmica é um diferencial da pesquisa e permite ao tomador de decisão enxergar com clareza os trade-offs e sinergias entre diferentes estratégias tecnológicas e energéticas. A junção desses olhares permite propor intervenções coordenadas, seja na modernização da infraestrutura de distribuição de gás, seja no direcionamento do biometano para usos estratégicos, como o transporte urbano e logístico.

Ainda assim, há espaço significativo para aprofundamento. Estudos futuros podem avançar sobre a avaliação econômica e financeira dessas soluções, incorporando análises de viabilidade de implantação dos Bio CGs, mapeamento geográfico da produção e demanda de biometano e identificação de barreiras regulatórias e logísticas. Além disso, é recomendável incluir perspectivas sociais e institucionais, especialmente no que se refere à aceitação pública e ao papel de políticas

públicas federais e estaduais no fomento à transição energética com base no biometano. Assim, o presente estudo não apenas entrega um diagnóstico detalhado das condições atuais e das possibilidades de melhoria ambiental, como também estabelece uma base sólida para decisões estratégicas, regulatórias e empresariais rumo a uma matriz mais limpa, justa e resiliente.

Journal of Life Cycle Assessment  
**21**, 1218–1230 (2016).

## Referências

1. EPE. Balanço Energético Nacional Síntese 2025 PT. [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-885/topico-767/BEN\\_S%C3%ADntese\\_2025\\_PT.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-885/topico-767/BEN_S%C3%ADntese_2025_PT.pdf) (2025).
2. ABIOGÁS. O Potencial Brasileiro de Biogás. [https://cdn.prod.website-files.com/632ab10950c5e334290bfa6df/6390e394c734a95f3032a2da\\_NO TA-TECNICA\\_POTENCIAL\\_ABIOGAS.pdf](https://cdn.prod.website-files.com/632ab10950c5e334290bfa6df/6390e394c734a95f3032a2da_NO TA-TECNICA_POTENCIAL_ABIOGAS.pdf) (2020).
3. ISO. ISO 14044:2006 Environmental Management -- Life Cycle Assessment -- Requirements and Guidelines. 46 (2006).
4. ISO. ISO 14040:2006 Environmental Management -- Life Cycle Assessment -- Principles and Framework. 20 (2006).
5. Huijbregts, M. A. J. et al. ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *Int J Life Cycle Assess* **22**, 138–147 (2017).
6. Wernet, G. et al. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *International*