

P306 – Desenvolvimento de Usina Inteligente de Produção de Biometano a Partir da Purificação de Biogás de Média Escala

Giovana Fernanda Dionisio¹; Rael Mairesse²; André Corsetti², Izabely May², Paulo Eichler², Maria Carolina Ferreira², André Bonomi², Rodrigo Bins²

¹ Comgás

² Luming

Resumo: O projeto P306 enfrentou o subaproveitamento do biogás de aterro em pequenas e médias escalas, validando uma BioUsina modular, containerizada e sensoriada para produção de biometano. Após estudos de mercado, o escopo migrou do autoconsumo industrial para aterros (revisão jul/2024), priorizando a faixa de 50–150 Nm³/h e rotas de escoamento adequadas (autoconsumo de frotas, GNC/gasoduto virtual e hubs de injeção). A metodologia combinou design thinking, Scrum e práticas PMI. A solução integra pré-tratamento, membranas em dois estágios com recirculação, ponto de qualidade em linha e supervisão em nuvem com mais de 30 variáveis. Com captação estável e controle de O₂/N₂ no biogás de aterro, foram obtidos teores de CH₄ compatíveis com a ANP, permitindo operação com quadro reduzido. O projeto entrega evidências técnicas e um roteiro replicável com benefícios ambientais, econômicos e de segurança de abastecimento, contribuindo diretamente para a transição energética urbana.

Palavras-chave: biometano; biogás de aterro; pequena e média escala; modularidade.

Introdução

A iniciativa de desenvolvimento da BioUsina modular e sensoriada surgiu como resposta a um desafio recorrente no setor de resíduos: o subaproveitamento do biogás gerado em aterros sanitários de pequeno e médio porte. Embora amplamente distribuídos pelo estado de São Paulo e pelo Brasil, esses aterros raramente contam com sistemas estruturados de captação, e quando há, o biogás é frequentemente queimado ou ventilado sem qualquer uso energético.

Transformar esse passivo ambiental em ativo energético confiável exige soluções técnicas adaptadas à realidade de menor escala — especialmente na faixa de 50–150

Nm³/h — e modelos de negócio compatíveis com volumes distribuídos. Foi nesse contexto que se estruturou uma proposta inovadora: uma planta containerizada, com arquitetura modular, sensoriamento inteligente e supervisão em nuvem, capaz de operar com eficiência, rastreabilidade e baixo custo operacional.

A solução desenvolvida integra engenharia de processo (pré-tratamento, membranas em dois estágios, recirculação automática), controle de qualidade em linha e rotas de escoamento viáveis (autoconsumo, GNC/gasoduto virtual e hubs de injeção). Mais do que uma tecnologia, trata-se de uma plataforma replicável que articula técnica, dados e modelo comercial para viabilizar o biometano

como vetor estratégico de descarbonização urbana, segurança energética e valorização de resíduos.

Desenvolvimento

O projeto P306 foi concebido a partir de uma constatação crítica: o estado de São Paulo — e, por extensão, o Brasil — possui um grande número de aterros sanitários de pequeno e médio porte com potencial significativo de geração de biogás, ainda amplamente subutilizado. A maioria desses aterros não possui sistemas estruturados de captação, e quando há, o biogás é frequentemente queimado ou liberado na atmosfera sem qualquer aproveitamento energético.

Essa lacuna representa não apenas uma oportunidade desperdiçada de geração de energia renovável, mas também um problema ambiental e regulatório. A ausência de soluções técnicas adaptadas à menor escala, somada à falta de modelos de negócio viáveis e à complexidade da medição e certificação, dificulta a monetização do biogás em volumes distribuídos.

O projeto foi, portanto, justificado por três pilares:

1. **Necessidade pública clara:** há um estoque disperso de biogás em aterros menores que pode ser convertido em energia limpa, contribuindo para a descarbonização urbana e a melhoria da qualidade do ar.
2. **Vácuo tecnológico-operacional:** faltam soluções “fit-for-purpose” para a faixa de 50–150 Nm³/h, que combinem eficiência técnica, rastreabilidade e viabilidade econômica.
3. **Alinhamento estratégico com o setor de gás natural:** o biometano, quando integrado à rede via hubs ou GNC, fortalece a segurança de abastecimento e amplia a flexibilidade comercial da distribuidora.

A revisão de escopo realizada em julho de 2024 foi decisiva. Ao redirecionar o foco do autoconsumo industrial para aterros sanitários, o projeto passou a responder diretamente a uma demanda reprimida, com maior potencial de replicabilidade e impacto setorial.

A Solução Técnica: Modularidade, Sensoriamento e Escalabilidade

A BioUsina concebida pelo projeto é uma planta containerizada, desenhada especificamente para operar na faixa de 50–150 Nm³/h de biogás, equivalente a cerca de 2.000–10.000 m³/dia. Essa escala foi escolhida com precisão para atender aterros que, embora menores, apresentam geração contínua e relevância ambiental e econômica. A planta foi instalada em container de 20 pés, facilitando mobilização e replicação.

A arquitetura da usina inclui:

- **Pré-tratamento** para remoção de umidade e H₂S;
- **Dois estágios de membranas poliméricas**, com lógica de recirculação para estabilização da qualidade;
- **Ponto de qualidade em linha**, com válvula de três vias e analisador contínuo;
- **Supervisório em nuvem**, monitorando mais de 30 variáveis operacionais (pressão, temperatura, vazão, composição, umidade).

Essa estrutura permite operação com quadro reduzido de operadores, viabilizada por alarmística por tendência, trilhas de auditoria e lógica de recirculação automática. Em condições de captação estáveis — especialmente com controle de entrada de O_2 e N_2 — o biometano produzido atingiu teores superiores a 96% de CH_4 , em conformidade com as especificações da ANP.



Figura 1 – BioUsina modular, containerizada, em operação.

Aspecto Inovador

A inovação do projeto P306 não está apenas na tecnologia empregada, mas na forma como ela foi concebida, integrada e aplicada ao contexto brasileiro. A BioUsina modular representa uma convergência entre engenharia de processo, sensoriamento inteligente e modelos de negócio adaptados à realidade dos aterros de menor porte.

Quatro dimensões de inovação se destacam:

1. **Engenharia modular e replicável:** A planta foi desenhada como uma unidade containerizada, com pré-tratamento, condicionamento e purificação por membranas em

dois estágios. Essa abordagem “scale-down” permite reduzir CAPEX por unidade instalada, facilita a mobilização e viabiliza a replicação em aterros que hoje operam sem captação ou sem uso energético. A modularidade também permite expansão progressiva conforme a maturidade do projeto e a demanda local.

2. **Sensoriamento e IoT para operação enxuta:** O piloto implantado em Indaiatuba/SP incorporou monitoramento de mais de 30 variáveis — incluindo pressão, temperatura, umidade, vazão e composição — com supervisão em nuvem. Isso habilitou alarmística por tendência, recirculação automática e intervenções preventivas. O resultado foi uma operação com alta disponibilidade, rastreabilidade auditável e redução significativa de OPEX, mesmo com quadro operacional enxuto.
3. **Modelos de negócio inovadores e aderentes à escala:** O projeto estruturou rotas de escoamento compatíveis com volumes distribuídos: autoconsumo no próprio aterro (especialmente para frotas), cadeias GNC/ERP e hubs de injeção. Essas alternativas equilibram riscos comerciais e operacionais, ampliam a potencial de financiamento dos projetos e se alinham às atualizações regulatórias da ANP. Em cenários simulados, o autoconsumo mostrou reduções de custo superiores a 50% frente

ao diesel, enquanto os hubs diluíam custos de medição e aceleraram a comercialização.

4. **Engenharia de captação integrada ao sistema da usina:**

Embora não estivesse no escopo original, o projeto aprofundou a inovação na captação de biogás, com ajustes em cabeçotes, válvulas e pressões operacionais. A integração com o supervisão permitiu correlação entre eventos de captação e qualidade do produto, consolidando um playbook técnico para operação em aterros menores.

Essas quatro dimensões posicionam o projeto como referência nacional em soluções para biometano distribuído. Em síntese, a inovação do projeto é sistêmica. Ao combinar módulos escalonáveis, telemetria inteligente e arquiteturas comerciais viáveis, o projeto cria um caminho replicável para converter potencial disperso em ativos energéticos confiáveis, com impacto direto em emissões, custos públicos e segurança de abastecimento.

Barreiras Enfrentadas: Lições do Campo

A execução do projeto revelou barreiras concretas que refletem os desafios reais do setor:

- **Captação de Biogás:** A entrada de ar falso (O_2/N_2) foi o principal fator de instabilidade na qualidade do biometano. Em diversos momentos, a operação da captação exigiu ajustes finos de vedação, ventilação e disciplina operacional. A ausência de padronização nos

procedimentos de campo mostrou-se um gargalo crítico.

- **Viabilização do Sítio Piloto:** A escolha e autorização do Ecoparque de Indaiatuba/SP exigiu negociações complexas, envolvendo segurança, integração com infraestrutura existente e disponibilidade de biogás. Essa etapa foi o principal gargalo do cronograma, exigindo replanejamento e extensão de prazo.
- **Cadeia de Suprimentos:** Componentes como membranas, compressores e sensores, historicamente desenhados para grandes plantas, precisaram ser adaptados à menor escala. A homologação de fornecedores “fit-for-purpose” foi um processo técnico e comercial delicado.
- **Medição e Certificação:** A metrologia em faixas menores apresentou custo elevado e margem de erro significativa. A necessidade de cromatografia e validação laboratorial pressionou o OPEX e evidenciou a urgência de soluções custo-efetivas para QA/QC em pequena escala.

Apesar dessas barreiras, o projeto foi concluído sem aditivo orçamentário, com todas as entregas técnicas e operacionais realizadas dentro do horizonte replanejado e todas realizadas sem aditivo orçamentário, reforçando a eficiência do projeto.

Resultados

O piloto operou com estabilidade e alta disponibilidade. As análises de séries temporais permitiram correlacionar a

composição do biogás com a qualidade do biometano, confirmando que a pureza do CH_4 no produto final depende diretamente da eficiência da captação.

Indicadores como:

- **Tempo em conformidade ANP,**
- **Fator de capacidade,**
- **Recuperação de metano,**
- **Eventos de recirculação por tendência,**

foram utilizados para validar a operação e orientar melhorias. A lógica de supervisão permitiu intervenções preventivas, reduzindo paradas e otimizando o OPEX.

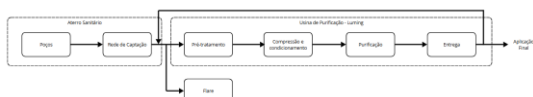


Figura 2: Fluxograma simplificado do processo

O piloto operou com estabilidade e alta disponibilidade. Exemplos concretos incluem:

- Em uma das campanhas, o teor de CH_4 no biometano atingiu **96,14%**, com estabilidade mantida por mais de **72 horas contínuas**.
- A correlação entre CH_4 no biogás e no produto mostrou que, quando o biogás de entrada tinha **$\text{CH}_4 \geq 55\%$** , o produto final mantinha conformidade ANP sem necessidade de descarte.
- O sistema de supervisão registrou **eventos de recirculação automática** em resposta a desvios de qualidade, com tempo de resposta inferior

a **5 minutos**, evitando perda de produto.

- O fator de capacidade médio durante as campanhas foi de **82%**, com picos superiores a **90%** em dias com captação otimizada.
- A recuperação de metano variou entre **85% e 92%**, dependendo da composição do biogás e da eficiência do pré-tratamento.

Esses resultados sustentam a viabilidade técnica e comercial da solução, com dados auditáveis que fortalecem a bancabilidade de projetos em pequena escala. Esses dados foram registrados em supervisão com armazenamento em nuvem, permitindo auditoria, melhoria contínua e rastreabilidade técnica — elementos essenciais para a potencial de financiamento de projetos.



Figura 3: Exemplo pontual de composição de biometano obtido em aterro sanitário

Modelos de Negócio e Benefícios Estratégicos

O projeto estruturou três rotas de escoamento compatíveis com a realidade dos aterros. As rotas foram testadas e simuladas com base nos dados operacionais do piloto,

evidenciando viabilidade técnica e econômica:

- **Autoconsumo no próprio aterro**, especialmente para frotas de coleta, com redução de custo superior a 50% frente ao diesel;
- **GNC/ERP**, como gasoduto virtual para clientes fora do sítio;
- **Hubs de injeção em rede**, que diluem custos de medição e ampliam a base de offtakers.

Para a Comgás, os benefícios são estratégicos: o biometano complementa o portfólio de abastecimento, cria flexibilidade comercial e operacional, e fortalece a segurança energética. A integração com a rede via hubs e GNC permite atender clientes com maior previsibilidade e menor exposição à volatilidade de preços.

Para a sociedade, os ganhos são múltiplos: redução de emissões de GEE, melhoria da qualidade do ar urbano, incentivo ao encerramento de lixões e valorização energética de resíduos. A substituição do diesel por biometano em frotas urbanas reduz emissões de CO₂, NOx e material particulado, com impacto direto em saúde pública.

Conclusão: Provocações e Próximos Passos

O projeto P306 demonstrou, com dados reais e operação em campo, que é tecnicamente viável produzir biometano em pequena escala com qualidade ANP — desde que a captação seja bem projetada e operada. A BioUsina modular é mais do que uma planta: é uma plataforma replicável, com inteligência operacional e arquitetura comercial adaptada à realidade brasileira.

Mas o projeto também levanta provocações importantes:

- Por que ainda não há padronização nacional para captação de biogás em aterros menores?
- Como viabilizar metrologia custo-efetiva para faixas de 50–150 Nm³/h?
- Quais incentivos regulatórios podem acelerar a adoção de autoconsumo e hubs regionais?
- Como garantir que os dados gerados por supervisórios sejam usados para auditoria, melhoria contínua e potencial de financiamento?

Tecnologia pronta, dados disponíveis, modelo viável. O próximo passo é escalar — com qualidade, previsibilidade e impacto. O projeto deixa como legado uma solução validada e provocações estratégicas que podem orientar políticas públicas, novos projetos de P&D e investimentos em infraestrutura para o biometano.

Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **RESOLUÇÃO ANP Nº 886, DE 29 DE SETEMBRO DE 2022**. [S.l.: S.n.]. Disponível em: <<https://www.lex.com.br/resolucao-anp-no-886-de-29-de-setembro-de-2022/>>.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **RESOLUÇÃO ANP Nº 982, DE 21 DE MAIO DE 2025**

- **DOU DE 22-05-2025.** [S.l.: S.n.]. Disponível em: <<https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-982-2025-estabelece-as-especificacoes-do-gas-natural-nacional-ou-importado-e-as-obrigacoes-quanto-ao-controle-da-qualidade-a-serem-atendidas-pelos-agentes-economicos-que-comercializam-ou-transportam-o-produto-em-territorio-nacional>>.

br/canais_atendimento/imprensa/noticias-comunicados/gas-natural-anp-aprova-revisao-das-especificacoes-e-controles-de-qualidade>. Acesso em: 13 out. 2025.

LFG Energy Project Development Handbook. . [S.l.: S.n.]. Disponível em: <https://www7.nau.edu/itep/main/iteps/ORCA/3352_ORCA.pdf>.

Autorização para produção de biocombustíveis. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/autorizacao-para-producao-de-biocombustiveis>>. Acesso em: 13 out. 2025.

BIOGÁS, Portal Energia e. **Anuário do Biogás.** [S.l.: S.n.]. Disponível em: <<https://biogaseenergia.com.br/anuario-do-biogas>>.

CHENG, Shifen *et al.* Health and economic benefits of heavy-duty diesel truck emission control policies in Beijing. **Environment international**, v. 179, n. 108152, p. 108152, 2023.

CIBIOGÁS. **Panorama do Biogás 2024.** [S.l.: S.n.]. Disponível em: <<https://abiogas.org.br/wp-content/uploads/2025/06/PANORAMA-DO-BIOGAS-2024.pdf>>.

DE MINAS E ENERGIA, Ministério. **Gás natural: ANP aprova revisão das especificações e controles de qualidade.** Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br>>.