



Biogás
BRASIL

TRANSPORTE DE BIOGÁS

Guia técnico



CIBIOGAS
ENERGIAS RENOVÁVEIS



ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS
PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL



GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY
INVESTING IN OUR PLANET

MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



**PÁTRIA AMADA
BRASIL**
GOVERNO FEDERAL

Parceiros do Projeto



Parceiros nesta Atividade



Comitê Diretor do Projeto



ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS
PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL



GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY
INVESTING IN OUR PLANET

MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



www.gefbiogas.org.br

This project/program is funded by the Global Environment Facility

Projeto “Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira” (GEF Biogás Brasil)



Este documento está sob a licença Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License. Citações ao material deste documento devem ser da seguinte forma:

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL; CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS. **Transporte de biogás**: guia técnico. Brasília: MCTI, 2021. *E-book*. (Projeto Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira: GEF Biogás Brasil).

COMITÊ DIRETOR DO PROJETO

Fundo Global para o Meio Ambiente

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações

Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Ministério de Minas e Energia

Ministério do Meio Ambiente

Ministério do Desenvolvimento Regional

Centro Internacional de Energias Renováveis

Itaipu Binacional

PARCEIROS DO PROJETO

Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

Associação Brasileira do Biogás

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FICHA TÉCNICA

Nome do produto:

Transporte de biogás – Guia técnico

Componente Output e Outcome:

2.1 / 2.1.2

Publicado pela(s) entidade(s):

Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações

Centro Internacional de Energias Renováveis em Biogás

Entidade(s) diretamente envolvida(s):

Centro Internacional de Energias Renováveis em Biogás - CIBiogás

Autoria e coautoria:

Daiana Gotardo Martinez – CIBiogás | UNIDO

Édipo Lopes - CIBiogás

Giovani Patuzzo - CIBiogás

Thiago Magrini Lopez - CIBiogás

Revisão técnica:

Lúcio Ricken – 3Di Engenharia

Maycon Fabio Savoldi – 3DI Engenharia

Coordenação:

Felipe Souza Marques

Editoração:

Nicole Mattiello

Data da publicação: Dezembro de 2020

O68t

Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial.

Transporte de biogás: guia técnico / Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial; Comitê diretor do projeto Centro Internacional de Energias Renováveis. – Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2021.

29 p.: il. – (GEF Biogás Brasil)

ISBN: 978-65-87432-25-0

1. Biogás – Transporte. 2. Gasoduto. I. Martinez, Daiana Gotardo. II. Lopes, Édipo. III. Patuzzo, Giovani. IV. Lopez, Thiago Magrini. V. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. VI. UNIDO. VII. Centro Internacional de Energias Renováveis. VIII. CIBiogás. IX. Projeto Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira. X. Título. XI. Série.

CDU 662.767.2



APRESENTAÇÃO

O Projeto “Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira” (GEF Biogás Brasil) reúne o esforço coletivo de organismos internacionais, setor privado, entidades setoriais e do Governo Federal em prol da diversificação da matriz energética do país por meio do biogás.

O Projeto é liderado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), implementado pela Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO), financiado pelo Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF), e conta com o Centro Internacional de Energias Renováveis (CIBiogás) como principal entidade executora.

O objetivo do Projeto é reduzir a emissão de gases de efeito estufa, fortalecendo as cadeias de valor e inovação tecnológica ligadas à produção de biogás. Por meio de ações concretas, o Projeto amplia a oferta de energia e combustível no Brasil a partir da geração de biogás e biometano, fortalecendo as cadeias nacionais de fornecimento de tecnologia no setor e facilitando investimentos.

O biogás é uma fonte renovável de energia elétrica, energia térmica e combustível. Seu processamento também resulta em biofertilizantes de alta qualidade para uso agrícola. A gestão sustentável dos resíduos orgânicos provenientes da agroindústria e de ambientes urbanos por meio da produção de biogás traz um diferencial competitivo para a economia brasileira. Desenvolver a cadeia de

valor do biogás significa investir em uma economia circular envolvendo inovação e novas oportunidades de negócios. Indústrias de equipamentos e serviços, concessionárias de energia e gás, produtores rurais e administrações municipais estão entre os beneficiários do Projeto, que conta com US \$7,828,000 em investimentos diretos.

Com abordagem inicial na Região Sul e no Distrito Federal, o Projeto gera impactos positivos para todo o país. As atividades do Projeto incluem a atuação direta junto a empresas, cooperativas e entidades da governança do biogás para implementar acordos de cooperação, fazer análises de mercado, desenvolver modelos de negócio inovadores e atrair investimentos nacionais e internacionais.

O Projeto também investe diretamente na otimização de plantas de biogás mais eficientes, seguras e com modelos replicáveis, entregando ao mercado exemplos práticos de sucesso operacional. Além disso, o Projeto desenvolve ferramentas digitais e atividades de capacitação que atualizam e dinamizam o setor, facilitando o desenvolvimento de projetos executivos de biogás. Em paralelo, especialistas do Projeto desenvolvem estudos técnicos com dados inéditos que apoiam o avanço de políticas públicas favoráveis ao biogás. Dessa forma, o Projeto entrega para o mercado brasileiro mais competitividade, fomentando o biogás como um grande catalizador de novas oportunidades.



Transporte de Biogás

Guia técnico

Data da Publicação:

Dezembro/2020



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	4
2. BIOGÁS E BIOMETANO	5
3. TRANSPORTE DE BIOGÁS.....	6
4. LOGÍSTICAS DE TRANSPORTE DE BIOGÁS VIA TUBULAÇÕES	8
4.1. Identificação de Locais Permitidos	9
4.2. Vias de Rodagem.....	10
4.3. Interferência com Redes Existentes	12
4.4. Condições do Terreno	13
4.5. Lógica de Envio.....	13
5. DIMENSIONAMENTO DAS TUBULAÇÕES DE BIOGÁS	17
5.1. Equações para o Dimensionamento de Tubulação	18
6. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS	22
7. FORMAS DE EXECUÇÃO	24
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

Resumo/Abstract

PORTUGUÊS

Acompanhado ao número de novas plantas de biogás no Brasil, faz-se necessário o estabelecimento de arranjos distintos para atender produtores de pequena, média e grande escala, neste aspecto a integração via transporte de biogás torna-se uma alternativa atrativa, sob o ponto de vista técnico e financeiro. A forma indicada para o transporte de biogás bruto é por meio de tubulações. Esta técnica é utilizada para o transporte de gás natural (GN), que também é um gás combustível e possui normativas específicas para seu transporte, cujos conceitos podem ser utilizados para tubulações de biogás, exceto no quesito dimensionamento. Esta exceção existe, pois a lógica de envio em redes de gás natural não é a mesma para o transporte de biogás. Ao longo deste documento, orientações de boas práticas para o dimensionamento e operação de redes de biogás bruto serão apresentadas a partir de experiências obtidas em projetos pioneiros do Brasil.

Palavras-chave: transporte de biogás, integração, gasoduto.

ENGLISH

Along with the number of new biogas plants in Brazil, it is necessary to establish different arrangements to serve small, medium and large-scale producers, in this aspect the integration via biogas transportation becomes an attractive alternative, from the technical and financial point of view. The indicated way for transportation of raw biogas is through pipelines. This technique is used for the transportation of natural gas (NG), which is also a fuel gas and has specific regulations for its transportation, whose concepts can be used for biogas pipelines, except in the dimensioning issue. This exception exists, therefore, the logic of sending in natural gas networks is not the same for the transportation of biogas. Throughout this document, good practice guidelines for the sizing and operation of raw biogas networks will be presented, based on experiences obtained in pioneering projects in Brazil.

Keywords: biogas transportation, integration, gas pipeline.

Impactos

No Brasil mais de 80% das plantas de biogás em operação são classificadas como de pequeno porte. A modelagem de arranjos integrando estas plantas pode contribuir com o aumento na atratividade dos negócios, uma vez que é possível realizar o transporte do substrato ou transporte do biogás, aumentando o potencial de conversão energética. No Paraná duas plantas em operação realizam o transporte de biogás (tema abordado neste documento) e são considerados projetos pioneiros no país.

As regulações para o transporte de biogás bruto são muito escassas no país, resultando na falta de informações quanto ao dimensionamento e procedimentos operacionais no território. Desta forma, espera-se com esta publicação, subsidiar técnicos e tomadores de decisão para a implantação de projetos contemplando o esquema de transporte de biogás de maneira segura e eficaz. A adoção desta prática pode contribuir com a expansão no número de condomínios de agroenergia do país, viabilizando pequenas unidades produtivas de biogás, gerando competitividade e novos negócios.

1. INTRODUÇÃO

A cadeia de biogás no Brasil tem crescido muito nos últimos anos, em especial nas áreas rurais da região sul do país. A principal motivação para este avanço deve-se a mudança de percepção relacionada aos resíduos gerados em unidades de produção, passando a tratá-lo como matéria-prima para conversão energética.

Esta mudança de percepção demandou a criação de soluções inovadoras, que permitissem o acesso de pequenas e médias propriedades a projetos de escalas maiores e por consequência viabilizando plantas de biogás de baixa e média produção. Dentre as alternativas se destacam projetos de integração, contemplando o transporte da biomassa (configurando centrais de bioenergia), ou transporte de biogás via tubulações (dando origem aos condomínios de agroenergia). O estado do Paraná é pioneiro nestes modelos de negócio. Em seu território são 2 condomínios de agroenergia em operação – Condomínio Ajuricaba em Marechal Cândido Rondon e P&D COPEL em Entre Rios do Oeste – PR, além de uma central de bioenergia em implantação no município de Toledo.

Entre as plantas de biogás instaladas no Brasil, há aquelas que tratam o biogás e produzem biometano. Gases estes que se diferem físico-quimicamente, sendo importante ter ciência que cada tipo de gás (biogás e biometano) possui suas particularidades em seu transporte, ou seja, nem todos os meios de transportes são aplicáveis ao biogás por exemplo. Desta forma, este guia técnico visa compilar todas as informações relevantes, incluindo as experiências técnicas em projetos que relacionam o tema de transporte de biogás, uma vez que o mesmo não possui regulação específica.

Ao longo do documento pretende-se responder perguntas como:

- O biogás pode ser transportado em quais formas?
- Qual o diâmetro da tubulação devo usar, no transporte por tubulações?
- Quais os principais equipamentos que devo considerar no transporte?

Espera-se que este guia se torne um importante instrumento para profissionais da cadeia do biogás, como produtores rurais, agroindústrias, cooperativas, técnicos e engenheiros, com orientações e boas práticas para novos projetos. Desejamos a você uma boa leitura e sucesso em seu projeto!

2. BIOGÁS E BIOMETANO

Antes de iniciarmos nossa discussão sobre o transporte de biogás é importante destacar a diferença entre os gases. Ambos os gases são definidos por resoluções da ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Como por exemplo na Resolução Nº 685/2017, onde classifica-se ambos os gases da seguinte forma:

- ✓ Biogás: gás bruto obtido da decomposição biológica de produtos ou resíduos orgânicos;
- ✓ Biometano: biocombustível gasoso constituído essencialmente de metano, derivado da purificação do biogás.

Além da diferença quanto à sua fonte, os gases possuem diferenças químicas bem definidas, ou seja, o biometano para ser considerado como tal deve conter quantidades mínimas e máximas de determinados componentes, como por exemplo, metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) e Sulfeto de Hidrogênio (H_2S). Estes e outros demais requisitos são apresentados na RANP Nº 685/2017. Em contrapartida a composição do biogás não é definida em limites máximos e mínimos, pois sua composição está intimamente ligada à sua origem.

É importante ter em mente que o biometano possui características análogas ao gás natural, conforme expresso na ANP Nº 685/2017. Portanto, todas as regras e orientações estabelecidas para o transporte deste gás já estão consolidadas não carecendo, portanto, de novas normativas.

Em contrapartida o biogás não possui regulações específicas, o que dificulta a padronização de materiais, equipamentos, e critérios para se adotar em projetos. Considerando a carência de informações sobre o transporte de biogás, estruturou-se este guia a partir de experiências e lições aprendidas em projetos brasileiros. Portanto, as informações disponíveis neste documento são oriundas de expertises e conhecimentos dos autores e não de normas já definidas.

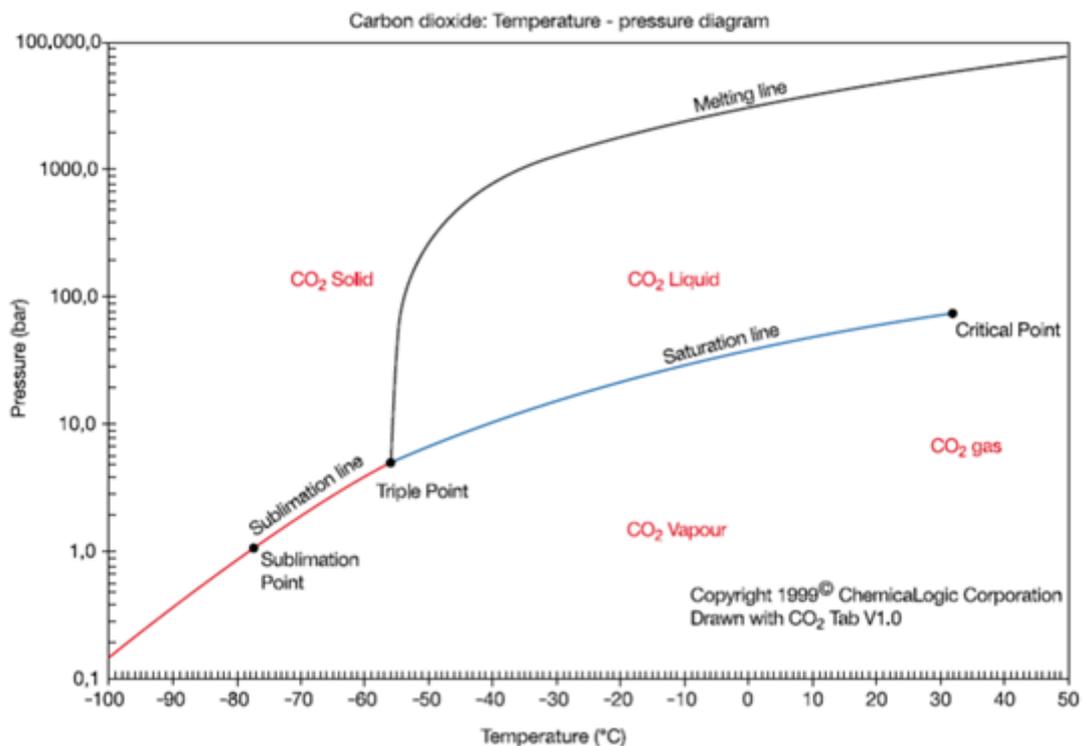
3. TRANSPORTE DE BIOGÁS

Uma das primeiras perguntas que sempre nos vem à mente quando pensamos em transporte de gás é:

“Podemos comprimir e transportar o biogás bruto em cilindros?”

E a resposta é não! Não com as tecnologias disponíveis atualmente. E a próxima pergunta, obviamente é, por que não? Para entender a impossibilidade, temos que voltar às aulas de termodinâmica para relembrar as propriedades das substâncias de acordo com sua temperatura e pressão. Sendo mais específico, ao gráfico de temperatura x pressão do CO₂ (Figura 1), um dos principais componentes do biogás.

Figura 1 - Diagrama de Pressão por temperatura do CO₂



Fonte: KRAUSE (2010)

O gráfico demonstra que o ponto crítico do CO₂ encontra-se a 7,38 Mpa (73,8 bar) e 31,1°C. Ou seja, nesta condição de ponto crítico o CO₂ líquido é atingido facilmente no processo de compressão quando se trabalha em

Transporte de biogás

condições de transporte de gás natural/biometano (250 kgf/cm² ~ 245 bar). Desta forma há a probabilidade de o CO₂ condensar durante o processo de compressão e danificar o compressor, haja visto que ele não foi feito para trabalhar com substâncias líquidas.

E por que não o transportar em pressões menores? A justificativa para não o fazer é porque a energia armazenada em um cilindro seria muito baixa, inviabilizando financeiramente todo o processo. Caso fosse possível rodar com um veículo à biogás, e comprimíssemos o gás em um cilindro comercial de gás natural padrão (GN) de 53L, a 10 bar, não teríamos uma autonomia maior que 10 km.

Então, qual a forma mais adequada para transportar o BIOGÁS?

A forma indicada para o transporte de biogás bruto é por meio de tubulações. Esta técnica é utilizada para o transporte de gás natural (GN), que também é um gás combustível e possui normativas específicas para seu transporte, cujos conceitos podem ser utilizados para tubulações de biogás, exceto no quesito dimensionamento.

Esta exceção existe, pois, a lógica de envio em redes de gás natural não é a mesma para o transporte de biogás. A variável a ser determinada para o início dos cálculos na rede de gás natural é o consumo, ou seja, a vazão em cada ponto consumidor. No caso das redes de biogás a variável determinante é a pressão necessária para que o transporte de biogás ocorra da produção até o ponto de consumo. Um resumo destas informações é expresso no Quadro 1.

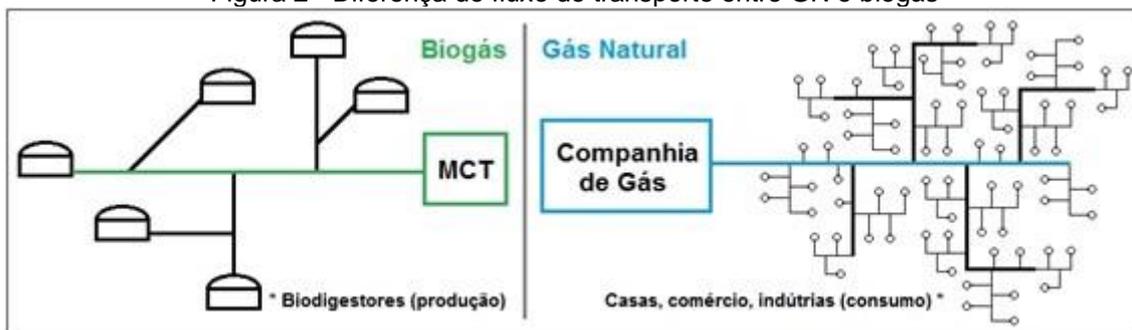
Quadro 1 - Diferenças entre os gases combustíveis

Condição	Biogás	Gás Natural
Pontos de produção	Inúmeros	Único
Pontos de consumo	Único	Inúmeros
Demanda	Produção	Consumo
Variável de dimensionamento	Pressão	Vazão

Para contribuir na assimilação do Quadro 1, a Figura 2, demonstra a diferença do fluxo de transporte de biogás e gás natural.

Transporte de biogás

Figura 2 - Diferença do fluxo de transporte entre GN e biogás



Fonte: Acervo CIBiogás

Diante da possibilidade de transporte do biogás e suas implicações, o conteúdo se concentrará no transporte de biogás via tubulações, abordando detalhadamente as etapas que devem ser consideradas no projeto e execução em uma planta de biogás.

4. LOGÍSTICAS DE TRANSPORTE DE BIOGÁS VIA TUBULAÇÕES

Unidades produtoras podem contar com duas situações nas quais as logísticas de transporte de biogás são distintas. A primeira, e mais comum, é quando ocorre a produção e utilização na mesma propriedade. Nesta situação a produção ocorre no biodigestor, o qual fica armazenado à baixíssimas pressões, geralmente entre 20 a 50mmca, pressão usualmente insuficiente para transporte e uso em equipamentos como um moto gerador, por exemplo. Portanto utilizam-se equipamentos como compressores radiais (sopradores) para que ocorra o transporte. Além disso, a inclinação da tubulação também é muito importante, pois ao longo do transporte pode ocorrer condensação do vapor de água contido no biogás. E para drenar a água condensada, podem ser utilizados drenos automáticos e ao longo da linha também pode ser inseridos “selos de água”, dependendo da pressão de trabalho da linha.

Quando o arranjo do sistema de transporte envolve mais um ponto de produção, e a tubulação que interliga estes pontos deixa de estar na mesma propriedade, a logística então se altera. Aqui no Brasil situações como esta se concentram em meios rurais, pois se fosse realizada em meio urbano a

Transporte de biogás

implantação se tornaria onerosa e complexa. Portanto, apenas para tal situação há expertise para ser compartilhada.

Em redes de biogás conforme supracitada, a primeira etapa é o alinhamento e aval da empresa responsável pela concessão de distribuição de gás combustível da região onde se pretende realizar a instalação das tubulações, incluindo consultas das regras especificadas por ela.

Desta forma, deve-se inicialmente identificar os locais permitidos para a passagem das tubulações enterradas. E a partir disto, analisar:

- Condições do terreno;
- Acessos de vias de rodagem;
- Rede hidrográfica;
- Altitudes entre pontos;
- Interferência com redes existentes.

A identificação destes elementos e variáveis são essenciais para o melhor aproveitamento da logística de transporte de biogás.

4.1. Identificação de Locais Permitidos

O ponto de partida para definição do traçado deve ser a identificação dos locais em que se pretende instalar a tubulação. Sempre tendo como desejável, não passar por terrenos particulares e de reserva ambiental. Porém, dependendo da disposição destes terrenos e seu posicionamento estratégico em relação ao traçado que traz maior viabilidade técnica, é possível a negociação e autorização pelos proprietários, bem como verificar junto à prefeitura e empresas a possibilidade de uma exceção para a passagem de tubulações em reservas ambientais, desde que sejam respeitadas as exigências dos órgãos responsáveis. Isto é, caso seja averiguada uma inviabilidade técnica ao sistema de transporte devido à impossibilidade de passagem padrão, soluções alternativas devem ser verificadas.

Assim, as vias de rodagem rurais compõem a maior parte dos locais permitidos para o traçado das tubulações, pois são caracterizadas como local público, permitindo o acesso a todas as propriedades rurais de forma pré-definida, prática e eficaz.

4.2. Vias de Rodagem

Dentro da área das vias de rodagem existe, uma faixa de opções para o posicionamento transversal do traçado, conforme Figura 3. Nela pode-se observar a presença de duas áreas de transição entre a via pública e as áreas particulares.

Figura 3 - Secção transversal de uma via de rodagem



Fonte: Acervo CIBiogás

Para facilitar a compreensão pode ser feita uma analogia com calçadas em meios urbanos para esta área de transição, ou seja, também são áreas públicas. Na Figura 4 é possível distinguir claramente, estas áreas em meios rurais.

Figura 4 - Foto da lateral de uma via de rodagem rural



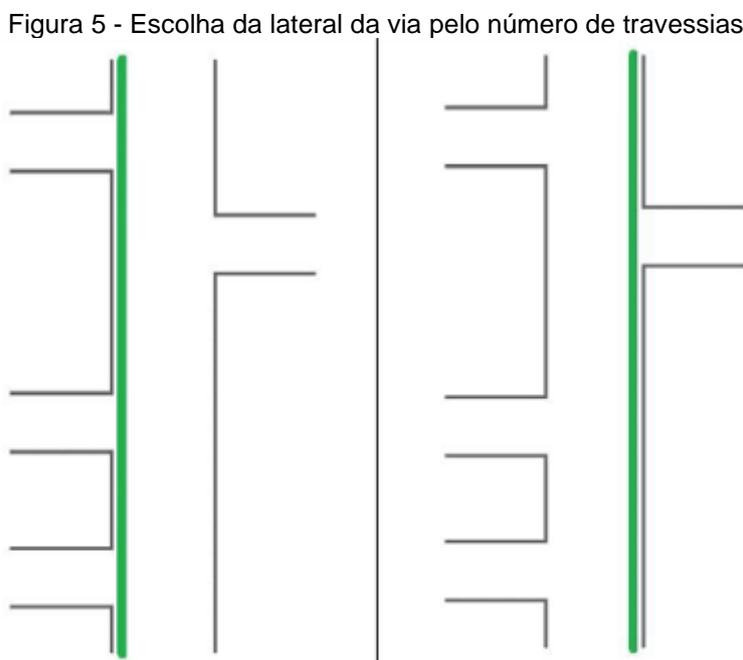
Fonte: Acervo CIBiogás

As áreas de transição, comumente conhecidas como laterais da via, são a melhor opção para o posicionamento das tubulações de biogás, devido à:

Transporte de biogás

- Facilidade no processo de escavação, tanto para instalação como para acessos futuros;
- Não necessidade de bloqueio do tráfego durante as atividades, favorecendo a mínima transferência de esforços resultantes do trânsito de veículos na via.

A escolha do lado para a passagem das tubulações depende da disposição da rede viária no que tange à quantia de travessias para cada lateral da via (Figura 5). Nesta, a opção da esquerda é menos vantajosa que a da direita, pois o traçado da rede (representado pela linha verde) passa por um número maior de travessias. Essa desvantagem se justifica pelos mesmos motivos apresentados no parágrafo anterior, pois a tubulação, nestes trechos de travessia, fica disposta no meio da via e, não, em sua lateral.



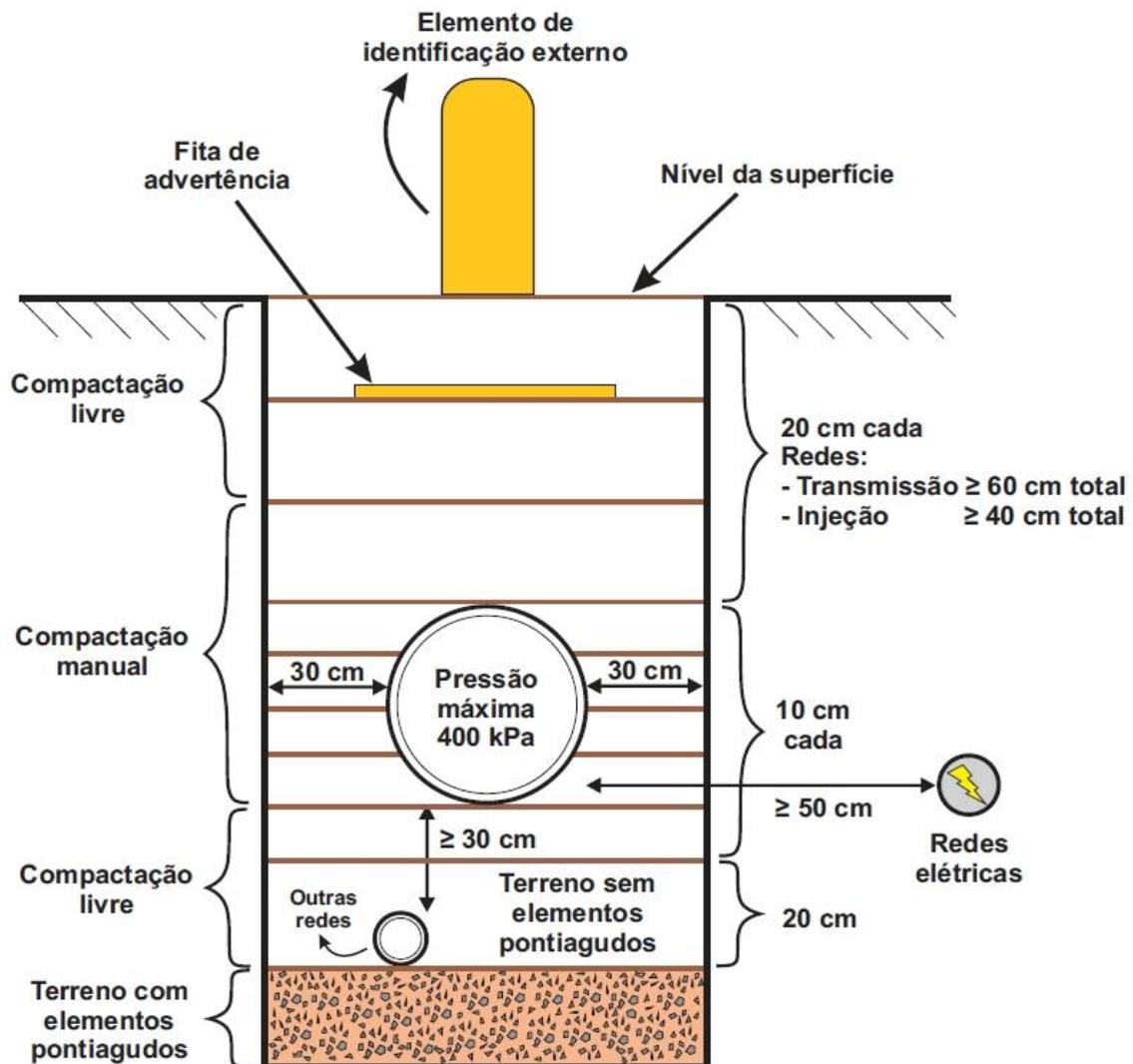
Fonte: Acervo CIBiogás

Contudo, é importante destacar que sempre haverá travessias, independentemente do lado escolhido, e é preciso um planejamento de execução da rede mais cuidadoso nestes locais, a fim de se evitar o bloqueio da via por longos períodos e, principalmente, em horários de pico de tráfego. Quanto à dimensão e posicionamento da rede, nestes trechos, nada deve ser alterado.

4.3. Interferência com Redes Existentes

Além da rede viária, outras redes também devem ser verificadas para a definição do traçado a fim de se evitar interferências no período de instalação e, conforme previsto na normativa NBR 14461 e exposto na Figura 6, distâncias devem ser respeitadas entre as tubulações de gás combustível de outras. Sendo assim é essencial a identificação de possíveis interferências onde será instalada a rede de biogás. Podendo ser tubulações de água, esgoto, redes elétricas e, inclusive, a rede hidrográfica local.

Figura 6 - Dimensões para reaterro e afastamentos conforme NBR 14461



Fonte: Acervo CIBiogás

Caso não seja possível o desvio de canais d'água (rios, sangas, córregos etc.) a tubulação deve ser encamisada com tubo metálico ou outro material que

Transporte de biogás

garanta proteção extra, em caso de impactos, visto a possibilidade deste trecho do tubo ficar exposto conforme indica a NBR 12712.

4.4. Condições do Terreno

Definido o caminho que a tubulação irá percorrer, o próximo passo é identificar as condições do terreno no qual a tubulação será assentada. Este não pode apresentar riscos físicos à tubulação, como a presença de elementos pontiagudos que possam causar a perfuração da tubulação, ou banhados e terrenos que possam sofrer erosão possibilitando a curvatura de seções do tubo ao longo do tempo. Dessa forma, as recomendações expostas pela NBR 14461 devem ser seguidas para garantir a longevidade de operação das tubulações.

4.5. Lógica de Envio

Com o traçado definido, o desafio da logística de transporte de biogás passa a ser o de entregar o biogás gerado até o local de consumo da forma mais eficaz e eficiente possível.

Para isso é preciso compreender que o biogás é um fluido gasoso e seu fluxo ocorre por diferencial de pressão, ou seja, ocorre do ponto de maior para o de menor pressão. Esta pressão é diretamente responsável pela energia do fluido, que se dissipa ao longo do percurso, gerando a famosa “perda de carga”. Desta forma, para compensar esta perda de carga entre o ponto inicial e final, há a necessidade de inserção de energia ao fluido. E como se faz?

Para distâncias pequenas, onde a geração e o consumo são muito próximos, geralmente não são necessários equipamentos para esta inserção de energia, pois os equipamentos que consomem o biogás já são capazes criar a diferença de pressão para promover o fluxo. Isso se dá pela pressão negativa gerada na tubulação devido à sucção de, por exemplo, grupos motogeradores (para energia elétrica) e compressores.

Já para maiores distâncias entre geração e consumo, pode ser necessária a instalação de equipamentos específicos para elevar sua pressão.

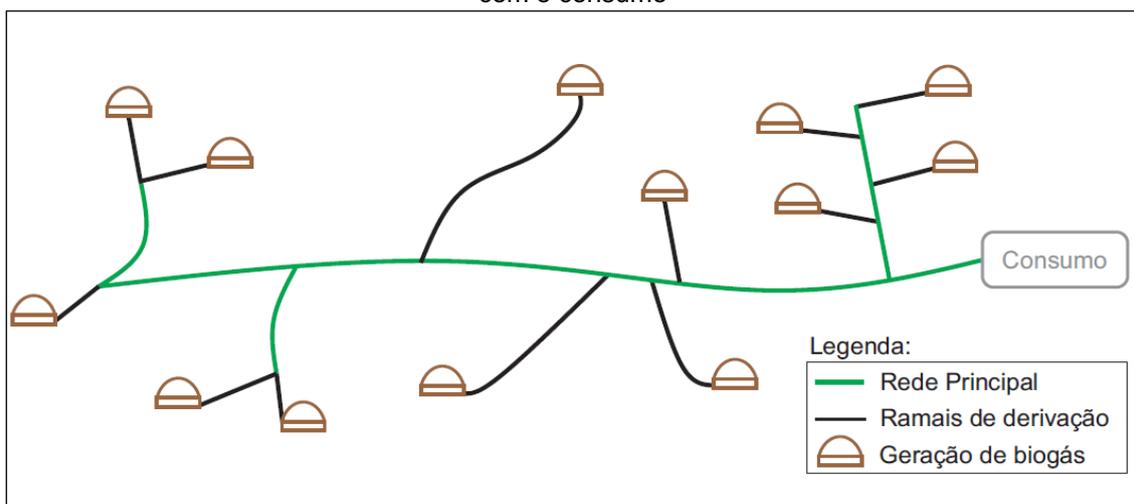
Transporte de biogás

Tais equipamentos podem ser compressores radiais (sopradores), compressores alternativos, entre outros tipos de compressores.

A seleção e dimensionamento de compressores está sempre atrelada ao uso ou destinação do biogás. Ou seja, a pressão que o equipamento deve “fornecer” à jusante caso o uso for em um motorgerador, deve ser suficiente para suprir a perda de carga de toda a linha e chegar ao equipamento com a pressão mínima para operá-lo.

Em situações nas quais há mais de um ponto de geração conectado na mesma tubulação que realiza o envio para um ponto consumidor, a logística se altera (Figura 7).

Figura 7 – Exemplo de um arranjo de tubulações interligando as unidades geradoras de biogás com o consumo

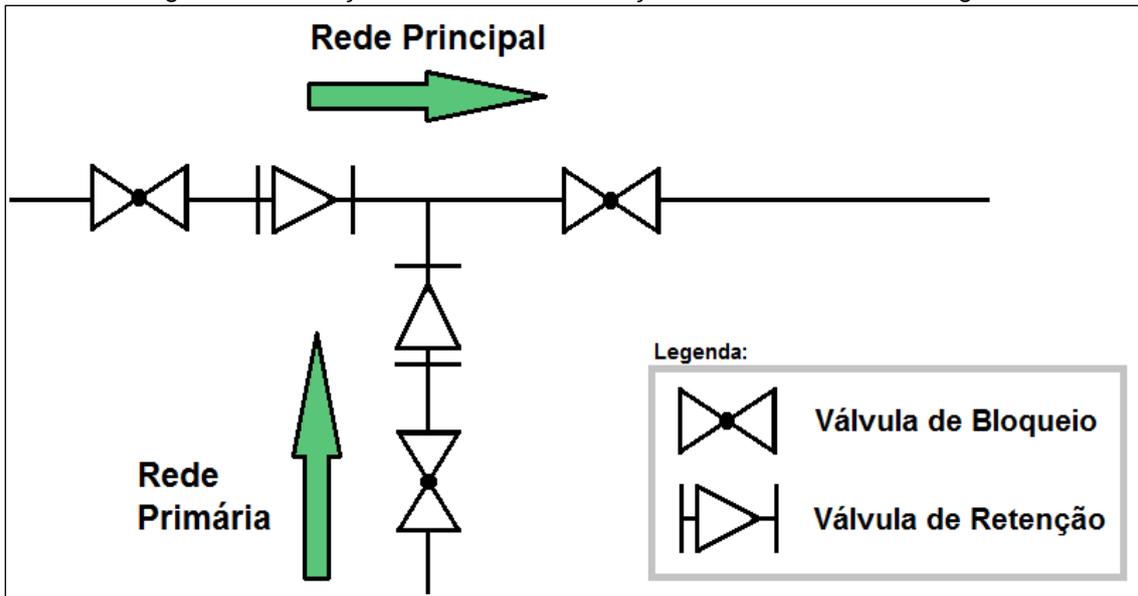


Fonte: Acervo CIBiogás

Nestes casos, ocorre a intermitência de envio de biogás pelas unidades produtoras, caracterizando ramais inoperantes, ou seja, que não estarão enviando biogás para a rede principal enquanto outros estarão enviando biogás. Caso não existam bloqueios instalados nos pontos de interligação entre ramais e tubulação principal, os ramais inoperantes tenderão a receber o biogás inserido na rede coletora. Isso porque a pressão nos ramais inoperantes tende a ser menor que nos ramais operantes. Por esta razão se faz necessária a instalação de válvulas de retenção nestes pontos, impedindo, inclusive, o fluxo contrário ao desejado. A Figura 8 expressa o conjunto de válvulas instaladas para assegurar o direcionamento do gás em apenas um sentido.

Transporte de biogás

Figura 8 - Instalação de válvulas de retenção na rede coletora de biogás



Fonte: Acervo CIBiogás

Um exemplo de instalação destas válvulas é apresentado na Figura 9.

Figura 9 - Instalação conjunta de válvulas de bloqueio e retenção



Fonte: Acervo CIBiogás

Transporte de biogás

As válvulas de bloqueio e de retenção, são utilizadas justamente para que seja possível intervenções em caso de manutenções na rede. É importante considerar a acomodação de tais instalações em caixa de acesso para operação e manutenção, como mostra a Figura 10.

Figura 10 - Conjunto de válvulas instaladas em uma caixa de passagem (imagem acima); e Caixa de passagem sinalizada e finalizada (imagem abaixo)



Fonte: Acervo CIBiogás

Neste arranjo também se faz necessário manter a rede pressurizada em pressões que as tubulações suportem, geralmente entre 200 a 700 kPa como estabelecido na Norma NBR 14462. Além disso, pressões de operação maiores também permitem tubulações com diâmetros menores, e por consequência custos menores.

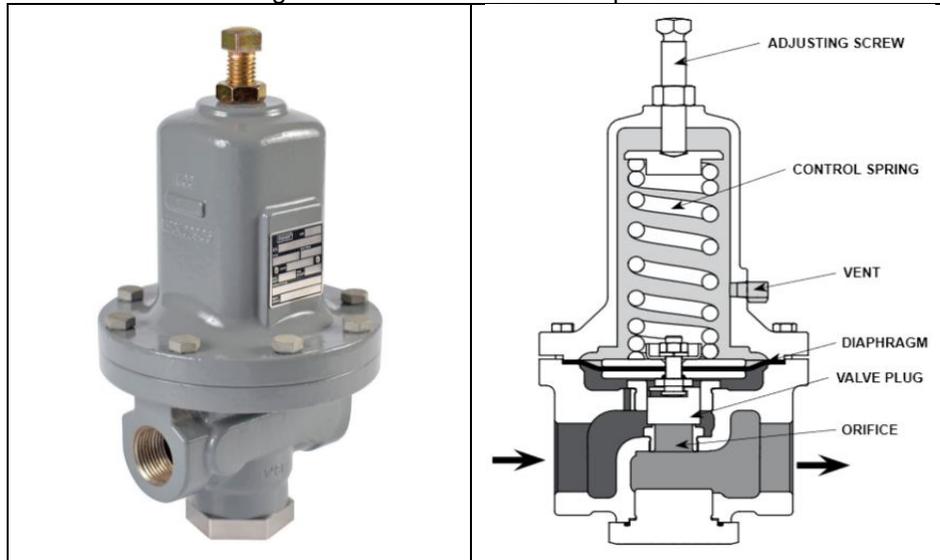
Mas como manter a pressão em toda a rede?

O equipamento que permite manter a pressão em toda a rede chama-se “válvula de contra pressão” ou “*Back Pressure Control Valve*” (Figura 11).

Transporte de biogás

Esta válvula deve ser instalada ao final da rede, de modo que à montante dela a pressão é mantida e conforme esta pressão for aumentando o fluxo de gás é liberando para que sempre seja mantida a pressão à montante, ou seja, em toda a rede.

Figura 11 - Válvulas de Contrapressão



Fonte: Emerson Electric Co. (2017)

5. DIMENSIONAMENTO DAS TUBULAÇÕES DE BIOGÁS

Até agora, discutimos sobre os principais conceitos e premissas que devem ser considerados em projetos de transporte de biogás via tubulação. A partir desta seção serão abordados dimensionamento e execução das redes de biogás.

O dimensionamento é a etapa mais complexa de um projeto de transporte. Nesta etapa são definidas, por exemplo, a capacidade do compressor e o diâmetro das tubulações.

CrITÉrios de desempenho como velocidade de escoamento e constância na entrega de biogás para consumo, devem ser adotados para que os resultados se mostrem coerentes no dimensionamento de tubulações de biogás. Além disso, o biogás deve atender certas condições para transporte a fim de preservar a integridade da tubulação. Tais condições são: ausência de sulfeto de hidrogênio (H_2S) e umidade controlada, ao ponto de não haver condensação durante o transporte (LOPEZ, 2019).

Transporte de biogás

Ainda segundo Lopez (2019), quando atendidas as condições adequadas para desempenho, inicia-se o dimensionamento da tubulação, dando importância a critérios como diâmetro e comprimento da tubulação, vazão, velocidade, pressão do biogás, temperatura e umidade, conforme apresentado a seguir.

5.1. Equações para o Dimensionamento de Tubulação

Para dimensionamento de uma tubulação é necessário a utilização de equações de mecânica dos fluidos como a Equação 01, que determina a velocidade de um fluido compressível (fluido com peso específico variável) (LOPEZ, 2019). O biogás se enquadra nesta categoria de fluido.

$$v = \frac{Q \cdot P_n}{A \cdot P} \quad (01)$$

Onde,

v = Velocidade do fluido na seção considerada [m/s];

Q = Vazão do fluido na seção considerada [m³/s];

P_n = Pressão manométrica na CNTP [Pa];

P = Pressão manométrica do fluido na seção considerada [Pa];

A = Área da seção transversal à direção do escoamento do fluido considerada [m²].

Já a Equação 02 é proveniente da equação de Bernoulli, que visa indicar a perda de carga em um trecho da tubulação, desprezando a diferença de altura entre estes (LOPEZ, 2019).

$$P_1^2 - P_2^2 = \frac{f \cdot L \cdot v^2}{D} \cdot \rho \cdot \frac{T}{T_n} \cdot P_n \cdot z \quad (02)$$

Onde,

P_1 e P_2 = Pressão manométrica do biogás nos pontos 1 e 2 [Pa];

f = Fator de atrito, definido pela equação de Colebrook-White [adimensional];

L = Comprimento da tubulação do trecho considerado [m];

v = Velocidade do fluido calculado pela equação 01 [m/s];

D = Diâmetro interno da tubulação do trecho considerado [m];

ρ = Densidade do fluido, biogás [kg/m³];

T = Temperatura do fluido no trecho considerado [°C];

T_n = Temperatura na CNTP [0 °C];

P_n = Pressão na CNTP [101,325 kPa];

z = Fator de compressibilidade do fluido [adimensional].

Transporte de biogás

A variável fator de atrito (f), necessária para resolução da Equação 02, é calculada a partir da Equação 03 de Colebrook-White*, que por sua vez utiliza o número de Reynolds (R_e), determinado pela Equação 04 (LOPEZ, 2019).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3,72 \cdot D} + \frac{2,51}{R_e \cdot \sqrt{f}} \right) \quad (03)$$

Onde,

f = Fator de atrito [adimensional];

ε = Rugosidade equivalente da tubulação, PEAD PE 100 [1×10^{-5} m];

D = Diâmetro interno da tubulação do trecho considerado [m];

R_e = Número de Reynolds [adimensional].

*OBS: Para o cálculo deste fator é utilizado um método numérico (Newton-Raphson), mas pode ser calculado via Excel através de um código de programação (Visual Basic).

$$R_e = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad (04)$$

Onde,

R_e = Número de Reynolds [adimensional];

v = Velocidade do fluido calculado pela equação 01 [m/s];

D = Diâmetro interno da tubulação do trecho considerado [m];

ν = Viscosidade cinemática [m^2/s].

Dica técnica:

Para simplificar os cálculos e torná-los mais fáceis de resolver, Lopez (2019) recomenda transcrever as equações para uma planilha eletrônica de cálculo (como por exemplo o Excel), com o intuito de conferir maior agilidade e confiabilidade para o dimensionamento das tubulações. Os parâmetros fixos utilizados são expressos no Quadro 2.

Transporte de biogás

Quadro 2 - Parâmetros Fixos

Item	Descrição	Símbolo	Valor	Unidade
1	Rugosidade	ε	1,54E-06 **	m
2	Viscosidade cinemática	ν	1,31E-05 *	m ² /s
3	Temperatura (CNTP)	Tn	273,15	K
4	Pressão (CNTP)	Pn	1,01325E+05	Pa
5	Fator de compressibilidade	z	0,994 ***	-
6	MPO gasômetros	MPOg	300	Pa
7	MPO tubulação PE100 SDR11	MPOt	7,00E+05	Pa

Fonte: * ETB (2018), ** PPI (2018), e*** WEIDENAAR (2014) *apud* Lopez (2019).

Além dos parâmetros fixos, os cálculos contemplam uma série de parâmetros variáveis, os quais são apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 - Parâmetros variáveis

Item	Descrição	Símbolo	Unidade
1	Vazão de biogás	Q	m ³ /h
2	Densidade do biogás	ρ	kg/m ³
3	Diâmetro da tubulação	D	mm
4	Comprimento da rede	L	m
5	Altura manométrica	Hc	Pa
6	Pressão de entrega	P	Pa

Fonte: Lopez (2019).

Agora que temos as equações planilhadas e constantes definidas, é preciso definir os valores dos parâmetros variáveis do Quadro 3, que nada mais são que os parâmetros de projeto.

Considerações sobre o dimensionamento

Com as equações em uma planilha eletrônica, e sabendo os critérios e parâmetros, tanto fixos quanto variáveis, é possível simular diâmetros e avaliar

Transporte de biogás

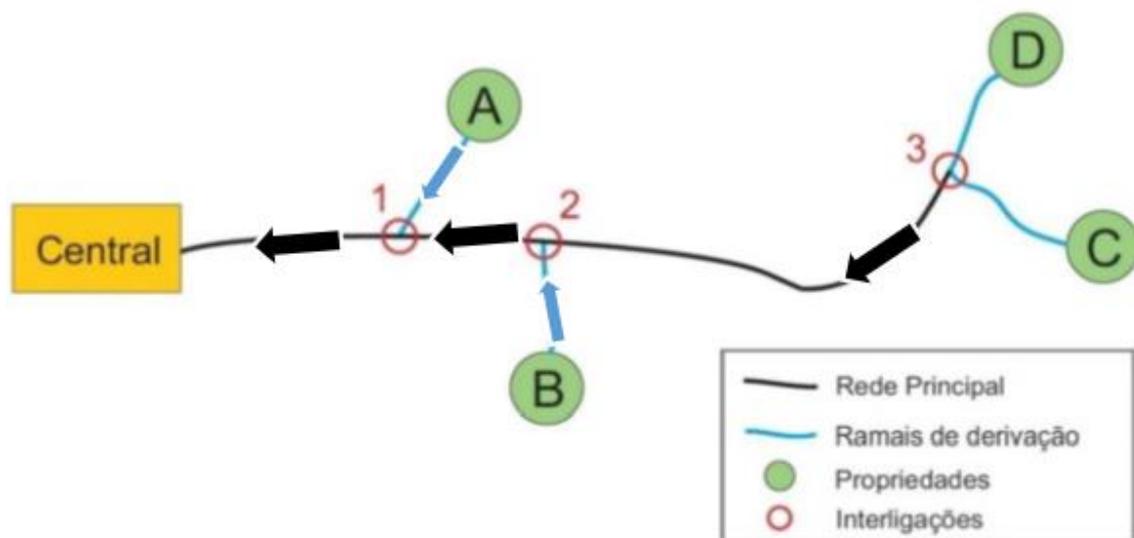
qual seu impacto na pressão no interior da tubulação, bem como na velocidade do biogás.

Quanto menor o diâmetro, maior a pressão e a velocidade do gás na tubulação. Porém existem limites, um gás com uma velocidade acima de 20 m/s causa desgaste nas paredes do tubo devido aos micros impactos de seus compostos, e a pressão deve ser observada conforme o material da tubulação utilizado para não ultrapassar a Máxima Pressão de Operação (MPO) informada pelo fabricante.

No caso específico de gases combustíveis transportados em tubulações de PEAD, o valor de pressão deve estar em conformidade às exigências da NBR 14463, cuja pressão não pode ultrapassar 7,0 bar para classificação SDR11 e 4,0 bar para SDR17.

Com a vazão determinada em cada trecho, é preciso conhecer a pressão em uma das extremidades da rede de tubulações, este pode ser o valor da válvula de contrapressão (*back pressure control valve*) instalada na central, no caso de uma aplicação de rede coletora.

Figura 12 – Exemplo de uma rede de tubulações conectando unidades produtoras de biogás



Fonte: Acervo CIBiogás

Exemplificando a Figura 12:

A pressão no final da rede de tubulações (ou final do trecho 1) foi definida como sendo igual a 2,0 bar ou 200 kPa. Com isso é calculada a pressão no ponto inicial do trecho 1, cujo qual é o mesmo ponto do final do trecho 2, sendo

Transporte de biogás

conhecido então a pressão do final do trecho 2, possibilitando calcular a pressão inicial do trecho 2, e nesta sequência calcula-se a pressão em todas as interligações da rede principal.

Para o dimensionamento dos ramais de derivação, é usado o mesmo conceito, porém neste ponto são conhecidas as pressões tanto inicial (pressão do armazenamento de biogás) quanto final (interseção entre o trecho principal e o ramal de derivação), desta forma a incógnita a se determinar é a altura manométrica que o compressor deve fornecer para que o fluido seja injetado na rede principal. Para isso é utilizada a Equação de Bernoulli (Equação 2) apenas para verificação da capacidade do compressor e velocidade máxima permitida nas tubulações.

Com a lógica de dimensionamento apresentada, agora é necessária uma interação para definir o diâmetro de melhor custo-benefício. Esta interação é feita alterando o diâmetro da tubulação e conferindo as condições mínimas de operação. Há de se levar em conta que quanto maior o diâmetro da tubulação, menor será a velocidade de escoamento do fluido e a pressão inicial do trecho e, conseqüentemente, o custo de implantação da rede será maior (LOPEZ, 2019).

Já quanto menor o diâmetro da tubulação, maior será a velocidade do fluido e a pressão inicial do trecho, ou seja, deve-se encontrar o ponto ótimo entre estas duas variações, considerando os limites pré-estabelecidos para velocidade e MPO (Máxima Pressão de Operação) da tubulação (LOPEZ, 2019).

6. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS

O transporte de biogás geralmente ocorre em pressões entre 5 mbar e 7 bar, dependendo do projeto. E para tais condições o material mais adequado é o polietileno de alta densidade (PEAD) pois ele é inerte aos compostos do biogás, o que não ocorre com materiais metálicos quando expostos à componentes como o H₂S.

O PEAD é um polímero cujas características são: elevada rigidez, resistência à fluência, à abrasão, ao impacto e ao tenso fissuramento sob tensão ambiental e química. Além disso, possui elevada resistência química contra corrosão, decomposição e crescimento de comunidades biológicas. Além disso,

Transporte de biogás

são flexíveis, permitindo, em tubulações, a realização de curvas trinta vezes superiores ao seu diâmetro com alta resistência à fadiga e, de acordo com normas, são fabricados para possuir vida útil superior a 50 anos (MARCONDES, 2016).

No Brasil, não há ainda normas relativas a tubulações para projetos de biogás, desta forma, como boa prática, sugere-se a norma brasileira- NBR 14462, a qual permite a utilização de tubulações em PEAD para transporte de gases combustíveis apenas nas variações mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 - Máxima pressão de operação (MPO) para gás natural

PE	MPO	
	SDR 11	SDR 17,6
80	400 kPa	200 kPa
100	700 kPa	400 kPa

Fonte: NBR 14462 (ABNT, 2000).

SDR – Standard Dimension Ratio: razão entre o diâmetro externo e a espessura da tubulação

MPO – Máxima Pressão de Operação

PE – Classificação do material PEAD

Transporte de biogás

A vantagem das tubulações de PEAD, quanto à sua flexibilidade, é que sua comercialização é feita em forma de rolos de até 100 m de comprimento para diâmetros externos menores ou iguais a 125 mm, conferindo uma facilidade no manuseio para instalações a campo. Outra vantagem é o tipo de conexões que podem ser feitas, tanto pelo método de termo fusão quanto eletro fusão. Conferindo também redução no tempo e baixa complexidade de instalação.

O tipo de conexão termos soldáveis é normatizada pela NBR 14463, em âmbito geral. Para conexões de termo fusão, é utilizada a NBR 14464, e para conexões de eletro fusão é utilizada a NBR 14465. É importante frisar que para redes de gás onde os diâmetros são inferiores à 63 mm, as conexões de eletro fusão são comumente aplicadas, haja visto sua facilidade e custos. Outra dúvida que sempre surge relaciona-se a: qual a cor da tubulação que devo usar? Pois ela é fornecida nas cores amarela, laranja e preta, sendo a preta a mais barata. A cor da tubulação deve ser ou amarela ou laranja, conforme estabelecido nas NBR.

Vale destacar que este guia foi elaborado para dar suporte aos conhecimentos técnicos para o transporte de biogás via tubulações. Informações detalhadas sobre os materiais como o PEAD, conexões e tubulações, devem ser consultadas as normas técnicas citadas e outras que possam complementar.

7. FORMAS DE EXECUÇÃO

Para a instalação das tubulações de PEAD deve ser seguida a normativa NBR 12712, que define os limites de aplicação desde a transmissão, distribuição até o consumidor final. Ou seja, excluindo a geração/suprimento e o tratamento do biogás. Contudo, sugere-se que a mesma norma seja aplicada nas condições de geração e tratamento de biogás.

Outro ponto importante é a classe de locação que define valores a serem utilizados para propósitos de projeto, construção e operação do sistema de transporte de gases combustíveis. Redes de biogás em meios rurais podem ser enquadrados na classe de locação 1, cujos valores estão representados na Tabela 2.

Transporte de biogás

Tabela 2 - Variáveis para Classe de Locação 1 e biogás

Variável	Classe de locação 1
Fator de projeto (F)	0,72
Fator de eficiência da junta (E)	0,8
Fator de temperatura (T) até 120 °C	1
Cobertura mínima (mm)	450 - 750
Espaçamento entre válvulas (km)	32
Pressão de ensaio (Pe)	1,1 x MPO

Fonte: NBR 12712 (2002).

Critérios para manuseio, transporte, armazenagem e a própria instalação em obra de tubos e conexões de polietileno PE 80 e PE 100, são abordados na NBR 14461. A qual, aborda o método de vala a céu aberto para instalação de tubulações de gases combustíveis. A Figura 13 mostra a execução de uma tubulação em meio rural executado na cidade de Entre Rios do Oeste/Paraná.

Atenção:

A ABNT (2000), traz algumas recomendações que exigem atenção especial, sendo elas:

“Cuidados devem ser tomados para desenrolar bobinas de PEAD e evitar danos, atividade que deve ser realizada por pelo menos duas pessoas, apenas para a seção necessária de material e imediatamente antes de sua utilização efetiva. Recomenda-se o uso de dispositivo apropriado (como uma desbobinadeira) projetado para conter a expansão dos tubos, já para diâmetros externos superiores a 63 mm seu uso é obrigatório.”



Transporte de biogás

Figura 13 - Instalação de tubulações para biogás na cidade de Entre Rios do Oeste/Paraná.



Fonte: Acervo CIBiogás

Os mesmos cuidados devem ser tomados para as conexões de polietileno, que devem ser entregues em sacos plásticos individuais para proteção contra impurezas e danos, e só devem ser retiradas no momento da instalação.

Para a escavação da vala, as recomendações são quanto a sinalização, demarcação, quebra de pavimento, escavação, avaliação e preparo do fundo da vala. Especificamente, para quebra de pavimentação deve-se sempre manter uma faixa para passagem de pedestres.

A demarcação deve ser feita por topografia e conter os pontos das conexões, válvulas e cruzamentos com indicação de nível em relação a outros elementos enterrados. O fundo da vala deve ser livre de elementos pontiagudos como pedras e uniforme evitando-se calos e ressaltos, para tal geralmente utiliza-se areia ou material equivalente, além disso sua temperatura deve estar entre $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ para evitar retrações da tubulação após o recobrimento.

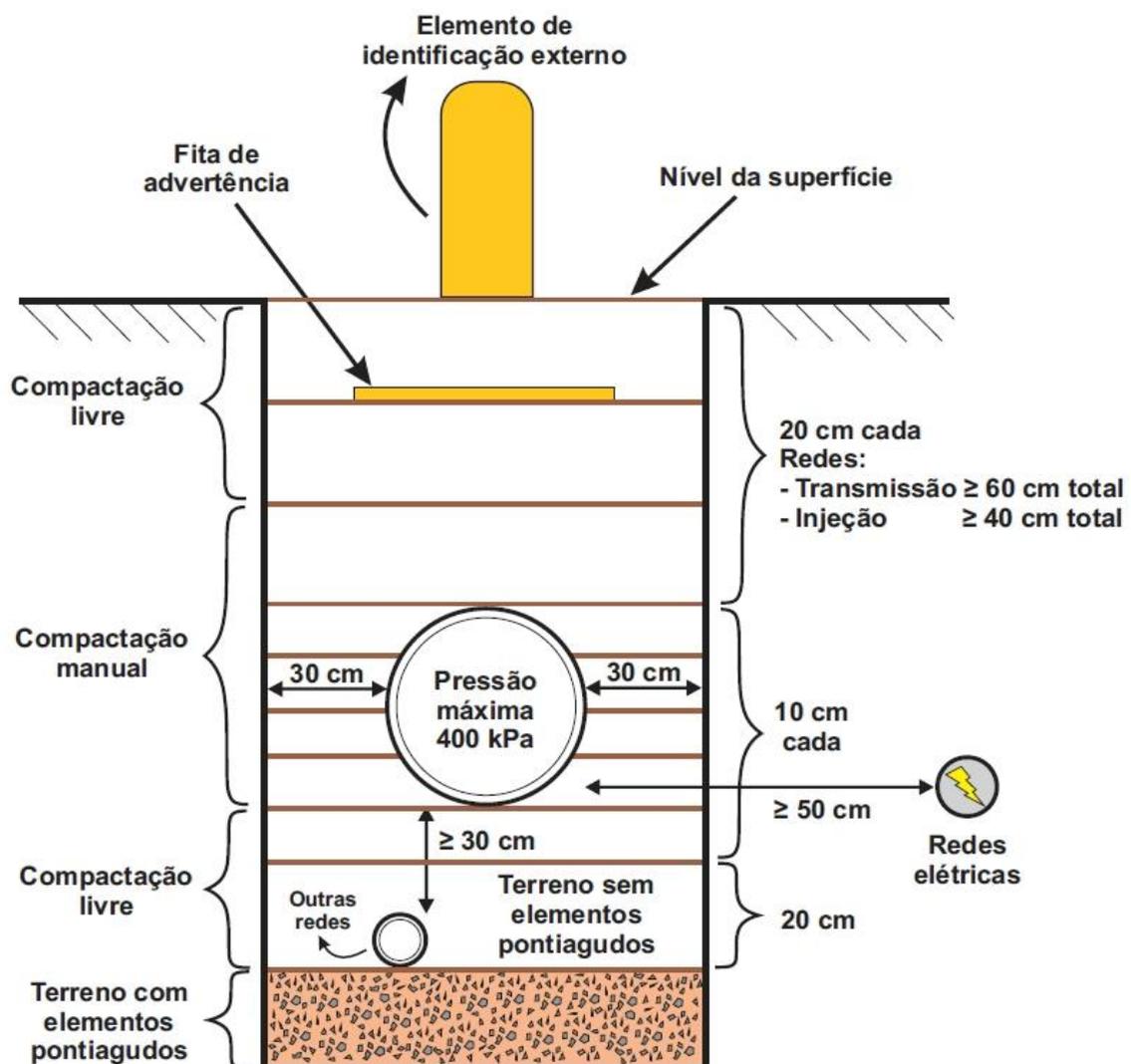
Permite-se assim o assentamento da tubulação na vala e a execução das juntas termo soldáveis, concluindo cada trecho com testes de estanqueidade para liberação do reaterro da vala que deve incluir além da compactação de material a identificação da rede.

Transporte de biogás

Curvas podem ser realizadas por meio da própria tubulação devido a sua flexibilidade, porém desde que possuam raio de curvatura mínimo de 15 vezes o diâmetro externo do tubo e que a deformação não seja causada por aquecimento da peça.

Outras exigências da normativa estão representadas na Figura 14, baseada na NBR 14461, aplicadas a tubulações com máxima pressão de operação de 400 kPa. Para outras pressões algumas dimensões podem ser diferentes.

Figura 14 - Dimensões para reaterro e afastamentos conforme NBR 14461



Fonte: ABNT NBR 14461, modificado (2017).

Para concluir

Foram pontuadas até aqui algumas características específicas relacionadas à forma de execução de uma rede de biogás utilizando o PEAD, e como realizar o dimensionamento. Para informações mais específicas sugere-se consultar às normas NBR 12712 e NBR 14461.

É importante estar atento para que projetos onde envolvam as companhias de gás estaduais, ou seja, projetos que envolvam vias públicas, o dimensionamento, assim como todo o projeto, tenha a análise e aval da companhia.

E por fim, conforme apresentado, as referências e normativas que regem o transporte de biogás ainda são muito escassas no Brasil, contando sempre com a boa prática adotada das normas de gás natural. Contudo o dimensionamento de redes de biogás não segue as referências do gás natural, portanto, neste guia foi apresentada uma forma de dimensionamento baseada em experiências de projetos já executados que são pioneiros no país.

AGRADECIMENTOS

O presente guia é resultado do esforço empreendido em parceria com a equipe técnica do CIBiogás e a Empresa 3DI Engenharia, os quais contribuíram ativamente na construção e validação técnica do conteúdo ofertado ao setor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12712, Projeto de Sistemas de Transmissão e Distribuição de Gás Combustível**. ABNT, Rio de Janeiro: 2002.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14461, Sistemas para distribuição de gás combustível para redes enterradas – Tubos e conexões de polietileno PE 80 e PE 100 – Instalação em obra por método destrutivo (vala a céu aberto)**. ABNT, Rio de Janeiro: 2000

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14462, Sistemas para distribuição de gás combustível para redes enterradas - Tubos de polietileno PE 80 e PE 100 – Requisitos**. ABNT, Rio de Janeiro: 2000.

EBA – European Biogas Association, **Biomethane intransport**. Buxelas, Bélgica, abril de 2016. 24 p.

EMERSON, **Consider It Solved Válvula de contrapressão**. São Paulo, 2017. Disponível em: www.emerson.com Acesso em: mar. 2017.

ETB, Engineering ToolBox, (2018). **Methane - Dynamic and Kinematic Viscosity**. [online] Disponível em: https://www.engineeringtoolbox.com/methane-dynamic-kinematic-viscosity-temperature-pressure-d_2068.html [Acesso em 26/11/20].

HUGUEN, P., LE SAUX, G., 'Perspectives for a European standard on biomethane: a Biogasmax proposal'. 2010.

KRAUSE, P. B., **Estudo de alternativas de transporte de CO2 em dutos**, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, dissertação de mestrado, setembro de 2010, pag. 23.

LOPEZ, T.F.M. **Dimensionamento de rede de tubulações para transporte de biogás**. [Monografia]. UTFPR: Medianeira, 2019. 18p.

MARCONDES, R. A. C. **Estudo do uso das tubulações de PEAD em sistemas de distribuição de água no Brasil**. Escola politécnica USP, São Paulo, 2016.

PPI, Plastics Pipe Institute, (2018). **Handbook of PE Pipe**. [online] Disponível em: <https://plasticpipe.org/publications/pe-handbook.html> [Acesso em 26/11/20].

WELLINGER, A., "Standardization of biomethane", Buxelas, Bélgica" – Green Gas Grids, Abril de 2014. 22 p.

WEIDENAAR, Taede. **Designing the biomethane supply chain through automated synthesis**. Enschede, Netherlands: Ipskamp Drukkers, 2014.



MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES



Biogás
BRASIL