

PRÊMIO GLP DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA

- EDIÇÃO 2014 -

# Metodologia de cálculo

de Emissões de Poluentes

na Distribuição de Gás LP



# PRÊMIO GLP DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA

– EDIÇÃO 2014 –

## PARTICIPANTES:

**SINDIGAS - Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Gás Liquefeito de Petróleo**

**AirServices Estudos e Avaliações Ambientais**

**CATEGORIA: Meio Ambiente**

## TÍTULO:

**METODOLOGIA DE CÁLCULO DE EMISSÕES DE POLUENTES NA DISTRIBUIÇÃO DE GÁS LP**

## AUTORES:

- (1) Adriano Horta Loureiro - SINDIGÁS
- (2) Silvio Rogerio Monteiro - LIQUIGÁS
- (3) Valdemir Pereira Ramos - AIRSERVICES

(1) Engenheiro de Telecomunicações e Eletrônica (UGF), Pós Graduação em Gestão Ambiental (UGF), Avaliador de Laboratório da NBR 17025 (INMETRO), Auditor da Qualidade (BATALAS – MCG Qualidade), Gerente Técnico (SINDIGÁS), Coordenador da Comissão de GÁS LP (IBP), Presidente do Conselho Diretor de Assuntos de Certificação - CDAC (BRTÜV), Presidente do Comitê de Imparcialidade - CI (TÜV-SUD), Membro de Comitês de Certificação (ABNT, BRTÜV, CERTA, EXATA e TÜV-SUD), Membro do Grupo Técnico do CB09 (ABNT), com 15 anos de experiência no mercado.

(2) Engenheiro mecânico formado pela UNESP - Universidade Estadual Paulista, com curso de especialização em Gestão e Tecnologias Ambientais pelo PECE/USP e MBA em Gestão da Sustentabilidade pela FGV. Atuou durante 12 anos na área de meio ambiente da Liquegás Distribuidora S.A. desenvolvendo atividades relacionadas ao gerenciamento de áreas contaminadas e de resíduos sólidos, licenciamento ambiental, gestão de efluentes, recursos hídricos e de emissão atmosféricas e relacionamento com órgãos ambientais. Coordenou o trabalho "Metodologia de Cálculo para Estimar as Emissões de Poluentes para a Atmosfera decorrentes das Atividades do Setor de Distribuição de GLP" desenvolvido no âmbito do SINDIGÁS. Atualmente exerce a função de Gerente de Projetos Industriais na Liquegás.

(3) Mestrando em Engenharia Química, Instituto Mauá de Tecnologia / Pós Graduado em Gestão Ambiental, PECE – POLI USP / Pós Graduado em Administração Industrial, Getúlio Vargas / Bacharel em Engenharia Química, Faculdade de Engenharia Industrial - FEI. Mais de vinte anos de experiência profissional, desenvolvida na área industrial, gerenciando produção, processos, projetos, qualidade, meio ambiente, segurança industrial, PCP e manutenção. Sua experiência foi desenvolvida na indústria química, agroquímica e como suporte em consultoria ambiental. Atua como consultor na coordenação de projetos ambientais desde 1996, supervisionando e coordenando avaliações e estudos ambientais relativos às emissões de poluentes na atmosfera, com ênfase em estudos de viabilidade técnica de sistemas de controle, estudos de dispersão atmosférica de poluentes, sistemas de controle e qualidade do ar. Implementou Projeto de Qualidade Total. Coordenou e participou na elaboração de Estudos de Impacto Ambiental (EIA RIMA) para instalação de diversos empreendimentos de variados setores e atividades.

## SINOPSE

O trabalho foi desenvolvido pela AirServices em parceria com o Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Gás Liquefeito de Petróleo (SINDIGÁS), com a finalidade de pesquisar e propor uma metodologia de cálculo, que permita estimar a emissão de poluentes para atmosfera decorrentes das atividades das bases de armazenamento, envasamento e distribuição de Gás LP.

O compromisso com a melhoria do meio ambiente aliado às crescentes demandas dos órgãos ambientais possibilitou a criação de um Grupo de Trabalho no **SINDIGÁS - Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Gás Liquefeito de Petróleo** o qual verificou a necessidade de identificar a contribuição de cada atividade/processo dentro das bases de armazenamento, envasamento e distribuição de Gás LP, no impacto à qualidade do ar.

O presente estudo foi motivado **pela ausência de metodologias de cálculo de emissões atmosféricas específicas para o setor. Atualmente**, as referências disponíveis na literatura necessitam ser adaptadas de acordo com as características do Gás LP, pois geram resultados conservadores e não refletem a realidade local.

Sendo assim, a **AIRSERVICES** foi contratada pelo **SINDIGÁS** com a finalidade de pesquisar e propor essa metodologia.

## BREVE HISTÓRICO DAS EMPRESAS ENVOLVIDAS

### Sindigás

O Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Gás Liquefeito de Petróleo – Sindigás, foi criado em 1974 com a finalidade de estudar, coordenar, proteger e representar a categoria diante da sociedade brasileira e nas diversas esferas dos governos federal, estadual e municipal. Além disso, o Sindigás busca uma maior colaboração junto aos poderes públicos, associações e entidades sindicais, de todos os níveis, no sentido da solidariedade social e de sua subordinação aos interesses nacionais.

Do ano de sua criação para cá, a entidade promoveu uma série de ações com o objetivo de modernizar o mercado e oferecer ao consumidor brasileiro produtos e serviços com mais segurança e qualidade.

Hoje, o Sindigás conta com seis empresas associadas (Amazongás, Fogás, Nacional Gás, Liquigás, Supergasbras e Ultragaz), que atuam em todas as regiões do país, em 100% dos municípios. Juntas, elas representam quase 90% do mercado total de Gás LP brasileiro. São empresas que oferecem ao consumidor uma larga tradição de confiabilidade de suas marcas e que têm a responsabilidade de assegurar, há mais de 75 anos, o abastecimento da população brasileira em todos os pontos do território nacional.

### AirServices

A AirServices Estudos e Avaliações Ambientais é uma empresa de consultoria ambiental que desenvolve projetos voltados para monitoramento de efluentes gasosos, emissões fugitivas, estudo de dispersão atmosférica, qualidade do ar, diagnóstico de sistemas de controle, avaliação de passivos ambientais, licenciamento, EIA/RIMA, entre outros.

Com diversos trabalhos realizados junto aos setores de energia, gás e óleo, petroquímico, químico, papel e celulose, sucroalcooleiro, farmacêutico, alimentos, automotivo, siderúrgico, entre outras modalidades industriais.

Seus profissionais possuem sólida experiência em projetos de estudos de aspectos e impactos ambientais, destacando monitoramento de efluentes gasosos, teste de queima para avaliação da "performance" de equipamentos para incineração de resíduos perigosos ("Trial Burn Test"), estudo de dispersão atmosférica de poluentes, monitoramento da qualidade do ar, diagnóstico e projetos de sistemas de captação, exaustão e controle de efluentes gasosos, estudos de tratabilidade de efluentes, elaboração de projeto de processo de tratamento de efluentes líquidos e resíduos sólidos, licenciamento ambiental e elaboração de relatórios de impacto ambiental (EIA e RIMA). Utilizam equipamentos próprios para o fornecimento dos serviços de monitoramento de poluentes atmosféricos, tais como: coletores isocinéticos de poluentes atmosféricos (CIPA's), coletor de compostos orgânicos voláteis (VOST), analisadores portáteis de gases de combustão, Hi-Vol, Tri-Gás, monitores contínuos para avaliação de fontes estacionárias e qualidade do ar (CO, NOx, O3, HCT/HCTNM, etc) e cromatógrafo portátil com detector de ionização de chama (FID), entre outros.

## PROBLEMAS E OPORTUNIDADES

Em 11 de março de 2009, a FEAM convocou todas as Cias Distribuidoras de Gás LP para apresentar os dados do monitoramento da qualidade do ar na região de Betim. Esses dados, demonstraram altas concentrações de ozônio na área de influência da REGAP (Refinaria Gabriel Passos localizada em Betim/MG). Na oportunidade, a FEAM convocou as Cias Distribuidoras de Gás LP da região a iniciar uma discussão sobre propostas para a mitigação das emissões de VOC (Compostos Orgânicos Voláteis).

*Sobre o Ozônio Troposférico ( $O_3$ ):*

- É um poluente secundário. Não é emitido diretamente por fontes de emissão;
- É formado através de reações fotoquímicas na atmosfera a partir da presença das substâncias precursoras catalisadas pela radiação solar (ultravioleta);
- Precursores de  $O_3$ : óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ) e hidrocarbonetos (VOC);
- Fontes de emissão de VOC: combustão incompleta e a armazenagem e manipulação de hidrocarbonetos;
- O ozônio pode provocar graves queimaduras nas vias respiratórias e lesões nas células.

Diante do exposto e, preocupadas com o problema apresentado pela FEAM, as Cias Distribuidoras de Gás LP se reuniram para discutir tecnicamente o problema, sendo que:

- considerando que a atividade de distribuição de Gás LP é similar para todas as Cias;
- considerando que a questão das emissões é comum para todo o setor e;
- considerando a complexidade do assunto apresentado, as Cias entenderam ser necessário conhecer melhor o problema apresentado, ou seja: determinar as fontes fixas de emissões existentes na região, conhecer de forma qualitativa e quantitativa a emissão de cada fonte e a contribuição relativa de cada empresa no contexto da geração de ozônio da região.

Desse modo, a proposta das Cias Distribuidoras de Gás LP de Betim foi por realizar um diagnóstico das emissões dos poluentes provenientes das atividades de distribuição de Gás LP, através de uma metodologia reconhecida e definida de comum acordo com a FEAM, para determinar as fontes fixas de emissão e medir qualitativa e quantitativamente as emissões de cada fonte.

Nesta metodologia, desenvolvida em parceria com a consultoria AirServices, são apresentadas as fontes típicas de emissão de poluentes setor. Entretanto, cabe ressaltar que, eventualmente, poderão ocorrer outras fontes de emissão, oriundas de características locais de cada processo, sendo neste caso a Unidade responsável por este levantamento.

Esse estudo servirá de base para a elaboração dos inventários de emissões nas bases de armazenamento, envasamento e distribuição de Gás LP e definição das medidas mitigadoras para controle das emissões atmosféricas.

## PLANO DE AÇÃO – OBJETIVOS, METAS E ESTRATÉGIAS

Os objetivos do estudo correspondem à pesquisa e definição de uma metodologia de cálculo que permita estimar a emissão de poluentes para atmosfera, especialmente o Gás LP – Gás Liquefeito de Petróleo e os COVs – Compostos Orgânicos Voláteis, decorrentes dos processos e operações inerentes às Bases de armazenamento, envasamento e distribuição de Gás LP.

### **Características típicas das Bases de Armazenamento, Envasamento e Distribuição de Gás LP**

As bases de armazenamento, envasamento e distribuição de Gás LP são instalações aptas para receber, armazenar, engarrafar e distribuir Gás LP. A distribuição pode ocorrer na modalidade granel e/ou envasado.

O recebimento do Gás LP é realizado através dos modais dutoviário (gasoduto), rodoviário, ferroviário e via cabotagem (navios).

Para armazenamento são utilizados vasos de pressão, reservatórios estacionários fixos, com diversas capacidades, nos quais o Gás LP é armazenado sob pressão.

Durante a operação de envasamento, os botijões passam por sistema de lavagem/secagem externa e repintura. Em seguida são realizados testes de vazamento, aplicação de etiqueta e lacre e transferência para área de armazenamento/expedição para posterior distribuição.

O Gás LP é comercializado na modalidade granel através da entrega em caminhões tanque e na modalidade envasado em recipientes transportáveis (botijões).

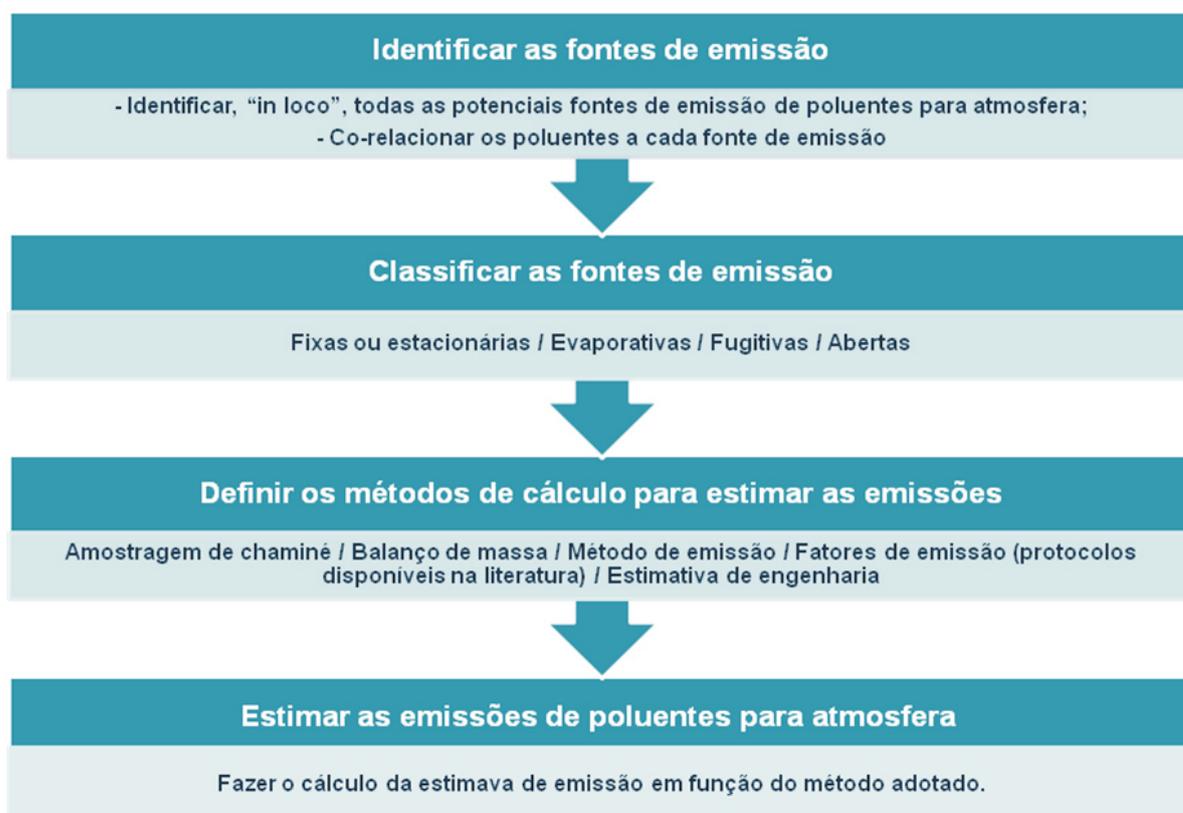
Os únicos equipamentos que envolvem processos de combustão interna nas bases são as moto-bombas do sistema de combate a incêndio, as quais operam somente em situações de emergência e em simulados/treinamentos.

## IMPLEMENTAÇÃO

### Metodologia

O cálculo da estimativa das emissões de poluentes para a atmosfera deve ser orientado por critérios técnicos e referências internacionais.

A **Figura 01** apresenta as etapas estabelecidas para realização de um inventário de emissões atmosféricas (CETESB, 2009):



**Figura 01 – Etapas do inventário de emissões atmosféricas**

### Etapas do inventário de emissões atmosféricas

Primeiramente devem ser verificadas todas as atividades e rotinas operacionais das bases de armazenamento, envasamento e distribuição de GÁS LP, para identificar as fontes de emissão e os respectivos poluentes emitidos para atmosfera.

A seguir, deve ser efetuada a classificação das fontes de emissão identificadas segundo as seguintes definições:

- **Fontes Estacionárias** – local ou dispositivo do qual há lançamento de poluentes e que não possui mobilidade;
- **Fontes Evaporativas** - fontes que geram emissões evaporativas como, por exemplo, tanques de armazenamento de combustíveis;
- **Fontes Fugitivas** - caracterizadas por emissões do processo que não são coletadas ou capturadas por sistemas de exaustão. Por exemplo, as emissões que ocorrem em dispositivos e acessórios tais como: selos de bombas e compressores, válvulas, flanges e instrumentos (ex: manômetros, termômetros);
- **Fontes Abertas** – caracterizadas pela emissão de poluentes que evaporam da superfície da água residuária armazenada em processos abertos. Exemplos: caixa separadora de água e óleo, redes de drenagem e sistemas de flotação para tratamento de efluentes.

A **Tabela 01** apresenta a classificação das fontes típicas de emissão identificadas nas bases de armazenamento, envasamento e distribuição de Gás LP.

**Tabela 01: Classificação das fontes típicas de emissão**

	TIPO DE EMISSÃO	POLUENTE
<b>Carregamento</b>	Fugitiva	
<b>Descarregamento</b>	Fugitiva	GÁS LP
<b>Medição de densidade e temperatura (termodensímetro)</b>	Fugitiva	GÁS LP
<b>Medição de nível no reservatório (vareta)</b>	Fugitiva	GÁS LP
<b>Drenagem do fundo do reservatório</b>	Fugitiva	GÁS LP
<b>Processo de envasamento</b>	Fugitiva	GÁS LP
<b>Cabine de repintura de botijões</b>	Estacionária	VOC e MP
<b>Decantação de botijões</b>	Fugitiva	GÁS LP
<b>Motores a combustão (geradores e moto-bombas do sistema de combate a incêndio)</b>	Estacionária	CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , HCNM, SO <sub>x</sub> e MP
<b>Vazamento em dispositivos e acessórios</b>	Fugitiva	GÁS LP

Na terceira etapa são definidos os métodos de cálculo para estimativa das emissões, os quais são escolhidos em função da especificidade de cada processo produtivo.

A última etapa do inventário consiste no cálculo propriamente dito da estimativa das emissões com base nas informações locais e de acordo com o método de cálculo escolhido.

## Realização de Inventário de Emissões

O inventário de emissões consiste na consolidação das estimativas das emissões calculadas com base na produção e/ou movimentação de Gás LP em um determinado período. Dessa forma, deve ser definido o período de referência e levantadas as quantidades produzidas e/ou movimentadas nas operações que envolvem o envasamento de Gás LP. De posse das informações descritas, as estimativas de emissões poderão ser efetuadas através de:

- **Fator de Emissão** - Baseado em valores típicos da indústria publicados em referências nacionais e internacionais. Considera as médias de todos os dados disponíveis com qualidade aceitável e representativos de médias de longa duração;
- **Balanco de Massa** - Neste método a estimativa de emissão é calculada através da diferença entre a quantidade dos materiais que entra no processo e a quantidade que sai do processo por todas as rotas. O remanescente pode ser assumido como sendo uma estimativa da quantidade perdida do processo para a atmosfera;
- **Amostragem de chaminé da cabine de pintura** - Teste de curta duração usado para coletar dados de emissão, que podem ser extrapolados para estimar emissões de longa duração da mesma fonte ou similar. Deve ser usado somente em condições representativas e durante a capacidade máxima de operação da fonte;
- **Estimativa de Engenharia** - Baseada no conhecimento e experiência de profissionais especializados. Método desenvolvido caso a caso. Utiliza critérios de engenharia e considera a melhor aproximação. É aplicado quando não é possível utilizar técnicas de estimativa de emissão específicas.

A **Tabela 02** apresenta os métodos de cálculo definidos para realização do inventário de emissões atmosféricas nas bases de armazenamento, envasamento e distribuição de Gás LP.

**Tabela 02: Métodos de cálculo de emissões de acordo com a fonte de emissão e tipo de poluente**

	MÉTODO	POLUENTE
Carregamento/Descarregamento		GÁS LP
Medição de densidade e temperatura (termodensímetro)	Balanco de massa	GÁS LP
Medição de nível no reservatório (vareta)	Estimativa de engenharia	GÁS LP
Drenagem do fundo do reservatório	Estimativa de engenharia	GÁS LP
Processo de envasamento	Balanco de massa	GÁS LP
Cabine de repintura de botijões	Amostragem direta em chaminé	MP
	Balanco de massa	COV
Decantação de botijões	Balanco de massa	GÁS LP
Motores a combustão (moto-bombas - combate a incêndio)	Balanco de massa e Fatores de emissão	CO, CO <sub>2</sub> , HCNM, NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> e MP
Vazamento em dispositivos e acessórios	Fatores de emissão	GÁS LP

## Referências e critérios técnicos adotados

Os poluentes que terão suas emissões estimadas devem ser caracterizados e ter definidas as respectivas propriedades físicas e químicas necessárias aos cálculos que serão efetuados. Para as emissões de Gás LP / COVs, principais emissões geradas nas bases de armazenamento, envasamento e distribuição de Gás LP, foram adotadas as seguintes referências:

- Definição do produto – Gás LP - “Qualquer mistura de hidrocarbonetos contendo predominantemente, em percentuais variáveis, propano e/ou propeno e butano e/ou buteno.” Esta definição foi baseada no Art. 2º Inciso III da Resolução N° 18, de 02/09/2004 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP);
- Para a estimativa de emissões de COVs / Gás LP foi utilizada uma proporção de mistura de 50% butano e 50% propano;
- Densidade do GÁS LP liquefeito = 550 kg/m<sup>3</sup>. O Art. 8º da Resolução N° 18, de 02/09/2004 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) foi utilizado como referência (“A mistura propano/butano comercializada em botijão P-13 deve apresentar uma massa específica a 20° C máxima de 550 kg/m<sup>3</sup>...”);
- Densidade do Gás LP fase vapor = 2,2 kg/m<sup>3</sup> @ 15,6° C – Pressão Atmosférica. Considerando a média entre os valores de densidades dos gases butano (2,5kg/m<sup>3</sup>) e propano (1,9kg/m<sup>3</sup>) à pressão atmosférica e 15,6°C.

Foram utilizados Fatores de Emissão específicos do setor de GÁS LP desenvolvidos pela **ARPEL** – *Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y Caribe (GUIDELINES for “Atmospheric Emissions Inventories Methodologies in the Petroleum Industry”, December, 1998)*, e Fatores de emissão específicos para estimativa de emissões geradas por motores a combustão interna utilizado pela Agência Ambiental Americana – EPA -AP42 – U.S. Environmental Protection Agency,

**AP42**, Volume I, Fifth Edition, January 1995.

No que diz respeito ao Modelo de Emissão, foi selecionado o Modelo de Emissão para Medição de Fluxos - Método da **Placa de Orifício**:

Consiste basicamente de uma chapa metálica, perfurada de forma precisa e calculada, a qual é instalada perpendicularmente ao eixo da tubulação.

Por definição, o princípio de funcionamento de uma placa de orifício consiste em introduzir uma restrição localizada na tubulação onde a medição deve ser feita.

Essa restrição, no caso, é provocada por um orifício feito em uma placa de pouca espessura adequadamente colocada no tubo, de maneira a obrigar o fluxo a mudar de velocidade e, em consequência, provocar um diferencial de pressões que, devidamente medido e interpretado, é representativo da vazão (**Figura 02**).

O princípio da “placa de orifício” foi utilizado com o intuito de estimar a vazão de Gás LP (tanto na fase líquida como na fase vapor), através dos cálculos empregados para dimensionamento desse tipo de medidor de vazão.

A placa de orifício é considerada um elemento primário de vazão, não porque seja de altíssima precisão, mas porque, se construída conforme a norma, ela está diretamente ligada à vazão que ela mede, através de equações matemáticas teóricas e coeficientes empíricos.

Sendo assim, para alguns vazamentos de Gás LP (por exemplo, drenagem – passagem pela válvula tipo esfera, vareta de medição – orifício de saída), considerou-se como “placa de orifício” a passagem dos fluxos de fluidos através de orifício, resultando num diferencial de pressão, que com outras variáveis conhecidas, bem como com fatores empíricos assumidos, é estimada a vazão do fluxo.

Cabe ressaltar, que o princípio da “placa de orifício” é uma adaptação de metodologia para estimar as emissões, tendo em vista o desconhecimento de métodos específicos e, portanto, existem probabilidades de erro não determinadas. Por outro lado, a literatura indica que a incerteza de medição por “placa de orifício” fica em torno de 2 a 4% do fundo de escala (SCHNEIDER, 2007).

No desenvolvimento dessa metodologia de cálculo de emissões foi adaptado o cálculo de vazão da placa de orifício para algumas condições, como sendo a melhor maneira para estimar as emissões fugitivas, apesar de nem sempre ocorrerem as condições ideais de projeto da placa de orifício que será considerada.

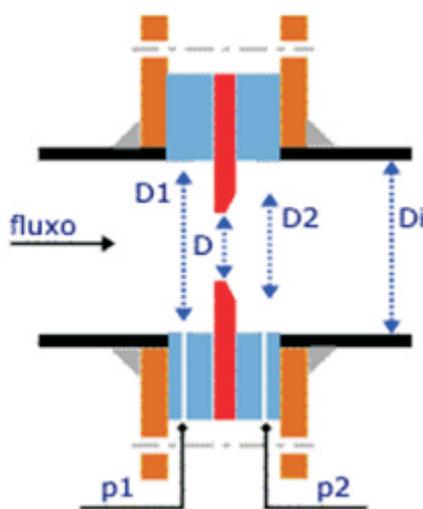


Figura 02: Detalhe da Placa de Orifício

A correlação empregada nos cálculos é apresentada a seguir:

$$Q = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta P\rho}$$

VARIÁVEIS	DEFINIÇÃO	UNIDADE	VALOR	JUSTIFICATIVA
<b>Q</b>	Vazão	kg/s	calcular	-
<b>C</b>	Coefficiente de descarga - razão entre vazão real e teórica	adimensional	0,6	Valor típico geralmente utilizado no início dos cálculos. Além disso, a literatura indica $C = 0,61$ para placas de orifício de canto reto, para altos números de Reynolds (para elucidar, o número de Reynolds é adimensional e valores “altos” - $> 4000$ - caracterizam fluxos turbulentos) (DELMÉE, 2003). Dessa forma, considerando-se que não se conhece coeficiente de descarga específico para os casos avaliados neste estudo, utilizou-se $C = 0,6$ .
<b><math>\epsilon</math></b>	Fator de expansão aplicado para gases e vapores	adimensional	0,95	Representado por uma equação empírica, válida para placas de orifício específicas. Para tipos diferentes de placas, empregam-se diferentes equações. Segundo Chemical Engineers' Handbook – Fifth Edition, o fator de expansão para placas de orifício varia de 0,9 a 1,0. Dessa forma, considerando-se que não se conhece fator de expansão específico para os casos avaliados neste estudo, utilizou-se valor médio indicado na literatura “e” = 0,95.
<b><math>\rho</math></b>	Densidade	kg/m <sup>3</sup>	550	Densidade do Gás LP na fase líquida definido pela ANP
<b>d</b>	Diâmetro do orifício medido na saída do GÁS LP	metro	medir	-
<b><math>\Delta P</math></b>	Diferencial de Pressão do GÁS LP - Patm (Pa)	Pa	calcular	-
<b><math>\beta</math></b>	Relação d/D	adimensional	calcular	-
<b>D</b>	Diâmetro da tubulação ou orifício estudado	metro	medir	-

As constantes definidas acima podem variar em função do fluido que passa pelo orifício, porém, para este estudo, e especificamente para os casos estudados não foram encontradas informações específicas sobre as variações das constantes em função do tipo de fluido aplicado à teoria das “placas de orifício”. Sendo assim, optou-se por empregar valores médios, conforme descrito anteriormente. Esse critério adotado resulta em importante grau de incerteza dos cálculos, porém, considerando-se a ausência de cálculos específicos, infere-se que os valores obtidos com esse cálculo são adequados para o objetivo principal proposto, ou seja, estimar as emissões de Gás LP.

A **Tabela 03** apresenta um resumo das referências utilizadas para definição dos métodos de cálculo de emissões.

**Tabela 03: Referências utilizadas para definição dos métodos de cálculo de emissões**

FONTE DE EMISSÃO	MÉTODO	REFERÊNCIA
<b>Carregamento/Descarregamento</b>	Fatores de emissão	ARPEL, cap.7, Tabela 7.12 (1)
<b>Medição de densidade e temperatura</b>	Balanço de Massa	Volume do termodensímetro
<b>Medição de nível no reservatório (vareta)</b>	Estimativa de Engenharia	Placa de orifício
<b>Drenagem do fundo do reservatório</b>	Estimativa de Engenharia	Placa de orifício
<b>Processo de envasamento</b>	Balanço de Massa	Volume do espaço interno da válvula do botijão P-13
<b>Cabine de repintura de botijões</b>	Amostragem em chaminé	CETESB L9.225
	Balanço de massa	Especificação da tinta de repintura
<b>Decantação de botijões</b>	Balanço de Massa	Volume interno do botijão
<b>Motores a combustão (moto-bombas - combate a incêndio)</b>	Balanço de Massa Fatores de Emissão	Balanço de massa e AP-42 (2)
<b>Vazamento em dispositivos e acessórios</b>	Fatores de emissão	ARPEL, cap.7, Tabela 7.13

(1) ARPEL – *Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y Caribe – GUIDELINES for Atmospheric Emissions Inventories Methodologies in the Petroleum Industry, December 1998.* (2) EPA-AP42, Volume I, Fifth Edition, January 1995. Fonte: CETESB, 2009.

## PROCEDIMENTOS PARA ESTIMAR EMISSÕES DE GÁS LP / COV's

### Carregamento – Rodoviário e Ferroviário

#### Descrição da atividade/processo

As potenciais fontes de emissões fugitivas identificadas nas operações de carregamento de Gás LP correspondem à drenagem dos sistemas de carregamento. No caso de veículos, cujos tanques possuem *Rotary Gauge*, ocorrerá também a emissão contínua na válvula desses dispositivos durante o acompanhamento da variação do nível de Gás LP no veículo tanque durante o carregamento. Essas operações são detalhadas a seguir:

- Drenagem dos Sistemas de Carregamento - para carregamento de Gás LP em veículos tanque (caminhão, trem ou navio), são utilizados braços de carregamento articulados (sistemas compostos por tubulações, válvulas, flanges com vedação tipo gaxeta, entre outros dispositivos) ou mangotes especiais para alta pressão. Após as operações de carregamento, esses sistemas terão as fases líquida e gasosa do Gás LP drenadas diretamente para a atmosfera, caracterizando essas emissões como fugitivas.
- Medição de nível durante o carregamento - no carregamento de veículos tanque, os níveis de Gás LP devem ser monitorados durante toda a operação. Quando esse monitoramento é efetuado através do indicador de nível tipo *Rotary Gauge*, há emissão de Gás LP na fase gasosa para a atmosfera. Durante o carregamento a granel, o *Rotary Gauge* (medidor de nível de fase líquida do veículo tanque) é posicionado no nível equivalente ao volume operacional do tanque (85% do volume nominal) e é aberta a válvula que permanece nesta condição até que seja atingido o nível de Gás LP liquefeito indicado para o carregamento. Durante esse processo, é emitida fase vapor, até o instante em que é atingida a fase líquida, quando passa a ser emitida densa nuvem de Gás LP, consequência da volatilização do Gás liquefeito.

#### Método de Cálculo

A primeira parcela da estimativa de emissões de Gás LP para o processo de carregamento será calculada em função do volume que será drenado dos sistemas durante a desconexão do braço de carregamento.

O cálculo do volume considera comprimentos e diâmetros dos braços articulados ou mangotes empregados e considera as seções que efetivamente são drenadas para a atmosfera. O cálculo do volume é efetuado a partir da relação:

$$V = (\pi * d^2/4) * L$$

onde:

V = volume do braço de carregamento (cm<sup>3</sup>)

d = diâmetro do mangote ou braço articulado (cm)

L = comprimento do mangote ou braço articulado (cm)

Cabe ressaltar que o número de braços de carregamento e suas dimensões podem variar entre as distribuidoras e mesmo entre as unidades de um mesmo grupo. Desta forma devem ser levantadas as dimensões (comprimento e diâmetro) dos mangotes ou braços articulados, sempre que for realizada a estimativa de emissão.

A estimativa deve ser efetuada para cada braço de carregamento, e deve ser observado o tipo de fluido que será drenado (Gás LP liquefeito ou fase vapor) e o valor da densidade que será empregado no cálculo.

Emissão de Gás LP proveniente da Drenagem dos Sistemas de Carregamento:

$$\text{Emissão estimada em kg de Gás LP} = (V / 10^6) * \rho$$

onde:

$\rho$  = densidade do GÁS LP (fase líquida) = 550 kg/m<sup>3</sup> @ 20° C.

$\rho$  = densidade do GÁS LP (fase vapor) = 2,2 kg/m<sup>3</sup> @ 15,6° C – Pressão Atmosférica

Para estimativa da **segunda parcela** de emissões de Gás LP na operação de carregamento (medição de nível – *rotary gauge*) deve ser utilizado o Fator de Emissão da ARPEL (*Asociacion Regional de Empresas de Petroleo y Gas Natural em Latinoamerica e El Caribem* – **Tabela 04**), o qual é multiplicado pelo volume de Gás LP carregado. Deve ser empregado o fator médio entre C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>, conforme indicado na Tabela 04 e seguindo a definição de Gás LP adotada como premissa item 4.3 (em kg/m<sup>3</sup>).

**Tabela 04: Fatores de Emissão para processo de carregamento**

**Table 7.12 LPG Emissions During Rail/Truck Transportation, kg/m<sup>3</sup> of product transported**

	C <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> mix	C <sub>4</sub> mix
<b>Railcar</b>						
Gauging during loading	0.167	0.259	0.2598	0.334	0.0952	0.0768
Loading	0.0101	0.0157	0.0254	0.0287	0.0287	0.0232
Unloading	0.0101	0.0157	0.002	0.002	0.0006	0.0005
In-transit	0.0038	0.0059	0.0051	0.0058	0.0057	0.0046
<b>Truck</b>						
Gauging during loading	-	-	0.2958	0.334	0.0952	0.0768
Loading	-	-	0.0635	0.0717	0.0718	0.0579
Unloading	-	-	0.0045	0.0051	0.0015	0.0012
In-transit	-	-	0.0051	0.0058	0.0057	0.0046

Fonte: ARPEL, 1998

Emissão de GÁS LP proveniente do *Rotary Gauge* durante o Carregamento:

$$\text{Emissão estimada em kg de Gás LP} = V * F$$

onde:

V = volume de Gás LP transferido durante o carregamento ( $m^3$ )

F = fator da ARPEL, empregar o fator médio entre  $C_3$  e  $C_4$  ( $kg/m^3$ )

## Descarregamento – Rodoviário e Ferroviário

### Descrição da atividade/processo

O processo de descarregamento é o inverso do processo de carregamento, entretanto, existe apenas a parcela de emissão decorrente da drenagem dos sistemas de descarregamento.

### Método de Cálculo

O cálculo do volume é semelhante ao processo de carregamento. A estimativa deve ser efetuada para cada braço de carregamento, e deve ser observado o tipo de fluido que será drenado – Gás LP liquefeito ou fase vapor.

Emissão de Gás LP proveniente da Drenagem dos Sistemas de Descarregamento:

$$\text{Emissão estimada em kg de Gás LP} = (V / 10^6) * \rho$$

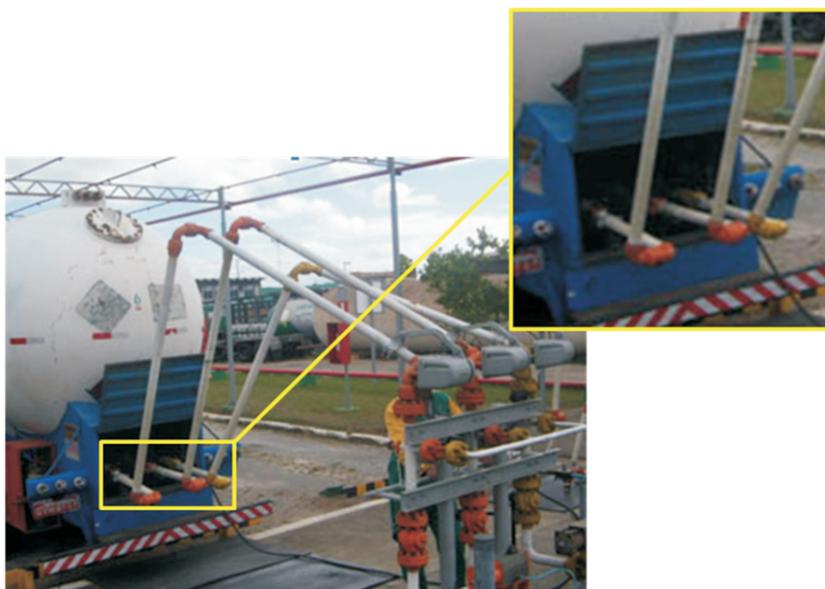
Onde:

V = volume do braço de descarregamento (cm<sup>3</sup>)

$\rho$  = densidade do Gás LP (fase líquida) = 550 kg/m<sup>3</sup> @ 20° C

$\rho$  = densidade do Gás LP (fase vapor) = 2,2 kg/m<sup>3</sup> @ 15,6° C – Pressão Atmosférica

A **Figura 03** mostra as emissões durante os processos de carregamento e descarregamento e na **Figura 04** são ilustradas as emissões provenientes do *rotary-gauge*.



**Figura 03: Emissão de Gás LP durante carregamento e descarregamento**



**Figura 04: Emissão de Gás LP a partir do rotary-gauge**

## Medição de Densidade e Temperatura

### Descrição da atividade/processo

Em todas as bases de armazenamento, envasamento e distribuição de Gás LP são efetuadas medidas de temperatura e densidade em cada reservatório, através de um equipamento denominado termodensímetro. As medições ocorrem no início e no final de operação da base, para controle de estoque. Essas medições também são efetuadas quando ocorre recebimento de produto (bombeios), seja por via rodo-ferroviária ou tubovia proveniente de refinaria.

Para cada medição de densidade, alimenta-se Gás LP liquefeito no “termodensímetro” por duas vezes. A primeira vez visa climatizar o sistema (equalização da temperatura do Gás LP à temperatura do termodensímetro) e a segunda vez visa efetuar as medidas, através do enchimento parcial e leitura da escala do densímetro. Geralmente, o Gás contido no termodensímetro é todo liberado para a atmosfera após a realização da medição.

### Método de Cálculo

A estimativa de emissões de Gás LP que ocorrem durante a medição de densidade, será calculada como sendo o volume preenchido do recipiente multiplicado pelo número de medições realizadas no período

$$V = (\pi * D^2/4) * h$$

onde:

V = volume total do termodensímetro (cm<sup>3</sup>)

D = diâmetro (cm)

h = altura (cm).

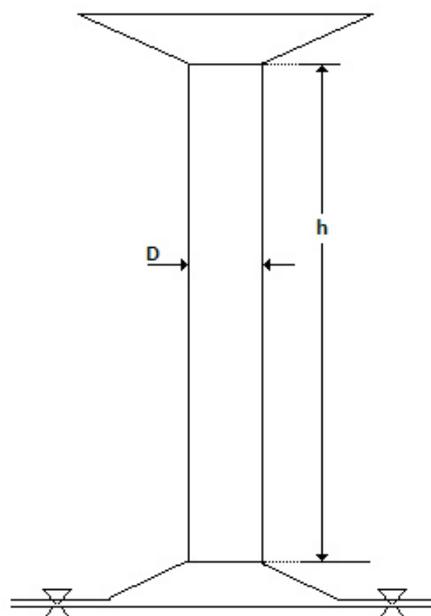


Figura 05: Detalhe do Termodensímetro

Emissão de Gás LP em cada operação de Medição de Densidade e Temperatura (termodensímetro):

$$\text{Emissão estimada em kg de Gás LP} = \text{número de operações} * (V') * \rho$$

onde:

$\rho$  = densidade do Gás LP (fase líquida) =  $550 \text{ kg/m}^3 @ 20^\circ\text{C}$

$V'$  = volume preenchido do recipiente =  $V * \% \text{ de preenchimento do recipiente (m}^3\text{)}$

A **Figura 06** ilustra a emissão proveniente do termodensímetro.



**Figura 06:** Emissão de GÁS LP no processo de medição com termodensímetro

## Medição de Nível

### Descrição da atividade/processo

A medição de nível dos reservatórios de Gás LP também é efetuada pelo menos duas vezes por dia, no início e final de operação da base. Também são efetuadas medições sempre que ocorrem carregamentos dos reservatórios, seja por via rodo-ferroviária ou tubovia proveniente de refinaria.

Assim como a medida de densidade, nessas ocasiões são realizadas pelo menos mais duas medições de nível, uma antes e outra após cada operação de carregamento.

A medição de nível dos reservatórios é efetuada por medidor de haste (vareta – **Figuras 07 a 09**), movimentando a mesma no sentido vertical, da parte superior – fase Gás LP vapor - para a inferior do reservatório – fase de Gás LP liquefeito – com a válvula do medidor aberta. Durante o processo de medição, é emitida fase vapor do Gás LP, até que no instante que é alcançada a fase líquida, passa a ser liberada densa nuvem de Gás LP (volatilização do Gás liquefeito).

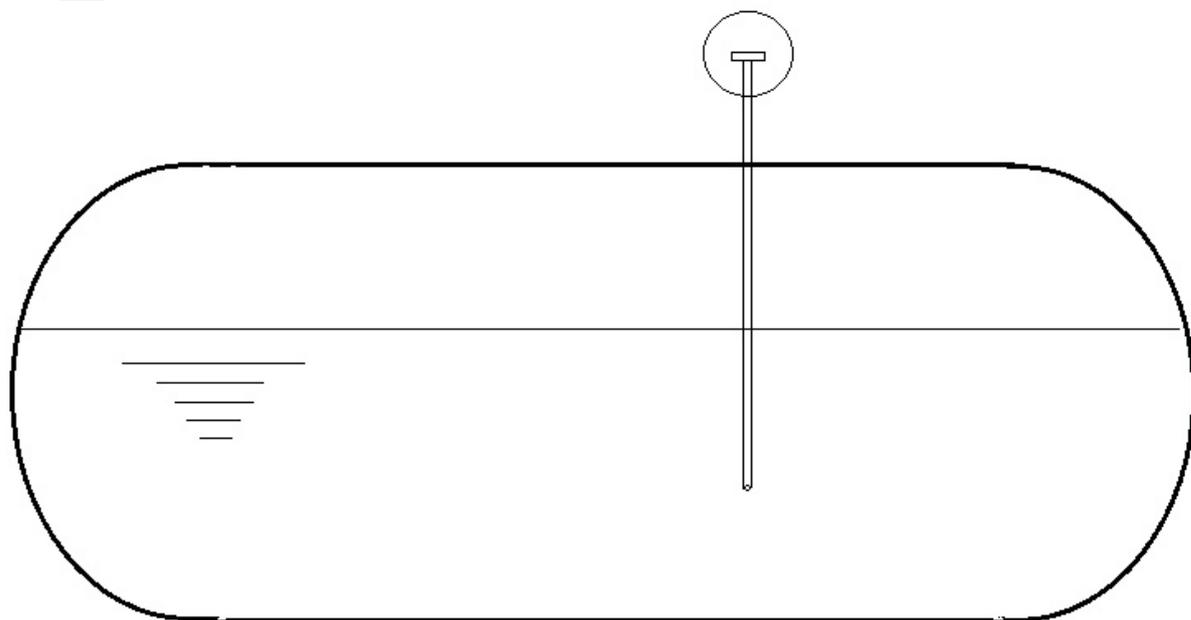
Para a medição do nível dos reservatórios, a emissão de Gás LP na fase vapor varia em função do tempo utilizado para cada operação.

### Método de Cálculo

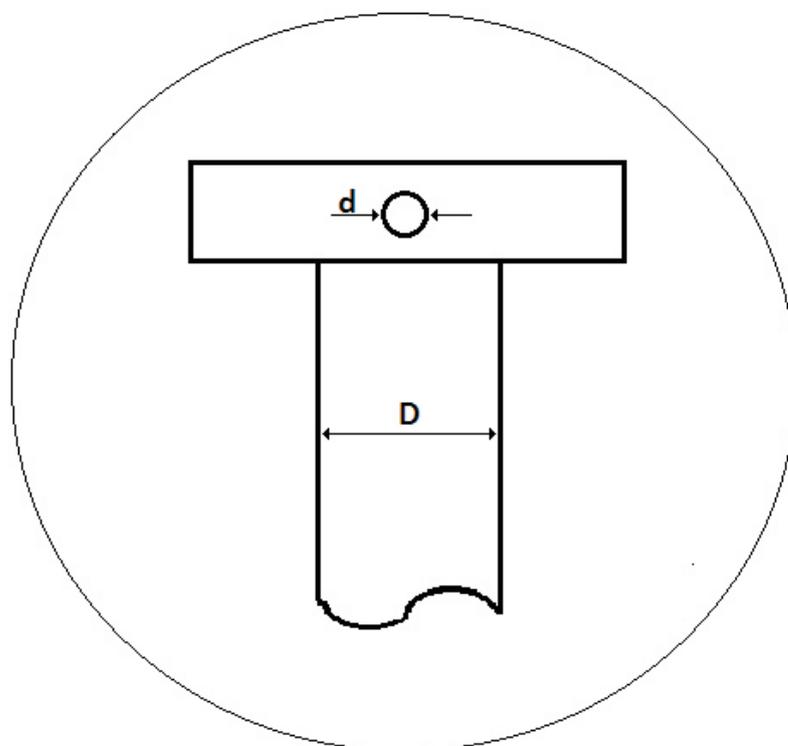
A estimativa de emissões de Gás LP nessa operação tem como princípio de cálculo a placa de orifício para cálculo da vazão, e com a duração do vazamento, é calculada a emissão de cada operação.



Figura 07: Emissão de Gás LP no processo de medição do nível do reservatório



**Figura 08: Esquema do reservatório e da vareta de medição de nível**



**Figura 09: Detalhe da Vareta de Medição**

A estimativa de emissões de Gás LP empregando como princípio de cálculo a placa de orifício será efetuada segundo a seguinte equação matemática:

$$Q = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta P \rho}$$

onde

<b>Q = vazão</b>	(kg/s)
<b>C = Coeficiente de descarga</b>	
<b>ε = fator de expansão</b>	0,95 (varia de 0,9 a 1,0 – considerar média)
<b>ρ = densidade</b>	550 kg/m <sup>3</sup> @ 20° C - GÁS LP (fase líquida)
<b>d = diâmetro do orifício</b>	Medida na saída do GÁS LP (metro)
<b>ΔP = Diferencial de Pressão</b>	Pressão GÁS LP - Patm (Pa)
<b>β = relação d/D</b>	Adimensional

No caso da Vareta de Medição, devem ser obtidas as seguintes variáveis:

- D = diâmetro interno da seção da vareta (geralmente 1/4");
- d = diâmetro da seção do orifício de saída de Gás LP (varia entre 1,0 e 3,0 mm);
- P = pressão no interior da vareta (pressão do reservatório – varia entre 5,5 a 10 kgf/cm<sup>2</sup>);
- p = pressão na saída do orifício de Gás LP (pressão atmosférica).

Multiplicando-se a vazão obtida pelo tempo médio de vazamento, temos a massa de Gás LP emitida para cada operação de medição de nível.

Emissão de Gás LP proveniente da medição de nível de reservatório (vareta):

$$\text{Emissão estimada em kg de Gás LP} = Q * T$$

onde:

Q = vazão calculada pelo método da placa de orifício (kg/s)

T = tempo de vazamento durante a medição de nível (segundos)

## Drenagem de Fundo dos Reservatórios

### Descrição da atividade/processo

A drenagem de fundo é efetuada para purgar água e eventuais resíduos decantados na parte inferior dos reservatórios (**Figuras 10 a 12**). Esta operação é realizada diariamente, por tempo necessário para a retirada de toda água presente no reservatório. O controle é visual, considerando a drenagem realizada no momento em que é observada a liberação de GÁS LP liquefeito para atmosfera, através da expansão da nuvem formada pelo GÁS LP na fase vapor. Todos os reservatórios possuem sistema para drenagem, usualmente tubulação e válvulas de  $\frac{3}{4}$ " de polegada.

### Método de Cálculo

A estimativa de emissões de GÁS LP nessa operação tem como princípio de cálculo a placa de orifício para cálculo da vazão, e com a duração do vazamento, é calculada a emissão para cada operação.

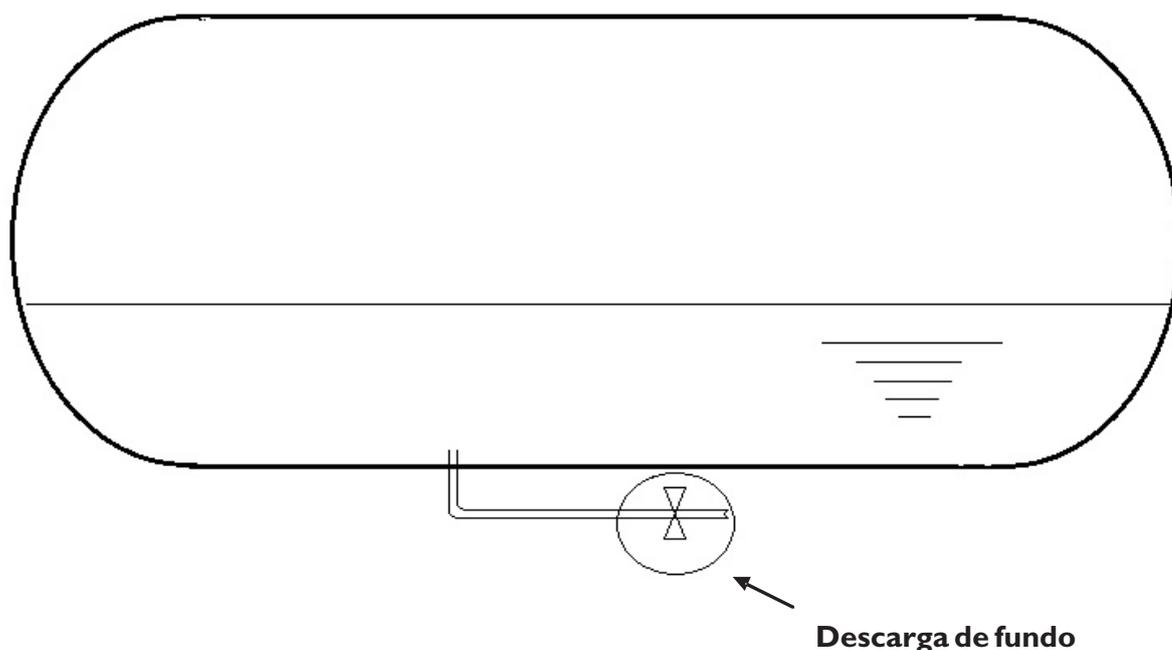
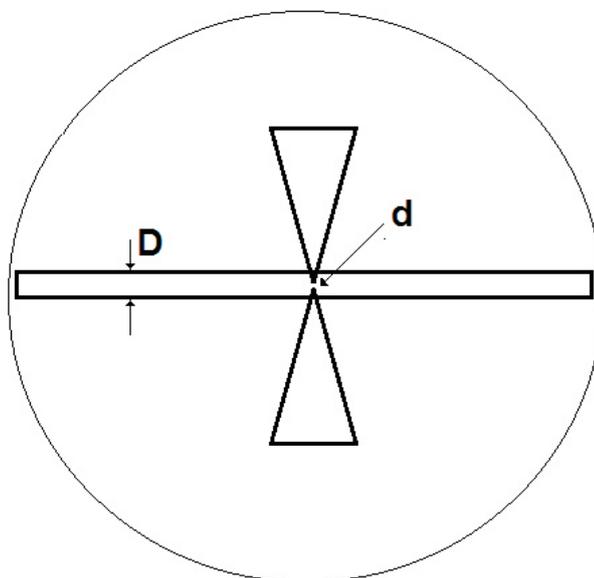


Figura 10: Esquema do reservatório e drenagem de fundo



A estimativa de emissões de COV's empregando como princípio de cálculo a placa de orifício será efetuada segundo a seguinte equação matemática:

$$Q = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta P \rho}$$

onde:

<b>Q = vazão</b>	(kg/s)
<b>C = Coeficiente de descarga</b>	0,6 (típico – considerar constante)
<b>ε = fator de expansão</b>	0,95 (varia de 0,9 a 1,0 – considerar média)
<b>ρ = densidade</b>	550 kg/m <sup>3</sup> @ 20° C - GÁS LP (fase líquida)
<b>d = diâmetro do orifício</b>	Medida na saída do GÁS LP (metro)
<b>ΔP = Diferencial de Pressão</b>	Pressão GÁS LP - Patm (Pa)
<b>β = relação d/D</b>	Adimensional

No caso da Drenagem de Fundo, devem ser obtidas as seguintes variáveis:

- D = diâmetro da tubulação de descarga de fundo (geralmente 1”);
- d = diâmetro de passagem da válvula de descarga (usualmente válvula esfera de 1”, diâmetro de passagem = 19 mm);
- P = pressão da tubulação de descarga de fundo (pressão do reservatório– varia entre 5,5 a 10 kgf/cm<sup>2</sup>);
- p = pressão na saída da válvula de descarga (pressão atmosférica).

Multiplicando-se a vazão obtida pelo tempo médio de vazamento, temos a massa de Gás LP emitida.

Emissão de Gás LP proveniente da Drenagem de fundo dos reservatórios:

$$\text{Emissão estimada em kg de Gás LP} = Q * T$$

onde:

Q = vazão calculada pelo método da placa de orifício (kg/s)

T = tempo de vazamento (segundos)

O tempo de vazamento considera apenas o período entre a saída da nuvem de Gás LP e o fechamento da válvula, desconsiderando o tempo transcorrido durante a liberação de água.



**Figura 12: Emissão de GÁS LP no processo de drenagem de fundo dos reservatórios**

## Envasamento de Botijões P-13 / P-8 / P-7 / P-5 / P-2

### Descrição da atividade/processo

O envasamento dos botijões P-13, P-8, P-7, P-5 e P-2 é efetuado através do “bico” de injeção de Gás LP que é conectado à válvula automática do botijão. Nessa operação, devido à alta pressão do sistema de injeção (geralmente igual a 18 kgf/cm<sup>2</sup>, podendo variar de empresa para empresa), o Gás LP é transferido para o interior dos botijões (**Figura 13**).



**Figura 13: Detalhe do envasamento de botijões**

O envasamento dos botijões P-2 e P-5 é realizado pela ação de um operador que posiciona manualmente o bico injetor de Gás LP na válvula do botijão, previamente posicionado em uma balança de pesagem, para receber o produto.

No processo de envasamento os vazamentos podem ocorrer em dois momentos, a saber:

- **PARCELA 01** - No momento da conexão do bico injetor de Gás LP com a válvula automática dos botijões (P-13, P-8, P-7, P-5 e P-2) ocorre emissão de Gás na fase vapor proveniente do interior do botijão que será envasado. Esse vazamento ocorre durante uma fração de segundos, tempo necessário para abertura e vedação do bico injetor / válvula automática pelo o-ring. Estima-se que o tempo de vazamento seja da ordem de 1/2 (meio) segundo para cada botijão “envasado”/carregado.
- **PARCELA 02** - Na operação de desconexão do bico injetor de Gás LP dos botijões P13, ocorre emissão (vazamento de Gás - liquefeito - que fica encerrado entre a área de acento e área de fechamento – vedação – da válvula automática do P-13) conforme esquema apresentado na Figura 14.



Figura 14: Detalhe de Funcionamento da Válvula Automática

## Método de Cálculo

### PARCELA 01 - Operação de conexão do bico injetor

A estimativa de cálculo de emissões de Gás LP para cada botijão considera operação adequada do sistema e será efetuada tendo como princípio de cálculo, a placa de orifício, segundo a seguinte equação matemática:

$$Q = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta P \rho}$$

onde:

<b>Q = vazão</b>	(kg/s)
<b>C = Coeficiente de descarga</b>	0,6 (típico – considerar constante)
<b>ε = fator de expansão</b>	0,95 (varia de 0,9 a 1,0 – considerar média)
<b>ρ = densidade</b>	2,2 kg/m <sup>3</sup> @ 20° C - Gás LP (fase gasosa)
<b>d = diâmetro do orifício</b>	Medida na saída do Gás LP (metro)
<b>ΔP = Diferencial de Pressão</b>	Pressão Gás LP – Patm (Pa)
<b>β = relação d/D</b>	Adimensional

No caso de vazamento pela válvula automática, devem ser obtidas as seguintes variáveis:

- D = D<sub>1</sub> = diâmetro interior do corpo da válvula = 0,016 m (16 mm);
- d = D<sub>1</sub> – D<sub>2</sub> = diâmetro de passagem de Gás LP = diâmetro equivalente (obtido pela diferença de áreas - seções de diâmetros D<sub>1</sub> = 16 mm e D<sub>2</sub> = 14,5 mm);
- P<sub>1</sub> = pressão do botijão de Gás LP;
- P<sub>2</sub> = pressão na saída da válvula automática (pressão atmosférica).

Multiplicando-se a vazão obtida pelo tempo de vazamento, temos a massa de Gás LP emitida.  
Emissão de Gás LP proveniente do Envasamento de Botijões P-13/P-8/P-7/P-5/P-2.

**PARCELA 01 - Emissão estimada em kg de Gás LP = Q \* T**

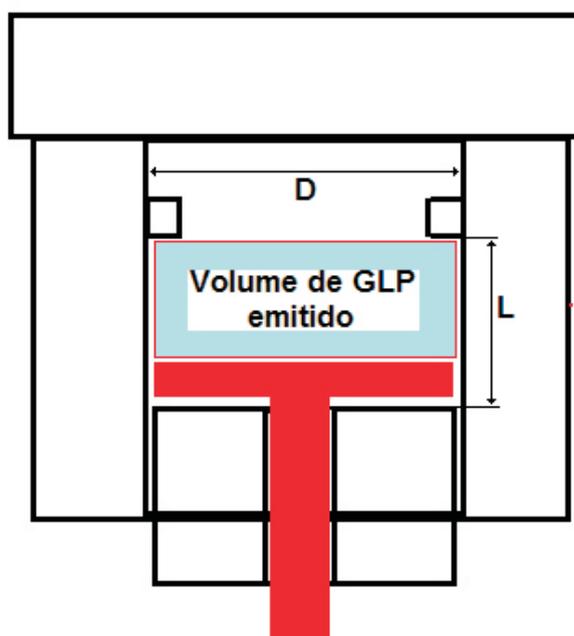
onde:

Q = vazão calculada pelo método da placa de orifício (kg/s)

T = tempo estimado de vazamento por botijão (segundos)

**PARCELA 02 - Operação de desconexão do bico injetor**

A estimativa de emissões de Gás LP nessa operação será efetuada através do cálculo de volume de Gás que fica retido no interior da válvula automática do botijão (**Figura 15**).



**Figura 15: Detalhe de Funcionamento da Válvula do Botijão (Volume compartimentado)**

O cálculo do volume considera o diâmetro interno da válvula automática e a distância entre a válvula do sistema e conexão com botijão conforme a seguinte equação:

$$V = (\pi * D^2/4) * L$$

onde:

V = volume de Gás que fica retido no interior da válvula do botijão (cm<sup>3</sup>)

D = diâmetro interno da válvula (cm) = 1,6 cm

L = distância entre a área de acento e área de fechamento – vedação – da válvula automática (cm) ~ 1,0 cm.

Como essa válvula é padrão, não deve haver alteração do volume emitido de uma distribuidora para outra neste procedimento.

Emissão de Gás LP proveniente do Envasamento de Botijões P-13/P-8/P-7/P-5/P-2:

$$\text{PARCELA 02 - Emissão estimada em kg de Gás LP} = (V / 10^6) * \rho$$

onde:  $\rho$  = densidade do Gás LP (fase líquida) =  $550 \text{ kg/m}^3 @ 20^\circ \text{ C}$ .

## Envasamento de Botijões P-20, P-45 e P-90

### Descrição da atividade/processo

O envasamento dos botijões P-20, P-45 e P-90 (**Figura 16**), é realizado pela ação de um operador que posiciona manualmente o bico injetor de Gás LP na válvula do botijão, previamente posicionado em uma balança de pesagem para receber o Gás LP. Considerando que tanto os botijões, quanto a conexão ao bico injetor, contam com válvulas manuais que são abertas após a plena conexão entre os dois sistemas, nessa operação os vazamentos de Gás ocorrem apenas no instante em que é retirado o bico injetor.



**Figura 16: Detalhe do envasamento de botijões P-20, P-45 e P-90**

A operação de envasamento desses botijões ocorre conforme descrito a seguir:

- O cilindro com a válvula fechada (registro com abertura manual) é posicionado sobre a balança;
- Em seguida, o bico injetor que possibilita o envio de Gás LP para o vaso é instalado no botijão (P-20, P-45 e P-90);
- É efetuada a abertura da válvula do cilindro e a do sistema de injeção de Gás LP, iniciando-se a transferência/enchimento de Gás. É verificada a presença de vazamento, e em caso negativo, aguarda-se até que seja atingido o “peso” especificado para cada botijão;
- Uma vez atingido o valor desejado, são fechadas as válvulas do cilindro e a do sistema de injeção de Gás LP;
- O bico injetor de Gás LP é desconectado, momento em que ocorre a emissão de Gás LP (vazamento de Gás liquefeito) existente no sistema de injeção, no trecho entre as válvulas do sistema e do cilindro (**Figura 17**).

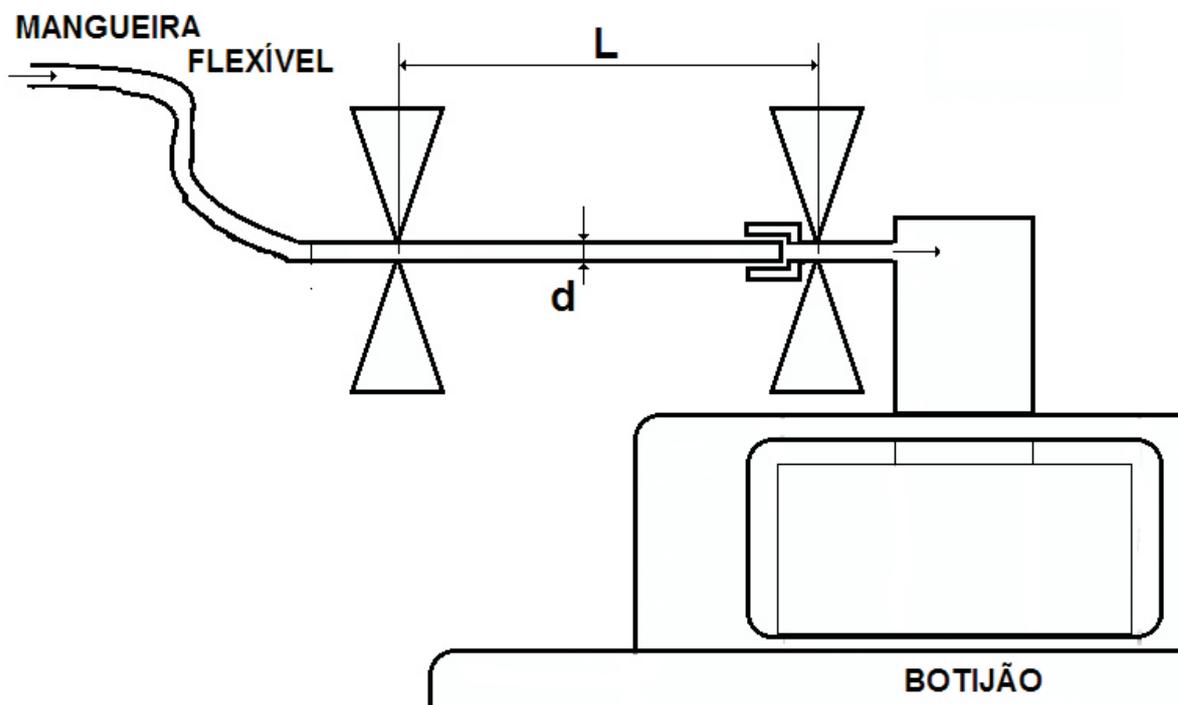


Figura 17: Esquema do Envasamento de Botijões P-20, P-45 e P-90

## Método de Cálculo

A estimativa de emissões de Gás LP nessa operação deve ser efetuada para cada botijão, através do cálculo de volume de Gás LP que fica retido entre as válvulas do sistema e do botijão.

O cálculo do volume considera o diâmetro do injetor e o comprimento/distância entre a válvula do sistema e a conexão com botijão conforme a equação abaixo.

$$V = (\pi * d^2/4) * L$$

onde:

V = volume de Gás LP que fica retido entre as válvulas do sistema e do botijão (cm<sup>3</sup>)

d = diâmetro do tubo compartimentado (cm)

L = distância entre a válvula do sistema e conexão com botijão (cm)

Emissão de Gás LP proveniente do Envasamento de Botijões P-20/P-45/P-90:

$$\text{Emissão estimada em kg de Gás LP} = (V / 10^6) * \rho$$

onde:

$\rho$  = densidade do Gás LP (fase líquida) = 550 kg/m<sup>3</sup> @ 20° C.

## Decantação de Botijões

### Descrição da atividade/processo

A decantação é o processo no qual os botijões cheios, que apresentam vazamentos ou defeitos, têm o seu conteúdo drenado. Essa operação é realizada em uma bancada própria (**Figura 18**), dotada de mangueiras e engates, que são conectadas aos botijões para esvaziá-los.



**Figura 18: Bancada de Decantação**

O Gás LP é removido devido ao diferencial de pressão entre a linha de decantação, interligada ao reservatório pulmão e o botijão. As fases líquida e vapor do Gás LP são conduzidas ao reservatório pulmão, sendo que uma parte da fase vapor que não foi drenada em virtude da equalização da pressão entre os dispositivos é descartada para atmosfera.

A operação de decantação apresentada na **Figura 19** é realizada através das seguintes etapas:

**Etapa 01** - O botijão, usualmente com Gás LP na fase vapor e pressão em torno de  $7,0 \text{ kgf/cm}^2$  ( $P_2$ ) é conectado ao sistema de decantação. Esse sistema está interligado ao reservatório pulmão, o qual opera geralmente com pressão inferior ( $P_1$ ) na faixa de  $1,5$  a  $5,0 \text{ kgf/cm}^2$  (algumas empresas conseguem, segundo informado, operar com pressão menor, minimizando as emissões para a atmosfera). Nessa operação a válvula do reservatório pulmão ( $V_1$ ) e a válvula da tubulação ( $V_2$ ) que conduz o Gás LP do botijão para o reservatório permanecem abertas até equalização da pressão entre os dois sistemas, sem emissão de Gás LP.

- No início da Etapa 01 –  $P_1 < P_2$ ;
- No final da Etapa 01 –  $P_1 = P_2$

**Etapa 02** - Após equalização da pressão dos botijões com o reservatório pulmão, a válvula ( $V_2$ ) da tubulação que conduz o Gás LP do botijão para o reservatório é fechada, e abre-se a válvula ( $V_3$ ) da tubulação que conduz o Gás LP (fase vapor) do botijão para o ambiente, até atingir a pressão atmosférica ( $P_3$ ).

- No início da Etapa 02 –  $P_2 > P_3 =$  Pressão Atmosférica
- No final da Etapa 02 –  $P_2 = P_3 =$  Pressão Atmosférica

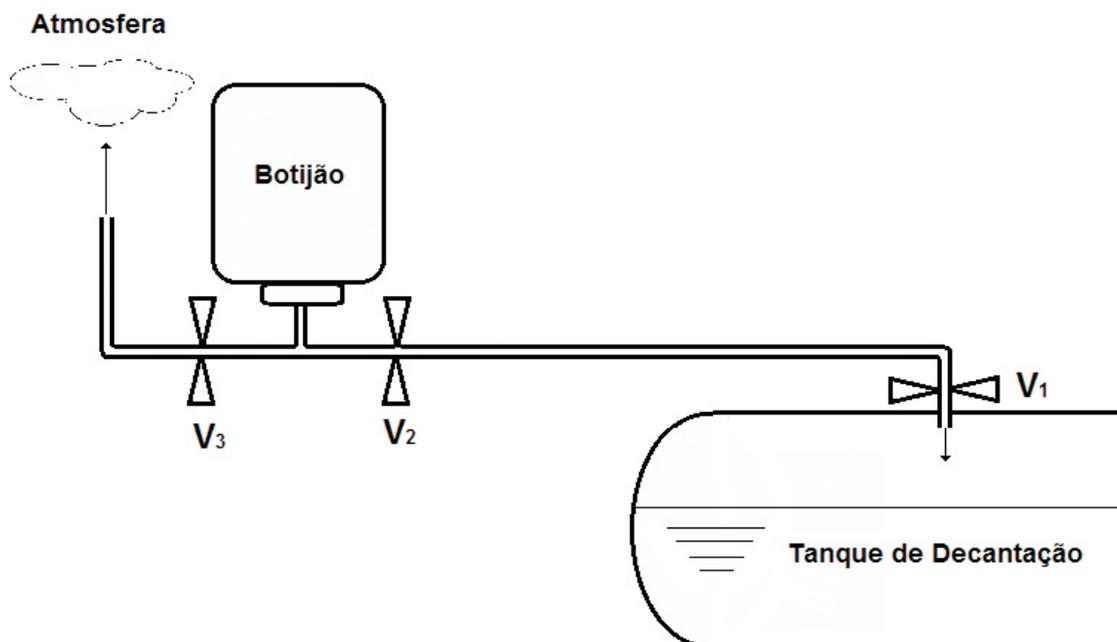


Figura 19 – Esquema do Processo de Decantação

## Método de Cálculo

O cálculo da emissão considera o volume de cada botijão que teve o Gás LP decantado e despressurizado, conforme apresentado na **Tabela 05**.

**Tabela 05: Volumes líquidos de Botijões para Gás LP**

TIPO DE BOTIJÃO	PESO LÍQUIDO	VOLUME LÍQUIDO
P-2	2 kg	0,005 m <sup>3</sup>
P-5	5 kg	0,012 m <sup>3</sup>
P-13	13 kg	0,031 m <sup>3</sup>
P-20	20 kg	0,048 m <sup>3</sup>
P-45	45 kg	0,108 m <sup>3</sup>
P-90	90 kg	0,216 m <sup>3</sup>

Emissão de Gás LP proveniente da decantação de botijões:

$$\text{Emissão estimada em kg de Gás LP} = V * \rho$$

onde:

V = volume líquido do botijão decantado (m<sup>3</sup>) - Tabela 05

$\rho$  = densidade do GÁS LP (fase vapor) = 2,2 kg/m<sup>3</sup> @ 15,6° C – Pressão Atmosférica (considerada média de densidades do butano, 2,5 kg/m<sup>3</sup> e propano 1,9 kg/m<sup>3</sup> – nas condições apresentadas).

## Cabine de Repintura de Botijões

### Descrição da atividade/processo

Para realização do processo de repintura dos botijões são utilizadas tintas cuja composição é em geral constituída por 20 a 30% de sólidos (pigmento) e 70 a 80% de solventes. Os solventes facilitam a aplicação e promovem a secagem rápida. Uma parcela fica no interior da cabine de repintura e é lançada para a atmosfera através do sistema exaustão e chaminé. A outra parcela é evaporada a partir da superfície do botijão devido à secagem. O processo de repintura é responsável pela emissão de dois tipos de poluentes: Compostos Orgânicos Voláteis (COV) e Material Particulado (MP). A **Figura 20** ilustra a cabine de repintura de botijões.



**Figura 20: Cabine de repintura de botijões.**

### Método de Cálculo – Emissões de COVs

Para o cálculo das estimativas de emissões de compostos orgânicos voláteis (COV) nas operações de repintura dos botijões foi realizado um Balanço de Massa, considerando que todo o solvente empregado no processo tenha sido evaporado e emitido para a atmosfera, conforme proposto pela U.S.EPA no AP42 - *Evaporation Loss Sources – Chapter 4, General Industrial Surface Coating- 4.2.2.1*.

Deve ser calculado o consumo total de solventes com base no volume de tinta utilizado no período e a composição da tinta, somado ao consumo de solvente empregado para limpeza e diluição de tinta. O consumo de solventes corresponde à emissão de COVs no período avaliado.

Emissão de COVs proveniente do processo de repintura de botijões:

$$\text{Emissão estimada de COVs em kg} = V_t * \% \text{ de solvente} * \rho_t$$

onde:

$V_t$  = volume de tinta consumido no período considerado ( $m^3$ )

$\rho_t$  = densidade do solvente ( $kg/m^3$ )

## Método de Cálculo – Emissões de Material Particulado (MP)

A Coleta e Análise de Material Particulado (MP) devem ser efetuadas empregando-se o Método CETESB L9.225 - Determinação de Material Particulado em Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias. O material particulado presente no fluxo gasoso é coletado isocineticamente, empregando-se um Coletor Isocinético de Poluentes Atmosférico – CIPA, devidamente calibrado. A massa de material particulado coletada é quantificada através de análise gravimétrica.

Para cálculo das emissões de Material Particulado a taxa de emissão de Material Particulado medida em campo (em kg/hora) é multiplicada pelo total de horas trabalhadas no período de referência considerado.

Emissão de MP proveniente do processo de repintura de botijões:

$$\text{Emissão estimada de MP em kg} = \text{Taxa de emissão} * T$$

onde:

Taxa de emissão = taxa de emissão de Material Particulado medida em campo (kg/hora)

T = Total de horas trabalhadas (hora)

## Emissões Fugitivas de Componentes de Tubulações

### Descrição da atividade/processo

A perda de produto através da vedação de um equipamento ou componente constitui a emissão fugitiva. Essa perda ocorre com grande frequência em torno das partes móveis do equipamento uma vez que a vedação não é perfeita e permite que pequenas quantidades do produto escapem para a atmosfera. São perdas indesejáveis que ocorrem em virtude das características intrínsecas e/ou problemas de manutenção desses equipamentos. A **Figura 21** ilustra alguns acessórios e dispositivos responsáveis pelas emissões fugitivas de Gás LP.



**Figura 21: Dispositivos e acessórios**

### Método de Cálculo

Para o cálculo das estimativas de emissões fugitivas de Gás LP de componentes (válvulas, flanges, acessórios e dispositivos) de tubulações devem ser adotados fatores de emissão da ARPEL - *Asociacion Regional de Empresas de Petroleo y Gas Natural em Latinoamerica e El Caribe*.

A estimativa de emissões fugitivas de Gás LP será efetuada pela multiplicação da quantidade de cada componente (válvulas, flanges, acessórios, etc) instalado na tubulação em operação por cada sistema, pelo fator da ARPEL adequado, obtido da **Tabela 06**. Recomenda-se a utilização do fator médio (*Average*).

**Tabela 06: Fatores de Emissão de Válvulas, Acessórios e Dispositivos de Tubulações**

**Table 7.13 Fugitive Emission Factors of LPG Equipment in the Distribution Sector, kg/component/hour (API Publication 4615)**

	Average	No-Leak	Leak	Non-Emitter	Emitter (10-9,999 ppm)	Leak
Connection	2.74 E-04	1.09 E-05	0.02836	8.34 E-06	1.51 E-06 (SV) <sup>0.735</sup>	0.02836
Flange	4.39 E-04	2.73 E-05	0.08504	9.98 E-06	2.42 E-06 (SV) <sup>0.703</sup>	0.08504
Open End	1.04 E-04	3.06 E-05	0.03031	1.27 E-05	2.16 E-06 (SV) <sup>0.704</sup>	0.03031
Pump Seal	1.15 E-04	8.14 E-05	0.07395	3.06 E-05	4.80 E-05 (SV) <sup>0.610</sup>	0.073.95
Valve	3.87 E-04	3.42 E-04	0.06403	1.22 E-05	2.27 E-06 (SV) <sup>0.746</sup>	0.06403
Others*	4.87 E-04	1.72 E-04	0.07285	3.95 E-06	1.32 E-05 (SV) <sup>0.589</sup>	0.07285

\* Includes instruments, loading arms, pressure relief valves, stuffing boxes, compressor seals, dump lever arms, vents.

**Fonte: ARPEL, 1998**

Emissão de Gás LP proveniente de componentes de tubulações:

$$\text{Emissão estimada em kg de Gás LP} = \text{número de componentes} * F * T$$

onde:

F = Fator ARPEL da Tabela 06 (kg/componente/hora)

T = Tempo de operação dos componentes (horas)

## Motores a Combustão – Sistema de Combate a Incêndio

### Descrição da atividade/processo

Não existe nenhum processo a combustão nas atividades das bases de armazenamento, envasamento e distribuição de Gás LP. Existem apenas processos auxiliares com motores a combustão (moto-bombas a gasolina ou diesel) os quais são utilizados no sistema de combate a incêndio (**Figura 22**).



Figura 22: Casa de combate a incêndio

### Método de Cálculo

Para cálculo da estimativa de emissões de CO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub>, será empregado Balanço de Massa, considerando que 100% do carbono/enxofre contido no combustível é convertido a CO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub>.

Emissão de CO<sub>2</sub> proveniente dos motores a combustão (sistema de combate a incêndio):

$$\text{Emissão estimada de CO}_2 = [(\%C)/100 * E_c * Q * (\text{Mol do CO}_2) / (\text{Mol do C})]$$

onde:

E = Emissão do poluente CO<sub>2</sub> (kg/mês)

%C - Fração mássica de carbono contido no combustível – igual a 0,13

E<sub>c</sub> - eficiência de conversão de C para CO<sub>2</sub> - considerar eficiência igual a 1

Q - vazão mássica de combustível utilizado (kg/mês)

Mol do CO<sub>2</sub> - Massa molecular de CO<sub>2</sub> - igual a 44,01 kg/kgmol

Mol do carbono (C) - Massa atômica de carbono - igual a 12,01 kg/kgmol

Emissão de SO<sub>2</sub> proveniente dos motores a combustão (sistema de combate a incêndio):

$$\text{Emissão estimada de SO}_2 = [(\%S)/100 * E_s * Q * (\text{Mol do SO}_2) / (\text{Mol do S})]$$

onde:

E = Emissão do poluente SO<sub>2</sub> (kg/mês)

%S - Fração mássica de enxofre contido no combustível – igual a 3,5\*10<sup>-3</sup>

E<sub>s</sub> - eficiência de conversão de S para SO<sub>2</sub> - considerar eficiência igual a 1

Q - vazão mássica de combustível utilizado (kg/mês)

Mol do SO<sub>2</sub> - Massa molecular de SO<sub>2</sub> - igual a 64,06 kg/kg-mol

Mol do enxofre (S) - Massa atômica de enxofre - igual a 32,06 kg/kg-mol

Para o cálculo das estimativas de emissões de poluentes que compõe os demais gases de combustão gerados pelas moto-bombas (que utilizam diesel ou gasolina como combustível) dos sistemas de combate a incêndios, devem ser empregados os fatores de emissão constantes da **Tabela 07** (Table 3.3-1 - Chapter 3: Stationary Internal Combustion Sources -AP 42, Fifth Edition, Volume I). Definido o poluente que será estimado, empregamos o seguinte cálculo:

Emissões de NO<sub>x</sub>, CO, MP e HCNM(TOC) provenientes dos motores a combustão (sistema de combate a incêndio):

$$E_p = \frac{\text{Consumo} * PC * F * 0,453592}{1.000.000}$$

onde:

E<sub>p</sub> = Emissão do poluente de interesse - NO<sub>x</sub>, CO, MP e HCNM(TOC) - (kg/ano)

Consumo = Consumo do combustível (kg/ano)

PC = Poder calorífico do óleo diesel = 10.300 kcal/kg = 40.901 Btu/kg

PC = Poder calorífico da gasolina = 10.500 kcal/kg = 41.695 Btu/kg

F = Fator da EPA/AP-42 - Tabela 07 – (lb/MMBtu)

**Tabela 07 - Fatores de Emissão para Motores a Combustão:**

POLUENTE	FATOR DE EMISSÃO (lb/MMBTU)	
	CONSUMO DE DIESEL	CONSUMO DE GASOLINA
NO <sub>x</sub>	4,41	1,63
CO	0,95	0,99
MP	0,31	0,10
HCNM (TOC)	0,35	2,10

Fonte: EPA - AP 42, Fifth Edition, Volume I - Chapter 3: Stationary Internal Combustion Sources – Table 3.3-1

## Manutenção de compressores

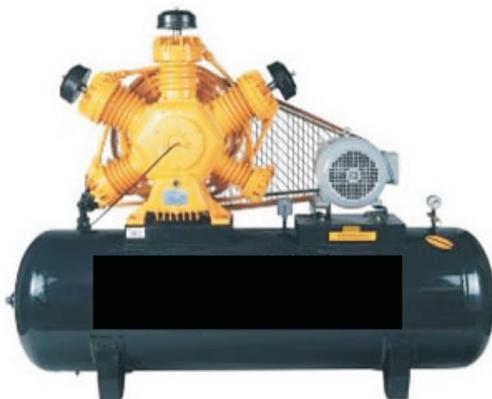
### Descrição da atividade/processo

Para execução de manutenção dos compressores, a qual inclui adição e substituição de óleo lubrificante, é efetuada a drenagem de Gás LP do sistema (**Figura 23**). Essa drenagem é efetuada por período limitado ao esgotamento de Gás LP (fase vapor) presente no interior do compressor (câmara de compressão dos pistões).

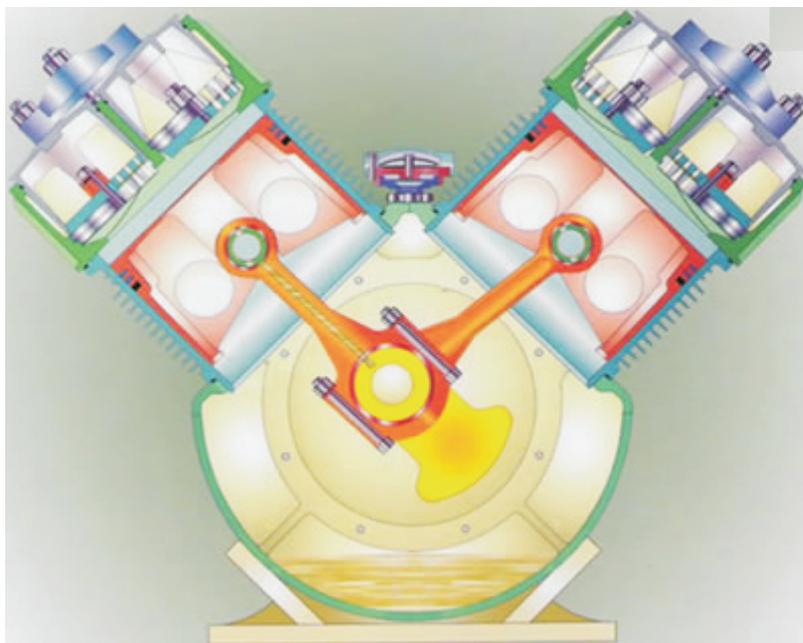


**Figura 23:** Vaso de óleo lubrificante

As **Figuras 24 e 25** mostram o compressor típico empregado na transferência de GÁS LP, e detalhe da câmara de compressão.



**Figura 24:** Compressor Típico



**Figura 25: Detalhe da Câmara de compressão**

## Método de Cálculo

O cálculo da estimativa de emissões de Gás LP é baseado no volume da câmara de combustão, que depende da quantidade de cilindros do compressor. É importante salientar, que as transferências de Gás LP são comumente realizadas através de compressores alternativos, nos quais a compressão do Gás é feita em uma câmara de volume variável por um pistão. Dessa forma, para cálculo dessa emissão é necessário conhecer o volume das câmaras de compressão dos compressores, constantes de manual de instalação/operação.

Emissão de Gás LP proveniente do processo de manutenção de compressores:

$$\text{Emissão estimada em kg de Gás LP} = V * \rho * n$$

onde:

V = volume da câmara de compressão ( $m^3$ );

n = número de manutenções por ano;

$\rho$  = densidade do Gás LP (fase vapor) =  $2,2 \text{ kg/m}^3 @ 15,6^\circ \text{ C} - P_{atm}$  (considerada média de densidades do butano,  $2,5 \text{ kg/m}^3$  e propano,  $1,9 \text{ kg/m}^3$  – nas condições apresentadas).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia de cálculo de emissões atmosféricas apresentada neste documento é uma nova metodologia baseada em critérios técnicos específicos, a qual foi desenvolvida de acordo com as especificidades das Bases de Armazenamento, Envase e Distribuição de Gás LP. Apenas dois processos, o de carregamento/descarregamento e as emissões fugitivas a partir de acessórios, possuíam referência de cálculo na literatura internacional.

Essa metodologia possibilitará o diagnóstico das emissões das bases de armazenamento, envase e distribuição de Gás LP e a identificação dos processos com emissões mais significativas.

A partir deste procedimento será possível dar início a revisão e otimização de todos os processos existentes com o objetivo de identificar possíveis medidas mitigadoras para redução das emissões atmosféricas.

Desse modo, esse trabalho pretende contribuir para a implementação da gestão das emissões atmosféricas nas Bases de Armazenamento, envase e Distribuição de Gás LP.

## BIBLIOGRAFIA

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 15186 - Base de armazenamento, envasamento e distribuição de GÁS LP – Projeto e construção.
- ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - Resolução N° 18, de 02/09/2004.
- ARPEL Guidelines – Atmospheric Emissions Inventories Methodologies in the Petroleum Industry – December 1998.
- CETESB – Estimativa de Emissões de Poluentes Atmosféricos - apostila do treinamento realizado na CETESB – Julho, 2009.
- DELMÉE, G.J., Manual de Medição de Vazão, 3ª Edição Revisada e Atualizada, Editora Edgard Blücher Ltda., São Paulo, 2003 ([eblicher@uol.com.br](mailto:eblicher@uol.com.br)).
- EPA – Environmental Protection Agency - Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors – (<http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/>)
- Fluidos 03-10: Medidores comuns de vazão ([http://www.mspc.eng.br/fldetc/fluid\\_0310.shtml](http://www.mspc.eng.br/fldetc/fluid_0310.shtml))
- Instrumentação Básica II - Vazão, Temperatura e Análise Instrumentação SENAI ES, 1999.
- Manual de Medição de Vazão – 3ª Edição – Gérard J. Delmée
- PERRY R.H., CHILTON C.H. - Chemical Engineers' Handbook - 5ª Edition, McGraw-Hill International Book Company Auckland, 1973.
- Produto & Produção - vol. 11, n. 1, p. 99 – 112 - Edição Metrologia - Fevereiro, 2010.
- SCHNEIDER, P.S. - Medição de Velocidade e Vazão de Fluidos - Apostila da disciplina de Medições Térmicas - Engenharia Mecânica - UFRGS, Porto Alegre, 2007 ([www.geste.mecanica.ufrgs.br](http://www.geste.mecanica.ufrgs.br)).
- UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Importância da Avaliação das Incertezas na Medição dos Volumes de Petróleo e Gás Natural  
(<http://seer.ufrgs.br/index.php/ProdutoProducao/article/viewFile/11840/7042>)