



CADERNO  
4



Oportunidades de Negócio para a  
Comercialização do CO<sub>2</sub> de uma  
Planta de Biogás

**PROBIOGÁS**



# PROBIOGÁS

## Projeto Brasil – Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil

O Projeto Brasil - Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil - PROBIOGÁS é um projeto inovador, fruto de uma cooperação técnica entre a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades e a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ). O projeto conta com uma rede de parcerias nas esferas governamental, acadêmica e empresarial.

Para alcançar o objetivo de ampliar o aproveitamento energético de biogás no Brasil vêm sendo estimulados, além de estudos técnicos, o desenvolvimento e a divulgação de ações diretamente relacionadas ao aproveitamento do biogás oriundo de esgotos, efluentes e resíduos sólidos (tanto urbanos como agropecuários). O PROBIOGÁS tem como principais linhas de atuação:

- **Informações de Base e Condições Quadro:** Levantamento e disseminação de informações sobre o aproveitamento energético de biogás e melhoria das condições quadro;
- **Capacitação:** Apoio à formação profissional e sensibilização/capacitação de instituições e agentes relevantes para consolidação do tema no Brasil;
- **Parcerias acadêmicas e empresariais:** Facilitação na formação de parcerias acadêmicas e empresariais entre o Brasil e a Alemanha;
- **Boas Práticas e Projetos de Referência:** Apoio técnico a potenciais projetos de referência para o setor.

[www.cidades.gov.br/probiogas](http://www.cidades.gov.br/probiogas)



# PROJETO BRASIL – ALEMANHA DE FOMENTO AO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS NO BRASIL

**PROBIOGÁS**



Parte da **giz** Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Ministério das  
Cidades

GOVERNO FEDERAL  
**BRASIL**  
PÁTRIA EDUCADORA

*Janeiro 2015*

# OPORTUNIDADES DE NEGÓCIO PARA A COMERCIALIZAÇÃO DO CO<sub>2</sub> DE UMA PLANTA DE BIOGÁS

## **Coordenação do projeto**

Ernani Ciríaco de Miranda (Ministério das Cidades), Wolfgang Roller (GIZ)

## **Publicado por**

Projeto Brasil–Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil – PROBIOGÁS (Projeto de Cooperação Técnica Bilateral entre a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades – SNSA/MCidades, e a Agência Alemã de Cooperação Internacional – GIZ)

## **Contatos**

*SNSA / MCidades:* Setor de Autarquias Sul, Quadra 01, Lote 01/06, Bloco H, Ed. Telemundi II CEP: 70070-010, Brasília – DF, Brasil, telefone: +55(61) 2108-1000  
[www.cidades.gov.br](http://www.cidades.gov.br)

*Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH:*

SCN Quadra 1 Bloco C Sala 1501 – 15º andar Ed. Brasília Trade Center, CEP: 70711-902, Brasília-DF, Brasil, telefone: +55 (61) 3963-7524  
[www.giz.de](http://www.giz.de)

## **Autor**

Heinz-Peter Schnicke

## **Revisores**

Jens Giersdorf (GIZ), Roberta Knopki (GIZ), Luis Costa Jr. (GIZ)

## **Capa**

Danielle Kawasaki (GIZ)

## **Projeto gráfico e diagramação**

Estúdio Marujo

*Janeiro 2015*

## Informações Legais

1. A duplicação ou reprodução de todo ou partes do estudo (incluindo a transferência de dados para sistemas de armazenamento de mídia) e distribuição para fins não comerciais é permitida, desde que o projeto PROBIOGÁS seja citado como fonte da informação. Para outros usos comerciais, incluindo duplicação, reprodução ou distribuição de todo ou partes deste estudo, é necessário o consentimento por escrito do Ministério das Cidades e da GIZ.

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| <b>1. Introdução</b>                                  | 7  |
| <b>2. Gás carbônico provindo do biogás</b>            | 8  |
| <b>2.1. Sistemas de purificação do CO<sub>2</sub></b> | 13 |
| <b>3. Dados do mercado de CO<sub>2</sub></b>          | 16 |
| <b>4. Indústrias fornecedoras de CO<sub>2</sub></b>   | 19 |
| <b>5. Discussão e recomendações</b>                   | 21 |
| <b>6. Referências bibliográficas</b>                  | 22 |
| <b>Anexo I</b>  | 24 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 01</b> – Composição estimada do biogás de acordo com o substrato                   | 8  |
| <b>Tabela 02</b> – Sistemas de purificação do biogás   | 9  |
| <b>Tabela 03</b> – Diferentes métodos e seus respectivos teores de pureza do CO <sub>2</sub> | 14 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 01</b> – Alimentos embalados com atmosfera modificada   | 12 |
| <b>Figura 02</b> – Ilustração esquemática do circuito de ar-condicionado automotivo com utilização de CO <sub>2</sub> | 12 |
| <b>Figura 03</b> – Sistema de compressão do CO <sub>2</sub>   | 13 |
| <b>Figura 04</b> – Processo de purificação do CO <sub>2</sub>   | 15 |
| <b>Figura 06</b> – Diagrama esquemático de um circuito de ar-condicionado automotivo utilizando CO <sub>2</sub>       | 17 |





## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil existe uma demanda considerável de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) para diferentes aplicações como, por exemplo, em indústrias alimentícias, siderúrgicas, hospitais, etc. Atualmente as principais fontes de  $\text{CO}_2$  são de combustão de produtos derivados de petróleo. Com o aumento da produção e consumo de produtos que necessitam desse gás, aumenta-se a sua demanda e fontes alternativas para obtenção de gás se fazem necessárias.

Os resíduos orgânicos provindos da suinocultura, avicultura, frigoríficos e indústrias de processamento de alimentos da região sul do Brasil que representa a maior produção de suínos e aves do país, podem ser utilizados como uma fonte alternativa para obtenção de  $\text{CO}_2$ .

Os diferentes resíduos orgânicos podem ser aproveitados como substratos em uma usina para produção de biogás, geração de energia elétrica e térmica, biometano e biofertilizante; proporcionando um tratamento adequado e eficaz para estes resíduos.

Durante o processo de purificação do biogás para obtenção do biometano ocorre a geração do  $\text{CO}_2$ , como um subproduto. Dependendo da finalidade, este  $\text{CO}_2$  precisará ser purificado e liquefeito para ser comercializado, ou poderá ser apenas liquefeito e consumido diretamente.

Dessa forma, este trabalho se preocupa com o  $\text{CO}_2$  derivado de uma usina de biogás, que pode ser valorizado e inserido no mercado, considerando-se as possibilidades de utilização e a demanda existente no Brasil. Faz-se necessário uma pesquisa de mercado detalhada por se tratar de uma fonte diferenciada e atentar para as especificações do mercado, visando à inserção do  $\text{CO}_2$ , mediante distribuidores de gases ou diretamente em indústrias que necessitem deste produto.

Mediante consultas a especialistas e coleta e análise de dados do mercado de  $\text{CO}_2$ , será possível estabelecer diretrizes para valoração e comercialização deste produto.

Seguem os objetivos desse estudo:

- Avaliação técnica prévia do  $\text{CO}_2$  da purificação de biogás;
- Compilação e análise dos dados sobre o mercado;
- Recomendações em relação aos modelos de negócio para comercialização deste subproduto no Brasil.





## 2. GÁS CARBÔNICO ORIUNDO DO BIOGÁS

A composição do biogás reúne uma grande variedade de gases que são provenientes do processo específico de tratamento e dependem da variedade dos substratos orgânicos, como pode ser observado na Tabela 01. Basicamente, o biogás é uma mistura de metano (CH<sub>4</sub>) e gás carbônico (CO<sub>2</sub>), além de outros gases em menores proporções.

Tabela 01 – Composição estimada do biogás de acordo com o substrato

| Componentes   | Resíduos domésticos | Lodos de estação de tratamento de efluente | Resíduos da agricultura | Resíduos da indústria de alimentos |
|---|---------------------|--|-------------------------|------------------------------------|
| CH <sub>4</sub> % vol                               | 50 – 60             | 60 – 75                                    | 60 – 75                 | 68                                 |
| CO <sub>2</sub> % vol                               | 38-34               | 33-19                                      | 33-19                   | 26                                 |
| N <sub>2</sub> % vol                                | 5-0                 | 1-0  | 1-0                     | –                                  |
| O <sub>2</sub> % vol                                | 1-0                 | < 0,5                                      | < 0,5                   | –                                  |
| H <sub>2</sub> O % vol (a 40°C)                     | 6                   | 6  | 6                       | 6                                  |
| Total % vol   | 100                 | 100  | 100                     | 100                                |
| H <sub>2</sub> S mg/m <sup>3</sup>                  | 100 – 900           | 1000 – 4000                                | 3000 – 10000            | 400                                |
| NH <sub>3</sub> mg/m <sup>3</sup>                   | –                   | –  | 50 – 100                | –                                  |
| Aromáticos mg/m <sup>3</sup>                        | 0 – 200             | –  | –                       | –                                  |
| Organoclorados ou organofluorados mg/m <sup>3</sup> | 100-800             | –  | –                       | –                                  |

Fonte: ZHAO, 2010.

O biogás, sem passar por um processo de tratamento, é extremamente corrosivo, pois apresenta H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O. Seu aproveitamento nessa forma necessita de equipamentos específicos, manutenções e substituições de peças frequentes.

Por esse motivo, faz-se necessário incluir no processo da planta de biogás a redução e/ou remoção, principalmente do H<sub>2</sub>S e da H<sub>2</sub>O. O H<sub>2</sub>S, ácido sulfídrico, pode ser removido parcialmente durante as etapas do processo de fermentação anaeróbica, permitindo que o biogás produza energia elétrica, sem prejuízos para o motor-gera-



dor. No entanto, se o objetivo da usina for produção de biometano, o biogás, obrigatoriamente, precisa passar por um processo extra de purificação para remoção do  $H_2S$  excedente, do  $CO_2$  e da  $H_2O$ . A purificação permite a utilização do biometano diretamente como combustível para veículos movidos à gas natural, com reduzida emissão de gases de efeito estufa e redução de custos de manutenção e consumo destes motores veiculares.

A produção de biometano em uma usina de biogás é uma ótima opção para a viabilidade do projeto, pois com o processo de purificação do biogás, além da obtenção do biometano é possível coletar o gás carbônico que é liberado no processo, podendo este ser separado e aproveitado, se tornando um subproduto do processo de produção de biometano. Este gás pode ser armazenado para posterior comercialização, pois é utilizado em diferentes processos industriais.

Os processos de purificação são divididos em várias etapas, sendo possível a separação do  $CO_2$ , remoção de sulfetos de hidrogênio, amônia, partículas de água, resíduos e impurezas. Dessa forma, o biogás purificado, denominado então biometano, apresentará uma concentração de  $CH_4$  acima dos 95%, atendendo as especificações da qualidade de acordo com as normas do país onde será utilizado. Para execução destes processos poderão ser utilizados diferentes métodos, cada um com suas vantagens e desvantagens conforme apresentado na Tabela 02.

Tabela 02 – Sistemas de purificação do biogás

| Método                          | Opção/<br>Alternativas | Vantagens   | Desvantagens   |
|---------------------------------|------------------------|---|--|
| Absorção com água               |                        | Alta eficiência (> 97% $CH_4$ ); remoção simultânea do $H_2S$ quando < 300 $cm^3/m^3$ ; capacidade ajustável por mudança de pressão ou temperatura; baixas perdas de $CH_4$ (< 2%), tolerante para impurezas. | Alto custo de investimento e operação; entupimentos devido ao crescimento bacteriano; possível formação de espuma; baixa flexibilidade para variação da entrada de gás.                      |
| Absorção com polietileno glicol |                        | Alta eficiência (> 97% $CH_4$ ); remoção simultânea de orgânicos, componentes de S, $H_2S$ , $NH_3$ , HCN e $H_2O$ ; ativo mais favorável do que a água; regenerativo;  | Alto custo de investimento e operação; dificuldade de operação; regeneração incompleta quando stripping/vácuo (ebulição necessária); redução de operação quando o glicol é diluído com água. |



| Método                                 | Opção/<br>Alternativas  | Vantagens   | Desvantagens  |
|--|---|---|---|
| Absorção química com aminas            |   | Alta eficiência (> 99% CH <sub>4</sub> ); operação barata; regenerativo; mais CO <sub>2</sub> dissolvido por unidade de volume (comparado com água); baixíssimas perdas de CH <sub>4</sub> (<0,1%).   | Alto custo de investimento; calor necessário para regeneração; corrosão; decomposição e envenenamento das aminas por O <sub>2</sub> ou outros químicos; precipitação de sais; possibilidade de formação de espuma.                    |
| Adsorção por variação de pressão (PSA) | Peneiras moleculares de carbono; Peneiras moleculares de zeólitas; Silicatos de alumina | Alta eficiência (95 –98% CH <sub>4</sub> ); remoção de H <sub>2</sub> S; baixo consumo de energia: alta pressão; técnica compacta; também para pequenas capacidades; tolerância a impurezas.  | Alto custo de investimento e operação; necessário amplo controle de processo; perdas de CH <sub>4</sub> com defeitos das válvulas.  |
| Tecnologia de membranas                | Gás/gás;<br>Gás/líquido   | H <sub>2</sub> S e H <sub>2</sub> O são removidos; construção e operação simples; alta confiabilidade; pequenos fluxos de gás tratados sem aumento proporcional dos custos.<br>· Gás/gás: eficiência de remoção < 92% CH <sub>4</sub> (1 etapa) ou > 96% CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> O é removida.<br>· Gás/líquido: eficiência de remoção > 96% CH <sub>4</sub> , baixo custo de investimento e operação, CO <sub>2</sub> puro pode ser obtido. | Baixa seletividade das membranas; entre a pureza do CH <sub>4</sub> e a quantidade de biogás; múltiplas etapas necessárias (sistema modular) para alcançar alta pureza; perdas de CH <sub>4</sub> . Alto consumo de energia elétrica. |
| Separação criogênica                   |   | 90 – 98% CH <sub>4</sub> pode ser alcançado; CO <sub>2</sub> e CH <sub>4</sub> em alta pureza; baixo custo de energia extra para atingir o biometano líquido.   | Alto custo de investimento e operação; CO <sub>2</sub> pode permanecer no CH <sub>4</sub> .   |
| Remoção biológica                      |   | Remoção de H <sub>2</sub> S e CO <sub>2</sub> enriquecidos de CH <sub>4</sub> ; não há produtos finais indesejados.   | Adição de H <sub>2</sub> ; sistema experimental – não em grande escala.   |



Outras informações sobre a geração e utilização do biogás podem ser obtidas no Guia Prático de Biogás (FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE e.V., 2014).

O CO<sub>2</sub> pode ser utilizado em diversos setores industriais para diferentes finalidades, deixando de ser classificado como um resíduo e tornando-se um recurso, um produto valorizado. Os principais ramos industriais, cada qual com suas especificações e exigências, onde é possível utilizar o CO<sub>2</sub> são:

- Indústria de alimentos para o congelamento e conservação com atmosfera modificada de alimentos, como por exemplo: frigoríficos, laticínios, indústrias de peixes, panificadoras, hortifrutis, etc. (vide Figura 01);
- Indústria de bebidas e refrigerantes para a carbonatação;
- Embalagens de diferentes materiais com atmosfera modificada, como por exemplo: equipamentos eletroeletrônicos, equipamentos médicos/hospitalares, cosméticos, itens de supermercados e restaurantes, etc.;
- Indústria de fertilizantes;
- Indústria de couros para a desencalagem do couro;
- Indústria de polímero na expansão de espuma de poliuretano (PU Foaming);
- Indústria de papel e celulose para controle do pH
- Indústria metalmeccânica em soldas;
- Indústrias frigoríficas para a insensibilização de animais;
- Tratamento de efluentes industriais na neutralização de alcalinos;
- Combate ao fogo no enchimento de extintores de incêndio;
- Lavação com gás comprimido de peças em metalúrgicas;
- Refrigeração industrial, para supermercados e sistemas de ar-condicionado automotivo (vide Figura 02).



Figura 01 – Alimentos embalados com atmosfera modificada

Fontes: BeefPoint (AVILE, 2013) e Universidade Online de Viçosa (ALMEIDA, 2013).

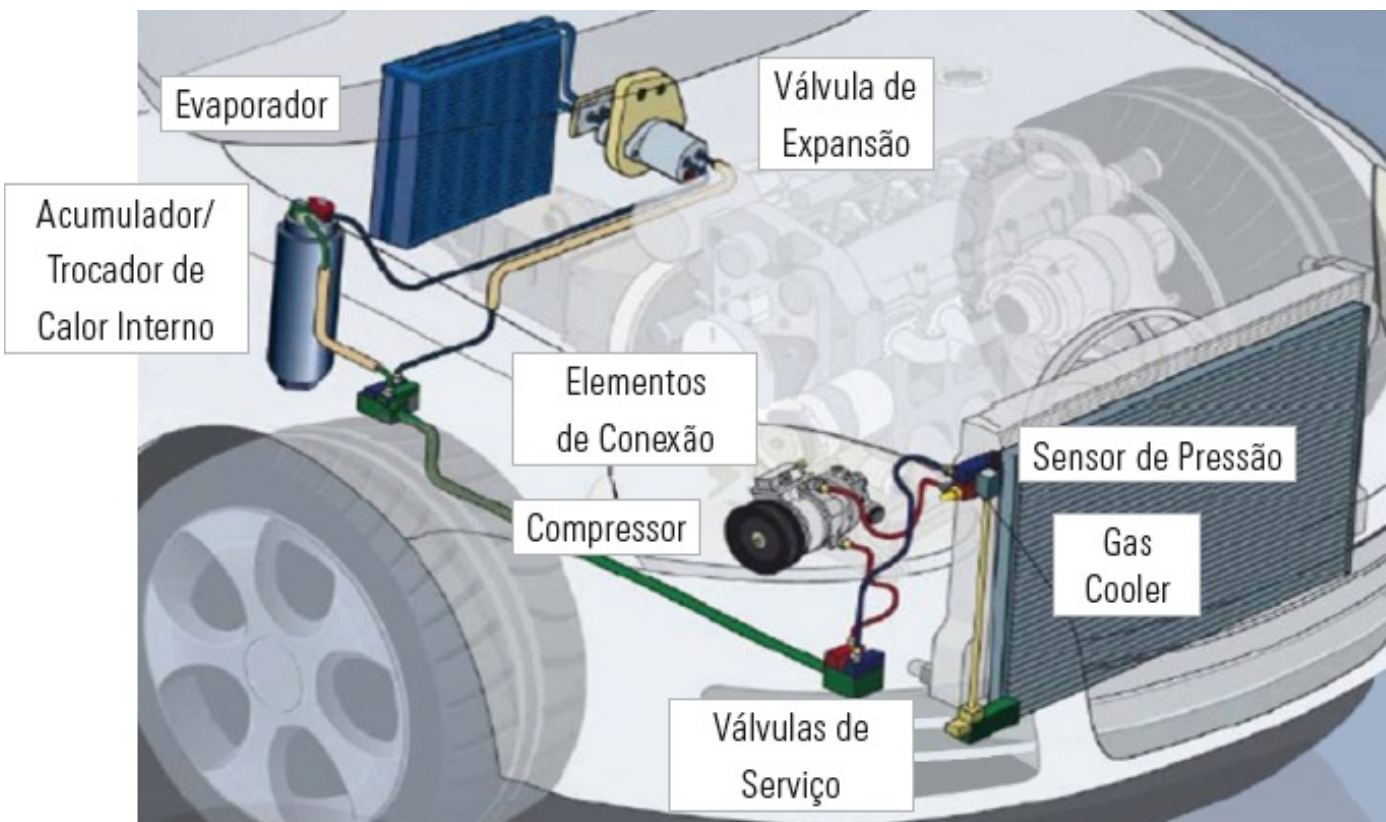


Figura 02 – Ilustração esquemática do circuito de ar-condicionado automotivo com utilização de CO<sub>2</sub>

Fonte: MMA, 2013.



## 2.1. SISTEMAS DE PURIFICAÇÃO DO CO<sub>2</sub>

De acordo com informações da empresa Union Engineering, o processo de purificação do gás carbônico pode ser realizado por uma unidade baseada na recuperação do CO<sub>2</sub>, com gás bruto a partir da produção de biometano. Os contaminantes presentes no gás carbônico bruto, seja de origem fóssil ou provindo do biogás, terão impacto na configuração da unidade de recuperação, de forma que análises do gás devem ser realizadas em diferentes períodos para verificar a estabilidade da fonte e fornecer informações confiáveis para um projeto final. Entretanto, qualquer CO<sub>2</sub> bruto precisará passar por processo de purificação para sua inserção no mercado.

Nesse capítulo será descrito um sistema de purificação do CO<sub>2</sub> teoricamente oriundo da purificação de biogás de uma usina de biogás, de uma forma geral. Não sendo o escopo desse estudo analisar possíveis adaptações necessárias decorrentes de especificações de cada caso.

O processo de purificação e recuperação pode ser descrito em etapas. Considerando uma produção de 1000 kg/h de CO<sub>2</sub> purificado, o fluxo de gás bruto deveria ser em torno de 1150 kg/h. Após a captação, o gás bruto segue para um sistema de lavagem com um depurador de água a contra-fluxo. A água flui em um circuito fechado e arrefece em placas trocadoras de calor por meio da água de refrigeração a partir da torre de resfriamento principal. A finalidade desse depurador é resfriar o gás até, aproximadamente, 38 °C para alcançar a condição adequada para entrar no compressor de CO<sub>2</sub>.

O CO<sub>2</sub> bruto é comprimido por um compressor alternativo sem óleo, equipado com coolers com separadores de água. O gás é resfriado depois de cada fase por meio de água de refrigeração, em um permutador de calor de concha/tubo e o condensado é separado e drenado em um vaso separador de água a jusante do trocador de calor, conforme pode ser visto na Figura 03.

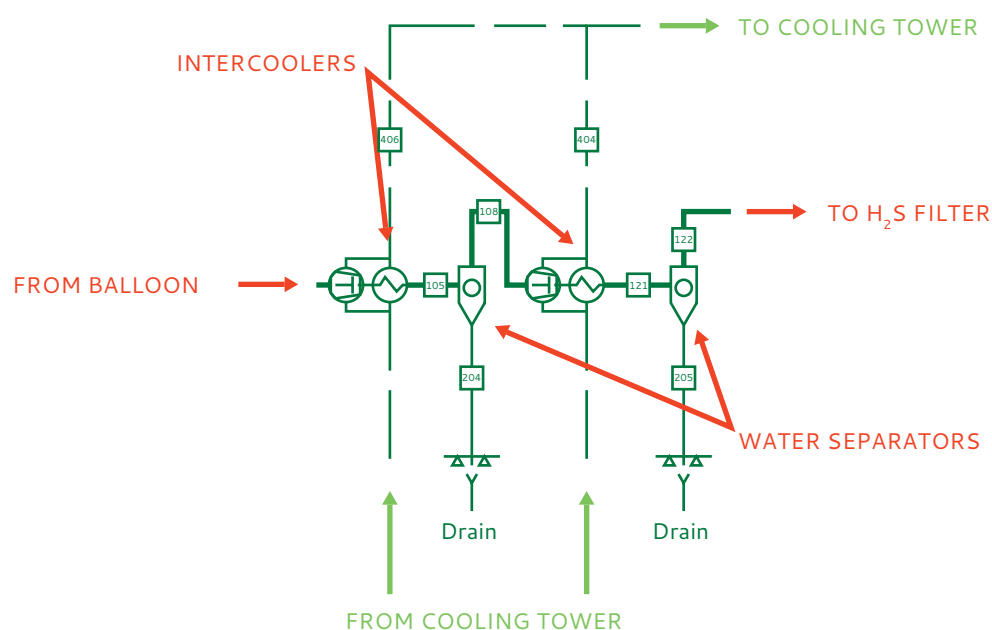


Figura 03 – Sistema de compressão do CO<sub>2</sub>

Fonte: Union Engineering LATAM Ltda, 2014.





O filtro de H<sub>2</sub>S é um recipiente com um catalisador adsorvente especial para remover os componentes contaminantes. O H<sub>2</sub>S presente no CO<sub>2</sub> bruto, independente do seu teor, precisará ser removido até atingir as especificações exigidas. O catalisador deve ser trocado periodicamente devido ao tempo de operação ou mediante análise de laboratório indicando uma deficiência de desempenho.

Os desidratantes são usados para secar o gás e chegar a um ponto de orvalho de -60 °C para remoção do acetato de etila. É um sistema de recipiente duplo, preenchido com um adsorvente especial e ciclo de regeneração; um recipiente é alinhado com o processo e o outro está no processo de regeneração automaticamente. Isso é necessário para permitir condensação do CO<sub>2</sub> e não criar gelo de água no sistema.

A regeneração do adsorvente é feita por meio de CO<sub>2</sub> aquecido do gás de purga e ventilado para a atmosfera. Este sistema também está equipado com um filtro de partículas, a fim de manter as partículas do adsorvente.

De acordo com a empresa Union, o sistema de purificação remove todos os gases inertes, tais como oxigênio e nitrogênio e é equipado com um CO<sub>2</sub> Reboiler, uma coluna de destilação e um condensador de CO<sub>2</sub>. A parte inferior da coluna de destilação é inundada por CO<sub>2</sub> líquido, que, devido ao refluxo de calor do lado do primário do reboiler, evapora e inicia o processo de separação na coluna de destilação.

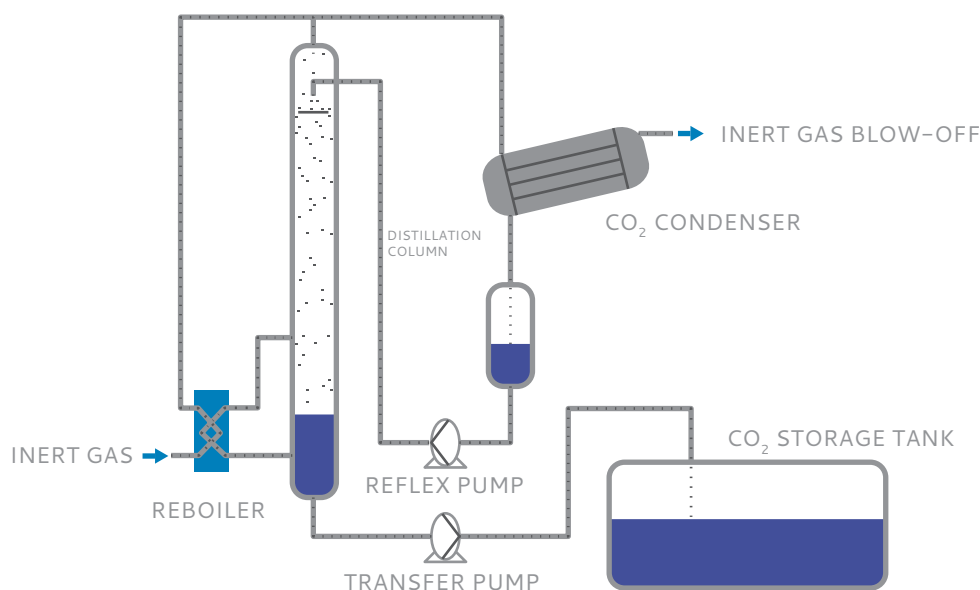
O CO<sub>2</sub> condensado a partir da unidade de recuperação flui para a parte superior da coluna de destilação, em contra-corrente com o gás ascendente gerado pelo reboiler. Os gases não condensáveis são retirados e purgados para a atmosfera através da parte superior do condensador de CO<sub>2</sub>. A Figura 04 apresenta o esquema do sistema de purificação.

As unidades de purificação convencionais ou personalizadas tratam o CO<sub>2</sub> atingindo purezas de acordo com a Tabela 03. Em relação à pureza do CO<sub>2</sub> procedente de um sistema de purificação de biogás de alta eficiência, pode-se considerar, normalmente, um gás com um grau de pureza superior a 99%.

Tabela 03 – Diferentes métodos e seus respectivos teores de pureza do CO<sub>2</sub>

| Produto     | Descrição                 | Pureza do CO <sub>2</sub> na entrada da unidade de recuperação | Pureza do CO <sub>2</sub> na fase líquida | Conteúdo de O <sub>2</sub> na fase líquida |
|-------------|---------------------------|--|---|--|
| Condensador | Baixa remoção de oxigênio | ≥ 99,7%  | ≥ 99,98%                                  | ≤ 30 ppm                                   |
| PUR – D     | Média remoção de oxigênio | ≥ 98%  | ≥ 99,99%                                  | ≤ 5 ppm                                    |
| PUR – A     | Alta remoção de oxigênio  | ≥ 95%  | ≥ 99,9985%                                | ≤ 2 ppm                                    |

Fonte: Union Engineering LATAM Ltda, 2014.



**Figura 04 – Processo de purificação do CO<sub>2</sub>**

Fonte: Union Engineering LATAM Ltda, 2014.

A condensação do CO<sub>2</sub> é feita por meio de evaporação de amônia. A planta de refrigeração é um sistema fechado, composto por um compressor, um condensador de amônia, um tanque de vaporização e uma válvula de expansão. O sistema de refrigeração de água é composto por uma torre de resfriamento aberta e uma bomba para recircular a água através de todos os diversos trocadores de calor da planta.

Existem outros modelos de processo de purificação do gás carbônico e deve-se considerar que cada caso deve ser analisado para uma definição da purificação específica em função do gás de entrada e da especificação exigida. De forma geral, alguns equipamentos utilizados na purificação do CO<sub>2</sub> são colunas de absorção com monoetanolamina, secadores com sílica gel ou alumina, colunas de destilação, lavadores com permanganato de potássio e torres de carvão ativado e/ou peneiras moleculares.

No sistema ERZ implantado pela BUSE Gastek GmbH, empresa com mais de 120 anos de experiência com tecnologias de CO<sub>2</sub>, o gás bruto passa por uma coluna de absorção, onde o dióxido de carbono é absorvido por meio de uma solução aquosa de monoetanolamina (MEA). A solução de MEA carregada com CO<sub>2</sub> é pré-aquecida e bombeada para desorção, onde o CO<sub>2</sub> é liberado como um gás úmido, na sequência o dióxido de carbono é resfriado e enviado para a compressão. A solução de MEA também é arrefecida, purificada e retorna para absorção. O CO<sub>2</sub> é comprimido e passa por um lavador (scrubber) de permanganato de potássio (KMnO<sub>4</sub>) para remoção das impurezas por oxidação. O gás carbônico é seco e as impurezas restantes são removidas por um filtro especial de carvão ativado. O CO<sub>2</sub> seco e purificado é resfriado por meio de gases refrigerantes como NH<sub>3</sub>, R507 ou R404a, até abaixo de -25 °C e em seguida liquefeito. Então o CO<sub>2</sub> líquido e com grau de pureza para alimentos é armazenado em tanques isolados (BUSE, 2013).





Algumas das empresas que atuam na área de purificação de gás carbônico são: Buse Gastek GmbH & Co.KG da Alemanha, Union Engineering LAMANT Ltda da Dinamarca, com filial no Brasil, The Witteman Company, LCC dos Estados Unidos. As empresas Air Liquid e Linde também possuem sistemas de purificação próprios.

### 3. DADOS DO MERCADO DE CO<sub>2</sub>

Usinas de purificação de CO<sub>2</sub> oriundo do biogás ainda não foram instaladas no Brasil nem na Europa. Logo, questões relacionadas com investimentos e viabilidade financeira deverão ser avaliadas para cada projeto em específico.

Considerando um projeto para o oeste de Santa Catarina, onde é possível purificar o CO<sub>2</sub> em nível industrial, o investimento para esse projeto, com produção de 650 kg/h ficaria em torno de 2 milhões de euros, valores sem considerar custos de importação e câmbio.

Os maiores consumidores de CO<sub>2</sub> são as indústrias de bebidas, como refrigerantes e cervejas, que exigem um gás com grau de pureza de 99,998%, praticamente livre de impurezas. No entanto, dados exatos sobre o tamanho desse mercado não são de fácil acesso devido às questões de concorrência entre as empresas fornecedoras, considerando que o mercado ainda é dominado por uma única empresa, a Praxair. As indústrias de alimentos que utilizam o CO<sub>2</sub> para resfriamento e conservação de alimentos também exigem um gás com elevado grau de purificação denominado food grade, mas os níveis de impurezas são diferenciados. As diferenças entre os limites de impurezas contidos no CO<sub>2</sub> para esses dois tipos de indústria podem ser observados no Anexo I. Além disso, essas empresas do ramo alimentício e de bebidas necessitam de certificações quanto ao grau de H<sub>2</sub>S e da origem do produto.

Com um grau de exigência menor, existem outras opções interessantes para a utilização do CO<sub>2</sub>, como em sistemas de refrigeração industriais ou em instalações comerciais de supermercados, sistemas de ar-condicionado automotivo e em frigoríficos/matadouros para a insensibilização de animais, ou seja, em segmentos nos quais o grau de pureza do gás não é um fator limitante.

Um fator importante quanto à inserção do CO<sub>2</sub> no mercado é em relação a sua fonte e a estabilidade quanto ao fornecimento, pois grandes consumidores de CO<sub>2</sub> exigem o rastreamento para certificação. Devido aos paradigmas existentes, este fato pode ser um inconveniente nos casos de CO<sub>2</sub> oriundo de resíduos orgânicos, principalmente de suínos. Em relação à qualidade do gás, existem técnicas de purificação avançadas com capacidade para atender as limitações de impurezas exigidas pelo mercado, independente de sua fonte, no entanto, a fonte de origem ainda poderá interferir no desenvolvimento e aceitação do produto no mercado.

Alguns novos mercados para utilização do CO<sub>2</sub>, não tão exigentes como as indústrias de bebidas e alimentos, estão em desenvolvimento no Brasil, como a utilização do gás para insensibilização de animais antes do abate e a utilização de CO<sub>2</sub> para sistemas de refrigeração.

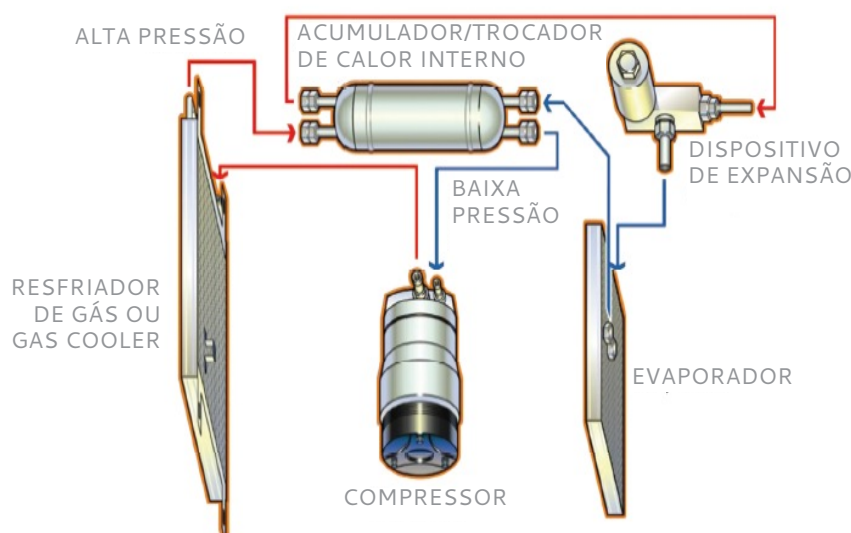


Em relação aos frigoríficos e/ou matadouros, o Ministério da Agricultura e do Abastecimento, pela Secretaria da Defesa Agropecuária estabeleceu a Instrução Normativa Nº 3, de 17 de janeiro de 2000, a qual veio para padronizar os métodos de insensibilização para o abate humanitário e estabelecer os requisitos mínimos para a proteção dos animais de açougue e aves domésticas, a fim de evitar a dor e o sofrimento.

A referida instrução normativa esclarece sobre o método da exposição à atmosfera controlada, com dióxido de carbono ou com mistura de dióxido de carbono e gases do ar onde os animais são expostos para insensibilização. Essa atmosfera deve ser controlada para induzir e manter os animais em estado de inconsciência até a sangria, sem submetê-los a lesões e sofrimento físico. Devem ser implantados aparelhos para medir a concentração de gás, sendo que, a de dióxido de carbono, em seu nível máximo, em volume, deve ser de 70% para suínos e 30% para aves.

No caso do CO<sub>2</sub> para refrigeração, este classificado como R-744, foi um dos primeiros fluidos refrigerantes aplicados em sistemas de refrigeração e foi amplamente utilizado até os meados da década de 30 do século XX. Com o surgimento dos fluidos CFCs e HCFCs, o CO<sub>2</sub> foi perdendo mercado até seu uso ser descontinuado no início dos anos 60. Com os problemas ambientais e o estabelecimento dos Protocolos de Montreal e de Kyoto, o CO<sub>2</sub> ressurge como uma alternativa promissora a ser utilizada em muitas aplicações nos vários setores de refrigeração (MMA, 2008; SOUZA, 2011).

De acordo com a empresa Danfoss, 2013, o CO<sub>2</sub> está se tornando um gás refrigerante cada vez mais importante para uma série de aplicações, como refrigeração industrial e de supermercados. Este desenvolvimento se dá tanto pela perspectiva ambiental, quanto de segurança, pois o CO<sub>2</sub> é um dos poucos refrigerantes sustentáveis para os sistemas de supermercados. Na Alemanha empresas automobilísticas já realizaram pesquisas para utilização do CO<sub>2</sub> em sistemas de ar-condicionado automotivo, o circuito pode ser observado na Figura 05.



**Figura 05 – Diagrama esquemático de um circuito de ar-condicionado automotivo utilizando CO<sub>2</sub>**

Fonte: MMA, 2013.



Os principais benefícios proporcionados aos usuários de sistemas de refrigeração com CO<sub>2</sub> é a redução tanto no consumo de energia quanto na aplicação de gases refrigerantes sintéticos que agredem a camada de ozônio, o que representa uma preocupação com a sustentabilidade. Além do menor consumo de energia elétrica e da menor quantidade de gás refrigerante envolvido no sistema, a manutenção dos sistemas também é mais simples se comparada com o sistema tradicional.

Todos os sistemas existentes com utilização de CO<sub>2</sub> apresentaram um desempenho superior aos refrigerantes halogenados (R22, R404A ou R507A). O CO<sub>2</sub> tem alta capacidade volumétrica de refrigeração, comparada aos refrigerantes sintéticos, que dependendo das condições de aplicação chega a ser de 5 a 8 vezes maior. Isso significa trabalhar com compressores, componentes e tubulações de tamanhos reduzidos (PINHEIRO, 2013). Dessa forma, o CO<sub>2</sub> apresenta-se com um opção muito interessante para ser utilizado em sistemas de refrigeração.

#### 4. INDÚSTRIAS FORNECEDORAS DE CO<sub>2</sub>

O mercado brasileiro de gás carbônico é dominado pela White Martins pertencente ao grupo internacional Praxair, que atende cerca de 70% do mercado. No entanto, outras empresas concorrentes investem em suas capacidades próprias, conquistando fatias de mercado, como: a Air Liquide, Air Product, Carbo Gas, Indústria Brasileira de Gases - IBG, Linde Gases, etc. Essas empresas atendem indústrias alimentícias, os setores de siderurgia, petroquímica, vidro, papel, indústrias eletrônicas e os mercados da saúde e tratamento médico domiciliar.

Nenhuma empresa entrevistada forneceu informações sobre investimentos e números de plantas em operação, bem como valores específicos do produto final, pois existe muita proteção desse mercado.

O preço do CO<sub>2</sub> liquefeito para o cliente final depende totalmente do custo do transporte, da finalidade e aplicação e é diferenciado para cada cliente de acordo com o contrato estabelecido entre as partes. Como exemplo, o CO<sub>2</sub> para uso industrial pode variar entre R\$ 0,80/kg e R\$ 8,00/kg, já o CO<sub>2</sub>, para fins medicinais pode variar entre R\$ 17,00/kg e R\$ 21,00/kg dependendo da região.

De acordo com a Linde Gases, as principais fontes de CO<sub>2</sub> são plantas de amônia, plantas de óxido de etileno, poços naturais, combustão de gás natural ou diesel, etc.; estas são preferidas pelos clientes pois apresentam um processo mais estável de produção garantindo o fornecimento do gás. Em alguns casos, como no Chile, a Linde é proprietária da planta de hidrogênio e conseqüentemente dos gases (H<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>), esse modelo se repete em outras filiais pelo mundo. No caso da Linde Gases, seu maior interesse, no momento, é por um CO<sub>2</sub> denominado de primeira linha, ou seja derivado das fontes citadas acima, visando o grau de pureza para indústrias alimentícias e para bebidas. Outro exemplo citado pela empresa Air Product é o sistema pig back, onde uma usina de gás natural fornece o CO<sub>2</sub> diretamente para um grande cliente e a sobra é liquefeita e distribuída para o mercado, esse sistema ocorre principalmente nas indústrias siderúrgicas, as quais quando de grande porte geralmente possuem usinas de gás associadas e a empresa distribuidora fica com o remanescente.



O CO<sub>2</sub> concentrado é sempre o mais procurado pelas empresas fornecedoras, por exemplo, o gás derivado da combustão do gás natural varia de 3 a 12% de CO<sub>2</sub>, conforme especialista da Linde Gases. No caso de plantas de biometano o CO<sub>2</sub> é liberado a 98% e neste caso o investimento para polimento (purificação) e liquefação é menor. Entretanto existem os paradigmas em relação à fonte, pois este gás seria considerado um gás de segunda linha, assim como um gás proveniente de aterro sanitário, sem considerar que o gás de aterro pode conter muitos mais contaminantes do que um gás de uma usina de biogás. De acordo com o especialista da Linde, este tipo de paradigma pode e deve ser quebrado, mas esse processo demanda tempo e persistência.

No caso da obtenção do gás carbônico por fontes orgânicas, existem muitas variáveis no processo que se não forem bem controladas podem comprometer a sua produção, como a biologia do processo de fermentação, a qualidade da água e do recirculado, o controle de temperatura e a composição do substrato (por exemplo, a cana de açúcar pode variar em cada safra). Dessa forma os clientes exigem mais análises e um acompanhamento crítico em relação a pureza do gás antes de efetivarem uma compra e mesmo assim, o CO<sub>2</sub> de cervejarias e de gás de aterro não são bem aceitos por algumas grandes empresas.

Entretanto, o diretor executivo da IBG – Indústria Brasileira de Gases acredita que a fonte para obtenção do CO<sub>2</sub> não deveria ser um problema para o consumidor, pois o que importa realmente é a qualidade final do produto, a grau de purificação do CO<sub>2</sub> e a constância de fornecimento com um preço competitivo para o mercado. Da mesma forma, a empresa Air Liquide demonstra interesse em fontes alternativas e descentralizadas para obtenção de gases como o CO<sub>2</sub>, com foco nas especificações, custos e estabilidade e garantia do fornecimento. A empresa Air Product também demonstra interesse em fontes alternativas de CO<sub>2</sub> por intermédio de processos de fermentação, desde que a produção seja garantida, pois acreditam que no processo de fermentação de materiais orgânicos, como resíduos industriais, o fator contaminante é reduzido se comparado com o gás de aterro, que apresenta certa rejeição das indústrias de alimentos.

Os principais centros de consumo de gás carbônico são Belo Horizonte, Porto Alegre, Rio de Janeiro e São Paulo, devido a maior concentração das indústrias de bebidas que utilizam gás para o processo de carbonatação. Outras regiões também apresentam demanda, mas o abastecimento fica comprometido pelo elevado custo do transporte. Em alguns casos, como abastecimento para hospitais o gás chega a ser transportado por mais de 2000 km, pois não existe alternativa, o que eleva muitos os custos de transportes e do produto final. A questão do transporte de gases é realmente muito complicada no Brasil, de acordo com o diretor executivo da IBG. Este fato dificulta, por exemplo, se uma empresa pretende distribuir duas linhas de produtos, um CO<sub>2</sub> com food grade e um CO<sub>2</sub> com um grau de purificação inferior, isso demandaria carretas específicas para cada produto o que aumentaria os custos de transporte e consequentemente do produto final, podendo torná-lo não competitivo. Sendo assim, a melhor opção nas condições atuais do Brasil é focar apenas em um produto final.

O representante da Linde Gases relata o mesmo problema em relação ao transporte não apenas no Brasil, mas em toda América do Sul. Para atenderem determinadas regiões o custo do transporte ultrapassa o do próprio produto, pois as carretas da Linde viajam apenas durante o dia, o custo do combustível é elevado, assim como o dos pedágios, as estradas são ruins, e os impostos são altos. Além disso, na América do Sul não existem carretas suficientes como nos EUA e precisam passar por análises,



limpeza e purificação antes de cada carregamento, o que gera perdas e mais custos. Já nos EUA, por exemplo, as frotas da Linde de CO<sub>2</sub> alimentício e industrial são carretas e vagões específicos não havendo necessidade desse processamento e os locais que recebem o gás tem sistema de análise para rastreabilidade da fonte, o que não acontece no Brasil.

Outra situação que também ocorre no Brasil, são as fontes de CO<sub>2</sub> existentes em lugares muito distantes dos grandes centros. Assim, apesar de o mercado de CO<sub>2</sub> crescer constantemente, alguns novos mercados não conseguem ser atendidos, como por exemplo, o sistema de crescimento de plantas em estufa com atmosfera modificada com CO<sub>2</sub>, que é um mercado promissor e muito desenvolvido na Europa. Este mercado não consegue evoluir, pois não há CO<sub>2</sub> suficiente no Brasil e, nas áreas onde há geração de CO<sub>2</sub> industrial, não existe disponibilidade de áreas cultiváveis. De acordo com o especialista da Linde, o custo do CO<sub>2</sub> com elevado grau de pureza é alto, dessa forma, as novas finalidades deveriam ser atendidas por CO<sub>2</sub> de segunda linha, em quantidade suficiente e com preço acessível.

As empresas consultadas demonstraram interesse em investir na planta de biogás, algumas em um sistema de polimento extra para atender as especificações de determinados clientes e em um sistema de armazenamento e liquefação do gás para posterior distribuição. Dessa forma as empresas distribuidoras se comprometeriam com a compra de determinada quantidade de gás mediante garantia de fornecimento, após realizarem o balanço entre o custo do investimento e o valor do produto.

A empresa Air Liquide possui tecnologia própria para purificação do CO<sub>2</sub>, com aminas e/ou membranas que, segundo representante da empresa, apresentam um custo baixo em relação à planta de purificação. Além disso, estão abertos para pesquisa e desenvolvimento de outras tecnologias específicas. A empresa IBG controla a qualidade do gás mediante analisadores de CO<sub>2</sub> em cada planta e quando são necessários certificados enviam amostras para laboratórios terceirizados. A Linde Gases também envia suas amostras de CO<sub>2</sub> para serem analisadas em laboratórios específicos, geralmente nos EUA, pois no Brasil existem pouquíssimos laboratórios especializados nesta área devido a pouco demanda e elevados custos dos padrões, sendo, na maioria das vezes, mais viável enviar as amostras para laboratórios no exterior.

No caso da Linde, e demais empresas, que fornecem CO<sub>2</sub> com elevado grau de pureza, as exigências do produto são regulados por órgãos internacionais como International Society of Beverage Technologists – ISBT, Compressed Gas Association – CGA, European Industrial Gases Association – EIGA. No Brasil existem apenas algumas regulamentações da Anvisa, como para gases medicinais, não sendo suficientes para atender as exigências de todos os mercado. A empresa fornecedora/distribuidora precisa realizar um controle de qualidade até a origem do CO<sub>2</sub>, realizando auditorias de qualidade do produto na usina fornecedora, podendo dessa forma validar a fonte.

O gás carbônico bruto é analisado periodicamente, de acordo com a CGA, e o setor de engenharia e parceiros, como a Union, selecionam a melhor metodologia para purificação. Nas amostras de CO<sub>2</sub> são analisados, aproximadamente, 70 contaminantes e a Linde, diante de grandes clientes, fica responsável pelas análises e qualidade do produto, como realizar investigações de outros contaminantes.

Mas o problema não são os contaminantes em si, pois existe tecnologia para remoção, o problema é qual contaminante está presente em maior quantidade. Por exemplo, a contaminação por metais pesados exige um período de quarentena para a descontaminação de tanques e carretas, tornando esta contaminação mais proble-



mática. Para atingir o grau de purificação de 99,998% nas plantas de biometano se faz necessário um polimento além do processo com amina, pois podem ocorrer contaminações por NOX, H<sub>2</sub>S e CO.

A Linde Gases atua no mercado há mais de 2 anos como comercializadora, sendo que a maior parte de seus produtos são comprados e não próprios. Para novos mercados, tais como CO<sub>2</sub> de plantas de biogás, o especialista da Linde sugere iniciar a carteira de clientes com pequenos consumidores, sempre realizando monitoramento na linha de produção, garantindo o fornecimento e qualidade do produto. Dessa forma, é possível quebrar os paradigmas existentes nesta área.

De acordo com todas as empresas entrevistadas existe uma demanda para consumo de CO<sub>2</sub> e existe interesse em fontes alternativas de geração de CO<sub>2</sub>. Algumas empresas são flexíveis para ajustar o sistema de purificação de CO<sub>2</sub> visando atender as necessidades de um cliente que não necessita de um grau de pureza tão alto, por exemplo. Para a usina de biogás o importante é manter a qualidade mínima exigida pelo comprador de CO<sub>2</sub> e a constância na geração.

## 5. DISCUSSÃO E RECOMENDAÇÕES

O gás carbônico provindo de uma usina de biometano, se destinado para um fim mais nobre, deve passar por uma planta de purificação de CO<sub>2</sub> para remoção de impurezas como H<sub>2</sub>S e até gases inertes como oxigênio e hidrogênio, e assim atingir um pureza de 99,998%. No entanto cada planta de purificação de CO<sub>2</sub> é elaborada para atender as necessidades do cliente, podendo ser simples ou complexa, como no caso de indústria de bebidas.

De qualquer forma, o CO<sub>2</sub> é valorizado no mercado e existe uma demanda deste gás no Brasil, além de mercados que ainda não foram explorados. O valor de mercado deste produto é muito variável e depende do contrato estabelecido com cada cliente de acordo com a finalidade de aplicação, além do custo do transporte.

As empresas entrevistadas apresentaram interesse nessa fonte alternativa para obtenção do CO<sub>2</sub>, inclusive em realizar investimentos na planta de purificação do CO<sub>2</sub>. Estas empresas distribuidoras não conseguem atingir, no momento, novos mercados de CO<sub>2</sub> devido à falta de um produto mais competitivo com garantia de abastecimento e devido aos problemas existentes no Brasil em relação ao transporte, falta de infraestrutura e custos elevadíssimos.

Uma fonte alternativa de CO<sub>2</sub> seria bem aceita pelo mercado visando o seu desenvolvimento e aumento do consumo deste gás em diferentes áreas, atentando para as especificações exigidas e para a questão dos custos com transporte. Não se deve desconsiderar os paradigmas quanto à aceitação do CO<sub>2</sub> oriundo do biogás, visto que ainda é um produto desconhecido. As recomendações sobre o mercado em relação à aquisição de CO<sub>2</sub> procedente de uma usina de biogás com sistema de purificação para obtenção de biometano e, conseqüente, possibilidade de captação deste CO<sub>2</sub> são:

- Para que este mercado se consolide e que esta fonte se estabeleça, faz-se necessária a criação de regulamentações que possibilitem o uso de biogás como gás veicular no Brasil;





- Criar vínculos entre empresas produtoras de biometano e empresas geradoras e comercializadoras de CO<sub>2</sub>, pois há demanda e existe interesse por parte das comercializadoras em adquirir este produto;
- A descentralização das usinas de biogás/biometano é importante para a produção de CO<sub>2</sub> em locais onde não há disponibilidade, pois pode reduzir muito os custos com transporte;
- A divulgação de forma técnica e contínua sobre as possibilidades e benefícios do mercado de biogás/biometano e seus subprodutos (CO<sub>2</sub> e fertilizantes) é imprescindível para a quebra de paradigmas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIR LIQUIDE. Ivan Pajolli, Paulo Kepczynski: depoimento [dez. 2013]. Entrevistador: Heinz-Peter Schnicke, São Paulo, 2013.

AIR PRODUCT. Cesar R. de Miranda, Célio B. Mafud: depoimento [dez. 2013]. Entrevistador: Heinz-Peter Schnicke, São Paulo, 2013.

ALMEIDA, T. C. A. Escolha do Fornecedor de Hortifruti Higienizados. Universidade Online de Viçosa. Disponível em: <<http://www.uov.com.br/artigo/escolha-do-fornecedor-de-hortifruti-higienizados>>. Acesso: 11 nov. 2013.

AVILES, F. D. Embalagens com atmosfera modificada. BeefPoint. Disponível em: <<http://www.beefpoint.com.br/cadeia-produtiva/sic/embalagens-com-atmosfera-modificada-22798/>>. Acesso em: 11 nov. 2013.

BUSE. CO<sub>2</sub> Production Plant – System BUSE ERZ. Disponível em: <[http://www.buse-gastek.com/fileadmin/user\\_upload/BUSE%20-%20CO2%20Production%20-%20ENG%20single.pdf](http://www.buse-gastek.com/fileadmin/user_upload/BUSE%20-%20CO2%20Production%20-%20ENG%20single.pdf)>. Acesso: 06 nov. 2013.

DANFOSS AMERICA LATINA. Danfoss – Seu fornecedor de soluções em CO<sub>2</sub>. Disponível em: <[http://www.danfoss.com/Latin\\_America\\_portuguese/BusinessAreas/Refrigeration+and+Air+Conditioning/Refrigerants/CO2.htm](http://www.danfoss.com/Latin_America_portuguese/BusinessAreas/Refrigeration+and+Air+Conditioning/Refrigerants/CO2.htm)>. Acesso: 11 nov. 2013.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. Biogas from Waste and Renewable Resources. Ed. Wiley – VCH, 2008.

FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE e.V. Guia Prático de Biogás: Geração e Utilização. 5 Edição. Gülzow, 2010. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/guia-pratico-do-biogas.pdf>> Acesso em: 03 fev. 2014.

HUERTAS, J. I.; GIRALDO, N.; IZQUIERDO, S. Removal of H<sub>2</sub>S and CO<sub>2</sub> from Biogas by Amine Absorption. 2011. Mass Transfer in Chemical Engineering Processes. ISBN: 978-953-307-619-5, InTech. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/mass-transfer-in-chemical-engineeringprocesses/removal-of-h2s-and-co2-from-biogas-by-amine-absorption>>. Acesso em: 21 out. 2013.



INDÚSTRIA BRASILEIRA DE GASES – IBG. Newton de Oliveira: depoimento [dez. 2013]. Entrevistador: Heinz–Peter Schnicke, São Paulo, 2013.

LINDE GASES. Rosalvo Neto: depoimento [dez. 2013]. Entrevistador: Heinz–Peter Schnicke, São Paulo, 2013.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Uso de Fluidos Naturais em Sistemas de Refrigeração e Ar-condicionado – Publicação Técnica. 2008.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Uso de Fluidos Naturais em Sistemas de Refrigeração e Ar-condicionado – Publicação Técnica. 2008. Disponível em: <[http://www.unep.fr/ozonation/information/mmcfiles/6266-p-uso\\_fluidos\\_naturais.pdf](http://www.unep.fr/ozonation/information/mmcfiles/6266-p-uso_fluidos_naturais.pdf)>. Acesso: 12 nov. 2013.

MULTIVAC DO BRASIL. Better Packing. Ramos de atividades. Disponível em: <<http://br.multivac.com/multivac-do-brasil/ramos-de-atividades.html>>. Acesso em: 12 nov. 2013.

UNION ENGINEERING LATAM LTDA. Technical requirements and purification process for a CO<sub>2</sub> recovery unit from a biomethane source. Elaborador por: César Augusto Arns Pereira. Curitiba – PR. 2014.

PINHEIRO, A. P. B. Crescimento das instalações por CO<sub>2</sub> – 30 supermercados brasileiros aderiram. Postado em 30/10/2012. Engenharia e Arquitetura. Refrigeração. Disponível em: <<http://www.engenhariaearquitectura.com.br/noticias/607/Crescimento-das-instalacoes-por-CO2.aspx>>. Acesso: 11 nov. 2013.

SILVA, C. A. B. V. Limpeza e purificação de biogás. 2009. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica) – Departamento de Engenharias da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real – Portugal.

SOUZA, L. M. P.; FILHO, E. P.B. CO<sub>2</sub> – Propriedades e aplicações. 21º POSMEC – Simpósio do Programa de Pós-graduação. 2011. Universidade Federal de Uberlândia. Faculdade de Engenharia Mecânica. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica. Disponível em: <<http://www.posgrad.mecanica.ufu.br/posmec/21/Artigos/LuisMPSouza.pdf>>. Acesso: 12 nov. 2013.

SULVALLE. Abate suíno com insensibilização por CO<sub>2</sub> garante qualidade da carne. Disponível em: <<http://www.sulvalle.com.br/noticia/25/abate-suino-com-insensibilizacao-por-co2-garante-qualidade-da-carne>>. Acesso: 12 nov. 2013.

ZHAO, Q. et al. Purification Technologies for Biogas Generated by Anaerobic Digestion. CSANR Research Report 2010 – 001. Chp. 9 Compressed Biomethano. Disponível em: <[http://www.biogas-renewable-energy.info/biogas\\_composition.html](http://www.biogas-renewable-energy.info/biogas_composition.html)>. Acesso: 21 out. 2013.





## ANEXO I

Impurities in CO<sub>2</sub> – sources and specifications.

| Impurity              | Natural sources | Fermentation | Chemical processing | Food processing specification | Beverage grade specification |
|-----------------------|-----------------|--------------|---------------------|-------------------------------|------------------------------|
| acetaldehyde          | ?               | ?            | ?                   | <0.5 ppm v/v                  | <0.2 ppm v/v                 |
| ammonia               | ?               | ?            | ?                   | <20 ppm v/v                   | <2.5 ppm v/v                 |
| benzene               | ?               | ?            | ?                   | <0.05 ppm v/v                 | <0.02 ppm v/v                |
| carbon monoxide       | ?               | ?            | ?                   | <10 ppm v/v                   | <10 ppm v/v                  |
| carbonyl sulphide     | ?               | ?            | ? (1)               | <0.5 ppm v/v (4)              | <0.1 ppm v/v (5)             |
| cyclic hydrocarbons   | ?               |              | ?                   |                               |                              |
| dimethyl sulphide     | ?               | ?            | ? (1)               | (4)                           | (5)                          |
| ethanol               | ?               | ?            | ?                   | <10 ppm v/v                   | <10 ppm v/v                  |
| ethers                | ?               | ?            | ?                   |                               |                              |
| ethyl acetate         | ?               | ?            | ?                   |                               |                              |
| ethyl benzene         | ?               |              | ?                   |                               |                              |
| ethylene oxide        |                 |              | ?                   | No spec                       | <0.5 ppm v/v                 |
| hydrogen cyanide      |                 |              | ? (2)               | No spec (2)                   | <0.5 ppm v/v                 |
| hydrogen sulphide     | ?               | ?            | ?                   | <0.5 ppm v/v (4)              | <0.1 ppm v/v (5)             |
| ketones               | ?               | ?            | ?                   |                               |                              |
| mercaptans            | ?               | ?            | ?                   | (4)                           | (5)                          |
| mercury               | ?               |              | ?                   |                               |                              |
| methanol              |                 | ?            | ?                   |                               |                              |
| nitrogen              | ?               | ?            | ?                   | No spec                       | <120 ppm v/v                 |
| nitrogen oxides       |                 |              | ?                   | <5 ppm v/v                    | <2.5 ppm v/v                 |
| oxygen                | ?               | ?            | ?                   | <30 ppm v/v                   | <30 ppm v/v                  |
| phosphine             |                 |              | ? (3)               | No spec                       | <0.3 ppm v/v                 |
| radon                 |                 |              | ? (3)               |                               |                              |
| sulphur dioxide       | ?               | ?            | ? (1)               | <5 ppm v/v                    | <1 ppm v/v                   |
| toluene               | ?               | ?            | ?                   |                               |                              |
| vinyl chloride        | ?               |              | ?                   | No spec                       | <0.5 ppm v/v                 |
| volatile hydrocarbons | ?               | ?            | ?                   |                               |                              |
| xylene                | ?               |              | ?                   |                               |                              |

Fonte: Johnson Matthey Catalysts. Disponível em: <<http://www.jmccatalysts.cn/en/co2-overview.htm>>.

Acesso em 14 de janeiro de 2014.

All specifications refer to carbon dioxide in its liquid phase. (?) Unknown. (1) Unlikely to be present in carbon dioxide which is sourced from a correctly operated ammonia or methanol plant. (2) Only when sourced from direct gasification of coals. (3) Only when sourced from phosphate rock. (4) Total sulphur must be <0.5 ppm v/v. (5) Total sulphur must be <0.1 ppm v/v.



# PROBIOGÁS



Parceria de **giz** Projeto Especializado  
de Gestão em  
Cooperação GIZ Brasil

Ministério das  
**Cidades**

