

1 Introdução

O aumento da concentração dos gases estufa na atmosfera está contribuindo para o aumento do efeito estufa e alterando o clima em todo o planeta. Dentre os gases efeito estufa, o CO₂ é o maior contribuidor nas alterações climáticas. Uma das principais alterações esperadas é o aumento da temperatura média global e elevação do nível de mar.

Uma das formas de amenizar as alterações relacionadas com o clima é o cumprimento do Protocolo de Kyoto, ratificado em 16 de fevereiro de 2005, um compromisso entre as nações do mundo em respostas as ameaças do efeito estufa. Ele determina a redução da emissão global de gases estufa, entre 2008 e 2012, em 5,2%, tomando como ano-base as emissões de 1990. Ainda assim, as emissões destes gases continuam aumentando.

É estimado que, em 2030, o consumo de energia no mundo seja 77% maior do que era em 2006. Estudos científicos indicam que a emissão global de CO₂ baseada na geração de energia cresceu em 1,9% anual entre 1990 e 2006, e espera-se que com a implementação das mudanças urgentes nas políticas energéticas, ambientais e/ou tecnológicas, as projeções do crescimento sejam de 1,4% anual entre 2006 e 2030 (EIA, 2009).

A necessidade de mitigação dos impactos ambientais devida às mudanças climáticas requer uma redução das emissões de CO₂ principalmente dos centros de uso de combustíveis fósseis (carvão, gás e petróleo) tais como: centrais termelétricas, cimenteiras, siderurgias e também pela devastação e queima de florestas. Os países responsáveis pela emissão já estão tomando medidas para reduzir ou minimizar o crescimento da emissão destes gases

As tecnologias que envolvem o processo de captura, transporte e armazenamento de CO₂ consistem na remoção do CO₂ das fontes de emissões. Em seguida o CO₂ é comprimido e transportado no estado líquido por meio de gasodutos (tecnologia madura), navios, caminhões ou em comboios, para ser

utilizado em algum processo ou, por exemplo, armazenado numa estrutura geológica adequada.

Os processos de captura, transporte e armazenamento podem ser aplicados a todos os processos industriais que utilizam a queima de combustíveis fósseis e de biomassa. Por conseguinte, pode-se afirmar que se trata de um processo que permite o uso continuado de combustíveis fósseis ao mesmo tempo em que reduz as emissões de CO₂ para a atmosfera.

No armazenamento geológico, existem quatro tipos de reservatórios possíveis para coletar o CO₂ capturado: i) reservatórios esgotados de petróleo e de gás; ii) campos de petróleo e de gás ainda operacionais, sendo o CO₂ injetado no reservatório para uma melhor extração do petróleo através do uso da técnica de recuperação avançada de petróleo ou gás com injeção do CO₂; iii) aquíferos salinos profundos constituídos por rochas porosas que contêm água muito salgada; e iv) camadas de carvão não exploráveis, nas quais o CO₂ se adsorve à superfície do carvão (IPCC, 2005).

1.1 Emissões de CO₂

Em relação à quantidade das emissões de CO₂, uma das informações é o inventário das emissões de CO₂ referentes aos anos de 1990-1994, utilizando metodologia recomendada pelo (*Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC*). As emissões de CO₂ foram quantificadas a partir da matriz energética brasileira, em que o uso de fontes de energias renováveis, como lenha, energia hidráulica, carvão vegetal, bagaço e álcool de cana-de-açúcar, são predominantes. Para um consumo de energia final total¹ de 190.858,000 tep² em 1994, as emissões foram de 231.408 Gg³ de CO₂, 12.266 Gg de monóxido de carbono (CO), 293 Gg de metano (CH₄), 1.601 Gg de óxidos de nitrogênio (NO_x), 8,7 Gg de óxido nitroso (N₂O) e 1.169 Gg de compostos orgânicos voláteis excluindo o Metano (*Non Methane Volatile Organic Compounds-NMVOC*), (COPPE, 2006).

¹ Inclui hidroeletricidade.

² 1 tep (1 tonelada equivalente de petróleo) = 45,22 GJ (com base no poder calorífico superior médio do petróleo consumido no Brasil).

³ 1 Gg (gigagrama) = 10⁹ gramas.

Em termos de CO₂, em 1994, o combustível responsável pela maior quantidade de emissões foi o Óleo Diesel (75.067 Gg de CO₂) e o setor que mais emitiu foi o de Transporte Rodoviário (83.302 Gg de CO₂). Outros combustíveis e setores mais relevantes em termos de emissões de CO₂, em 1990 e em 1994, são apresentados nas Figuras 1.1 e 1.2. O crescimento das emissões totais de CO₂, no período de 1990 a 1994, foi de 17%, (COPPE, 2006).

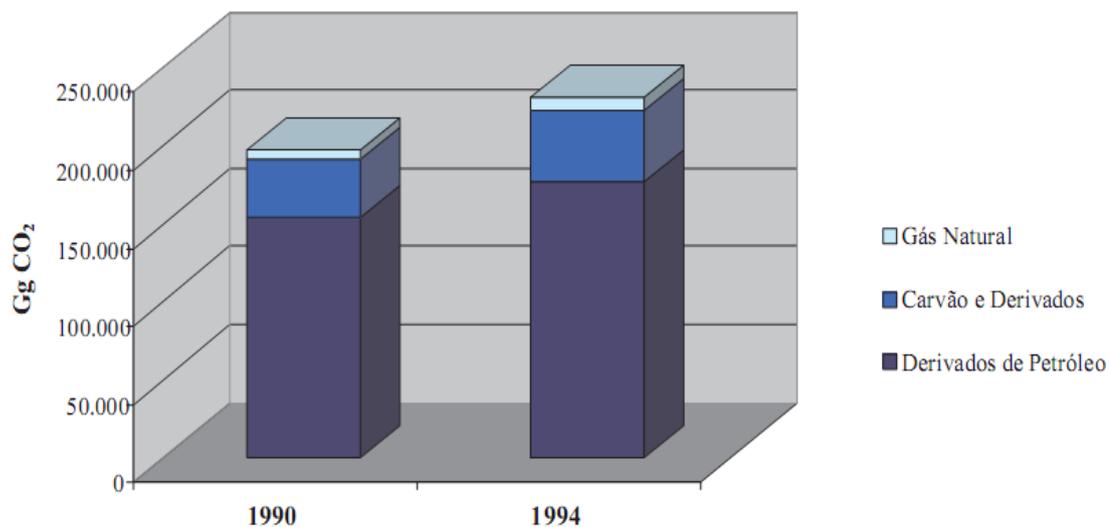


Figura 1.1- Emissões de CO₂ com a queima de combustíveis fósseis, por combustível (COPPE, 2006).

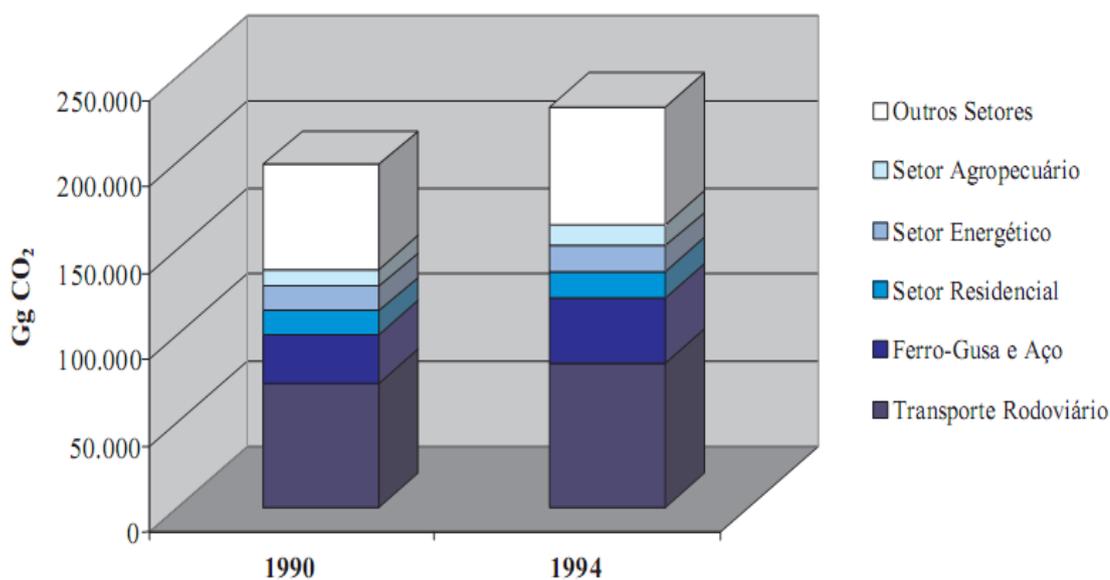


Figura 1.2- Emissões de CO₂ com a queima de combustíveis fósseis, por setor (COPPE, 2006).

1.2 Captura de CO₂

O crescimento do mercado de CO₂ derivado da captura, da recuperação secundária de petróleo e do renovado interesse na redução de emissões atmosféricas de gases de efeito estufa, vem incentivando diferentes estudos para recuperação deste gás procedente da queima de combustíveis fósseis.

O lugar mais propício para captura de CO₂ são as diferentes fontes, principalmente da combustão de combustíveis fósseis usados na produção de energia (responsável por 41% das emissões de CO₂ no mundo), no processamento de combustíveis (refinarias de petróleo), em instalações de processamento de gás natural e na produção de combustíveis sintéticos. O CO₂ é também emitido durante muitos processos industriais (responsáveis por 20% das emissões de CO₂ no mundo) como: produção de cimento, de hidrogênio, de produtos químicos, polpa, siderurgia e, ainda durante a combustão de biomassa (IEA, 2007). Esses processos apresentam-se como bons candidatos para a captura de CO₂, para em seguida ser transportado e armazenamento, uma vez que estão concentrados em locais relativamente fixos. Em contraste, por exemplo, seria difícil capturar emissões de CO₂ de automóveis em larga escala.

Os principais combustíveis fósseis para usinas de geração de eletricidade são gás natural, carvão e petróleo. Tais combustíveis são queimados na presença do oxigênio do ar que se combina com o carbono do combustível para produzir o CO₂, que então é liberado na atmosfera. Em princípio, todos os gases emitidos pela queima de combustível poderiam ser armazenados, mas isso sobrecarregaria a capacidade de armazenamento, uma vez que há presença de nitrogênio, que não precisa ser sequestrado para fins da redução de efeito estufa. Dessa forma, o armazenamento eficiente contempla a separação do CO₂ dos demais gases produzidos.

1.2.1 Análise das Tecnologias de Separação de CO₂

Diversos processos diferentes estão disponíveis para a separação de CO₂ das correntes gasosas como mostrado na Figura 1.3. Existem cinco tipos principais: i) absorção química ou física, ii) adsorção química ou física, iii) separação por

membranas, iv) destilação criogênica, e v) novas tecnologias. Dessas tecnologias os dois mais estudados para captura de CO₂ com objetivo de mitigar os gases efeito estufa são absorção e adsorção, enquanto as demais carecem de incentivos econômicos e legais para se tornarem viáveis. Incentivos econômicos podem advir da comercialização de CO₂, por exemplo, pela indústria alimentícia e de bebidas, utilização em processos químicos e na recuperação avançada de petróleo. Incentivos legais poderiam surgir de restrições às emissões de CO₂ resultantes das deliberações como o Protocolo de Quioto, que vem ganhando apoio internacional.

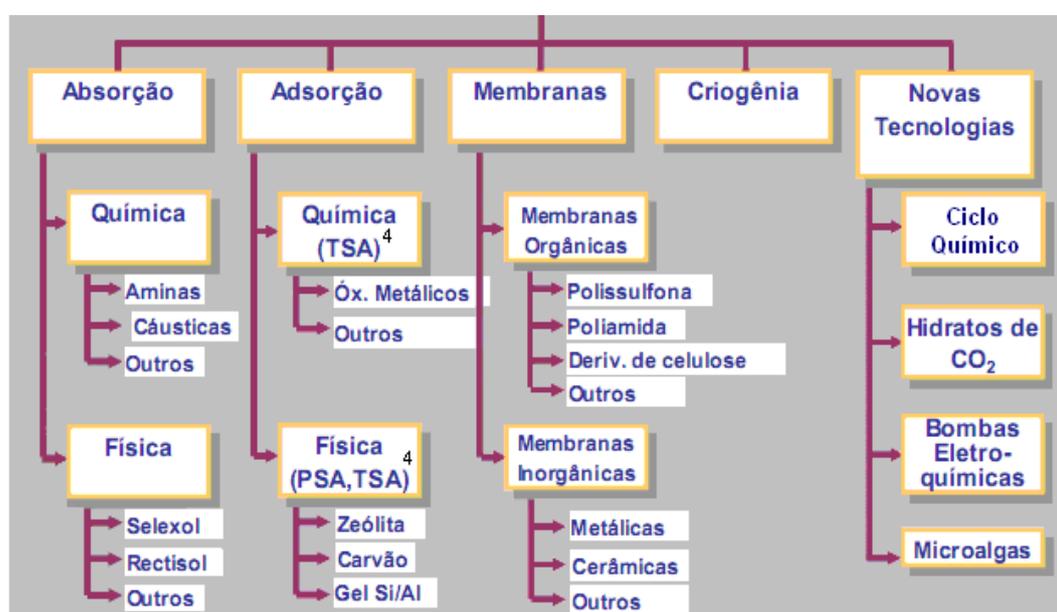


Figura 1.3- Tecnologias de captura de CO₂ (Moure, 2008).

1.2.2

Processos de Captura de CO₂

Dentro de cada tecnologia pode-se analisar os processos de captura como: pré-combustão, combustão com oxigênio e pós-combustão segundo os tópicos adiante.

⁴ Processos de adsorção com modulação de pressão (Pressure Swing Adsorption-PSA) e dsorção com modulação de temperatura (Temperature Swing Adsorption-TSA)

- Selexol: é o nome comercial de processos que usam misturas dimethyl ethers de polietileno glicol para remover gases ácidos.
- Rectisol: é o nome comercial de processos que usam metanol para remover gases ácidos.

Pré-combustão

A captura de CO_2 no processo de pré-combustão consiste em separar o CO_2 antes da queima do combustível, como se pode ver na Figura 1.4. Onde, o gás produzido possui alta pressão e alta concentração de CO_2 . Na pré-combustão, os processos utilizados para separação são absorção física e/ou química, membranas poliméricas e ciclo químico. Além disso, a separação em plantas de energia com sistema de gaseificação (IGCC e NGCC)⁵ (Figuroa et al., 2008).

Na pré-combustão existem vantagens e desvantagens, as vantagens seriam que não é necessário o uso de um solvente muito potente uma vez que o gás encontra-se a alta concentração de CO_2 , o CO_2 obtido da separação vai estar com elevada pressão. O que reduz custos relacionados ao solvente e à compressão. Por outro lado, é necessário um sistema de gaseificação, essa tecnologia pode ser aplicada apenas em novas plantas de energia que utilizam o sistema de gaseificação que por sua vez, ainda é muito caro na atualidade Figuroa et al., (2008).

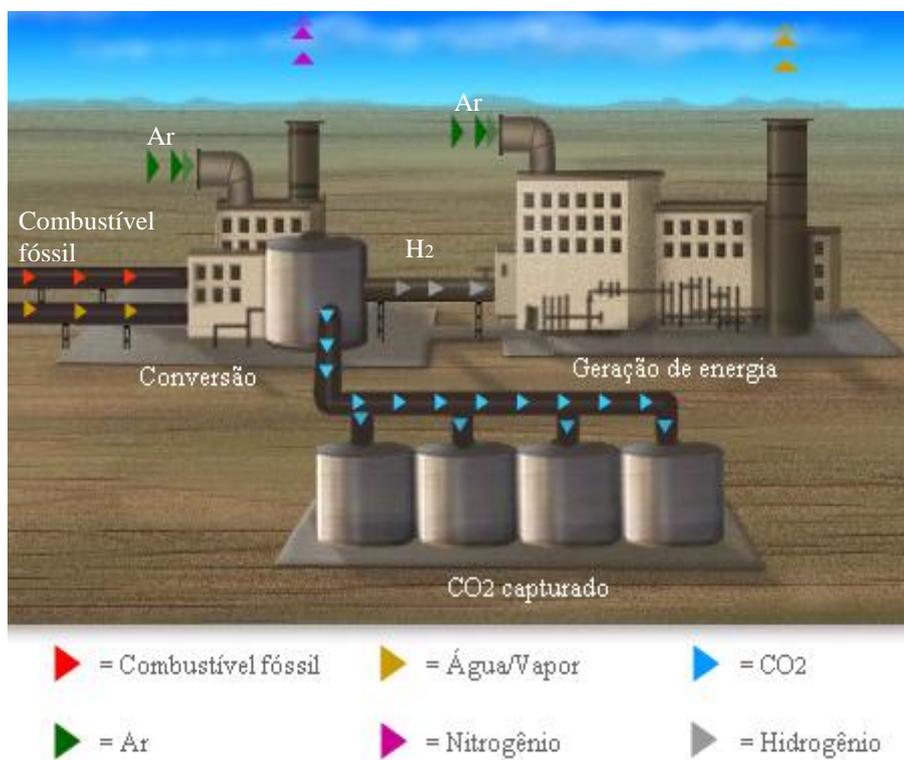


Figura 1.4- Captura de CO_2 antes da combustão (Schlumberger, 2008).

⁵ Específico para dessorção de CO_2 proveniente da gaseificação. Captura de forma eficiente o CO_2 do gás de síntese, recuperando até 90% de CO_2 , (Figuroa et al., 2008).

Combustão com oxigênio

A combustão com oxigênio (O_2) ou oxicomustão (*oxy-fuel*) utiliza O_2 ao invés de ar, para fazer a combustão. Neste processo, primeiro o O_2 é separado do ar em uma planta de separação de ar através de vários métodos como a destilação criogênica ou a absorção de nitrogênio (N_2) separando-o do O_2 . O O_2 separado é utilizado para fazer a combustão do combustível e produzir um gás contendo principalmente vapor d'água e CO_2 . O gás resultante da combustão possui alta concentração de CO_2 entorno de 90% por unidade de volume, o que facilita o uso de processo de separação com menor custo, como a absorção física Yang et al., (2008) Entretanto, o que se economiza de energia e de custos no processo de captura CO_2 , em parte ou mesmo totalmente, pode ser despendido na planta de separação de ar. Uma vantagem da oxicomustão é que o gás resultante terá elevada concentração de CO_2 . Porém, dado que o processo necessita de grande quantidade de O_2 , tal fato pode vir a encarecê-lo muito e o tornar inviável, sendo o desafio de como separar o O_2 do resto do ar a menor custo. Figueroa et al., (2008). A Figura 1.5, representa um esquema do processo de oxicomustão.

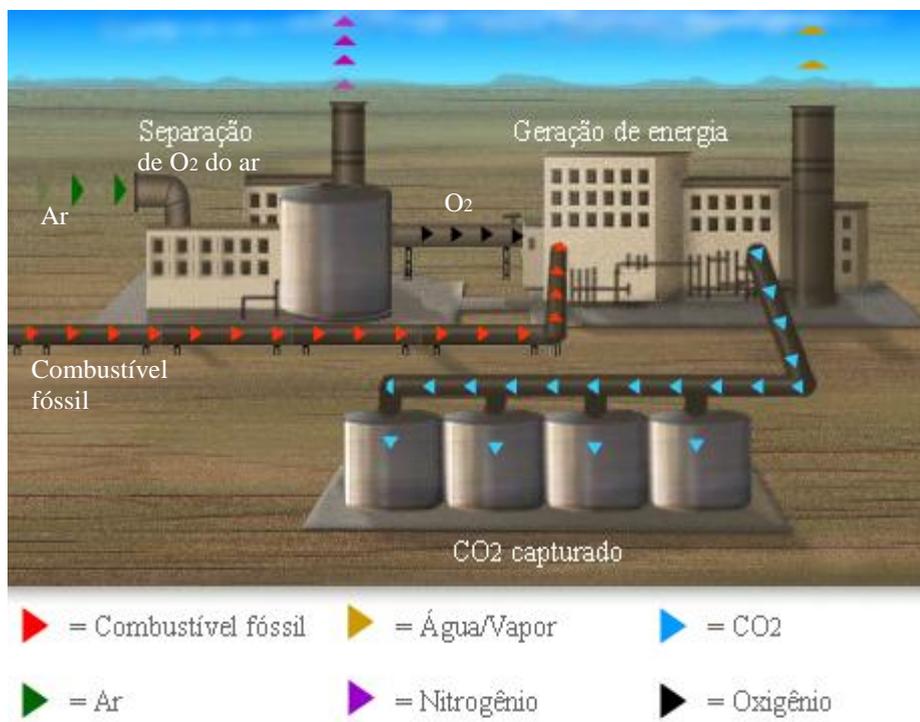


Figura 1.5- Combustão com oxigênio (Schlumberger, 2008).

Pós-combustão

A captura de CO₂ no processo de pós-combustão consiste em separar o CO₂ dos gases proveniente da combustão de um combustível com o ar, ao invés de liberá-lo para atmosfera. O CO₂ encontra-se em baixa concentração no gás exausto é, geralmente, em torno de 15% vol⁶. O gás exausto, então, passa por equipamentos de separação de gás, obtendo o CO₂ a uma pressão baixa de no máximo 0,15 atm Figueroa et al., (2008). A pós-combustão utiliza normalmente solventes químicos à base de amina para capturar o CO₂ em baixas concentrações. Existem outros métodos para separação de gases que são promissores, mas que estão ainda em estudo⁷. Uma vantagem em relação à pós-combustão é que pode ser aplicada às tecnologias atuais da geração de energia e à maioria das termelétricas convencionais. Por outro lado, para capturar o CO₂ o sistema precisa de alta energia e de um processo de compressão para ser transportado e armazenado. A Figura 1.6, representa um esquema do processo de pós-combustão.

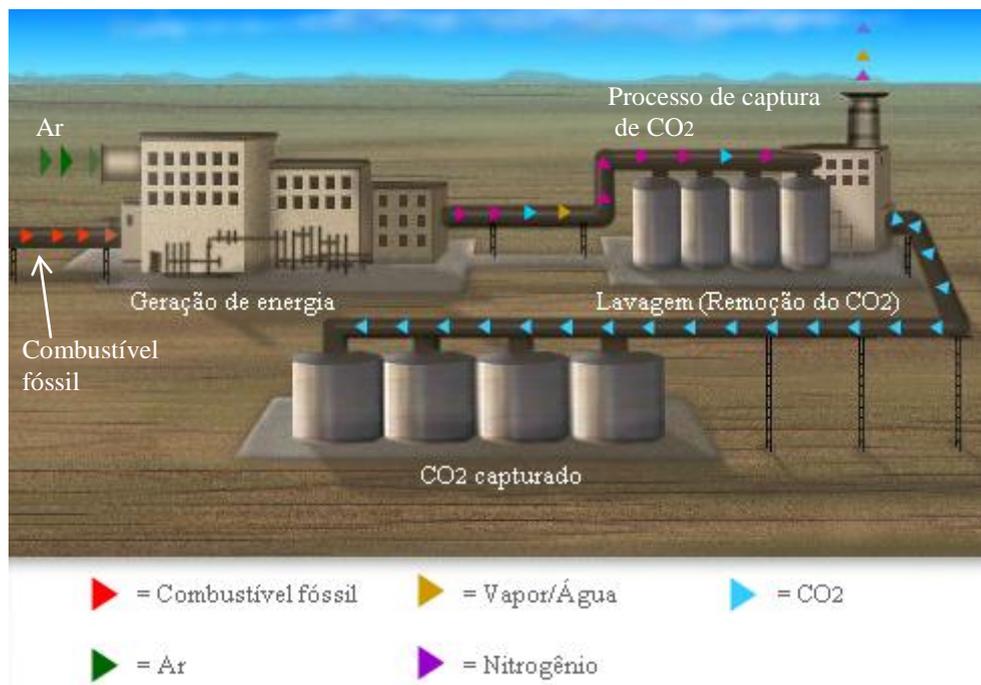


Figura 1.6- Captura de CO₂ pós-combustão (Schlumberger, 2008).

⁶ Esta concentração dependerá do combustível fóssil.

⁷ Além de solventes químicos, existem outras tecnologias em desenvolvimento, tais como: sistemas à base de carbonato, sistemas à base de amônia, sistemas à base de enzimas, novos materiais para adsorção, líquidos iônicos e outros (Figueroa et al., 2008 e Yang et al., 2008).

1.3 Absorção

A absorção de gases é um processo muito utilizado em plantas industriais, principalmente nos processos químicos, pode ser um processo puramente físico ou vir acompanhado por reações químicas, dependendo do grau de solubilidade do soluto no solvente líquido.

A absorção química tem vasta aplicação industrial, uma das principais é a remoção de gases ácidos, é o processo que envolve a concentração de uma substância líquida ou gasosa em um solvente líquido. No sistema de captura de CO₂, este é atraído e retido em um determinado solvente líquido. Após o CO₂ é separado do solvente fornecendo energia, uma vez que há necessidade de reverter à reação química.

No processo de absorção física os solventes físicos absorvem o CO₂ a elevadas pressões parciais, por esta condição, este caso favorece a absorção física. Neste processo o CO₂ pode ser separado na regeneração simplesmente com a redução da pressão no sistema. Utilizando pouca energia no processo

O custo de operação é menor quando comparado à absorção química. No entanto, a capacidade de absorção do solvente é inferior aos solventes químicos, fazendo com que a taxa de circulação do solvente seja bem inferior, obtendo assim custos superiores à absorção química. Kohl et al., (1997).

As técnicas desenvolvidas para a absorção física são semelhantes às de absorção química, que é um processo utilizado na separação do CO₂ em gás natural e indústrias químicas. A capacidade de o solvente físico absorver os gases ácidos é função da pressão parcial, seguindo a lei de Henry (para misturas de gases ideais). Desta forma obtém-se, uma relação linear da concentração na fase líquida com a pressão parcial do gás.

Geralmente os solventes físicos são estáveis tendo uma boa seletividade e capacidade de absorção de CO₂ e uma baixa capacidade para a remoção de outros constituintes primários do fluxo de gás. A maioria dos solventes físicos utilizados é orgânica com elevados pontos de ebulição e baixas pressões de vapor a temperatura ambiente. Além disso, devem possuir baixa viscosidade, baixa ou moderada higroscopicidade e serem pouco corrosivos. A Tabela 1.1 compara resumidamente os solventes físicos e químicos:

Tabela 1.1- Comparação entre solventes físicos e químicos para a absorção do CO₂ (Neves 2007)

Solventes Físicos	Solventes Químicos
Capacidade proporcional à pressão parcial do CO ₂	Capacidade independente da pressão parcial do CO ₂
Baixo calor de absorção	Alto calor de absorção
Dessorção por <i>flash</i>	Necessita de calor para a dessorção
Dificuldade de remover o CO ₂ completamente	Reduz a baixos níveis o teor de CO ₂ em correntes gasosas

1.4 Absorção Química de CO₂

Na Figura 1.7 mostra-se o processo geral de absorção química de CO₂ com amina. No absorvedor (*absorber*) o gás ácido (CO₂/N₂) é alimentado no fundo da coluna e a solução de aminas conhecida como amina pobre em CO₂ é alimentada pelo topo. A corrente gasosa entra em contato em contracorrente com o solvente químico que absorve o CO₂ reagindo quimicamente com ele. A corrente conhecida como amina rica em CO₂ que sai pelo fundo da coluna passa em seguida para um trocador de calor, onde irá ser aquecida com a corrente do fundo (amina pobre em CO₂) do separador (*stripper*) para alimentar o separador. Por outro lado, o gás pobre em conteúdo de CO₂ que sai do absorvedor é expelido para atmosfera.

No topo do separador entra a corrente de amina rica em CO₂ que é aquecida com vapor para separar o CO₂ da amina. O CO₂ sai pelo topo do separador para ser comprimido e logo transportado. Enquanto no fundo, sai amina pobre passa em seguida para o trocador de calor, que a seguir será recirculada para o absorvedor, onde recomeçará o ciclo do processo Alie et al., (2004).

A principal característica do processo de absorção química é que a reação química aumenta a taxa de absorção e a eficiência de transferência de massa, devido ao incremento da solubilidade decorrente da presença dos reagentes, Além disso, a manipulação das grandezas do processo tais como: a temperatura, pressão, vazões, etc. Influencia diretamente nas taxas de reação.

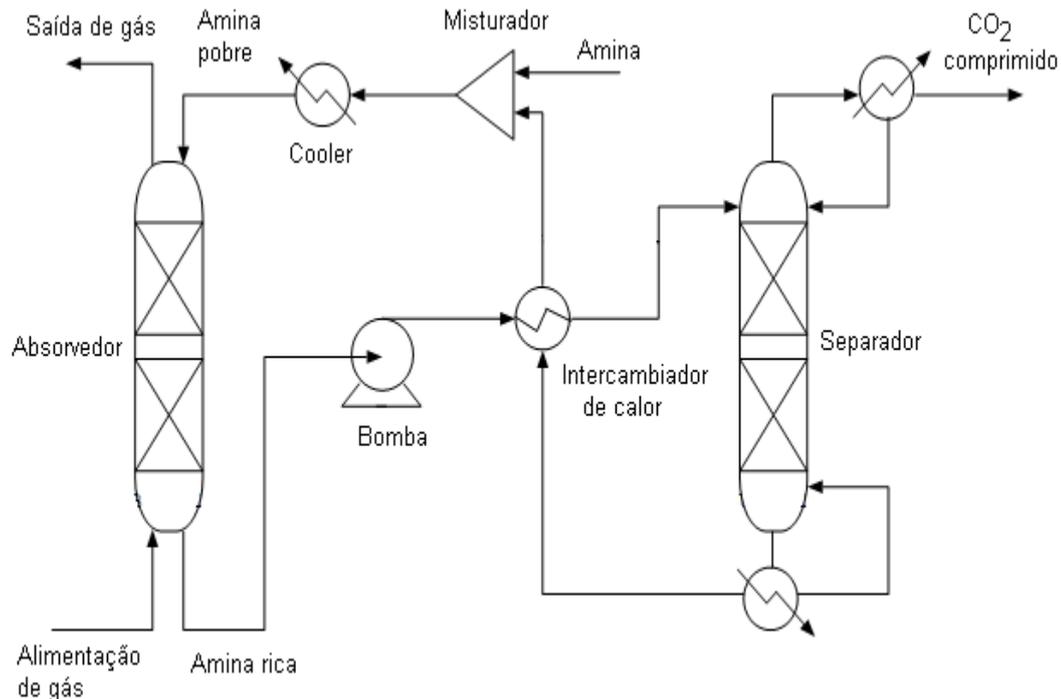


Figura 1.7 - Processo de absorção com amina (Alie et al., 2004)
Adaptação Vasquez (2009).

O solvente líquido selecionado para o processo de absorção deve apresentar grande capacidade para absorver o gás, seletividade e possibilidade de regeneração. A Tabela 1.2 apresenta os diferentes tipos de solventes utilizados para remoção de CO_2 .

Por razões econômicas e de eficiência, o solvente deve ter grande capacidade para dissolver o CO_2 , ou seja, absorver um número máximo de moles do componente gasoso por unidade de volume do solvente. Isso tem ação rápida na taxa de circulação de solvente líquido, e, de mesmo modo, deve ser regenerado pela liberação do CO_2 absorvido, devendo ainda ter elevada taxa de absorção específica, isto é, absorver um número máximo de moles do gás por cada mol de solvente utilizado.

A integração, tanto energética como mássica, é um fator que contribui na eficiência dos processos de absorção de CO_2 . Onde, deve-se, ter em conta o destino do CO_2 separado e da recuperação do solvente, qual é o fim requerido e, o mais importante, como usar a recuperação de calor do sistema.

Em plantas de hidrogênio e amônia, é geralmente necessário utilizar o calor sensível e o calor latente no gás tratado para aquecer a corrente alimentada ao sistema de dessorção de CO_2 . A adequada combinação entre o calor disponível

na coluna de absorção e as necessidades de calor na coluna de dessorção é umas das razões porque os processos com carbonato removido a quente e com monoetanolamina (MEA) são os mais utilizados na remoção de CO₂ Kohl et al., (1997).

Sendo CO₂ um gás ácido, qualquer solução alcalina pode ser utilizada como absorvente. Geralmente, são utilizadas soluções aquosas de solventes alcalinos, mas, em aplicações específicas, pode ser mais apropriado à utilização da mistura de solventes, isto é, soluções de MEA e dietanolamina (DEA), freqüentemente empregadas na remoção de CO₂. Estas aminas apresentam vantagens sobre outras, tais como: baixa volatilidade, alta solubilidade em água e o custo é razoavelmente moderado. Outras aminas importantes são a metildeitanolamina (MDEA), diisopropanolamina (DIPA), diglicolamina (DGA) e a trietanolamina (TEA). Na Tabela 1.2 mostram-se as propriedades dessas aminas

1.5 Aminas

Na atualidade vem-se utilizando diversas aminas no processo de absorção de gases ácidos, a escolha é determinada por condições de pressão e temperatura, nas quais o gás tratado está disponível, sua composição e os requisitos de pureza. A seguir são descritas as três aminas mais importantes.

MEA: Solvente amplamente utilizado para o tratamento dos gases que contém baixas concentrações de CO₂ e H₂S, e principalmente contaminantes tais como, o sulfeto de carbonila (COS) e dissulfeto de carbono (CS₂). O uso é eficiente no tratamento de gases a baixa pressão. Principais vantagens: Baixo peso molecular que confere uma alta capacidade de absorção em baixas concentrações; alta alcalinidade; facilmente recuperável; sendo que a principal desvantagem da MEA é a formação de subprodutos (COS e CS₂) procedentes das reações irreversíveis dando lugar a perdas importantes se o gás contém quantidades significantes destes componentes, além disso, as soluções de MEA são mais corrosivas das outras aminas, especialmente quando a concentração é superior a 20% em peso e as soluções absorvem grandes quantidades de gases ácidos. Kohl et al., (1997).

DEA: As soluções aquosas de DEA têm sido usadas durante muitos anos nos tratamentos dos gases de refinaria que geralmente contém quantidades

apreciáveis de COS, CS₂ e a presença de H₂S e CO₂. Sua grande desvantagem é que, a recuperação da solução exige uma destilação a vácuo e a outra é gera muitas reações irreversíveis com o CO₂, formando produtos corrosivos (COS e CS₂). Por tanto, não é recomendável para tratamento de gases com alto contido deste gás ácido. Kohl et al., (1997).

MDEA: Normalmente usa-se na faixa de 20% a 50% em peso, apresenta vantagens significativas em relação às aminas primárias e secundárias, tais como: baixa pressão de vapor; baixo calor de reação com gases ácidos; alta resistência à degradação, baixos problemas de corrosão, e, sobretudo seletividade na absorção de H₂S na presença de CO₂ Kohl et al., (1997).

Tabela 1.2- Propriedades de diferentes tipos de solventes (Kohl et al., 1997)
Adaptação Vasquez (2009).

Propriedades	MEA*	DEA*	TEA*	MDEA*	DIPA*	DGA**
Peso molecular	61,09	105,14	149,19	119,17	133,19	105,14
Densidade relativa	1,0179	1,0919	1,1258	1,0418	0,9890	1,0550
20/20°C	-	(30/20°C)	-	-	(45/20°C)	-
Ponto de ebulição °C						
760 mmHg	171	Decomp.	360	247,2	248,7	221
50 mmHg	100	187	244	164	167	-
10 mmHG	69	150	208	128	133	-
Pressão de vapor						
mmHg a 20°C	0,36	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ponto de congelação °C	10,5	28,0	21,2	-21,0	42	-9,5
Solubilidade em água						
% em peso a 20°C	Completo	96,4	Completo	Completo	87	Completo
Viscosidade absoluta						
Cp a 20°C	24,1	380(30°C)	1,013	101	198(45°C)	26(24°C)
Calor de vaporização						
Btu/lb a 1 atm	355	288(23mm) (168,5°C)	230	223	184,5	219,1
Custo aproximado						
\$/lb ***	0,59	0,6	0,61	1,40	-	0,93
Notas:						
*Dado de Union Carbide Chemicals Company (1957) exceto para custo.						
**Dado de Jefferson Chemical Company, Inc. (1969) exceto para custo.						
***Kenney (1995).						

1.6 Motivação

Embora se reconheça o papel dos combustíveis fósseis como recursos críticos para as necessidades da economia e segurança energética, eles acarretam também elevados impactos ambientais em níveis locais e globais, principalmente no que diz respeito às emissões de gases de efeito de estufa.

As projeções econômicas sugerem a continuação do predomínio dos combustíveis fósseis, no mercado de geração de energia elétrica e na indústria. Simultaneamente, aumentam os impactos por conta das implicações que as emissões de CO₂ acarretam nas alterações climáticas. Essas evidências sugerem que, para atingir o objetivo de evitar o aumento do nível de aquecimento global da Terra, será necessário reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Esses fatores confirmam a importância de respostas rápidas e eficientes em face de este grande desafio.

1.7 Objetivo

A proposta deste trabalho é a avaliação da técnica de captura de CO₂ por absorção química em soluções aquosa de MEA, em sistemas de pós-combustão através de uma coluna de filme contínuo de líquido, escoando em contracorrente com o gás.

Como a captura só é viável para grandes fontes emissoras de carbono, serão utilizadas, como base de estudo, as usinas térmicas de onde utilizaremos dados para a simulação, assim como da literatura.

Por meio das simulações computacionais, calcula-se a taxa de absorção de CO₂ e os parâmetros envolvidos na absorção, tais como: a temperatura e as concentrações (de MEA e CO₂).

1.8 Organização do Trabalho

O presente trabalho é composto de seis capítulos. Nesse Capítulo 1, apresentou-se a introdução das reduções de gases efeito estufa, captura de CO₂, conceitos gerais das tecnologias de captura de CO₂, absorção de CO₂, tipos de

aminas utilizadas, a motivação do estudo e seu objetivo.

No Capítulo 2, será apresentada a revisão da bibliografia, onde os diversos modelos e mecanismos de absorção já considerados em trabalhos anteriores são descritos.

No Capítulo 3, apresenta-se breve descrição do experimento modelado, das hipóteses propostas juntamente com as equações gerais que governam o problema considerando-se os modelos de absorção com reação química em solução com um solvente. Apresentam-se ainda as correlações empíricas, condições iniciais e de contorno do problema e o balanço de massa das espécies no processo.

A descrição do método numérico é realizada no Capítulo 4, com a apresentação do esquema de discretização das equações que regem o processo de absorção, as quais foram escritas para um sistema de coordenadas bi-dimensionais para região de líquido e unidimensional para região de gás, que se adaptam à interface gás-líquido. Apresenta-se, ainda, a técnica e procedimento da solução de equações, critério de convergência e o domínio computacional.

No Capítulo 5, são apresentados os dados operacionais, os dados físico-químicos e os resultados obtidos nas simulações, utilizando duas regiões para análise do processo de absorção. Os resultados obtidos são comparados com os dados experimentais disponíveis na literatura.

Finalmente, no Capítulo 6, apresentam-se os comentários finais do trabalho, juntamente com as recomendações para trabalhos futuros.