

**Estudo para recuperação de compostos orgânicos voláteis (COVs) nas indústrias**

**Study for the recovery of volatile organic compounds (VOCs) in the industries**

DOI:10.34117/bjdv6n12-158

Recebimento dos originais: 10/11/2020

Aceitação para publicação: 08/12/2020

**Antonio Augusto Pereira de Sousa**

Doutor em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande

Instituição: Universidade Estadual da Paraíba

Endereço: Rua Baraúnas, 351 - Bairro Universitário - Campina Grande-PB, CEP 58429-500, Brasil

E-mail: antonioaugusto@servidor.uepb.edu.br

**Edilane Laranjeira Pimentel**

Doutora em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande

Instituição: Universidade Estadual da Paraíba

Endereço: Rua Baraúnas, 351 - Bairro Universitário - Campina Grande-PB, CEP 58429-500, Brasil

E-mail: edilane.uepb@gmail.com

**Verônica Evangelista de Lima**

Doutora em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande

Instituição: Universidade Estadual da Paraíba

Endereço: Rua Baraúnas, 351 - Bairro Universitário - Campina Grande-PB, CEP 58429-500, Brasil

E-mail: veronica@servidor.uepb.edu.br

**Dauci Pinheiro Rodrigues**

Doutora em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande. Instituição:

Universidade Estadual da Paraíba

Endereço: Rua Baraúnas, 351 - Bairro Universitário - Campina Grande-PB, CEP 58429-500, Brasil

E-mail: daucinpinheirorodrigues\_dau@yahoo.com

**Marcia Izabel Cirne França**

Doutora em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande. Instituição:

Universidade Estadual da Paraíba

Endereço: Rua Baraúnas, 351 - Bairro Universitário - Campina Grande-PB, CEP 58429-500, Brasil

E-mail: marcia-cirne@uol.com.br

**Ianna Maria Sodré Ferreira de Sousa**

Doutora em Ciências da Computação

Instituição: Instituto Federal da Paraíba – IFPB – Campus Campina Grande

Endereço: Rua Rodrigues Alves, 1334 - Bairro Bela Vista - Campina Grande-PB, CEP 58400-550, Brasil

E-mail: iannasodre@gmail.com

**William de Paiva**

Doutor em Geotecnia pela Universidade Federal de Pernambuco

Instituição: Universidade Estadual da Paraíba

Endereço: Rua Frei Damião Bozano, 392. Juracy Palhano, CEP: 58117-000, Lagoa Seca, Brasil.

E-mail: w.paiva@servidor.uepb.edu.br

**RESUMO**

O lançamento de compostos orgânicos voláteis (COVs) na atmosfera é uma questão que há muito preocupa os organismos nacionais e internacionais, devido aos claros sinais de exaustão exibida pelo meio ambiente. O setor industrial é o maior responsável pela aceleração do processo de degradação e urge a adoção de medidas de controle do problema. Várias técnicas de recuperação de COVs são atualmente conhecidas e a escolha da mais adequada requer conhecimento. O presente estudo visou discutir o controle da emissão de COVs nas atividades industriais. Nele são apresentados estudos das diversas tecnologias de recuperação de COVs atualmente aplicadas em atividades produtivas, por exemplo, as tecnologias recuperação de COVs por condensação, recuperação de COVs por absorção, recuperação de COVs por separação por membrana e recuperação de COVs por adsorção. Indica-se que é prudente realizar diagnósticos e medições de COVs para se determinar efetivamente qual o sistema mais adequado para recuperação de COVs. Contudo, avalia-se que o sistema de recuperação de COVs por absorção com leito de carvão ativado pode ser a solução mais viável em função da relação custo X benefício, embora os custos não tenham sido objeto de investigação mais aprofundada.

**Palavras-chave:** Poluição do Ar, Controle ambiental do ar na indústria, Compostos orgânicos voláteis (COVs), Tecnologia de recuperação de COVs.

**ABSTRACT**

The release of volatile organic compounds (VOCs) into the atmosphere is an issue that has long been a concern of national and international organizations, due to the clear signs of exhaustion displayed by the environment. The industrial sector is the main responsible for the acceleration of the degradation process and urges the adoption of measures to control the problem. Several VOC recovery techniques are currently known and the choice of the most suitable requires knowledge. The present study aimed to discuss the control of VOC emissions in industrial activities. It presents studies of the various VOC recovery technologies currently applied in production activities, for example, the VOC recovery technologies by condensation, VOC recovery by absorption, VOC recovery by membrane separation and VOC recovery by adsorption. It is indicated that it is prudent to perform diagnostics and measurements of VOCs to effectively determine which system is most suitable for recovering VOCs. However, it is estimated that the VOC recovery system by absorption with activated carbon bed may be the most viable solution due to the cost-benefit ratio, although the costs have not been the object of further investigation.

**Keywords:** Air Pollution, Environmental air control in industry, Volatile organic compounds (VOCs), VOC recovery technology.

**1 INTRODUÇÃO**

As discussões em torno das emissões atmosféricas estão cada vez mais em pauta no planejamento das metas ambientais das indústrias. Muitas das empresas têm se mostrado preocupado com as perdas envolvidas nas emissões de Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) para a atmosfera. As conseqüências destas perdas vão desde os efeitos nocivos que estas substâncias orgânicas causam à saúde do trabalhador e ao meio ambiente até as grandes perdas financeiras envolvidas, uma vez que, grandes volumes de produtos são lançados na atmosfera. Além disso, cada vez mais, as empresas têm sido cobradas pelos órgãos ambientais para um maior controle sobre essas fontes poluidoras. No Brasil, estudos mais apurados sobre estes tipos de emissões, bem como seu controle a nível industrial, são

bastante escassos, sem falar da inexistência de legislação local que trate sobre o tema (ASSUNÇÃO, 2003).

Este trabalho tem como objetivo estudar as diversas técnicas de recuperação dos compostos orgânicos voláteis (COVs) lançados na atmosfera por algumas atividades industriais. Além disso, possibilitou estudar os principais compostos orgânicos voláteis (COVs) em processo produtivos e suas influências na qualidade do meio ambiente, bem como, apresentar alternativas futuras de viabilidade técnica para recuperação de compostos orgânicos voláteis (COVs) nas indústrias.

## **2 CONTROLE DE EMISSÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS (COVs)**

A importância de se controlar as emissões dos COVs se deve ao fato deles ser os principais componentes das reações químicas e físicas na atmosfera que formam o ozônio e outros oxidantes fotoquímicos, causando o chamado “Smog” Fotoquímico. Devido à poluição ambiental causada pelo “smog” fotoquímico, os processos industriais que causam este fenômeno em diversas cidades do Japão (Tóquio, Osaka, Kanagawa, etc) foram obrigados a instalar sistemas de recuperação de hidrocarbonetos de acordo com as exigências legais de cada prefeitura. Em 1990, havia em todo Japão cerca de 70 sistemas de recuperação de vapores de hidrocarbonetos (HUNTER & OYAMA, 2000).

Os solventes são compostos orgânicos que intervêm em diversas operações físicas ou químicas sem serem destruídos. Alguns solventes evaporam rapidamente a temperatura e pressão normal, dando origem a emissões de COVs.

As aplicações dos solventes são inúmeras, tais como desengordurar, solubilizar, limpar, desempoeirar, retirar as camadas de tinta de barcos e aviões, etc. A título de exemplo, das atividades que utilizam estas substâncias, destacam-se as de impressão gráfica, produção farmacêutica, produção química, produção de tintas, limpeza a seco, limpeza de superfícies metálicas, utilização desengordurantes, fabricação de tintas, vernizes e lacas, etc. Tradicionalmente distinguem-se três grandes classes de solventes: os hidrocarbonetos, os compostos organoclorados e os produtos oxigenados.

## **3 TECNOLOGIA PARA RECUPERAÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS (COVs)**

Existem vários sistemas de recuperação de COVs, tais como condensação, absorção, separação por membrana e adsorção que serão tratadas neste trabalho. A seguir, são detalhadas as tecnologias de recuperação de COVs: Recuperação de COVs por condensação, Recuperação de COVs por absorção, Recuperação de COVs por separação por membrana e Recuperação de COVs por adsorção.

### 3.1 RECUPERAÇÃO DE COVS POR CONDENSAÇÃO

Condensação é a liquefação dos poluentes incondensáveis pelo uso de baixas temperaturas. Condensadores resfriados com água são os mais comumente usados na indústria. São usados para prevenir o escape de material do processo, para liquefazer componentes separados por colunas de destilação, e para liquefazer vapor para o reuso como água de caldeira. A tecnologia de condensação é menos eficiente que outras tecnologias para remover poluentes de corrente de gás com baixa concentração. Os Condensadores são freqüentemente usados em combinação com outras técnicas de controle. Podem ser usados para reduzir a carga para um nível abaixo do limite inferior de explosão de uma corrente de gás. Quando instalado anterior a um equipamento de destruição, tal como um incinerador, o condensador provê uma recuperação parcial do material, antes da destruição final necessária para alcançar baixas taxas de emissão (PURCELL & SHAREEF, 2003).

### 3.2 RECUPERAÇÃO DE COVS POR ABSORÇÃO

Absorção é um processo em que alguns poluentes na corrente de gás contaminada são dissolvidos seletivamente na corrente líquida de solvente através da transferência de massa constituindo-se na dissolução do poluente no líquido. A absorção não é efetiva para componentes que não são solúveis no líquido. Existem algumas desvantagens significantes nos sistemas de absorção. A principal delas é que a absorção transfere o problema da corrente de gás contaminado para criar uma corrente líquida contaminada. O líquido deve ser então tratado ou o poluente recuperado, reusado ou disposto como solvente gasto. A formação de produtos de reação do absorvente com alguns dos poluentes, provocando o entupimento do recheio, pode provocar a parada do sistema e ainda a necessidade de tratamento do resíduo formado, com aumento dos custos operacionais. (HUNTER, 2000).

### 3.3 RECUPERAÇÃO DE COVS POR SEPARAÇÃO POR MEMBRANA

Esta tecnologia envolve o uso de membranas semipermeáveis para separar os COVs da corrente de processo. A tecnologia tem sido usada na dessalinização de água e foi adaptada para uso com gases. O método é efetivo para recuperar COVs tais como hidrocarbonetos clorados, clorofluorcarbono, e fluorcarbonos, que são tradicionalmente difíceis de serem separados. As técnicas com membranas usadas na aplicação de recuperação de solvente do ar são: Permeação de Gás e Osmose Reversa. As eficiências com separação por membrana são reportadas entre 90 a 99,99%, embora seja importante notar que uma eficiência maior resulta em concentrações menores na corrente de permeado (HUNTER, 2000).

A tecnologia de separação por membranas tem sido usada por várias décadas na indústria química em plantas de tratamento de água para consumo humano e industrial pelo processo de osmose reversa. A separação por membranas é usualmente competitiva com a adsorção com carvão, quando a concentração de COV está acima de 1.000 ppm. São também aplicáveis em situações nas quais a adsorção não é apropriada, tais como para compostos com baixo peso molecular ou compostos que polimerizam com carvão ativado (HUNTER, 2000).

### 3.4 RECUPERAÇÃO DE COVS POR ADSORÇÃO

A adsorção é a técnica comumente usada para remover poluentes em concentrações relativamente baixas de uma corrente de gás, retendo-os num sólido com grande área superficial. O sólido é tipicamente carvão ativado ou um material cristalino com alta porosidade interna que retém o poluente por meio de forças intermoleculares.

Os custos de instalação deste sistema são muitas vezes menores que os de outros sistemas de tratamento de poluentes. A capacidade de adsorção do carvão ativado para um determinado poluente é muitas vezes representada por uma isoterma de adsorção da quantidade de poluente adsorvido para a pressão de equilíbrio à temperatura constante. Apesar da grande aplicação do carvão ativado, em algumas situações eles apresentam desvantagens, são inflamáveis, difíceis de regenerar enquanto o sorbato tem alto ponto de ebulição promove a polimerização ou oxidação de alguns solventes a compostos tóxicos ou insolúveis, e requer controle de umidade. Nestes casos, outro adsorvente que tem substituído o carvão ativado com sucesso é a zeólita, com boas propriedades tais como estabilidade térmica e sua característica hidrofóbica. As zeólitas são materiais inorgânicos de estrutura cristalina e com tamanhos de poros fixos. O custo da zeólita hidrofóbica é ainda muito alto o que limita economicamente o seu uso nas aplicações para as quais o carvão ativado não é bem apropriado (KHAN & GHOSHAL, 2000).

### 3.5 COMPARAÇÃO ENTRE AS TECNOLOGIAS DE RECUPERAÇÃO DE COVS

A condensação é geralmente considerada a menos efetiva que as outras tecnologias, mas capaz de atingir 90% aproximadamente de eficiência, quando são usados refrigerantes. Apresenta algumas limitações, tais como, requer alta concentração, COVs com alto ponto de ebulição, etc. Estas limitações têm restringido sua aplicabilidade comercial (KHAN & GHOSHAL, 2000).

O processo de absorção envolve investimento inicial alto, bem como as dificuldades nos projetos, devido à falta de disponibilidade de dados de equilíbrio líquido-vapor. Além disso, a estripagem dos COVs do solvente de absorção requer adicional separação aumentando o custo do processo. Junto com muitas limitações, esta técnica tem algumas vantagens, por exemplo, a habilidade

para tratar uma ampla faixa de concentração, processo simples e boa eficiência (KHAN & GHOSHAL, 2000).

A tecnologia de separação por membrana é uma das técnicas emergentes que merecem maiores investigações para determinar sua conveniência para cada situação. Na separação por membrana o principal problema é o custo da membrana, a dificuldade de disposição do resíduo e a seletividade da mesma (HUNTER, 2000).

Uma técnica que é reconhecida como capaz de altas eficiências, maiores que 99%, é a adsorção. A adsorção tem a vantagem adicional de permitir o reuso dos poluentes recuperados. Nem todos os poluentes podem ser tratados pela adsorção e uma fonte de vapor ou calor deve estar disponível para remover o poluente do adsorvente durante a regeneração. A adsorção tem boa eficiência de recuperação, mas requer maiores custos de investimentos de capital. A regeneração do adsorvente e a separação dos COVs da solução aumentam a complexidade e os custos do processo. O carvão ativado, embora seja um adsorvente barato, tem muitas limitações, como a possibilidade de riscos de incêndio, menor seletividade, etc. A zeólita é mais cara, mas tem muitas vantagens, tais como, não tem riscos de incêndio, distribuição de tamanho dos poros uniforme, etc. (KHAN & GHOSHAL, 2000).

A Tabela 1 Apresenta de forma resumida as técnicas de controle de COV por destruição e recuperação, com seus custos de operação, a eficiência de remoção, os resíduos gerados, suas vantagens e desvantagens. Dessa forma, facilita a comparação entre os sistemas, possibilitando definições sobre a adequabilidade dos diversos sistemas.

Considerando-se a análise comparativa das tecnologias de controle de COVs apresentadas na Tabela 1 com seus custos de operação, eficiência de remoção, resíduos gerados, vantagens e desvantagens, com os aspectos/impactos ambientais, pode-se ter uma melhor orientação para se fazer uma escolha adequada para o controle de COVs, quando as medidas de controle na fonte não forem suficientes para evitar as emissões.

#### **4 CONCLUSÕES**

Das análises feitas pode-se chegar as seguintes conclusões:

- A legislação brasileira pertinente a controle de poluição do ar não especifica valores para lançamentos na atmosfera de COVs, dificultando a gestão ambiental desses passivos e prejudicando de formas diversas o meio ambiente, bem como, as tomadas de decisões do setor produtivo para ações efetivas de controle ou eliminação dos mesmos;
- Deve-se realizar diagnósticos e medições de COVs para se determinar efetivamente qual o sistema mais adequado para recuperação de COVs. Entretanto, a adsorção por carvão ativado demonstra ser muito versátil, além de apresentar custo inicial relativamente mais baixo que os demais

sistemas disponíveis, operação e manutenção simples e seus passivos ambientais serem mais facilmente administrados, devendo-se ter atenção especial quando da renovação do adsorvente.

Tabela 1 - Análise das várias técnicas de controle de COVs ( Fonte: adaptado de KHAN & GHOSAL , 2000 )

Técnicas de Controle		Custo anual de operação, US\$/pés <sup>3</sup> p/minuto	Eficiência de remoção, %	Resíduo gerado	Vantagens	Desvantagens
D E S T R U I Ç Ã O  D E V O C	Oxidação térmica	Recuperativo – 15 -90 Regenerativo – 20-150	95 – 99	Produtos de combustão	Possível recuperação de energia (máximo de 85%)	Halogenados e outros compostos podem requerer equipamento adicional de controle do efluente
	Oxidação catalítica	15 – 90	90 – 98	Produtos de combustão	Possível recuperação de energia (máximo de 70%)	A eficiência é sensível às condições de operação. Certos compostos podem envenenar o catalisador. Pode requerer equipamento adicional de controle do efluente
	Biofiltração	15 – 75	60 – 95	Biomassa	Requer menos investimento inicial, menor formação de resíduos nocivos e perigosos	Lento, e microorganismos seletivos decompõem compostos orgânicos seletivos, o que requer uma mistura mista de micróbios. Não recupera o material.
R E C U P E R A Ç Ã O  D E V O C	Condensação	20 – 120	70 – 85	Condensado	A recuperação dos produtos pode compensar o custo operacional	Requer manutenção rigorosa. É recomendado para materiais com pontos de bolhas acima de 38 °C
	Absorção	25 – 120	90 – 98	Água residual	A recuperação dos produtos pode compensar o custo operacional	Requer manutenção rigorosa. Pode requerer pré-tratamento dos COVs. Os projetos podem ser dificultados pela falta de dados de equilíbrio
	Adsorção com carvão ativado	10 – 35	80 – 90	Carvão gasto e produtos orgânicos coletados	A recuperação dos compostos pode compensar o custo operacional	Suscetível a umidade, e alguns compostos (cetonas, aldeídos, e ésteres) podem entupir os poros, diminuindo a eficiência.
	Adsorção com zeólita	15 – 40	90 – 96	Zeólita gasta e orgânicos coletados	A recuperação dos compostos pode compensar o custo operacional	Alto custo da zeólita, disponibilidade restrita.
	Separação por membrana	15 – 30	90 – 99	Membranas exaustas	A recuperação do solvente pode compensar o custo operacional	As membranas são raras e de alto custo.

**REFERÊNCIAS**

ASSUNÇÃO, ROGÉRIO SANTOS Avaliação das Emissões de Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) em Operações de Carga e Descarga de Derivados Líquidos de Petróleo 2003. Disponível em <http://www.teclim.ufba.br/curso/monografias/novas/Monografia>. Acesso em dezembro 2005.

HUNTER, P. ; OYAMA, S. T. Control of Volatile Organic Compound Emissions : Conventional and Emerging Technologies, New York: J. Wiley & Sons, Inc, 2000.

KHAN, Faisal I. ; GHOSHAL, Alok Kr. Removal of Volatile Organic Compounds from Pollute Air, In: Journal of Loss Prevention in the Process Industries, vol. 13 , 2000

PURCELL, R. Y.; SHAREEF, G. S., Control technologies for hazardous air pollutants. 2003. USEPA, Research Triangle Park, NC.