



# UFBA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

ESCOLA POLITÉCNICA

DEPTº DE ENGENHARIA AMBIENTAL - DEA

**MEPLIM**

MESTRADO PROFISSIONAL EM  
GERENCIAMENTO E TECNOLOGIAS  
AMBIENTAIS NO PROCESSO PRODUTIVO



SALVADOR  
2005

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

ALBERTO OLIVEIRA DE ALMEIDA

**RECUPERAÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS (COVs)  
EMITIDOS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE  
TUBOS FOTORRECEPTORES ORGÂNICOS**

MESTRADO EM GERENCIAMENTO E TECNOLOGIAS AMBIENTAIS NO PROCESSO  
PRODUTIVO

SALVADOR – BAHIA  
2005

ALBERTO OLIVEIRA DE ALMEIDA

**RECUPERAÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS (COVs)  
EMITIDOS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE  
TUBOS FOTORRECEPTORES ORGÂNICOS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo, Universidade Federal da Bahia - UFBA, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Emerson Andrade Sales, Doutor em Génie Chimique, Doctorat Ex Sciences.

SALVADOR – BAHIA  
2005

A447r Almeida, Alberto Oliveira de

Recuperação de Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs) emitidos no processo de produção de tubos fotorreceptores orgânicos. / Alberto Oliveira de Almeida. – Salvador, 2005.

157 p.; il., color.

Orientador: Prof. Dr. Emerson Andrade Sales

Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo. Ênfase em Produção Limpa) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia, 2005.

Inclui Apêndices e Anexos

1. Compostos Orgânicos Voláteis – Aspectos Ambientais 2.

À  
Minha família, pelo constante apoio e dedicada compreensão.

## **AGRADECIMENTOS**

A DEUS por me fornecer disposição, motivação e perseverança para enfrentar os desafios e permitir realizar esta e muitas outras conquistas.

Ao Professor Doutor Emerson Andrade Sales, por ter apoiado e acreditado na possibilidade e importância da realização deste trabalho, sempre orientando para o aprofundamento dos temas definidos, bem como incentivando e permitindo as iniciativas quanto ao escopo dos trabalhos de pesquisa.

Aos Professores Doutores José Geraldo de Andrade Pacheco Filho e Marcelo Embiruçu de Souza, membros da Banca Examinadora pela grande contribuição na avaliação e enriquecimento do conteúdo desta dissertação.

Ao Engenheiro Sérgio de Rezende Hortélio, pelo auxílio e disponibilização de dados referentes ao sistema de produção de Tubos Fotorreceptores Orgânicos (OPCs), da Xerox Indústria e Comércio Ltda.

Aos Engenheiros Eduardo Moura e Adilson Ramos, Gerentes Executivos da Xerox Indústria e Comércio Ltda., por permitir e autorizar a realização dos estudos e pesquisas na Unidade de Produção de OPCs.

Ao estudante de Engenharia Química e bolsista de Iniciação Científica do Instituto de Química da Universidade Federal da Bahia, Allan Braz Nascimento, cuja contribuição foi importante no auxílio com o “Software” ChemCAD 3.0, utilizado na simulação dos processos de Absorção e Destilação, que permitiu demonstrar a praticidade da proposta defendida nesta dissertação.

À minha mãe, pela orientação nos primeiros encaminhamentos para a formação educacional, e às minhas irmãs e irmãos, pelo constante apoio e cooperação no sentido de atingir os objetivos e realizações educacionais.

Especialmente, à minha companheira e minha filha, pela paciência e compreensão em minha ausência prolongada durante os momentos de estudos e pesquisas, dando o espaço, tempo e apoio necessários para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

E a todas as pessoas que contribuíram, direta ou indiretamente, para a consecução deste trabalho.

.

## RESUMO

A presente dissertação tem como tema a recuperação de compostos orgânicos voláteis (COVs), em especial do Tetrahidrofurano (THF), e consiste em um estudo de caso de uma fábrica de tubos receptores orgânicos (OPC), visando propor alternativas para a recuperação do principal solvente utilizado na solução, o THF, para permitir o seu reuso no processo. O THF é um composto orgânico volátil que é parte integrante de uma solução química utilizada na produção de Tubos Fotorreceptores Orgânicos (OPC), que ainda possui em sua formação o Acetato de N-Butila, o Monoclorobenzeno (MCB), o Xileno e o Butanol. A importância da aplicação desse estudo de caso no contexto industrial é a proposta de substituição do método de incineração térmica, atualmente utilizado para abater as emissões gasosas e os efluentes líquidos gerados no processo, por um outro método que proporcione a utilização de uma tecnologia mais limpa, e que possibilite o reuso do THF no próprio processo, devido ao seu alto valor agregado. A metodologia utilizada para alcançar os objetivos propostos foi compreendida por duas etapas: a primeira etapa envolveu a coleta dos dados do processo durante um período de oito meses, e a segunda etapa consistiu na realização de simulações no “software” ChemCAD 3.0, nos métodos de Absorção e Destilação. Durante o estudo, também, identificou-se a existência de processos comerciais para a recuperação e separação do THF através dos métodos de Adsorção e Destilação, comprovando desta maneira a eficácia da proposta deste estudo de caso. Durante as simulações foi possível constatar que o método de Absorção seguido por Destilação pode ser aplicado como alternativa viável à incineração, desde que sejam verificadas algumas variáveis, a exemplo da vazão mássica de ar utilizada para insuflar o interior das salas de revestimento dos tubos fotorreceptores, cuja finalidade é apenas servir como transporte das emissões gasosas para o incinerador. Em função dos resultados verificados durante as simulações, se conclui que os métodos ensaiados são potenciais alternativas para a recuperação e separação do THF no processo de produção de OPC.

**Palavras-chave:** COV; OPC; Fotorreceptores; Tubos Fotorreceptores Orgânicos.

## ABSTRACT

The approach of this work is the recovery of Volatile Organic Chemicals (VOC), specially the Tetrahydrofuran (THF), and It consists a case study of a Organic Photoreceptor Pipes (OPC) factory, seeking to propose alternatives for the recovery of the main VOC in the solution, THF, to allow its reuse in the process. The THF is a volatile organic compound that is part of a chemical solution used to produce Organic Photoreceptor Pipes (OPC), that still keep in its formulation the N-Butyl Acetate, the Monobenzenechlorine, the xylene and the butane alcohol. The importance of the application of this case study in an industrial context is the proposition to change method of current thermal incineration used to remove the gaseous emission and liquid effluent produced in the process, into another one that brings the use of a cleaner technology and that sustain the THF reuse in the same process due to its high aggregated value. The methodology applied to achieve the proposed objective was done in two parts: the first one involved a process data collection during a eight months period and the second part was a software (ChemCAD 3.0) simulation carrying out in the absorption and distillation methods, proving the efficacy of this case proposition study. During the simulation was possible to show up that the Absorption method continued by distillation can be applied as a feasible alternative to the incineration, since that being verified some variables, as a example the mass of air flow used to insufflate inside the rooms of the covering photorreceptor cylinder, which objective is only to serve as a transport of the gaseous emission to the incinerator. Taking in consideration of verified results during the simulation, we can conclude that the tested methods are potential alternatives to the recuperation and THF separation in the OPC production process.

**Keywords:** VOC; OPC; Photorreceptor; Organic Photorreceptor Cylinder.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de COVs, como exemplos de hidrocarbonetos e compostos.....	8
Tabela 2 – Substâncias excluídas da definição de COVs pela EPA.....	9
Tabela 3 – COVs típicos e seus limites de exposição máxima.....	12
Tabela 4 – Vantagens e desvantagens do método de separação por membrana.....	41
Tabela 5 – Análise comparativa dos principais métodos de controle.....	49
Tabela 6 – Vantagens e desvantagens do método de absorção.....	55
Tabela 7 – Alguns casos de misturas azeotrópicas.....	58
Tabela 8 – Quadro resumo para recuperação de THF.....	61
Tabela 9 – Relação geral dos despejos da produção de OPC.....	75
Tabela 10 – Características principais dos COVs no processo de OPC.....	79
Tabela 11 – Acompanhamento da quantidade de COVs na produção de OPC.....	85
Tabela 12 – Síntese do quantitativo de COVs na produção de OPC.....	85
Tabela 13 – Vazão de COVs na emissão gasosa.....	86
Tabela 14 – Vazão de COVs no efluente líquido.....	86
Tabela 15 – Vazão mássica de ar de insuflação.....	86
Tabela 16 – Vazões finais de emissão gasosa e efluente líquido.....	87
Tabela 17-7H – Resultados da simulação da torre de absorção.....	91-99
Tabela 18-18D – Resultados da simulação de absorção/destilação.....	103-107
Tabela 19 – Resultados da simulação de destilação.....	110
Tabela 20 – Investimento estimado para os equipamentos.....	113
Tabela 21 – Tempo de retorno do investimento estimado.....	113
Tabela 22 – Dados do recheio.....	130
Tabela 23 – Fatores para estimar custo de sistema de absorção.....	132

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curvas de emissões de COVs.....	10
Figura 2 – Fluxo de processo de condensação típica.....	28
Figura 3 – Diagrama de fluxo de processo típico de sistema de adsorção.....	31
Figura 4 – Esquema de processo de adsorção – Basf.....	32
Figura 5 – Torre absorvedora de leito contra-corrente.....	34
Figura 6 – Diagrama típico de “flare”.....	35
Figura 7 – Diagrama de fluxo típico de um biofiltro.....	36
Figura 8 – Diagrama de fluxo de um sistema de separação por membrana.....	40
Figura 9 – Configuração de um separador por membrana.....	40
Figura 10 – Diagrama de um reator de PCO com leito acumulado.....	43
Figura 11 – Vazão para tecnologias de tratamento de COVs.....	47
Figura 12 – Concentrações para tecnologias de tratamento de COVs.....	48
Figura 13 – Esquema de processo de destilação – Basf.....	59
Figura 14 – Gerenciamento ambiental de resíduos.....	63
Figura 15 – Gráfico ilustrativo sobre produção limpa.....	66
Figura 16 – Fluxo das instalações de OPC.....	77
Figura 17 – Diâmetro estimado para diversas vazões de ar e solvente.....	83
Figura 18 – Diagrama de processo/simulação de absorção.....	88
Figura 19 – Captação de vapores mais próxima da fonte.....	89
Figura 20 – Captação de vapores diretamente da fonte.....	90
Figura 21 – Resultado de simulação de absorção com Etileno Glicol– 500 kg/dia.....	91
Figura 22 – Resultado de simulação de absorção com Etileno Glicol– 10.000 kg/dia....	93
Figura 23 – Resultado de simulação de absorção com Isopropanol– 10.000 kg/dia.....	94
Figura 24 – Resultado de simulação de absorção com Isopropanol– 20.000 kg/dia.....	95
Figura 25 – Resultado de simulação de absorção com Tetrahidrofurfuril– 500 kg/dia...96	
Figura 26 – Resultado de simulação de absorção com Água– 500 kg/dia.....	97
Figura 27 – Resultado de simulação de absorção com Água– 10.000 kg/dia.....	98
Figura 28 – Resultado de simulação de absorção com Água– 25.000 kg/dia.....	99
Figura 29 – Resultado de simulação de absorção com Água– 50.000 kg/dia.....	100

Figura 30 – Resultados comparativos de simulação de absorção com Água.....	100
Figura 31 – Diagrama de processo/simulação de absorção seguida de destilação.....	101
Figura 32 – Resultado de simulação de absorção/destilação- 64.680 kg/dia Água.....	104
Figura 33 – Resultado de simulação de absorção/destilação- 46.200 kg/dia Água.....	105
Figura 34 – Resultado de simulação de absorção/destilação- 21.000 kg/dia Água.....	106
Figura 35 – Resultado de simulação de absorção/destilação- 7.000 kg/dia Água.....	107
Figura 36 – Resultado de simulação de absorção/destilação- 4.200kg/dia Água.....	108
Figura 37 – Resultado de simulação de absorção/destilação- 2.000 kg/dia Água.....	108
Figura 38 – Diagrama de processo/simulação de destilação.....	109
Figura 39 – Resultado de simulação de destilação do efluente líquido.....	111
Figura 40 – Impactos ambientais do tolueno.....	122
Figura 41 – Impactos ambientais de COV oxigenado.....	122
Figura 42 – Torre absorvedora de leito contra-corrente.....	124
Figura 43 – Absorvedor de fluxo cruzado.....	127
Figura 44 – Torre de bandejas.....	127
Figura 45 – Câmara de spray vertical.....	128
Figura 46 – Absorvedor tipo Venturi.....	128
Figura 47 – Absorvedor Centrífugo.....	129

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

COV – Compostos Orgânicos Voláteis.....	1
EPA – Agência de Proteção Ambiental Americana.....	2
THF – Tetrahidrofurano.....	2
HAP – Poluentes de Ar Perigosos.....	8
FMVCP – Programa Federal Americano de Veículos Motorizados.....	10
ACGIH – Conferência Governamental Americana de Higienistas Industriais.....	11
TLV – Valor Limite de Exposição.....	11
MAC – Concentrações Máximas Admissíveis.....	11
PPM – Partes por Milhão.....	12
OSHA – Administração em Segurança e Saúde Ocupacional.....	12
ASHRAE – Sociedade Americana de Eng. de Refrigeração e Ar Condicionado.....	12
TVOC – Compostos Orgânicos Voláteis Totais.....	12
AIHA – Associação Americana de Higiene Industrial.....	12
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.....	16
CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - SP.....	16
FEEMA – Fundação Estadual de Engenharia de Meio Ambiente - RJ.....	17
GIRS – Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos.....	17
IARC – Agência Internacional de Pesquisas sobre o Câncer.....	20
GLP – Gás Liquefeito de Petróleo.....	24
CFC – Clorofluorcarbono.....	26
PSNAAQS – Padrões Primários e Secundários da Qualidade do Ar Ambiental.....	37
UV – Ultravioleta.....	42
PCO – Oxidação Fotocatalítica.....	42
BHT – Hidroquinona (Inibidor do peróxido do THF).....	59
OPC – Tubos Fotorreceptores Orgânicos.....	60
CCI – Comissão Científica Independente.....	66
RIP – Resíduos Industriais Perigosos.....	66
ACV – Análise de Ciclo de Vida.....	67

UC – Primeira camada de revestimento do OPC.....	69
CG – Camada de revestimento intermediária do OPC.....	69
CT – Última camada de revestimento do OPC.....	70
BEW – Etapa de limpeza das extremidades do OPC.....	70
PLC – Controle Lógico Programável.....	70
MCB – Monoclorobenzeno.....	72
LEL – Limite Inferior de Explosividade.....	77
NTS – Número Teórico de Estágios.....	83
FDS – Ficha de Dados de Segurança.....	87
CFM – Unidade de vazão em pés cúbicos.....	89
AISI – Instituto Americano de Padronização Industrial.....	129
PVC – Polivinil Clorado.....	129
OAQPS – Organização para Qualidade de Sistemas de Absorção.....	129

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1 Poluição industrial.....	4
2.2 Compostos Orgânicos Voláteis – COVs.....	8
2.3 Processos de incineração.....	14
2.3.1 Estágio atual da incineração no Brasil.....	15
2.3.2 Nordeste incinera com Fornos da Cetrel e Cinal.....	17
2.3.3 Proibir a incineração: Livre de substâncias tóxicas.....	18
2.4 Gás natural.....	22
2.5 Tecnologias de recuperação de COVs.....	25
2.5.1 Redução na fonte.....	25
2.5.2 Métodos de controle de COVs – Tec. Convencionais.....	27
2.5.2.1 Condensação.....	27
2.5.2.2 Adsorção.....	29
2.5.2.3 Absorção.....	33
2.5.2.4 “Flare”.....	35
2.5.2.5 Tratamento biológico.....	35
2.5.2.6 Modificação de odor.....	37
2.5.2.7 Diluição.....	37
2.5.3 Métodos de controle de COVs – Tec. Emergentes.....	38
2.5.3.1 Separação por membrana.....	39

2.5.3.2	Processos de oxidação.....	41
2.5.3.3	Oxidação catalítica com ozônio.....	43
2.5.3.4	Destruição por corona.....	43
2.5.3.5	Destruição por plasma.....	44
2.5.4	Comparação de tecnologias.....	45
2.6	Métodos de separação de COVs .....	49
2.6.1	Separação de misturas.....	50
2.6.1.1	Destilação.....	50
2.6.1.2	Esgotamento.....	51
2.6.1.3	Extração líquido-líquido.....	52
2.7	Escolha do método de recuperação e separação de COVs .....	52
2.7.1	Método de recuperação: Absorção.....	53
2.7.1.1	Descrição da tecnologia.....	53
2.7.1.2	Problemas potenciais em absorvedores.....	54
2.7.2	Método de separação: Destilação.....	55
2.7.2.1	Formação de peróxido.....	59
2.7.3	Possibilidades para recuperação do THF - Resumo.....	60
2.8	Produção e tecnologias limpas.....	62
2.9	Reciclagem e termodinâmica.....	66
3.	DESCRIÇÃO DO PROCESSO.....	68
3.1	Lavagem final dos tubos de alumínio.....	68
3.2	Revestimento dos tubos de alumínio.....	69
3.3	Preparação das soluções orgânicas.....	73
3.4	Flangeamento, embalagem e controle da qualidade.....	74
3.5	Área de utilidades.....	74
3.5.1	Efluentes líquidos.....	75
3.5.2	Efluentes gasosos.....	76
3.6	Esquema do processo de fabricação de OPC.....	77
3.6.1	COVs utilizados na processo de OPC.....	78
3.7	Dados de produção.....	80

4. METODOLOGIA E RESULTADOS.....	81
4.1 Dados do processo.....	81
4.2 Simulação dos processos.....	82
4.3 Resultados e Discussões.....	84
4.3.1 Dados coletados do processo.....	84
4.3.2 Simulação da absorção.....	87
4.3.3 Simulação da absorção seguida de destilação.....	101
4.3.4. Simulação da destilação.....	109
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	112
5.1 Análise preliminar de viabilidade econômica.....	112
5.2 Aspectos ambientais.....	114
6. CONCLUSÃO.....	115
7. APÊNDICE.....	118
7.1 Características do THF.....	118
7.1.1 Propriedades físicas e químicas.....	118
7.1.2 Recuperação do THF.....	120
7.2 Recuperação/valorização energética de solventes.....	120
7.3 Equipamentos de absorção.....	123
7.4 Estimativas econômicas para absorção.....	129
8. ANEXO.....	134
8.1 FDS do THF.....	134
8.2 Foto do OPC e local de instalação.....	138
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	139

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)