

REDUÇÃO DA EMISSÃO DE VOCs DURANTE CARGA E DESCARGA DE HIDROCARBONETOS LÍQUIDOS EM INDÚSTRIAS PETROQUÍMICAS

Belem, C.P.¹ e Vargas, R.M.F.²

¹Aluna de Engenharia Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul,
E-mail: clabelem@pop.com.br

²Professor (a) do Departamento de Engenharia Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul,
Telefone: (51) 3320-3500, Fax: (51) 3339-1564,
Av. Ipiranga, 6.681, CEP 90619-900, Porto Alegre – RS, Brasil.
E-mail: rvargas@puccrs.br

RESUMO - Nos últimos anos empresas de refino de petróleo e do setor petroquímico, têm-se mostrado cada vez mais preocupadas com o problema das emissões atmosféricas, especificamente emissões de compostos orgânicos voláteis (VOCs) provenientes dos derivados líquidos de petróleo, a exemplo da gasolina, óleo destilado, nafta e derivados. Esta preocupação tem sido motivada pelas grandes perdas financeiras envolvidas e pela necessidade de se proteger a saúde do trabalhador e o meio ambiente, além da forte pressão dos órgãos ambientais. Baseado neste cenário e aliado ao fato de que, neste setor industrial, umas das principais fontes de emissão de VOCs são as operações de carga e descarga de derivados líquidos de petróleo em caminhões-tanque e vagões-tanque, nas chamadas ilhas de carregamento, e em embarcações nos terminais marítimos, o presente trabalho aborda algumas tecnologias atualmente aplicadas para a recuperação desses compostos orgânicos, bem como uma comparação entre elas. Além disso, será realizado um estudo de caso onde, a partir do simulador de processos HYSYS 3.2, serão testadas diferentes condições de separação de uma corrente contendo uma mistura de hidrocarbonetos, proveniente de carga e descarga de embarcações hidroviárias, a fim de testar a eficiência do processo de separação nas etapas de absorção e separação por membranas.

Palavras-chaves: VOCs. carga. descarga. recuperação.

ABSTRACT - In the past few years petroleum refining companies and their counter-parties, showed their selves more and more worried about atmospherical emitions, such as organic compounds emitions (COVs) from liquid petroleum derivatives like gasoline, distillated oil, NAFTA and others. This concern has been motivated for greater financial losses and for the necessity of workers health and environmental protection, as if, for strong pression from the environmental public agencies. Based on this scenery and due to, in this industrial sector, petroleum liquid derivatives load and unload procedures from tank-trucks and tank-wagons, in the so called shipment islands and boats in the marine terminals, is one of the major sources of COVs emitions, the present work approaches a few up to date technologies for recuperation of organic compounds and, comparisons between them. Besides that, a research case where different conditions of a hydro carbonated mixture flow from load and unload procedures of boats will be tested using the process simulator software HYSYS, for purposes of efficiency test of the separation process in the adsorption and membrane separation phases.

Keywords: COVs. load. unload. recuperation.

INTRODUÇÃO

As discussões em torno das emissões atmosféricas estão cada vez mais em pauta no planejamento das metas ambientais das indústrias petroquímicas e refinarias. Muitas das empresas do setor têm se mostrado preocupadas com as perdas envolvidas nas emissões de compostos orgânicos voláteis (VOCs) para a atmosfera. As consequências 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 toneladas 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.

Os VOCs constituem uma ampla faixa de substâncias tóxicas, que incluem hidrocarbonetos, olefinas, aromáticos e

moléculas contendo oxigênio, nitrogênio, enxofre e halogênio, e cuja pressão de vapor, na temperatura ambiente, é maior que 0,01 psia (0,0007 atm) e ponto de ebulição de até 260°C. A maior parte dos compostos orgânicos com menos de 12 átomos de carbono são considerados VOCs, (HUNTER e OYAMA, 2000).

As emissões ocorrem desde a etapa de extração do petróleo, passando pelas etapas de carga/descarga, transporte, refino e transformação na indústria petroquímica, até chegar na etapa de comercialização, ou seja, distribuição e consumo final. Ao longo deste percurso, as maiores fontes potenciais de emissão de VOCs ocorrem durante as operações de carregamento e descarregamento de derivados líquidos de petróleo de caminhões-tanque e vagões-tanque, nas ilhas de carregamento, e de embarcações nos terminais marítimos, (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA, 1995). Daí então a necessidade de se controlar estas emissões, uma vez que essas operações são realizadas na maioria das vezes expostas à atmosfera.

São nestas ilhas de carregamento e terminais marítimos que ocorrem a distribuição e recebimento de matérias-primas para refinarias, indústria petroquímica e de transformação, além dos produtos derivados de petróleo (ex.: gasolina, querosene, óleo destilado, etc) para consumo final, (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA, 1995).

Na Figura 1, observa-se que as emissões de VOCs durante as operações de carga e descarga de derivados líquidos de petróleo em navios compartimentados se dão por evaporação e/ou exaustão através do topo dos tanques de carga. Esta perda de produto durante o carregamento ocorre quando os vapores orgânicos presentes no tanque são expulsos para a atmosfera, enquanto este mesmo tanque é carregado com um novo líquido. Estes vapores são constituídos

fundamentalmente por:

a) Vapores formados no tanque vazio pela evaporação do produto residual carregado anteriormente;

b) Vapores transferidos através de sistemas de balanço de vapor, quando um tanque de carga que está sendo descarregado resgata os vapores que estão sendo deslocados para fora de um outro tanque que está sendo carregado e

c) Vapores gerados no tanque enquanto um novo produto é carregado, (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA, 1995).

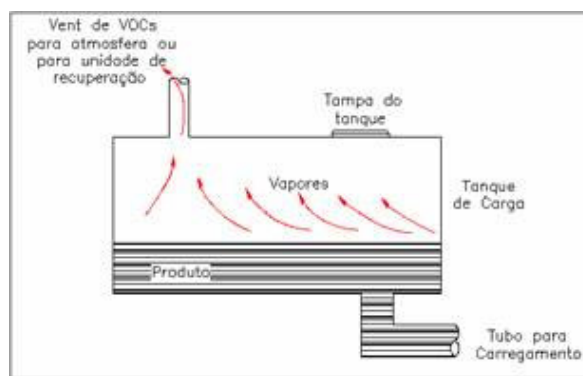


Figura 1: Carregamento de derivados líquidos de petróleo (Fonte: EPA, 1995).

Nos casos em que a frota de navios que opera com exportação de produtos líquidos for sempre a mesma, será possível adequar os compartimentos de tais navios para que operem acoplados a uma Unidade de Recuperação de Vapores (URV).

Nos Estados Unidos, o próprio órgão ambiental federal, Environmental Protection Agency – EPA elabora métodos reconhecidos mundialmente para o cálculo e controle das emissões atmosféricas durante as operações de carga e descarga de caminhões-tanque, vagões-tanque e embarcações, assim como exige a utilização desses métodos por parte das empresas, (CONCAWE, 2002).

Países do continente europeu também aplicam os métodos americanos, além de desenvolverem tecnologias próprias de controle

e recuperação de VOCs. O limite de taxa de emissão de compostos orgânicos voláteis totais aprovado pelos europeus, é de 35g de VOC por m³ de gasolina abastecida. Analogamente, a EPA estabeleceu um limite de emissão de 10g de VOC por m³. O padrão Alemão – TA Luft, a mais rigorosa legislação conhecida para emissão de gasolina, foi estabelecido com limite de 150mg de VOC (excluindo o metano) por m³ de produto carregado, (KHAN e GHOSHAL, 2000).

No Brasil, por meio da Resolução CONAMA 03 (1990), são estabelecidos os padrões nacionais de qualidade do ar para ozônio, monóxido de carbono, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre, material particulado, fumaça e partículas inaláveis. Contudo, estudos mais apurados sobre estes tipos de emissões, bem como seu controle em nível industrial, são bastante escassos, sem falar que a legislação brasileira não estabelece limites para taxas de emissões de VOCs.

Portanto, torna-se necessário que todos os esforços sejam tomados para se evitar que poluentes sejam liberados para o meio ambiente, ao que atende ao Princípio da Preservação: “é mais barato e mais efetivo prevenir o dano ambiental do que tentar administrá-lo ou remediar a situação” (GREEN PEACE, 2008). Existem várias estratégias de controle de emissões de VOCs. A mais desejável é melhorar o processo, de modo a minimizar a emissão, atuando na fonte. Essas técnicas são classificadas, basicamente, em dois diferentes grupos: o de controle na fonte e de tecnologia adicional de controle para regular a emissão. Embora o controle na fonte possa ser mais efetivo e eficiente, sua aplicabilidade é limitada, pois nem sempre é possível modificar o processo e/ ou o equipamento. As técnicas do segundo grupo são classificadas em dois subgrupos, nominalmente as de destruição e de recuperação de VOCs, (KHAN e GHOSHAL, 2000).

TECNOLOGIAS PARA RECUPERAÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS

Atualmente existem diversas estratégias para diminuir ou até mesmo eliminar o lançamento de VOCs para a atmosfera durante as operações de carga e descarga de derivados líquidos de petróleo. A maneira mais simples e menos ambientalmente correta é a destruição através da combustão dos vapores emitidos por incineração, queima no flare ou oxidação catalítica. Estes métodos eliminam a possibilidade de recuperação do produto, geram outros poluentes e o calor de sua combustão geralmente não é economicamente aproveitável. Logo eles são mais adequados para emissões com baixa concentração de vapores. Existem maneiras mais “limpas” de se reduzir as emissões de VOCs, fazendo uso de tecnologias de recuperação, as quais são discutidas a seguir. Na aplicação destas tecnologias, os VOCs presentes na corrente de ar gerada durante a carga ou descarga de produtos, são recuperados, estocados e posteriormente reutilizados. As unidades de recuperação de VOCs são compostas de duas etapas: separação e liquefação.

Tomando como exemplo prático, para se recuperar os hidrocarbonetos emitidos durante a carga e descarga de gasolina nas ilhas de carregamento ou nos terminais marítimos, os processos mais comumente usados nos EUA e Europa são, (CONCAWE, 2002): adsorção em carvão ativado; absorção; condensação; separação através de membrana seletiva.

Uma breve descrição de cada um destes processos é feita a seguir.

Adsorção

No processo de adsorção as moléculas de hidrocarbonetos aderem fisicamente aos poros ativados da superfície de um sólido, como por exemplo, o carbono ativado. Este processo tem alta seletividade, pois é possível obter uma eficiência de

recuperação de 99%. Como o carbono tem capacidade de adsorção limitada, é necessário, para que o processo seja contínuo, a instalação de pelo menos dois vasos (“leitos”) contendo carvão ativado, (CONCAWE, 2002). Ocorre o revezamento entre os modos de adsorção e regeneração ou dessorção, utilizando-se uma corrente aquecida de vapor d’água ou fazendo vácuo no sistema, de maneira tal que o processo de adsorção é revertido. Em sistemas de adsorção instalados nas ilhas de carregamento e nos terminais marítimos para recuperação de VOCs, o método para regeneração mais usado é a utilização de bombas à vácuo e/ou sopradores, uma vez que torna-se dispendioso a instalação de um sistema para geração de vapor, (HUNTER e OYAMA, 2000).

A adsorção é reconhecida como umas das tecnologias de maior eficiência para uma ampla faixa de concentrações, chegando a 99% de rendimento em alguns casos. Outra vantagem é que os hidrocarbonetos recuperados podem ser reutilizados. Entretanto, nem todo VOC é adequado para adsorção, podendo ocorrer problemas de corrosão com alguns solventes orgânicos (ex.: cetonas e compostos halogenados). Além disso, uma fonte de vapor ou calor deve estar disponível para o sistema regenerativo do carvão ativado, devido a sua capacidade de adsorção limitada. Sistemas não-regenerativos resultam em adicional geração de resíduo sólido, o que não é recomendado, (HUNTER e OYAMA, 2000).

Absorção

Neste processo, ocorre a separação de um ou mais componentes de uma mistura gasosa (gás inerte + soluto), onde as moléculas de VOCs contidos na corrente gasosa são dissolvidas, por transferência de massa, em uma corrente contendo um solvente líquido resfriado (absorvente). A força motriz para a transferência de massa é a diferença entre a pressão parcial do poluente na corrente de gás e a pressão de vapor (ou solubilidade) deste mesmo poluente na corrente líquida. Ou seja,

quanto maior a pressão parcial do poluente emitido e quanto menor a pressão de vapor deste poluente na corrente líquida, maior a eficiência de absorção, e conseqüentemente de recuperação, (HUNTER e OYAMA, 2000).

O tamanho de um sistema de absorção pode ser minimizado usando um líquido que reaja com o poluente (absorção química). Porém neste caso, a recuperação do poluente torna-se inviável, uma vez que ele já reagiu e formou outros compostos. Para o processo aqui discutido (carga e descarga de derivados líquidos de petróleo), o ideal é optar pela tradicional absorção física, onde o poluente dissolvido no líquido pode ser posteriormente recuperado e reutilizado, (HUNTER e OYAMA, 2000).

A tecnologia de absorção, apesar do seu uso já consolidado na indústria, possui alguns pontos negativos, (CONCAWE, 2002; HUNTER e OYAMA, 2000):

- a) É mecanicamente complexa, necessitando intensa manutenção;
- b) Não é apropriada para tratar correntes de vapor com diferentes compostos orgânicos em sua composição, pois é improvável encontrar um solvente líquido que absorva, de forma eficiente, diferentes substâncias, ou seja, o processo teria baixa eficiência;
- c) Requer um substancial tempo para a partida antes de estar disponível para operação, (CONCAWE, 2002; HUNTER e OYAMA, 2000; CALDAS e LACERDA, 1998).

Separação por Membrana

Nesta operação os compostos orgânicos são separados da corrente gasosa passando por um filtro de membrana semipermeável. A força motriz para separação é devido a um gradiente de pressão estabelecido através da membrana. A membrana é projetada para permitir que as moléculas de ar ou as moléculas do poluente passem preferencialmente, resultando em uma corrente

mais concentrada do poluente em um dos lados da membrana, (HUNTER e OYAMA, 2000).

Uma membrana pode ser definida como um filme fino sólido que separa duas soluções e que atua como barreira seletiva para o transporte de componentes destas soluções, quando aplicada algum tipo de força externa. As forças externas que impulsionam a filtração em membranas são: pressão, sucção (pressão negativa) ou potencial elétrico. Após a passagem pela membrana o fluido torna-se permeado. É importante ressaltar que membranas são sistemas de separação de materiais, ou seja, não ocorre transformação química ou biológica de componentes durante o processo de filtração. A seletividade de membranas é variada por meio da modificação do tamanho dos poros ou pela alteração das propriedades físico-químicas dos polímeros componentes da membrana, principalmente dos polímeros localizados na superfície, (SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001)

Os sistemas de membrana são bastante apropriados para processo de operação contínua, além da facilidade de instalação, podem ser usados com uma larga variação na concentração e na vazão da corrente de entrada. Uma outra vantagem é que o processo de separação por membrana é aplicável em situações em que a adsorção não é apropriada, quando, por exemplo, os compostos têm alto peso molecular ou quando polimerizam na superfície do carbono ativado, (HABERT, 1997).

Com esta tecnologia, facilmente, se obtém uma eficiência de recuperação de 99%. Porém, o sistema de separação por membrana tem altos custos energéticos, uma vez que requer a instalação de compressor de alta potência, com o objetivo de se maximizar a diferença de pressão através do filtro de membrana, (CONCAWE, 2002). Além disso, é uma tecnologia emergente que está sendo estudada com mais detalhes, com o objetivo de se determinar a sua adaptabilidade para diferentes situações operacionais, (HUNTER e

OYAMA, 2000).

Condensação

Condensação é a liquefação de contaminantes condensáveis fazendo uso de baixas temperaturas. Ou seja, os contaminantes para serem removidos da fase gasosa são resfriados para uma temperatura na qual a pressão parcial deles na corrente do gás exceda a pressão de vapor de cada um deles, passando então para o estado líquido. (HUNTER e OYAMA, 2000).

O processo de condensação pode ser feito de duas maneiras: por contato e sem contato entre o gás e o líquido refrigerante. O do tipo sem contato é usado na maioria dos sistemas instalados nas ilhas de carregamento e terminais marítimos dos Estados Unidos e Europa, onde as moléculas de VOCs emitidas são capturadas e condensadas na superfície fria de um trocador de calor, cuja temperatura é a responsável direta pela eficiência do processo de recuperação. Outra variável importante na eficiência da condensação é a pressão de vapor e a concentração do poluente na corrente gasosa, e a pressão de operação do sistema. Para recuperar butano e componentes mais pesados, por exemplo, a eficiência deste processo é da ordem de 80-90% em um estágio simples. Para uma eficiência de mais de 90% é necessário instalar um segundo estágio de condensação (ex.: condensador criogênico usando nitrogênio líquido), o que torna o processo mais custoso, (CONCAWE, 2002).

A tecnologia de condensação, apesar do seu largo uso, possui algumas desvantagens, (CONCAWE, 2002):

a) Regularmente deve-se fazer o degelo da unidade, e este procedimento operacional produz uma corrente de água contaminada com orgânicos;

b) Da mesma forma que a absorção, esta tecnologia é mecanicamente complexa e necessita de intensa manutenção e

c) Devido às baixas temperaturas operacionais, esta tecnologia é energeticamente

pouco eficiente, e constitui substancial custo de operação.

Comparação entre tecnologias

Na verdade não existe uma tecnologia perfeitamente apropriada para cada situação. A escolha de uma estratégia para recuperação e reuso de VOCs é quase sempre uma escolha que podemos chamar de mais adequada. E esta escolha depende da natureza química dos VOCs, dos níveis de concentração e das condições de temperatura, pressão e vazão. Além disso, está diretamente ligada ao que se deseja em termos de eficiência, disponibilidade de utilidades (vapor, água, energia, etc), laboratório e ao capital de investimento disponível (HUNTER e OYAMA, 2000).

ESTUDO DE CASO

O presente estudo de caso tem por objetivo reduzir as emissões de VOCs lançados na atmosfera, numa planta petroquímica, durante as operações de carga e descarga de hidrocarbonetos líquidos para embarcações hidroviárias. Nos dias de hoje, tem-se uma emissão média para a atmosfera de 523×10^3 mg de VOC/m^3 , assim será proposta uma tecnologia com o objetivo de reduzir essas emissões de maneira a atender a mais rigorosa

Legislação, onde o padrão estabelecido é o limite de 150mg de VOC/m^3 . Será proposta a implantação de uma Unidade de Recuperação de Vapores (URV), tendo como base uma tecnologia apresentada pela empresa Borsig (2008). Nesta unidade serão recuperados vapores de gasolina, refinado C_6C_8 , solventes C_6 , C_7 e C_9 , tolueno, xileno, benzeno, ETBE, estireno e MEK. Estima-se recuperar uma corrente de vapor contendo 80% de ar (gás inerte) e 20% de hidrocarbonetos (soluto), chegando à URV com uma vazão de $1.489,5 \text{kg}/\text{h}$ nas condições de 30°C e 1atm , além da alta concentração descrita acima.

Dentre as tecnologias propostas, descartou-se a adsorção, devido à mistura gasosa conter um componente incompatível com o carvão ativado, o metil-etil-cetona (MEK), pois este causaria problemas de corrosão. A tecnologia de condensação também foi descartada pelo alto custo operacional. Assim, foi proposta a tecnologia de absorção, mas pelo fato desta tecnologia não ser apropriada para tratar correntes de vapor com diferentes compostos orgânicos em sua composição, o que levaria o sistema a uma baixa eficiência, será utilizada posteriormente a tecnologia de membranas com o objetivo de elevar a eficiência da separação. Na Figura 2, segue o esquema do fluxograma simplificado a partir da tecnologia proposta.

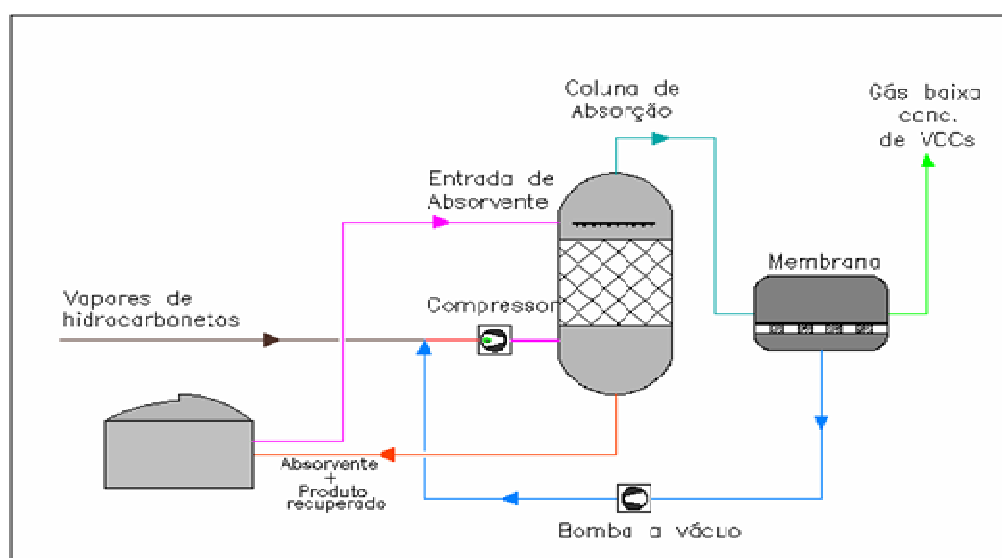


Figura 2: Fluxograma simplificado da tecnologia proposta.

Primeiramente foi efetuado um balanço de massa para a obtenção das composições das correntes do sistema, consideraram-se eficiências de 90% de absorção e 99% de separação, igualmente para todos os componentes das correntes de saída da coluna e membrana, respectivamente.

O líquido absorvente (solvente) escolhido foi o solvente C₉, pois além de promover alta solubilidade possui a menor pressão de vapor dentre os componentes da mistura.

Devido ao espaço restrito da área disponível para a instalação da URV, foi determinado um diâmetro máximo de 1m para a coluna de absorção. Para colunas projetadas com diâmetro menor que 2m, usualmente utiliza-se o tipo de coluna recheada ao invés de coluna de pratos.

O sistema em questão encontra-se em regime transiente, ou seja, as condições de funcionamento variam com o tempo, pois o vapor recuperado e acumulado no vaso de líquido absorvente, após atingir a saturação, será recolhido por um caminhão e enviado para a queima nas caldeiras e no lugar deste será repostado o líquido absorvente puro. Para esta troca foi estimado a partir das vazões de alimentação, o limite máximo de 10% de hidrocarbonetos contaminantes na corrente de líquido absorvente na entrada da Coluna. Na Figura 3, observa-se que quanto maior a concentração de hidrocarbonetos contaminantes, menor será a composição de solvente C₉ na corrente líquida. Desta forma, conforme o aumento da contaminação ocorrerá gradualmente o aumento da pressão de vapor desta, portanto extrapolando o limite máximo tem-se que o líquido absorvente atinge a pressão de vapor semelhante ou superior a dos solutos, permitindo então a sua transferência para a fase gasosa e subsequente arraste para o topo da coluna.

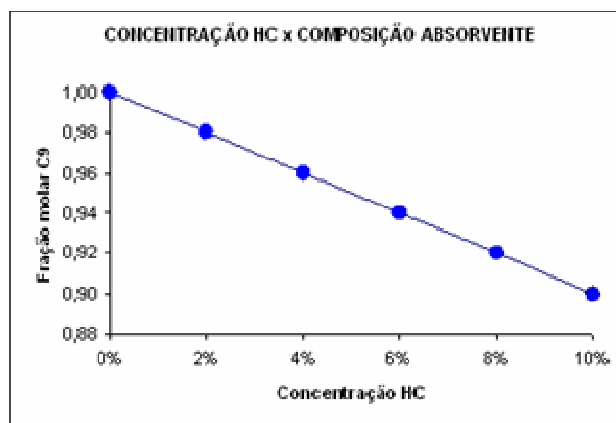


Figura 3: Comportamento do absorvente em relação aos HC contaminantes na corrente líquida.

Após estas considerações e através do balanço de massa foram obtidas as composições das correntes de vapor e líquido na entrada da coluna de absorção.

Resultados e discussões

No simulador de processos HYSYS 3.2, utilizou-se a equação de estado de Redlich-Kwong para obter as relações de equilíbrio de fases para sistemas multicomponentes, balanço de massa e energia. Os dados de entrada compreendem o nome, número e composições dos componentes das alimentações, as temperaturas, pressões e fluxos molares.

Variaram-se os parâmetros de pressão e temperatura do vapor, vazão de líquido na alimentação, estágios de equilíbrio e o tipo de recheio, para verificação da melhor condição em que a coluna alcança seus objetivos. Após a simulação, foram obtidas as temperaturas, pressão, os fluxos molares e as composições das saídas de líquido absorvente e vapor.

O objetivo foi alcançar um resultado onde a composição de ar na saída da coluna fosse superior a 80%, desta forma chegou-se aos resultados das Tabelas 1 e 2. Para a corrente de entrada de vapor atender as condições de pressão e temperatura, será instalado um compressor na entrada da Coluna, conforme a Figura 2.

Tabela 1: Resultado obtido na simulação para as correntes de entrada e saída de vapor da Coluna.

VAPOR	Entrada	Saída
Pressão (bar)	3,5	3,5
Temperatura (°C)	50	20
Vazão (kg/h)	1.548	1.008
Composição AR	0,77	0,93

Tabela 2: Resultado obtido na simulação para as correntes de entrada e saída de líquido da Coluna.

LÍQUIDO	Entrada	Saída
Pressão (bar)	3,5	3,5
Temperatura (°C)	16	40
Vazão (kg/h)	86.392	86.932
Composição C ₉	0,90	0,89

Para a escolha do recheio, analisou-se a influência do seu tamanho no diâmetro e na altura da coluna, na perda de carga total e no custo do recheio, assim o recheio escolhido foi Pall Ring 50mm metálico. Na Tabela 3, são observados os resultados obtidos na simulação.

A escolha do material metálico deu-se devido ao solvente C₉ não ter propriedades corrosivas, proporcionando alta resistência mecânica e baixo custo para o recheio. Além disso, este tipo de recheio apresenta melhor desempenho na transferência de massa, pois possuem janelas nos lados do anel e o interior ativo.

Tabela 3: Resultado obtido na simulação considerando o recheio escolhido para a Coluna.

Número de estágios de equilíbrio - NoG (m)	2
Altura da unidade de transferência - HoG (m)	0,8
Altura (m)	1,6
Diâmetro (m)	0,9
Nº de anéis "Pall Ring"	6.521
Queda de pressão (kPa/ m)	0,053

Assim, a corrente de saída alcançou uma composição de 93% de ar, com uma concentração de $261 \times 10^3 \text{ mg de VOC/m}^3$.

Na alimentação da Membrana tem-se a corrente de vapor, proveniente da saída da Coluna de Absorção, contendo vapor com menor teor de soluto.

A membrana foi projetada para permitir que as moléculas de ar fiquem retidas e posteriormente sejam liberadas para a atmosfera. Assim, as moléculas do vapor serão colocadas em contato com um filme fino, que através da permeação do vapor, passarão preferencialmente.

A diferença de pressão é promovida por sucção através de uma bomba à vácuo instalado à jusante da membrana. Desta forma, os VOCs atravessam a membrana e são enviados, através do reciclo, para a entrada da Coluna, conforme a Figura 2.

O filme fino da membrana é composto por poly(octyl)methylsiloxane (POMS), este material consiste em um polímero altamente seletivo e possui menor redução da força motriz aplicada ao sistema, (TRIFUNOVIĆ, 2005).

Esta estrutura é instalada dentro de 8 módulos, cada um pode ser equipado com 10 – 30m² de membrana, na forma de placas paralelas. Na Tabela 4, seguem as condições de operação e projeto da membrana.

Tabela 4: Condições de operação e dados de projeto da Membrana.

VAPOR	Entrada	Saída	
		Retido	Permeado
Pressão (bar)	3,5	3,3	0,15
Temperatura (°C)	20	20	20
Vazão (kg/h)	1.008	950	60
Composição AR	0,97	0,99	0

Desta forma, a corrente de vapor retida na membrana, composta de aproximadamente 99,97% de ar pode ser liberada para a atmosfera de maneira a atender

o padrão Alemão – TA Luft de 150mg de VOC/m³.

CONCLUSÃO

As tecnologias para controle de emissões e recuperação de produtos orgânicos são diversas, e como não existe uma tecnologia perfeitamente apropriada para cada situação, a escolha de uma delas é uma tarefa que requer conhecimento profundo do processo em questão.

A alternativa de recuperação de VOCs, desse estudo de caso, através da Unidade de Recuperação de Vapores combinando as tecnologias de absorção e membrana seletiva, contribuiu para uma redução dos poluentes que a partir da carga e descarga de embarcações hidroviárias seriam lançados para a atmosfera. Além disso, contribuiu com o aproveitamento da matéria-prima na queima das caldeiras, gerando menores impactos ambientais. Pode-se considerar que a estratégia adotada para redução das emissões visa à prevenção da poluição, quando comparada com as tecnologias de queima, além da redução dos riscos de exposição das pessoas.

Após as simulações, conclui-se que o objetivo de lançar vapores de hidrocarbonetos na atmosfera com uma concentração não superior à 150mg de VOC/m³, somente será atingido se a coluna de absorção operar com uma combinação de alta temperatura com alta vazão de alimentação do líquido absorvente. Aliado ao processo de absorção é necessário a inclusão de uma etapa de separação mediante o uso de membranas, a fim de elevar a eficiência do sistema.

REFERÊNCIAS

BORSIG MEMBRANE TECHNOLOGY, disponível em <http://www.borsig-mt.com>, (acesso maio/ 2008).

CALDAS, J. N.; LACERDA, A. I. Torres Recheadas, Cap. 2 e 3, 1998.

CONCAWE. VOC Emissions from Loading Gasoline Onto Sea-going Tankers in EU-15: Control Technology and Cost-Effectiveness. Report N° 6/ 02, 2002. Disponível em <http://www.concawe.be> (Acesso em maio/2008).

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP 42, Vol. I, Fifth Edition. Cap. 5 - 5.2. Transportation and Marketing of Petroleum Liquids, 1995. Disponível em <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch05/final/c05s02.pdf> (Acesso em abril/2008).

GREEN PEACE. Uma estratégia para uma América Latina Livre de Substâncias Tóxicas. Produção Limpa. Disponível em www.greenpeace.gov (Acesso em maio/ 2008).

HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NÓBREGA, R.. Processos de Separação por membranas, Cap. 2 e 3, COPPE/ UFRJ – Programa de Engenharia Química.

HUNTER, P.; OYAMA, S.T. Control of Volatile Organic Compound Emissions, Cap. 1 e 2, 2000.

KHAN F. I.; GHOSHAL, A. K. Removal of Volatile Organic Compounds (VOC) from Pollute Air. Journal off Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 13, 2000.

RESOLUÇÃO CONAMA. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR, 1990. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100> (Acesso em abril, 2008).

SCHNEIDER, R. P.; TSUTIYA, M. T. Membranas Filtrantes para o Tratamento de Água, Esgoto e Água de Reúso, Cap. 2, 2001.

TRIFUNOVIĆ, O.; TRÄGÅRDH, G. The influence of support layer on mass transport of homologous series of alcohols and esters through composite pervaporation membranes. *Journal of Membrane Science*, Volume 259, 2005, pp. 122-134.