

**IV SUSTENTARE & VII WIPIS**  
**WORKSHOP INTERNACIONAL**  
**Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos**  
de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO GRATUITO TOTALMENTE ONLINE

Realização: SECRETARIA PDC/COMPINS

REDES RECURSOS

Apoio: Agência das Bacias PCJ

COMITÊS PCJ

## UTILIZAÇÃO DE COLUNA DE ABSORÇÃO DE LEITO RECHEADO PARA TRATAMENTO DE GASES ÁCIDOS

**Isadora Alves Lovo Ismail; Isabela Mariotti; Maria Eduarda Gomes da Silva; Nicolas Gabriel Aziani da Silva; Marília Vasconcellos Agnesini**

Curso de Engenharia Química, Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP), Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil,  
[iismail@unaerp.br](mailto:iismail@unaerp.br); [isabela.mariotti@sou.unaerp.edu.br](mailto:isabela.mariotti@sou.unaerp.edu.br); [maria.esilva@sou.unaerp.edu.br](mailto:maria.esilva@sou.unaerp.edu.br); [nico-las.gsilva@sou.unaerp.edu.br](mailto:nico-las.gsilva@sou.unaerp.edu.br); [magnesini@unaerp.br](mailto:magnesini@unaerp.br)

### RESUMO

A instituição de ensino em questão possui um Laboratório de Química Agrícola, o qual é destinado para análises de diferentes tipos de solos e, devido a isso, ocasiona a geração de gases ácidos, como o ácido nítrico. Em virtude disso, constatou-se a necessidade de tratamento adequado desses gases ácidos poluentes provenientes desse laboratório, sendo proposto o projeto de instalação de uma coluna de absorção de leito recheado. A absorção é uma operação unitária que tem como função separar solutos através da retenção de um gás no interior de um líquido. Atualmente, gases ácidos liberados pelo laboratório são lançados diretamente na atmosfera, podendo causar danos ambientais e ser prejudiciais à saúde humana em altas concentrações. Com a instalação do equipamento, estes poluentes serão tratados através do princípio da transferência de massa, onde ocorre um contato íntimo entre as fases líquido e gás. O líquido absorve o soluto presente no gás mediante um gradiente de concentração, e só então o gás limpo será emitido para a atmosfera, sem agredir o meio ambiente. Este projeto visa dimensionar e otimizar o equipamento em diferentes condições e compará-las para obtenção da melhor configuração. O gás poluente entra na base do equipamento enquanto que o líquido entra pelo topo e será dispersado, para que tenha mais contato com o soluto e possa absorvê-lo, facilitando, assim, a separação do soluto da corrente gasosa. O líquido escolhido como absorvente é uma solução aquosa de hidróxido de sódio, com concentração de 5%. O equipamento ainda conta com um recheio, que são uma espécie de anéis feitos de plástico, ou outros materiais, e tem como função promover um maior contato entre as fases, facilitando o processo de absorção. Neste projeto, para fins de comparação, foram simulados valores diferentes dos parâmetros de altura de recheio e da razão líquido/gás, sendo estes valores importantes para a eficiência de absorção do equipamento.

**Palavras-chave:** Transferência de massa, Absorbato, Absorvente, Coluna de absorção, Tratamento de gases ácidos.

### 1. INTRODUÇÃO

A absorção é um processo físico ou químico onde ocorre a transferência de moléculas, átomos ou íons da parte a ser absorvida para a parte fixada. É uma operação unitária que envolve a retenção de um gás ou vapor no interior de um líquido. Trata-se, portanto, de um processo de transferência de massa de um soluto de uma fase gasosa para uma fase líquida, na qual o contato íntimo entre as fases e a mobilidade

**IV SUSTENTARE & VII WIPIS**  
**WORKSHOP INTERNACIONAL**  
**Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos**  
de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO GRATUITO TOTALMENTE ONLINE

Realização: SUSTENTARE PUCCAMPINAS WIPIS ESC USP

Apoio: Agência das Bacias PCJ COMITÊS PCJ

das espécies químicas envolvidas regem a operação. Sendo assim, o absorvato deve ser compatível (solúvel) com o absorvente.

Em razão da sua confiabilidade e versatilidade, os equipamentos de absorção do tipo coluna de recheio são muito utilizados em processos industriais para remoção de contaminantes presentes em uma fase gasosa, operando de forma com que o soluto seja retido em uma fase líquida devido a diferença de concentração de ambas as fases. É importante a utilização de recheio no equipamento para proporcionar aumento da eficiência deste tipo de sistema de tratamento, assim aumentando a área efetiva de contato entre as fases. Essas colunas podem operar em escoamentos concorrentes e contracorrentes. Do ponto de vista de transferência de massa, o escoamento contracorrente é mais eficiente, pois fornece uma força motriz média de diferença de concentração consideravelmente maior que a fornecida no escoamento concorrente.

Tendo em vista a necessidade de tratamento da emissão de gases provenientes de laboratórios químicos, a implantação de sistemas de tratamento de gases ácidos do tipo coluna de recheio estão sendo cada vez mais utilizados. Esse tratamento se faz necessário porque tais emissões são prejudiciais ao ambiente, não atendendo parâmetros das legislações vigentes, e danificam equipamentos que estão localizados em sua proximidade, tornando o ambiente insalubre.

Sendo assim, em virtude da emissão de gases provenientes do Laboratório de Química Agrícola da instituição de ensino, foi proposto o dimensionamento de um sistema de tratamento por meio de uma coluna de absorção de leito recheado para neutralização de gases ácidos, destacando-se o ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), utilizando-se uma corrente aquosa de hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ). Posteriormente, será realizado o acompanhamento do processo de tratamento para otimização do projeto.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Para implantação do sistema de tratamento de gases ácidos utilizou-se uma que foi reaproveitada de um sistema de processo biológico desativado. Ressalta-se que foi possível a utilização da coluna para seu novo objetivo porque ela foi construída totalmente em PVC, material considerado ideal para o tratamento do principal gás, o ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), uma vez que não reage com sua estrutura. O equipamento foi adaptado para se transformar em uma coluna de absorção, com tubulações de entrada e saída de solução aquosa como, também, entrada e saída da corrente gasosa.

Foi proposto que a neutralização das emissões ácidas fosse realizada com uma solução de hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ) 5%. O projeto do sistema de tratamento foi realizado com base nas dimensões do equipamento existente que foi adaptado para se tornar uma coluna de absorção, o qual utilizará recheio do tipo anéis de Pall.

As dimensões do equipamento foram determinadas com o auxílio de trena e paquímetro. Foi utilizado um anemômetro para obtenção da velocidade do gás proveniente do laboratório e uma trena para medição do diâmetro interno da tubulação. A partir dessas informações foi possível a determinação da vazão de gás que entrará na coluna de absorção.

O dimensionamento do equipamento foi realizado com o auxílio do Excel, em que foi possível a determinação das especificações do equipamento, proporcionando diferentes possibilidades de simulações e variações de parâmetros, como tamanho dos anéis de Pall, altura da coluna de recheio e vazões de líquido no processo.

É importante ressaltar que determinados parâmetros foram adotados para equacionamento do equipamento. Os parâmetros foram:

- gás absorvido: ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ );
- temperatura média e pressão da cidade de Ribeirão Preto – SP (25 °C e 710 mmHg, respectivamente);
- recheio do tipo anéis de Pall de plástico de 1 ½ polegadas;
- variação da altura de recheio (0,20 m; 0,40 m e 0,60 m);
- variação da razão de líquido/gás (L/G) (1,0 L/m<sup>3</sup>, 2,0 L/m<sup>3</sup> e 3,0 L/m<sup>3</sup>).

O sistema está em processo de adequação das tubulações de água e gás, bem como da rede elétrica e infraestrutura.

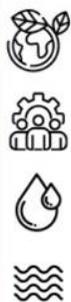
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A coluna de absorção que será utilizada para tratamento dos gases ácidos provenientes do Laboratório de Química Agrícola está apresentada na Figura 1.

Os anéis de Pall que foram utilizados como recheio da coluna de absorção estão apresentados na Figura 2.

Os dados obtidos referentes às dimensões do equipamento estão apresentados na Tabela I. Ressalta-se que o equipamento foi construído com outra finalidade, mas foi adaptado para que pudesse ser implantado no sistema de tratamento de emissões ácidas.

Os dados obtidos para o dimensionamento do sistema de tratamento de emissões ácidas provenientes do laboratório de análises de solo da instituição de ensino, por meio de uma coluna de absorção, estão apresentados na Tabela II.



# IV SUSTENTARE & VII WIPIS

WORKSHOP INTERNACIONAL

Sustentabilidade, Indicadores e  
Gestão de Recursos Hídricos

de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO  
GRATUITO  
TOTALMENTE  
ONLINE

Realização:



Apoio:



Figura 1. Coluna de absorção de leito recheado.

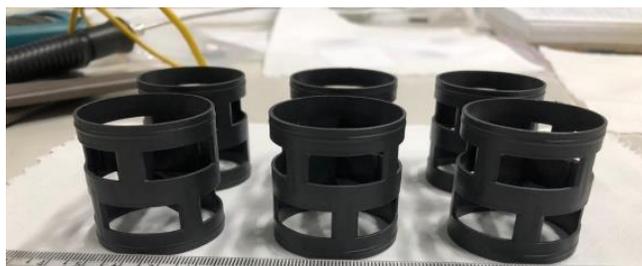
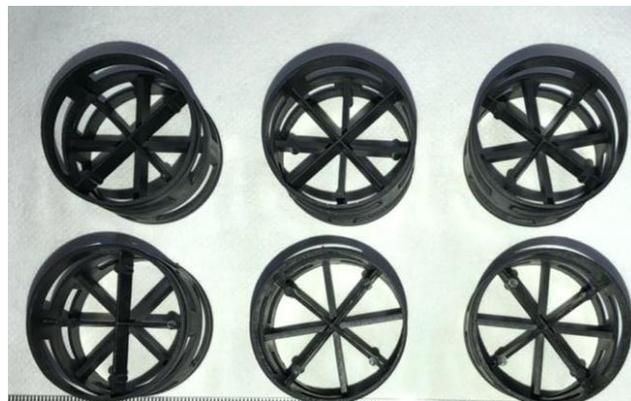


Figura 2. Anéis de Pall.

Tabela I. Dimensões do equipamento (coluna de absorção)

PARÂMETRO	UNIDADE	VALOR
Altura do equipamento	cm	199,50
Altura máxima da coluna de recheio	cm	97,00
Diâmetro da coluna de absorção	cm	51,00
Diâmetro da tubulação de entrada da corrente gasosa	cm	20,50
Diâmetro da tubulação de saída da corrente gasosa	cm	20,70
Diâmetro da tubulação de entrada de água	cm	2,48
Diâmetro da tubulação de saída de água	cm	2,45

Tabela II. Parâmetros obtidos do dimensionamento do sistema de tratamento de emissões ácidas

Altura (m)	RECHEIO	SAÍDA DE GÁS LIMPO			ENTRADA DE ÁGUA		SAÍDA DE ÁGUA	
		Razão L/G (L/m <sup>3</sup> )	V <sub>a</sub> (kmol/h)	Y <sub>a</sub> (%)	x <sub>r</sub> (%)	L <sub>a</sub> (kmol/h)	x <sub>a</sub> (%)	L <sub>b</sub> (kmol/h)
0,2	1	39,06	0,016	22,94	56,81	0,000	56,81	0,003
	2	39,06	0,015	29,36	113,61	0,000	113,61	0,002
	3	39,06	0,012	40,62	170,42	0,000	170,42	0,002
0,4	1	39,06	0,012	40,62	56,81	0,000	56,81	0,006
	2	39,06	0,010	50,10	113,61	0,000	113,61	0,004
	3	39,06	0,007	64,75	170,42	0,000	170,42	0,003
0,6	1	39,06	0,010	54,25	56,81	0,000	56,81	0,008
	2	39,06	0,007	64,75	113,61	0,000	113,61	0,005
	3	39,06	0,004	79,07	170,42	0,000	170,42	0,004

Pela Tabela II nota-se que é possível a retenção de emissões ácidas utilizando-se o sistema de tratamento dimensionado. A corrente gasosa proveniente do laboratório de análises de solos apresenta baixa concentração de ácido nítrico, no entanto, essa quantidade é suficiente para ocasionar problemas ambientais e danos aos materiais ao seu entorno. Pelos dados apresentados para a corrente de saída de gás limpo, a retenção de gás ácido chega a 79,07% para a maior altura de recheio e maior relação de vazão líquido/gás.

A partir do momento em que for possível iniciar a operação do equipamento, será realizado um acompanhamento do efluente proveniente do sistema, de modo a verificar a necessidade de otimização do processo.

#### 4. CONCLUSÕES

Após análise dos resultados obtidos para dimensionamento da coluna de absorção, considerando-se diferentes alturas de recheio e razões líquido/gás distintas para neutralização do gás de ácido nítrico, concluiu-se que:

- o aumento da altura do recheio aumenta significativamente a redução da presença do gás ácido na corrente gasosa que será emitida para atmosfera, assim como a vazão de líquido;
- a condição que apresentou melhor resultado para operação foi com altura de recheio de 0,6 m e razão líquido/gás de 3 L/m<sup>3</sup>.

Logo, nota-se que, com o aumento dos parâmetros citados anteriormente (altura do recheio e razão L/G), a eficiência da remoção de ácido nítrico da corrente gasosa é maior.

Sendo assim, o próximo passo do projeto será a avaliação do sistema de tratamento assim que o mesmo entrar em operação, de modo a propor otimização do processo e, cada vez mais, preservar o meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

- [1] Agnesini, M. V.; Ismail, I. A. L. *Estudo de caso do Tratamento de Gás Ácido com Coluna de Absorção de Leito Recheado*. I Jornada Norte-Nordeste de Engenharias, 2021.
- [2] Agnesini, M. V.; Ismail, I. A. L. *Tratamento de Gás Ácido com Coluna de Absorção de Leito Recheado utilizando Solução Alcalina como Absorvente*. 31º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Curitiba, 2021.
- [3] Berg, G. M.; Alves, M. V. D.; Ismail, I. A. L.; Agnesini, M. V.; Innocentini, M. D. M. *Dimensionamento de Coluna de Absorção de Leito Recheado para Tratamento de Gases Ácidos*. 22º Congresso de Iniciação Científica e Pesquisa UNAERP. Ribeirão Preto, 2021.
- [4] Green, Don W.; Perry, Robert H. (Edit.). *Perry's chemical engineers' handbook*. 8ª edição. New York; McGraw-Hill, c2008.
- [5] McCabe, W. L., Smith, J. C., Harriott, P. *Unit Operations of Chemical Engineering*. 5ª edição. New York: McGraw-Hill, 1993. 1130 p.
- [6] Pisani Junior, R. *Apostila de Operações Unitárias 5*, UNAERP (2017).
- [7] Silva, J. S.; Ismail, I. A. L. Análise e tratamento de efluente proveniente de sistema de tratamento de gases ácidos. XVI ENFOC - Encontro de Iniciação Científica e Fórum Científico, VII Seminário PIBID - Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência. Curitiba, 2021.
- [8] Silva, M. E. G.; Ismail, I. A. L. *Avaliação e otimização do sistema de tratamento de gases ácidos com coluna de absorção*. XVI ENFOC - Encontro de Iniciação Científica e Fórum Científico, VII Seminário PIBID - Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência. Curitiba, 2021.