

# MODELO MULTIVARIADO PARA QUANTIFICAÇÃO DE MONOETANOLAMINA E PRODUTOS CARBONATADOS

Beatriz Cristina Hortega da Costa <sup>1</sup>; Armando Zanone <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Aluna de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

<sup>2</sup> Professor da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

**Resumo.** *A redução da emissão de dióxido de carbono para atmosfera é uma das maiores preocupações em relação ao meio ambiente atualmente. A absorção química do CO<sub>2</sub> por aminas tem grande importância industrial e é uma das técnicas mais utilizadas para a captura do gás. Utilizou-se a espectroscopia no infravermelho médio, com e sem o descarte de água durante a coleta dos espectros, e em conjunto com um modelo multivariável PLS, para quantificar as espécies químicas MEA, MEAH<sup>+</sup> e CO<sub>2</sub>, a partir das concentrações obtidas por titulação das amostras. A escolha do modelo mais adequado foi feita de acordo com os valores dos erros quadráticos médios e os coeficientes de determinação, sendo ele capaz de quantificar as substâncias de interesse, com RMSEP e R<sup>2</sup> para MEA de 1,27 e 0,99085, respectivamente.*

## Introdução

O gás carbônico, um dos gases causadores do efeito estufa, provém da queima de combustíveis fósseis e é o mais emitido para a atmosfera, sendo necessário um controle desta emissão. A preocupação com os impactos ao meio ambiente faz com que cada vez mais se pesquise formas de minimizar a emissão desse poluente.

A monoetanolamina (MEA) é um solvente tradicional de padrão de captura, muito utilizado em tratamentos de gases com baixas concentrações de CO<sub>2</sub>. Apesar de ter uma velocidade de absorção rápida, a utilização da MEA no processo de absorção de CO<sub>2</sub> possui dificuldades operacionais, como a degradação da amina, principalmente pela alta energia necessária para a sua regeneração. Segundo Rochelle (2009), a absorção com amina é usada para separar o dióxido de carbono do gás natural e do hidrogênio desde 1930, sendo uma tecnologia bem conhecida e amplamente utilizada. Portanto, apesar de suas dificuldades operacionais, ela ainda é muito utilizada como comparação, já que foi interesse de muitos estudos, sendo fácil encontrar informações sobre sua utilização e funcionamento.

A espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) é utilizada para fins científicos e como uma ferramenta de controle de qualidade quantitativa para a indústria, com a vantagem de que vários compostos podem ser detectados simultaneamente (EINBU, CIFTJA, GRIMSTVEDT, ZAKERI, 2012). A utilização do FTIR é importante, pois é um método rápido, que não destrói as amostras analisadas e não necessitam preparo de amostras, características essenciais para um método de controle de processo.

O método PLS é uma técnica de estimação do modelo de regressão linear, baseada na decomposição das matrizes de variáveis resposta e de covariáveis (MORELLATO, 2010). Uma aplicação comum consiste em modelar a relação entre medidas espectrais (NIR, IR e UV), que incluem muitas variáveis frequentemente correlacionadas entre si, e outras propriedades físico-químicas (MiniTab). Com a utilização do espectrofotômetro de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) é possível fazer medições quantitativas de acordo com a lei de Beer-Lambert, em que a absorbância varia linearmente com a concentração das substâncias (DU PREEZ, CALLANAN, KONETZE, 2018).

Será verificada a possibilidade de quantificação das substâncias, sem ter a necessidade de descarte do espectro do solvente, a água. A predição das espécies químicas sem o descarte de água permitiria determinar a quantidade de água evaporada durante o processo de carbonatação, sendo vantajoso em processos industriais em que é necessária ser feita a adição de água para repor o que foi perdido na evaporação (*makeup*). Para isso então serão

desenvolvidos modelos multivariados para identificação e quantificação das espécies químicas presentes em fase líquida para um solvente aquoso de monoetanolamina carbonatada utilizando espectroscopia no infravermelho médio com transformada de Fourier com e sem remoção do espectro da água, a fim de ser utilizado no controle do processo de absorção.

## Revisão Bibliográfica

O modelo PLS (regressão parcial de mínimos quadrados), é uma técnica de calibração para experimentos em tempo real e é recomendada em um estágio inicial do desenvolvimento teórico para testar e validar modelos exploratórios, sendo principalmente usado para desenvolver modelos preditivos. Esta modelagem evita problemas relacionados ao tamanho pequeno da amostra, podendo ser aplicada em situações em que não podem ser utilizados outros métodos (FERREIRA, 2015).

O método é baseado em fatores, definidos como uma combinação linear entre as variáveis resposta (Y) e as variáveis preditoras (X), resultantes da redução da dimensão dos dados referentes às covariáveis.

Após a construção do modelo, deve-se fazer a sua validação para testar sua capacidade predição, utilizando amostras que não foram usadas na sua calibração e observando se ocorrerá o comportamento desejado (validação cruzada).

A qualidade do modelo pode ser estudada através dos valores das raízes dos erros médios quadráticos de calibração (RMSEC), de predição (RMSEP) e de validação cruzada (RMSECV), além dos coeficientes de determinação de teste ( $Q^2$ ) e de treinamento ( $R^2$ ).

Richner e Puxty (2012), fizeram uma pesquisa na qual avaliaram a absorção de gás carbônico ( $CO_2$ ) em soluções de aminas aquosas, por meio de modelos PLS, utilizando um espectrofotômetro de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e com o descarte do espectro da água durante o procedimento de coleta dos espectros, a partir das constantes de equilíbrio da reação, sem quantificar as substâncias. As amostras aquosas foram preparadas em um reator a uma temperatura controlada de  $40^\circ C$ , com 30% de amina e diferentes concentrações de  $CO_2$ . Para a análise das aminas protonada, as amostras foram acidificadas por meio da adição de soluções de 37% de HCl, até atingir-se o pH próximo a 1. A partir do experimento, os pesquisadores foram capazes de determinar bandas, nos espectros das amostras, em que é possível diferenciar as substâncias presentes nelas, mostrados na

Tabela 1.

Substância	Região ( $cm^{-1}$ )
Amina primária (MEA)	1645 – 1600
Amina protonada (MEAH <sup>+</sup> )	1518 – 1634
Carbamato de MEA	1568 – 1486

Já Louis J. du Preez, Linda H. Callanan e Johannes H. Knoetze (2018) fizeram uma pesquisa sobre a reação do  $CO_2$  com amina primária (monoetanolamina) em solvente alcoólico (n-propanol), também utilizando o FTIR. Nesta pesquisa há o descarte do solvente utilizado no procedimento e a partir dos dados da cinética da reação, obtiveram as bandas do espectro das substâncias mostradas na **Erro! Autoreferência de indicador não válida..**

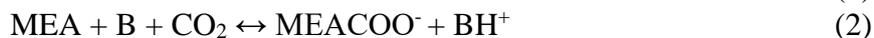
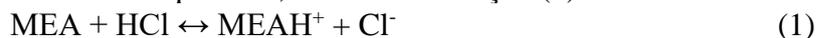
Substância	Região ( $cm^{-1}$ )
Amina protonada (MEAH <sup>+</sup> )	1492
$CO_2$	2337

Além disso, Kelly Robinson, Adam McCluskey e Moetz I. Attalla (2011) estudaram o efeito da estrutura molecular na absorção de CO<sub>2</sub> por aminas heterocíclicas, a partir dos espectros infravermelhos obtidos pelo FTIR.

No presente será verificada a possibilidade de quantificação das substâncias, sem ter a necessidade de descartar o espectro do solvente, que neste caso é a água. A predição das espécies químicas sem o descarte de água, permitiria determinar a quantidade de água evaporada durante o processo de carbonatação, sendo vantajoso em processos industriais em que é necessária ser feita a adição de água para repor o que foi perdido na evaporação (*makeup*). Para isso serão desenvolvidos modelos multivariados para identificação e quantificação das espécies químicas presentes em fase líquida para um solvente aquoso de monoetanolamina carbonatada utilizando espectroscopia no infravermelho médio com transformada de Fourier com e sem remoção do espectro da água.

## Material e Métodos

Inicialmente foram preparados três conjuntos de amostras de monoetanolamina (MEA). O primeiro conjunto se refere à MEA comercial (Garden Química Indústria e Comércio) e à MEA PA (Sigma Aldrich), as soluções foram preparadas com uma variação de concentração de 5%, até 40% em massa, adicionando-se água destilada para completar o volume. O segundo se refere às amostras acidificadas, em que foram adicionadas quantidades de HCl 50M, suficiente para protonar 30% das amostras, levando-se em consideração a reação (1). Já o último conjunto é referente à MEA carbonatada, em que foram utilizadas as soluções de MEA comercial, do primeiro conjunto, e adicionou-se CO<sub>2</sub>, por meio de borbulhamento por tempo suficiente para que o sistema entrasse em equilíbrio, conforme a reação (2).



A reação 1 descreve a formação da MEA protonada, a partir da adição de ácido clorídrico. Já a formação do carbamato de MEA ocorre de acordo com a reação 2, entre a MEA e o CO<sub>2</sub>, sendo B uma base de Lewis, podendo ser a água ou a própria MEA.

Após o preparo, foi feita a titulação das amostras em triplicata, 1 mL de solução, adicionando-se alaranjado de metila e usando HCl 0,5 mol.L<sup>-1</sup> como titulante (FLORES, 2011). Com os dados obtidos durante a titulação, calcularam-se as concentrações da MEA, do CO<sub>2</sub> total (referente ao carbamato de MEA e ao ácido carbônico) e da MEA protonada (MEA<sup>H+</sup>), juntamente com a pureza da MEA, a partir de suas concentrações.

Utilizando-se o espectrofotômetro de infravermelho médio (entre 4000 e 600 cm<sup>-1</sup>) com transformada de Fourier (FTIR – React-IR da Metler Toledo), foram gerados os espectros infravermelhos de cada amostra de 2 maneiras, a primeira programando o equipamento para descontar o espectro da água (*background*) e a segunda sem desprezá-lo. Juntamente com as concentrações obtidas anteriormente, pôde ser feita a modelagem para a quantificação dos componentes (MEA, CO<sub>2</sub> e MEA<sup>H+</sup>), as variáveis do modelo, pelo programa iC-IR<sup>TM</sup> 4.2 (Metler Toledo).

Para a criação do modelo multivariado, foram escolhidas regiões de pico nos espectros, que representam os componentes a serem quantificados, além de ter sido feita uma escolha aleatória de 60% dos espectros que foram utilizadas para calibrar o modelo (amostras de treinamento) e as demais foram utilizadas com o intuito de testá-lo. Algumas amostras foram ignoradas, pois seus espectros estavam fora do comportamento padrão dos componentes, devido a bolhas formadas durante a análise, por exemplo, podendo afetar a capacidade de predição do modelo. Durante o tratamento de alguns modelos, foi necessária aplicar a derivada para evidenciar o comportamento padrão da substância, facilitando sua identificação pelo modelo, conforme a Tabela 2. O modelo das amostras carbonatadas foi calibrado a partir de apenas duas situações da MEA, ela “pura” e totalmente carbonada (saturação), mesmo assim ele seria capaz de prever qualquer situação de carbonatação, devido a Lei de Beer-Lambert.

A determinação das regiões do espectro utilizada para a calibração dos modelos foi realizada por meio de tentativas sucessivas em torno dos picos característicos das substâncias, observados durante a comparação entre os espectros das amostras analisadas, levando em consideração os picos determinados nas pesquisas estudadas (

Tabela 1 e Já Louis J. du Preez, Linda H. Callanan e Johannes H. Knoetze (2018) fizeram uma pesquisa sobre a reação do CO<sub>2</sub> com amina primária (monoetanolamina) em solvente alcoólico (n-propanol), também utilizando o FTIR. Nesta pesquisa há o descarte do solvente utilizado no procedimento e a partir dos dados da cinética da reação, obtiveram as bandas do espectro das substâncias mostradas na **Erro! Autoreferência de indicador não válida..**

Tabela 2), com o intuito de diminuir os possíveis erros presentes no modelo, reportado por Zanone (2018) por apresentar uma melhor calibração dos modelos das substâncias carbonatadas.

O número de fatores (F) foi determinado quando o aumento de F não alterasse significativamente o valor de RMSEP, de modo a evitar o sobreajuste, que pode ser introduzido pela quantidade alta de número de fatores, sendo escolhido um valor de F menor que o valor que o *software* calcula como padrão.

Foram gerados diferentes modelos multivariados para a quantificação de todas as substâncias simultaneamente e separadamente para cada uma, de acordo com Tabela 4. Os modelos foram testados em espectros de MEA para analisar se os valores que ele prevê, estão próximos dos esperados ou não, demonstrando se está adequado e ajustado. Calculando-se o resíduo, concentração calculada subtraída da concentração prevista, das amostras dos modelos, pode-se verificar se há algum padrão seguido pelas amostras, o que mostraria que o modelo não está adequado para o uso. Por fim, os modelos foram calibrados e comparados a partir dos valores dos erros quadráticos médios e coeficientes de determinação, podendo assim ser feita a escolha dos mais adequados.

## Resultados e Discussão

As Tabela 3 mostra as concentrações das amostras utilizadas para construção dos modelos.

Tabela 3 - Concentrações das amostras MEA pura.

	Concentração (%)							
MEA comercial	4,848	9,988	15,170	20,688	24,165	27,116	35,679	35,791
MEA PA	0,876	5,201	10,816	13,449	20,932	28,483	37,604	
MEA	7,766	13,909	21,717	22,087	35,305			
MEA <sup>H+</sup>	2,222	6,779	5,400	13,592				
MEA	0,000	0,000	0,000					
CO <sub>2</sub>	3,367	6,752	12,203					

Em relação à pureza das amostras de MEA e MEA PA, alguns valores encontrados ficaram acima de 100% de pureza, o que pode ser justificado pela passagem do ponto de viragem e a pequena massa utilizada durante a titulação das amostras, sendo assim, foi calculada pela média das purezas de cada amostra, sendo 97,74% a MEA industrial e 98,40% a PA.

Os espectros de todas as amostras adquiridos pelo equipamento, são mostrados a seguir, sendo a Figura 1 relacionada às concentrações de MEA comercial, a Figura 3 representa a comparação da MEA comercial com a MEA PA, a Figura 3 relacionada às concentrações de MEAH<sup>+</sup> e a Figura 4 de CO<sub>2</sub>. Com esses espectros é possível notar regiões que podem ser relacionadas com as substâncias as quais quer-se quantificar.

Figura 1 - Espectro de absorvância da MEA comercial

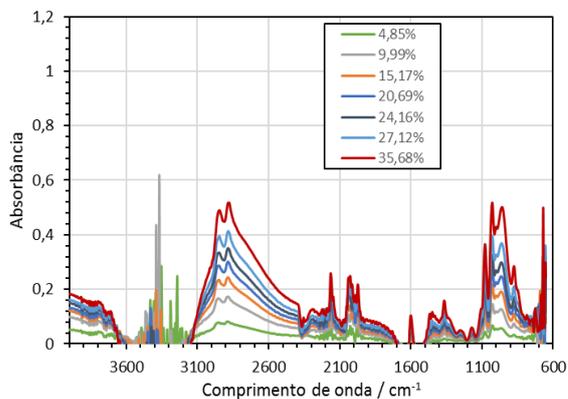
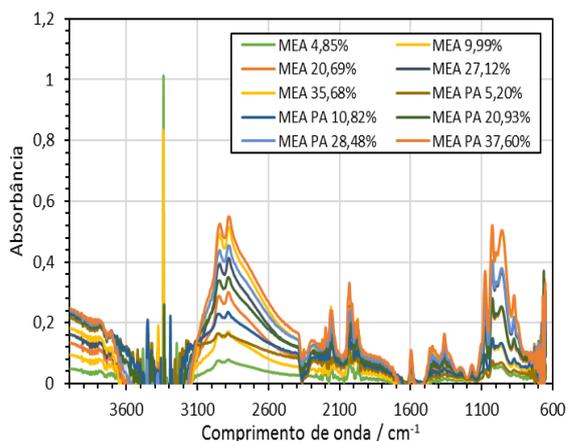


Figura 2 – Comparação da MEA comercial com a MEA PA



Nota-se que os aditivos, presentes na comercial, não interferem na quantificação das substâncias, obtendo curvas próximas a MEA PA, a diferença ocorre apenas por conta da concentração que elas possuem, que não são muito semelhantes.

Figura 3 – Espectro de absorvância da MEA acidificada.

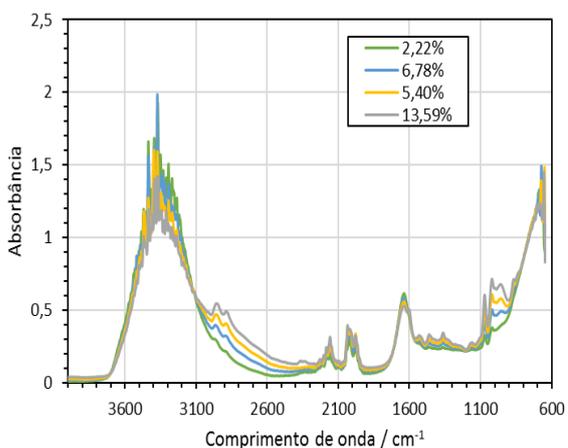
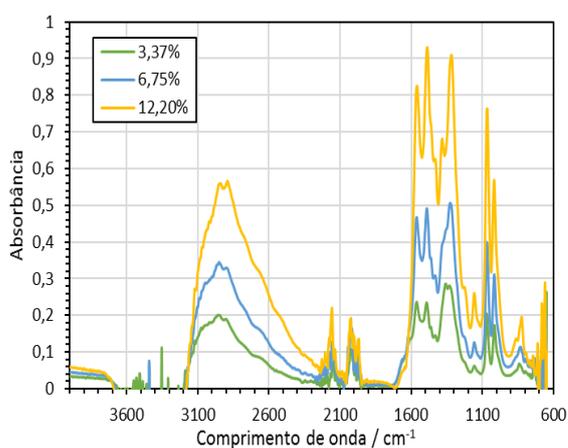


Figura 4 – Espectro de absorvância da MEA carbonatada.



Durante o tratamento dos dados para a criação do modelo, notou-se que os espectros das amostras de concentração 21,017% de HCl se assemelhavam aos espectros de 13,148%, sendo descartados da análise, assim como outras amostras em que havia um erro detectável a partir das análises dos espectros das mesmas, o que pode trazer erros para o modelo.

Com os modelos já prontos, a Tabela 4 foi construída a partir dos parâmetros de cada um, como as substâncias que foram quantificadas, se há ou não a subtração do espectro da água, as regiões dos picos utilizadas, o número de fatores e os possíveis tratamentos que o modelo pode ter sofrido.

Nota-se que os valores de picos determinados por Gilles Richner e Graeme Puxty,

Tabela 1, estão presentes nas regiões escolhidas para a criação do modelo, além de possuir outras regiões, com o intuito de diferenciar as substâncias que foram quantificadas.

Tabela 4 - Parâmetros dos modelos

Modelo	Substâncias	Subtração do espectro da água	Regiões do espectro (cm <sup>-1</sup> )	Nº de fatores	Tratamento do modelo
1	MEA e CO <sub>2</sub>	Sim	2040 – 2000	8	-
2		Não	1500 – 1350	9	-
3	MEA <sup>+</sup>	Sim	1500 – 1350	10	Derivada
4		Não	1040 – 1000	10	Derivada
5	MEA, CO <sub>2</sub> e MEA <sup>+</sup>	Sim	2040-2000	9	-
6		Não	1500-1350 1040-1000	11	-

De acordo com os modelos obtidos através do programa, foi montada a Tabela 5 - Erros quadráticos médios e coeficientes de determinação. a seguir com os valores de RMSECV, RMSEP, Q<sup>2</sup> e R<sup>2</sup>. A partir desses dados foi possível fazer a escolha do modelo mais adequado para esse processo.

Tabela 5 - Erros quadráticos médios e coeficientes de determinação.

Modelo	Substância	RMSECV	RMSEP	Q <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
1	MEA	1,930	1,69	0,98052	0,98058
	CO <sub>2</sub>	0,156	0,106	0,99869	0,99758
2	MEA	2,220	2,06	0,97443	0,97878
	CO <sub>2</sub>	0,428	0,332	0,98970	0,98534
3	MEA <sup>+</sup>	0,882	0,841	0,97086	0,97281
4	MEA <sup>+</sup>	1,330	0,932	0,96701	0,96184
5	MEA	1,280	1,270	0,98899	0,99085
	MEA <sup>+</sup>	1,040	1,060	0,95395	0,96308
	CO <sub>2</sub>	0,123	0,086	0,99914	0,99848
6	MEA	2,470	1,300	0,98979	0,99068
	MEA <sup>+</sup>	1,120	1,040	0,95883	0,96513
	CO <sub>2</sub>	0,215	0,213	0,99559	0,99620

Levando em consideração os dados das Tabela 4 e Tabela 5, pode-se afirmar que o modelo 5 é o modelo mais adequado, pois além de abranger todas as substâncias interessadas para quantificação, esse modelo possui baixos erros quadráticos médios de calibração (RMSECV) e de predição (RMSEP), além de apresentar altos coeficientes de determinação, tanto o de treinamento quanto o de teste (R<sup>2</sup> e Q<sup>2</sup>), ambos próximos de 1.

Por fim foi feito o cálculo do resíduo do modelo 5, podendo-se observar que as amostras presentes nele não seguem um padrão, são aleatórias, o que assegura que o modelo é adequado, assim como é mostrado nos gráficos das Figura 5 e 6, a seguir.

Figura 5 – Concentração prevista das substâncias pela concentração calculada.

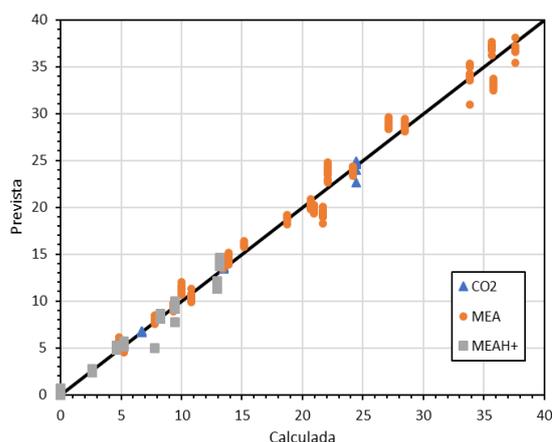
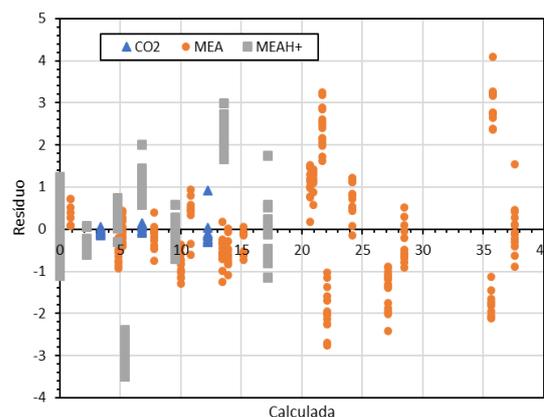


Figura 6 – Resíduo pela concentração calculada



A quantificação da água evaporada, não foi possível de se realizar, pois a variabilidade de predição da quantidade de água é maior do que a pequena quantidade de água evaporada, sendo necessário realizar novos testes com amostras carbonatadas por longos ciclos para comprovar sua capacidade de predição da evaporação da água.

## Conclusões

A partir das análises feitas, foi possível concluir que o modelo mais adequado para quantificar as substâncias de interesse (MEA, CO<sub>2</sub> e MEAH<sup>+</sup>) é o Modelo 5 com regiões entre 1040-1000, 1500-1350 e 2040-2000 cm<sup>-1</sup>, número de fatores igual a 9 e sem tratamento matemático, além de concluir que o modelo construído sem o descarte de água também possui a capacidade de prever as concentrações das substâncias, porém incapaz de prever a quantidade de água evaporada.

## Referências Bibliográficas

CRUZ, P. J. R. **Estudo da Viabilidade de um Processo de Captura do Dióxido de Carbono Emitido em Gases de Combustão**. 2008. Dissertação (Mestre em Engenharia Química) - INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA, Lisboa, 2008.

DU PREEZ, L. J.; CALLANAN, L. H.; KNOETZE, J. H. An in situ Fourier transform infrared spectroscopy method for collecting realtime data for the liquid-phase reaction of CO<sub>2</sub> and mono-ethanolamine in alcoholic solvent systems. **Elsevier**, South Africa, v. 99, p. 25-33, 22 ago. 2018.

EINBU, A.; CIFTJA, A. F.; GRIMSTVEDT, A.; ZAKERI, A.; SVENDSEN, H. F. Online analysis of amine concentration and CO<sub>2</sub> loading in MEA solutions by ATR-FTIR spectroscopy. **Elsevier**, Trondheim, n. 23, p. 55-63, 2012.

FERNANDES, D. D. S. **Novas estratégias para seleção de variáveis por intervalos em problemas de classificação.** 2016. 139 p. Tese (Pós-Graduação em Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

FERREIRA, M. M. C.; ANTUNES, A. M.; MELGO, M. S.; VOLPE, P. L. O. Quimiometria I: calibração multivariada, um tutorial. **Química Nova**, Campinas, v. 22, n. 5, p. 724-731, set. 1999. FapUNIFESP (SciELO).

FLORES, H. A. R. **Absorção de dióxido de carbono em soluções aquosas de aminas em uma coluna de parede molhada com promotor de película.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

GOMES, A. A. **Algoritmo das Projeções Sucessivas aplicado à seleção de variáveis em regressão PLS.** 2012. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

GONTIJO, L. C.; GUIMARÃES, E.; MITSUTAKE, H.; SANTANA, F. B.; SANTOS, D. Q.; BORGES NETO, W. Development and Validation of PLS Models for Quantification of Biodiesels Content from Waste Frying Oil in Diesel by HATRMI. **Rev. Virtual Quím.**, Uberlândia, v. 6, n. 5, p. 1517-1528, 9 out. 2014.

HARO, H. A. V. **Investigação Numérica do Processo de Separação de Dióxido de Carbono por Absorção com Amina para Aplicação em Projetos de Armazenamento de Carbono.** 2009. Dissertação (Pósgraduação em Engenharia Mecânica) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

MORELLATO, S. A. **Modelos de Regressão PLS com Erros Heteroscedásticos.** 2010. 60 f. Dissertação (Mestrado em Estatística), Departamento de Estatística, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

MOTANG, N. **In situ FTIR Measurements of the Kinetics of the Aqueous CO<sub>2</sub>-Monoethanolamine Reaction.** 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Faculty of Engineering at Stellenbosch University, Stellenbosch, 2015.

PUXTY, G.; ROWLAND, R. Modeling CO<sub>2</sub> Mass Transfer in Amine Mixtures: PZ-AMP and PZ-MDEA. **Environ. Sci. Technol**, Australia, v. 45, p. 2398-2405, 17 fev. 2011.

RICHNER, G.; PUXTY, G. Assessing the Chemical Speciation during CO<sub>2</sub> Absorption by Aqueous Amines Using in Situ. **I&EC research**, Australia, v.51 p. 14317-14324, 4 out. 2012.

ROBINSON, K.; MCCLUSKEY, A.; ATTALLA, M. I. An FTIR Spectroscopic Study on the Effect of Molecular Structural Variations on the CO<sub>2</sub> Absorption Characteristics of Heterocyclic Amines. **Chemphyschem**, [S.L.], v. 12, n. 6, p. 1088-1099, 5 abr. 2011. Wiley.

ROCHELLE, G. T. Amine Scrubbing for CO<sub>2</sub> Capture. **Science mag**, [s. l.], v. 325, p. 1652-1654, 25 set. 2009.

ROSA, G. M.; MORAES, L.; CARDIAS, B. B.; SOUZA, M. R. A. Z.; COSTA, J. A. V. CULTIVO E PRODUÇÃO DE BIOMASSA DA CIANOACTÉRIA *Spirulina* COM MONOETANOLAMINA E RECICLO DE NUTRIENTES. **COBEQ**, Florianópolis, p. 1-8, 2015.

TAVARES, D. T. **ANÁLISE QUANTITATIVA DE ALCANOLAMINAS E CO<sub>2</sub> NO PROCESSO DE ABSORÇÃO QUÍMICA VIA ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO.** 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear) - Autarquia associada à Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

SANTOS, A. E. **Estudos de Absorção de CO<sub>2</sub> com Soluções Aminadas.** 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - INSTITUTO SUPERIOR DE

ENGENHARIA DE LISBOA ÁREA DEPARTAMENTAL DE ENGENHARIA QUÍMICA,  
Lisboa, 2012.

ZANONE, A.; TAVARES, D. T.; PAIVA, J. L. An FTIR spectroscopic study and quantification of 2-amino-2-methyl-1-propanol, piperazine and absorbed carbon dioxide in concentrated aqueous solutions. **Elsevier**, São Paulo, v. 99, 11 ago. 2018. *Vibrational Spectroscopy*, p. 156-161.

ZIMMER, J. Z.; ANZANELLO, M. J. Um novo método para seleção de variáveis preditivas com base em índices de importância seleção de variáveis preditivas com base em índices de importância. **Production**, Porto Alegre, v. 24, n. 1, p. 84-93, 7 jun. 2013. FapUNIFESP (SciELO).