

III-288 – AVALIAÇÃO DE RESINAS POLIMÉRICAS PARA REMOÇÃO DE AMÔNIA PROVENIENTE DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO.

Mônica Regina da Costa Marques⁽¹⁾

Professor Associado da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Doutor em Química Orgânica.

Jackeline Maria Cardoso de França Bahé

Engenheira Química pela Universidade Católica de Pernambuco. Mestre em Engenharia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro. Doutoranda em Ciências Ambientais pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Endereço⁽¹⁾: R. São Francisco Xavier, 524, 20550-013 Rio de Janeiro - RJ - Brasil - Tel: 21-23340563 ramal 215.- e-mail: monicamarques@uerj.br

RESUMO

O lixiviado gerado em aterro sanitário possui substâncias de difícil degradação e amônia que dificulta o tratamento biológico. Seu tratamento requer uma série de processos físico, químicos e biológicos de elevado custo. O gás de aterro também deve ser tratado antes do lançamento, mas usualmente é apenas queimado no próprio aterro. Apesar do atual sistema de tratamento de lixiviado atender aos parâmetros da legislação ambiental do Estado do Rio de Janeiro, outras técnicas de tratamento têm sido investigadas, no intuito de reduzir custos e aumentar a eficiência do tratamento. A evaporação do lixiviado é uma técnica que aproveita o gás de aterro como fonte de calor, e é utilizada na redução do volume do lixiviado a tratar, porém as emissões atmosféricas indicam a presença de amônia, o que pode causar impactos negativos em torno do aterro. Desta forma, é importante a realização de estudos que aprimorem esta técnica, para que a evaporação torne-se ambientalmente e economicamente viável.

Este trabalho apresenta quatro tipos diferentes de resinas de troca iônica, Amberlyst 15 Wet, Lewatit VP OC 1800, Dowex Mac 3 e Purolite MN 250 para a retenção de amônia. A princípio foi investigado a quantidade e o momento em que a amônia é lançada durante o processo de evaporação. Em seguida, caracterizaram-se as resinas quanto à eficiência de remoção de amônia, o tempo de contato e a quantidade de resina. Estão apresentadas neste estudo as isotermas de adsorção de Langmuir, Freundlich, Temkin em diferentes temperaturas (298-328 K) e as condições ideais do processo.

Os resultados apontaram duas resinas com eficiência de remoção, em torno de 40%, para concentrações acima de 1000 mg dm⁻³ de amônia, utilizando 0,5 g de resina e um tempo de contato de 20 minutos.

PALAVRAS-CHAVE: Lixiviado de Aterro Sanitário, Evaporação, Amônia, Resinas Poliméricas de Troca-Iônica.

INTRODUÇÃO

O lixiviado de aterro sanitário é caracterizado por grande quantidade de matéria orgânica, substâncias de difícil biodegradação, além de grande quantidade de amônia, em torno de 2.000 mg dm⁻³. O tratamento biológico sem a prévia remoção de amônia acarretaria um grande consumo de energia elétrica para a introdução do oxigênio nos reatores biológicos, visto que cada grama de nitrogênio amoniacal consome 4,6 gramas de oxigênio, além disso, a amônia é tóxica aos peixes. O *stripping* é uma técnica utilizada antes do tratamento biológico e consiste em transferir a amônia da fase líquida para a fase gasosa, liberando a amônia no ambiente. A evaporação de chorume permite uma redução do volume de lixiviado a tratar em até 97% e tem se mostrado promissora por possibilitar a geração de créditos carbono. Entretanto, estudos detalhados das emissões geradas neste processo constataram o elevado teor de amônia emitido. Esse resultado sugere que pode estar havendo impacto ambiental negativo no entorno do aterro, uma vez que, a amônia no ambiente atmosférico pode causar efeitos adversos. O CONAMA 436 define que a amônia atmosférica seja reduzida a 98%. O órgão governamental ambiental do Canadá tem relatado que as emissões atmosféricas da amônia têm gerado impactos ambientais. Alguns pesquisadores estudaram a remoção do íon amônio por troca iônica, conseguindo eficiências médias de 90%. No entanto, parece limitada a quantidade de artigos que investigaram a remoção do íon amônio proveniente de lixiviados de aterro sanitário, utilizando resinas poliméricas por troca iônica.

A determinação experimental das isotermas é o primeiro passo no estudo de um novo sistema sorbato/adsorvente, porque seus resultados vão indicar a quantidade ideal do adsorvente necessário para o processo adsorvivo. A isoterma permite ainda conhecer mais a respeito da natureza dos processos de adsorção e é construída através da relação (q/C) , onde q é a quantidade do íon adsorvida pela resina e C é a concentração do íon na solução. Os resultados obtidos, da concentração residual do íon amônio na solução, após o tempo de contato, são ajustados para construção dos modelos das isotermas desejadas. Cada tipo de isoterma descreve de que forma ocorre a adsorção. A análise dos dados da isoterma é importante para desenvolver uma equação que represente realmente os resultados e que possa ser usada para propósitos de dimensionamento de equipamentos a serem utilizados na remoção de poluentes.

Neste contexto, este estudo tem como objetivo avaliar o desempenho de quatro resinas catiônicas quanto à eficiência de remoção e as características de sorção do íon amônio (NH_4^+) nas condições de equilíbrio.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para uma avaliação preliminar desta técnica, foi realizado um estudo para conhecer a capacidade de retenção do íon amônio (amônia) pelas resinas poliméricas, para tanto, preparou-se uma solução padrão de cloreto de amônio (NH_4Cl) simulando os vapores condensados provenientes de uma evaporação de lixiviados. A análise de amônia foi baseada no método de eletrodo de íon seletivo segundo o Standard Methods [8], realizadas usando o equipamento da HACH Model 51927-00. Medições com reprodutibilidade de $\pm 2\%$ foram obtidas.

RESINAS POLIMÉRICAS

As resinas comerciais Amberlyst 15 Wet, Lewatit VPOC 1800, Dowex MAC-3 e Purolite MN250 foram gentilmente doadas pela Dow Brasil Sudeste Industrial Ltda e foram utilizadas sem nenhum tratamento prévio, apenas seco em estufa a 60°C por 48 h. A escolha do tipo das resinas foi em função da sua força ácida e da sua estrutura.

AVALIAÇÃO DAS RESINAS EM FUNÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO

Para conhecer a capacidade de remoção das resinas, foram realizados experimentos em um agitador horizontal de bancada, a uma velocidade de agitação de 250 rpm, utilizando-se 0,5g de cada resina para 50 cm^3 de uma solução padrão nas seguintes concentrações: 10; 50; 100; 500; 1000 mg/L de NH_4Cl , usando o tempo de contato de 15 minutos.

ESTUDO DA QUANTIDADE DE ADSORVENTE (RESINA)

Neste experimento, foi observada a relação quantidade de resina versus percentual de remoção. E, para tanto, foram pesados, em balança analítica com quatro casas decimais, cinco amostras: 0,01g; 0,05 g; 0,10 g; 0,15 g; 0,20 g e 0,30 g de cada resina em estudo, colocando-se em contato em 50 mL de uma solução com 50 mg dm^{-3} de NH_4Cl em erlenmeyer de 100 cm^3 , por 15 minutos, numa velocidade de agitação de 250 rpm, a $\pm 25^\circ\text{C}$ em um agitador de bancada

DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE EQUILÍBRIO

Realizou-se um experimento para determinar o tempo de contato necessário para atingir o equilíbrio. Utilizou-se erlenmeyer de 100 cm^3 , contendo 50 cm^3 de solução padrão de 50 mg dm^{-3} de NH_4Cl utilizando 0,05 g de resina em temperatura ambiente ($25\pm 1^\circ\text{C}$), em agitador horizontal (250 rpm) e nos tempos de contato: 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 180 e 200 minutos. Após o tempo de contato, o sobrenadante foi analisado, a fim de determinar a quantidade do NH_4^+ remanescente na solução. A quantidade de NH_4^+ adsorvida foi calculada a partir da diferença entre a concentração do NH_4^+ inicial (C_i) e após sorção (C_f) através da equação 1. Cada experimento foi repetido duas vezes e os valores médios foram utilizados na análise dos dados. Desvio padrão e erros analíticos foram calculados e erro máximo foi encontrado para ser $\pm 3\%$. Também foi calculado o percentual do NH_4^+ removido, utilizando a equação 2.

$$q_t = \frac{(C_i - C_f)}{C_f} \times V$$

Equação (1)

$$q_t = \frac{(C_i - C_f)}{C_f} \times 100$$

Equação (2)

Onde: C_i : Conc. Inicial (NH_4^+); C_f : Conc. final, após sorção (NH_4^+); m_r : Massa da resina; V : Volume utilizado

MODELAGEM DAS ISOTERMAS

Os modelos de isotermas de adsorção estudam as relações de equilíbrio que se estabelecem entre a resina e o NH_4^+ , identificando o mecanismo de sorção envolvido. Neste trabalho, as isotermas de adsorção foram construídas, utilizando a Equação da forma linear, respectiva a cada tipo de isoterma: Langmuir, Freundlich e Tempkin apresentadas na tabela 1. Este estudo seguiu o procedimento realizado para determinar a quantidade de adsorvente, utilizando apenas a resina que obteve a melhor eficiência de remoção. Este experimento foi realizado em quatro bateladas e em cada batelada utilizou-se as seguintes temperaturas: 298K (24,85°C), 308K (34,85°C), 318K (44,85°C), 328K (54,85°C). O experimento foi realizado em duplicada.

Tabela 1 - Equações matemáticas usadas nos experimentos

Isotermas de Equilíbrio	Forma linear $Y = aX + b$	Plotar	Coefficientes
Langmuir	$(C_e/q_e) = [(1/Q_0) C_e] + [1/(Q_0 K_L)]$	$C_e/q_e \times C_e$	$Q_0 = 1/a$; $K_L = a/b$
Freundlich	$\log q_e = [(1/n) \log C_e] + \log K_f$	$\log q_e \times \log C_e$	$n = 1/a$; $K_f = 10b$
Temkin	$Q_e = (RT/b_t) \ln C_e + (RT/b_t) \ln A$	$Q_e \times \ln C_e$	$b_t = (RT/a)$; $A = 10^{(b/a)}$
a: inclinação da reta; b: intercessão; q_e : capacidade de adsorção (mg/g); K_L : constante de Langmuir			
Q_0 : capacidade de adsorção da monocamada (mg/g); C_e : concentração no equilíbrio (mg/L);			
K_f : Constante de Freundlich ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$); $1/n$ é o fator de heterogeneidade; b_t : constante de Temkin (J/mol).			
R: constante dos gases: 8,314 J/(mol.K); T: temperatura absoluta (K);			

RESULTADOS OBTIDOS

Inicialmente, as resinas foram analisadas em relação à capacidade de adsorção do íon amônio utilizando uma solução padrão de NH_4Cl de diversas concentrações (10, 50, 100, 500, 1000, 1500 e 2000 mg dm^{-3} de NH_4Cl) e os resultados estão ilustrados na figura 1.

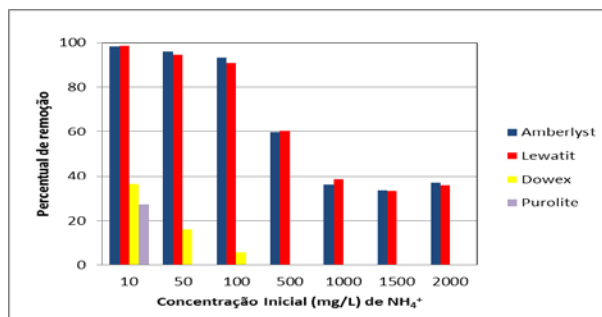


Figura 1 – Avaliação das resinas em função da remoção do NH_4^+ em diferentes concentrações

Analisando a figura 1, é percebido que a resina purolite MN 250 (macroporosa, sem grupo funcional e cátion de troca) apesar de apresentar uma grande área superficial de $1.004,34 \text{ m}^2 \text{g}^{-1}$ apresentou uma eficiência de remoção em torno de 20%, apenas para a concentração de 10 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ de NH_4Cl , não conseguindo remover

para concentrações acima deste valor. Acredita-se que a sua baixa capacidade de remoção do NH_4^+ deva-se a falta do grupo funcional e do cátion de troca. A resina Dowex (macroporosa, ácido carboxílico, H^+) apresentou eficiência de remoção de 36% para a concentração de 10 mg.dm^{-3} de NH_4Cl , e 16% para concentração de 50 mg.dm^{-3} de NH_4Cl , não sendo mais viável em concentrações superiores.

O que pode responder a essa baixa capacidade de remoção é o seu grupo funcional que é o ácido carboxílico, caracterizando-se como resina de ácido fraco, com afinidade para íons alcalinos-terrosos. As resinas Amberlyst 15 wet e Lewatit VP OC 1800 apresentaram os melhores resultados, chegando a remoção média de 97 a 99% para concentração até 100 mg.dm^{-3} , 50% para concentração de 500 mg.dm^{-3} e 36 a 39% para concentração acima de 1.000 mg.dm^{-3} de NH_4Cl , utilizando 0,5 g de resina e tempo de contato de 15 minutos. Acredita-se que esta eficiência de remoção em relação às demais, deva-se a característica (catiônica, sulfônica, ou seja; fortemente ácida) de ambas as resinas.

Para tentar evidenciar a diferença existente entre as resinas Amberlyst 15 wet e Lewatit VP OC 1800, estas foram submetidas a 50 cm^3 de NH_4Cl com concentração de 5.000 mg.dm^{-3} (concentração semelhante ao condensado da evaporação do lixiviado desse estudo), utilizando 20 g de resina em temperatura ambiente de $25 \pm 2^\circ\text{C}$, em um agitador de bancada com uma velocidade de agitação de 250 rpm, durante 15 minutos e nesse experimento a eficiência de remoção da resina Amberlyst 15 Wet (Figura 2) foi realçada.

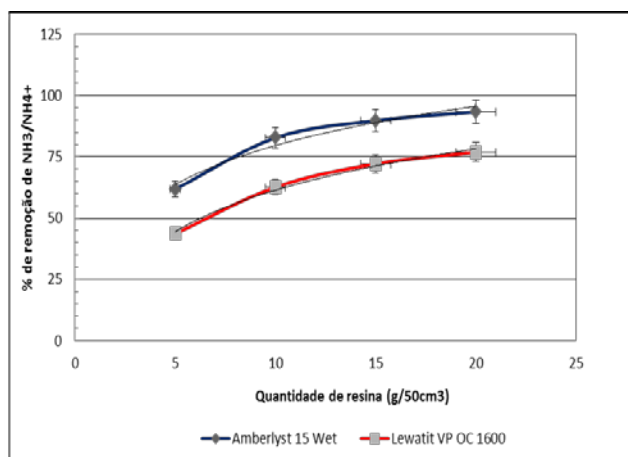


Figura 2 - Capacidade de remoção de NH_4^+ pelas resinas Amberlyst 15 wet e Lewatit VP OC 1800 em concentração elevada (5.000 mg.dm^{-3} de NH_4Cl)

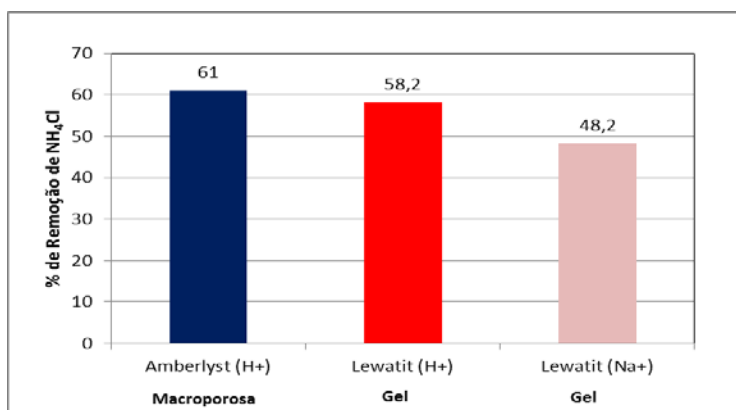


Figura 3- Comparação de remoção do NH_4^+ entre as resinas Lewatit e Amberlyst, sendo ambas hidrogeniônica.

A diferença de remoção entre as resinas Amberlyst 15 wet (macroporosa e hidrogeniônica) e Lewatit VP OC 1800 (microporosa e sódica) podem estar em suas diferenças. Neste sentido, o sódio, cátion de troca da resina Lewatit VP OC 1800 foi trocado pelo hidrogênio, submetendo a resina a uma solução de HCl a 2% por 48 h, para que suas diferenças fiquem apenas em torno de suas estruturas. Após a conversão, ambas as resinas, agora hidrogeniônicas foram testadas nas mesmas condições já mencionadas e ainda assim, a resina Amberlyst 15 wet continuou com um percentual de remoção maior (61%), ilustrado pela figura 3. Suponhe-se que as características da resina Amberlyst 15 wet a tornaram mais eficiente e uma das justificativas para este comportamento está sobre alguns pilares, como o cátion de troca ser o hidrogênio, que segundo a série liotrópica de Hofmeister tem um potencial maior em relação ao Na^+ e menor em relação ao NH_4^+ , além da macroporosidade permanente que proporciona maiores sítios de troca.

Avaliando a dosagem da resina, foi percebido que para uma concentração de 50 mg.dm^{-3} de NH_4Cl , foi necessário apenas 0,05 g de adsorvente para a remoção de mais de 50% do adsorbato (NH_4^+) em ambas resinas, nas condições do experimento (Tabela 2).

Tabela 2– Avaliação do percentual de remoção do NH_4^+ versus quantidade de resina

Quant. de resina (g/50 cm^3)	Resinas	
	Amberlyst	Lewatit
0,01	18 %	13 %
0,05	65 %	51 %
0,10	82 %	71 %
0,30	97 %	90 %
0,40	98%	91%
0,50	98%	94%

A figura 4 apresenta as curvas de equilíbrio apresentaram logo de início um aumento na capacidade de sorção, indicando os números de sítios disponíveis e a afinidade pelo NH_4^+ , porém, logo em seguida, é percebido um equilíbrio, representando a máxima capacidade de saturação das resinas. É notado ainda, que a quantidade de NH_4^+ sorvida aumenta com tempo de agitação, sendo necessários 15 min para ambas as resinas chegarem ao equilíbrio. As capacidades de sorção da Resina Amberlyst 15 Wet (30, 45 e 60 mg.g^{-1}) foi maior em relação à Resina Lewatit VP OC 1800 (5, 10, 35 mg/g) para a solução de NH_4Cl com concentração inicial de 50, 200 e 100 mg.dm^{-3} , respectivamente, isso pode ser explicado pelo fato de que apesar de ambas serem sulfônicas, fortemente ácidas, o cátion de troca da primeira resina é o hidrogênio, que apresenta uma maior facilidade de troca em relação ao sódio.

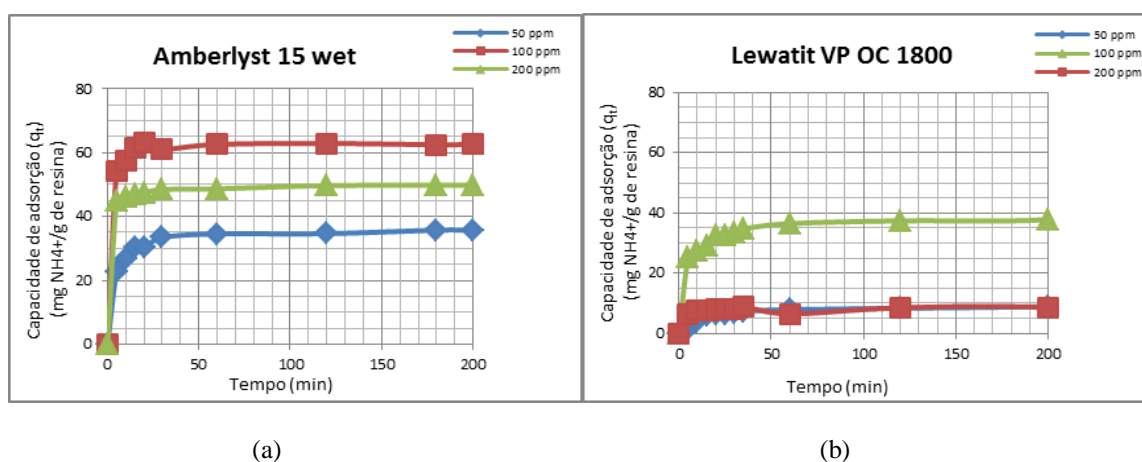


Figura 4 - Efeito do tempo de contato e da concentração inicial do íon amônio na capacidade de adsorção do íon amônio pela (a)Resina Amberlyst 15 Wet e (b) Resina Lewatit VP OC 1800. (pH 6,0, dosagem da resina $0,05\text{g.dm}^{-3}$, tempo máximo de contato 3 horas, velocidade de agitação 250 rpm, temperatura $25 \pm 1^\circ\text{C}$)

A modelagem das isotermas e o estudo da variação da temperatura foram realizados apenas com a resina Amberlyst 15 wet que apresentou maior eficiência de remoção. A teoria de Langmuir considera a adsorção em monocamada; a isoterma de Freundlich representa a relação entre a quantidade de íons adsorvidos por unidade de massa de resina e a isoterma de Temkin identifica às interações entre o adsorvato e o adsorvente, considerando o calor de adsorção. O comportamento das isotermas apresentou uma correlação positiva entre a capacidade de adsorção e a concentração de amônia, também encontrada em trabalhos anteriores utilizando carvão ativado e zeólitas naturais [4]. Os valores referentes às constantes das isotermas estão apresentados na tabela 3 e a figura 5 ilustra as isotermas de (a)Langmuir, (b)Freundlich, (c)Tempkin.

Tabela 3 – Comparação dos parâmetros entre as isotermas e as temperaturas

Isoterma	Parâmetros	Temperaturas			
		298 K	308 K	318 K	328 K
Langmuir	Q_{Max} (mg NH_4^+ /g resina)	43,67 \pm 0,02	46,51 \pm 0,01	46,73 \pm 0,04	49,26 \pm 0,02
	R_L (dm ³ . mg ⁻¹)	0,15 \pm 0,01	0,26 \pm 0,02	0,23 \pm 0,05	0,22 \pm 0,08
	$R^2 \geq$	0,97	0,75	0,94	0,99
	ERM	0,07	0,11	0,07	0,03
Freundlich	1/n	0,54 \pm 0,04	0,63 \pm 0,04	0,63 \pm 0,04	0,65 \pm 0,04
	K_F ((mg.g ⁻¹)(dm ³ .mg ⁻¹) ^{1/n})	6,25 \pm 0,01	3,80	4,17	0,11
	$R^2 \geq$	0,99	0,89	0,93	0,98
	ERM	0,01	0,14	0,10	0,83
Tempkin	k_t (dm ³ .g ⁻¹)	1,21	0,58	0,65	0,69
	bT	268,220	247,337	240,028	232,833
	$R^2 \geq$	0,96	0,95	0,98	0,99
	ERM	0,63	0,13	0,09	0,07

A validade do modelo de Langmuir é confirmada através do gráfico linear C_e/q_e versus C_e confirmando ou não o processo. A equação da reta obtida apresenta o coeficiente angular que corresponde a $1/Q_0$ e o coeficiente linear que corresponde a $1/Q_0 K_L$. A isoterma de Langmuir apresentou uma variação mínima crescente na capacidade máxima de adsorção na monocamada com o aumento da temperatura de no máximo 49,26 mg de NH_4^+ por grama de resina. O ligeiro aumento nos valores de Q_0 com o aumento da temperatura confirmou a preferência às temperaturas mais elevadas de adsorção. O aumento da temperatura [6] torna os íons mais lentos e a solvatação é reduzida. Quanto ao coeficiente de correlação (r^2) < 0,99 na maioria das faixas de temperatura indica que ainda não se justifica a aplicabilidade deste modelo para os dados de sorção. Quanto maior for o coeficiente de correlação (r^2) maior é o ajuste ao modelo. Outra característica importante é a curvatura da isoterma de sorção (R_L), constante adimensional, avaliada da seguinte forma: Valores de $R_L > 1$ indica que o processo é desfavorável; $R_L = 1$ indica uma isoterma linear e $R_L = 0$ indica que o processo é irreversível. A condição que indica o processo favorável é quando R_L está entre 0 e 1. Pode-se observar ainda que para todas as temperaturas, os valores de R_L para a adsorção de NH_4^+ pela resina amberlyst 15 wet estão entre 0 e 1, o que indica ser uma adsorção favorável nas temperaturas de estudo.

A isoterma Freundlich é muito utilizada porque descreve com muita precisão os dados de ensaios de adsorção em sua maioria em sistemas aquosos, além de descrever o equilíbrio em superfícies heterogêneas, onde ocorre adsorção em multicamadas com interação entre as moléculas de adsorbato [8], corresponde também a uma distribuição exponencial de calores de adsorção. Este modelo representa a relação entre a quantidade de íons adsorvidos por unidade de massa de resina. O parâmetro n verifica a heterogeneidade energética dos sítios adsorventes e quanto mais próximo de zero estiver o valor de 1/n mais energeticamente heterogênea é a superfície do adsorvente. Este comportamento foi verificado nas três temperaturas estudadas, com valores de 1/n de 0,54; 0,63; 0,63 e 0,65 para 298 k, 308 K, 318 K e 328 K respectivamente. Já o parâmetro “ K_F ” indica a capacidade de adsorção, e seu incremento significa um aumento na afinidade da resina pelos íons NH_4^+ . A regressão linear indicou que os valores de r^2 foram bastante elevados e a sorção de NH_4^+ deve seguir o modelo de Freundlich, assumindo o equilíbrio em superfícies heterogêneas.

O modelo de Temkin é observado em “bT” (constante isotérmica) que possui um valor elevado. Também, é possível observar que, aumentando a temperatura, melhoraram os resultados obtidos pelo modelo de Temkin. Este fato pode estar associado à questão do aumento da mobilidade das moléculas e consequentemente maior

interações laterais (consideração do modelo). Esse modelo ajustou-se bem aos dados experimentais, indicando que o calor de adsorção das moléculas diminui linearmente com a cobertura da superfície do adsorvente devido às interações existentes [10].

A comparação da capacidade de sorção experimental (q_{exp}) com a capacidade de sorção teórica (q_t), realizada através do erro médio relativo (E) descrito pela equação 3, foi possível observar, o ajuste do modelo, através da semelhança entre esses valores. Logo, a isoterma de Freundlich apresenta o menor erro relativo e, portanto é o melhor modelo para descrever o equilíbrio de sorção do NH_4^+ pela resina Amberlyst 15 wet.

$$EMR = (100/n) \sum_i^n |q_{exp} - q_{teor}|/q_{exp} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde: q_{exp} : Capacidade de sorção ($mg.g^{-1}$) da resina (valor experimental); q_{et} : Capacidade de sorção ($mg.g^{-1}$) da resina (valor do modelo); n: número de experimentos realizados

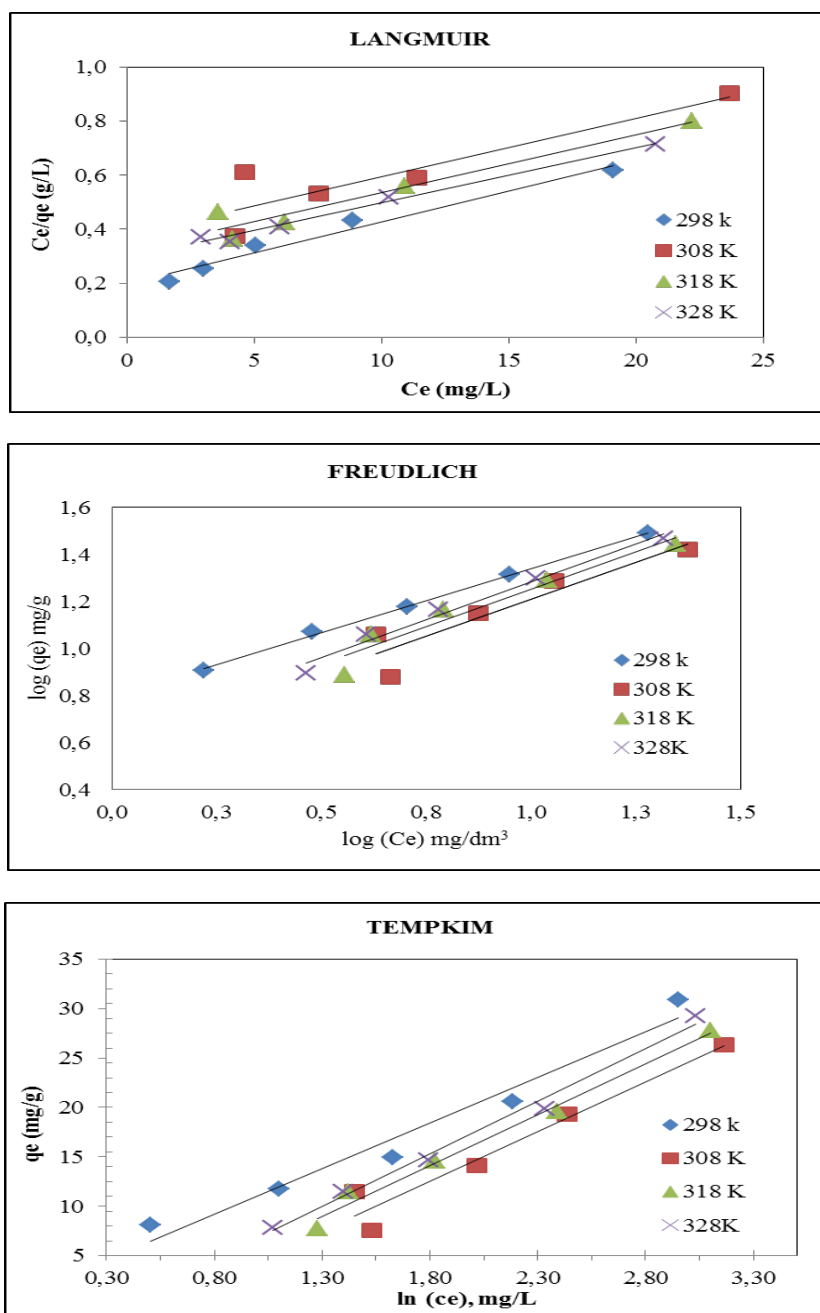


Figura 5 –Isotermas de Langmuir, Freundlich e Tempkin

CONCLUSÕES

A Resina Dowex Mac-3 e a Purolite MN250 não apresentaram boas remoções para concentrações elevadas de NH_4^+ . O resultado apresentado pelas resinas catiônicas Amberlyst 15 Wet e Lewatit VP OC 1800 demonstraram um potencial de remoção na faixa de 90%, o que pode ser justificado em relação a sua característica de ácido forte. Porém, comprando-se a Resina Amberlyst 15 Wet com a Resina Lewatit VP OC 1800, a primeira apresentou uma eficiência de remoção ainda maior em relação à segunda, por apresentar como cátion de troca o hidrogênio, em vez do sódio e pela sua estrutura permanentemente macroporosa. A Resina Amberlyst 15 Wet apresentou as seguintes características de sorção: tempo de equilíbrio em torno de 15 minutos; valores de R_L entre 0 e 1 que demonstra processo de adsorção favorável, a adsorção acontece em multicamadas com interação entre as moléculas de adsorbato, assumindo portanto o comportamento da isoterma de Freundlich, com um coeficiente de relação $\geq 0,99$ na temperatura ambiente e o menor ERM se comparado com os demais modelos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUIAR, M. R. M. P.; NOVAES, A.C. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos, Química Nova, v.25, n. 6 B, p.1145-1154, 2002.
2. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APWA; AWWA; WPCF, 20th edition, Washington, 1998.
3. BAHÉ, J. M. C. de F.; FLORENCIO, L.; GAVAZZA, S.; JORDÃO, E. P.; KATO, M. T. Estudo da eficiência do pré-tratamento de lixiviados de aterro sanitário por evaporação. In: 25^o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009, Recife PE. Anais... Rio de Janeiro RJ: Editora da ABES, 2009.
4. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n^o 436/11. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas. Brasília: IBAMA.
5. HELFFERICH, Friedrich, Ion Exchange. Dover Publications, New York. 1995.
6. HO, Y. Review of second-order models for adsorption systems. Journal of Hazardous Materials. v. B136, p. 681–689, 2006.
7. JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de esgotos domésticos. Rio de Janeiro: [s.n.], 2005. 932p.
8. JORGENSEN, T.C.; WEATHERLEY, L.R. Ammonia removal from wastewater by ion exchange in the presence of organic contaminants. Water Research. V.37, 1723–1728, 2003.
9. REIS, J.A.T.; MENDONÇA, A.S.F. Amônia em efluentes e mananciais de água doce – Uma avaliação dos limites impostos pelo CONAMA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA AMBIENTAL, 20, 1997, Anais..., Rio de Janeiro: ABES, 1999A.
10. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Ambient aquatic life water for ammonia (salt water) 1989. Rhode Island: Office of Research and Development/Environmental Research Laboratory, 1989
11. KUMAR, P.S.; RAMALINGAM, S.; SENTHAMARAI, C.; NIRANJANA, M.; VIJAYALAKSHMI, P.; SIVANESAN, S. Adsorption of dye from aqueous solution by cashew nut shell: Studies on equilibrium isotherm, kinetics and thermodynamics of interactions. Desalination, v. 261, p.52-60, 2010.
12. VIGNOLI, C.N. Avaliação da minimização das emissões de amônia no processo de tratamento de chorume por evaporação. Dissertação de mestrado-Universidade Estadual do Rio de Janeiro. Centro de Tecnologia e Ciências. Instituto de Química, 2007. 89 p.