

Uso da eletrodialise na eliminação de Ca^{2+} e Mg^{2+} e sua influência na reologia de dispersões de argilas bentoníticas da Paraíba

(Electrodialysis uses in Paraíba bentonite clay dispersions to eliminate Ca^{2+} and Mg^{2+} and its influence on rheology)

L. V. Amorim¹, C. M. Gomes², F. L. H. da Silva³, K. B. França³, H. L. Lira¹, H. C. Ferreira¹

¹Departamento de Eng. de Materiais, ³Departamento de Eng. Química
Universidade Federal de Campina Grande

Av. Aprígio Veloso, 882, Campina Grande, PB 58109-970

²Pós-graduação em Eng. de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina
luciana@labdes.ufcg.edu.br

Resumo

Este trabalho avalia a influência dos cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} , através da eletrodialise, na reologia de dispersões de argilas bentoníticas de Boa Vista, PB. As dispersões de argila foram preparadas com 4,86% em massa, e realizado o processo de eletrodialise com uma membrana polimérica catiônica, em um reator de bancada, sendo utilizadas tensões de 7, 10 e 13 V e tempos de ensaios de 40, 80 e 120 min, segundo planejamento fatorial do tipo $2^2 + 3$ experimentos no ponto central. Após a eletrodialise, as dispersões foram tratadas com Na_2CO_3 e após cura, determinadas as viscosidades aparente e plástica, em viscosímetro Fann 35A e o volume de filtrado, em filtro-prensa Fann. Para quantificar os cátions eliminados, foram determinados os cátions trocáveis antes e após o processo de eletrodialise. Os resultados mostraram que a eletrodialise poderá ser uma valiosa ferramenta no estudo dos fatores que determinam o comportamento reológico das dispersões de argilas bentoníticas, e ainda que os cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} , parcialmente eliminados, não interferem na reologia das dispersões estudadas.

Palavras-chave: argilas bentoníticas, cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} , eletrodialise, propriedades reológicas.

Abstract

The aim of this work is to evaluate, by electrodialysis, the influence of Ca^{2+} and Mg^{2+} on the rheology of bentonite clay dispersions from Boa Vista, PB. Dispersions were prepared with 4.86 wt.% and submitted to electrodialysis process by using a cationic polymeric membrane in the batch reactor. The electrodialysis was set up according to $2^2 + 3$ factorial design by using 7, 10 and 13 V and 40, 80 and 120 min. After electrodialysis, the dispersions were treated with Na_2CO_3 and after curing, the apparent and plastic viscosities were measured using a viscosimeter and water loss with a filter-press. Moreover, exchanged cations were determined before and after the electrodialysis process. The results show that the electrodialysis can be a valuable tool to identify the factors that dictate the rheological behavior of bentonite clay dispersions, as well as that the partially eliminated Ca^{2+} and Mg^{2+} do not influence on the rheology of the dispersions.

Keywords: bentonite clays, Ca^{2+} and Mg^{2+} , electrodialysis, rheological properties.

INTRODUÇÃO

No Brasil, as principais ocorrências de argilas bentoníticas estão localizadas no Estado da Paraíba, no Município de Boa Vista. Essas argilas são naturalmente policatiônicas e diferentes das bentonitas norte-americanas de Wyoming, que são naturalmente sódicas, apresentam em sua composição, além do Na^+ , teores apreciáveis de Ca^{2+} e Mg^{2+} .

O primeiro grande estudo realizado com as argilas bentoníticas de Boa Vista foi desenvolvido por Souza Santos [1], ainda na década de 60. A partir desse estudo, comprovou-se que essas argilas poderiam ser transformadas em sódicas, após tratamento com concentrações adequadas de solução concentrada de carbonato de sódio, bem como

que poderiam ser utilizadas para diversos fins industriais, dentre eles como aglomerantes para areias de fundição e agente viscosificante e tixotrópico em fluidos de perfuração de poços de petróleo.

Embora a viabilidade do emprego das argilas de Boa Vista, PB para diversos usos industriais tenha se comprovado, o seu baixo inchamento na presença de água e seus baixos valores de viscosidades foram objetivos de diversos estudos, a exemplo dos trabalhos de Zandonadi [2], Valenzuela Díaz [3] e Valenzuela Díaz, Souza Santos e Ferreira [4]. Segundo Souza Santos [5], os cátions divalentes, Ca^{2+} e Mg^{2+} , presentes na estrutura da argila como cátions trocáveis, pelo seu caráter floculante, são aparentemente os responsáveis pelos baixos valores de viscosidades aparente

e plástica das dispersões preparadas com 6% em massa de argila. Esta constatação se deu através da aplicação do processo de diálise, com o uso de membranas celulósicas, sendo observado que após um período de 6 dias de diálise os cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} eram eliminados das dispersões. Como conseqüência, as dispersões apresentavam aumento nos valores de viscosidade plástica e diminuição nos valores de viscosidade aparente. Neste estudo, porém, não foram realizadas determinações quantitativas para verificar se o Ca^{2+} e o Mg^{2+} tinham sido total ou parcialmente eliminados.

Recentes estudos realizados na Universidade Federal de Campina Grande – UFCG vêm utilizando a eletrodialise, em substituição à diálise, como processo para tratamento das dispersões de argilas bentoníticas de Boa Vista, PB. Os primeiros resultados encontram-se nas referências [6-9].

A eletrodialise é um processo de separação eletroquímica no qual membranas carregadas eletricamente e uma diferença

outro lado uma camada de troca catiônica. Estas membranas contêm cerca de 30,0 % a 50,0 % de água e possuem poros de diâmetro inferior ao da molécula de água, não permitindo a sua passagem, permitindo apenas a passagem de íons [11].

Segundo Strathmann [10], o princípio da eletrodialise baseia-se numa série de membranas catiônicas e aniônicas arranjadas alternadamente entre dois eletrodos. Cada membrana é separada, uma da outra, por espaçadores, formando compartimentos individuais. O resultado final é o aumento da concentração de íons em compartimentos alternados e uma redução na concentração dos íons nos compartimentos restantes, resultando na formação de duas correntes: uma diluída e outra concentrada. Esse princípio está apresentado na Fig. 1.

A eletrodialise é amplamente utilizada na dessalinização de águas salobras e, em alguns países como Estados Unidos, França e Japão, é o principal processo na produção de água potável. É também aplicado no tratamento de efluentes, na

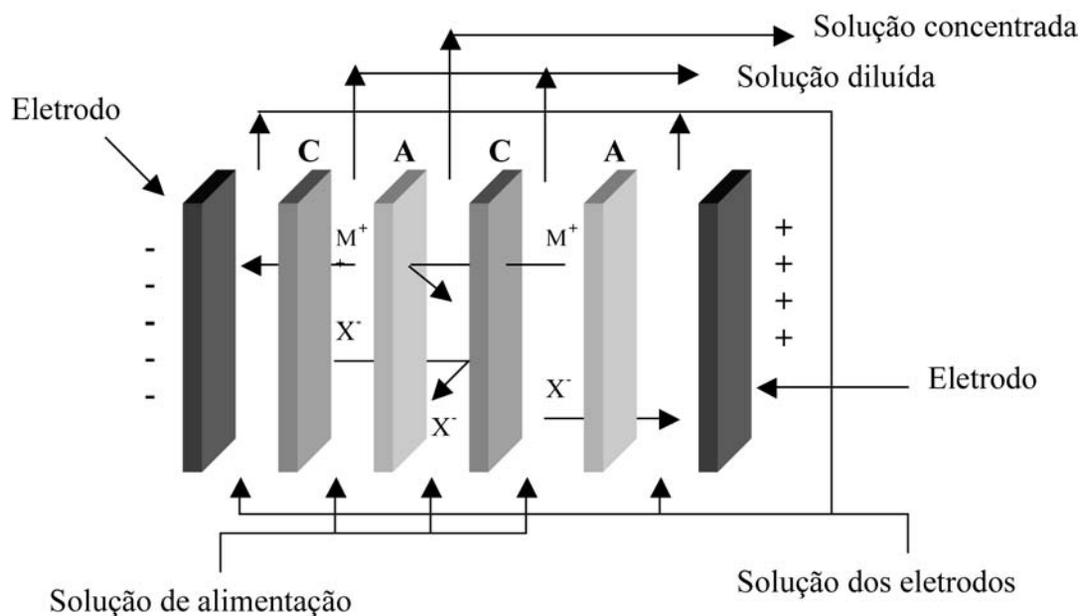


Figura 1: Sistema eletrodialítico com membranas catiônicas (C) e aniônicas (A) arranjadas alternadamente entre dois eletrodos.

[Figure 1: Electrodialytic system with cationic (C) and anionic (A) exchange membranes arranged by alternating between two electrodes.]

de potencial (ddp) são usadas para separar espécies iônicas de uma solução aquosa [10].

No processo de eletrodialise são utilizadas membranas poliméricas, que podem ser monoplares ou bipolares. As monoplares podem ser classificadas em catiônicas ou aniônicas. A membrana de troca catiônica tem fixados em sua matriz grupos sulfônicos ($-\text{SO}_3^-$) e permitem a passagem apenas de íons positivos, enquanto que na membrana de troca aniônica, os grupos fixados são de cargas positivas, amônia quaternária ($-\text{NR}_3^+$), permitindo, portanto, a passagem de íons negativos. As membranas bipolares são aquelas que contêm em um dos lados uma camada de troca aniônica e no

indústria química, alimentícia e farmacêutica e na produção de águas ultrapuras [12].

Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência dos cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} , através da eletrodialise, na reologia de dispersões de argilas bentoníticas de Boa Vista, PB.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

Para o desenvolvimento deste trabalho foram estudadas duas amostras de argilas bentoníticas naturais, denominadas

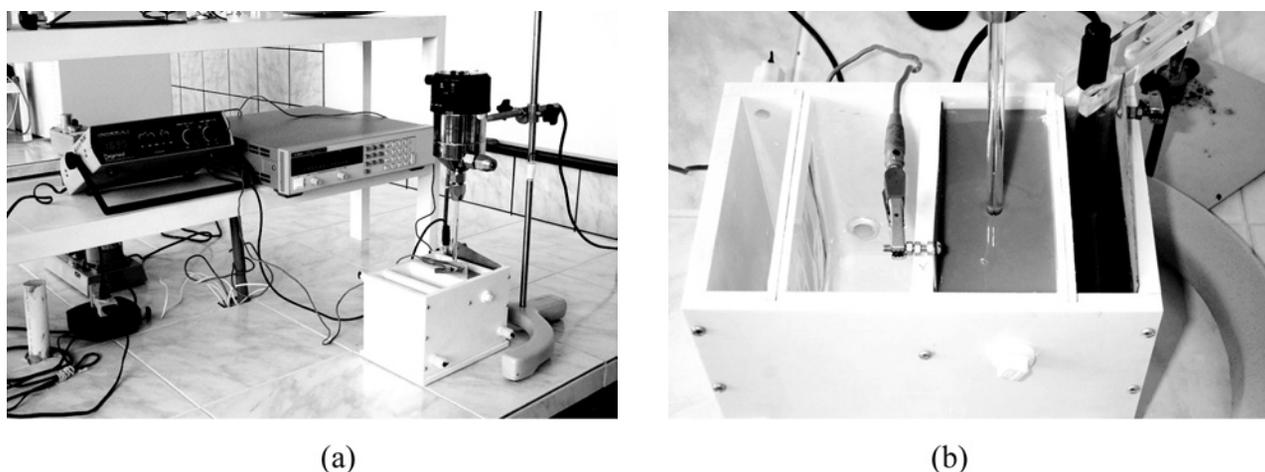


Figura 2: (a) Sistema eletrodialítico composto pelo reator, fonte de alimentação de tensão, agitador mecânico e equipamento para registro de dados. (b) Reator eletrodialítico.

[Figure 2: (a) Composed electro-dialytic system for the reactor, voltage source, mechanical stirrer and equipment for register of data. (b) Electro-dialytic reactor.]

Tabela I - Níveis codificados e valores reais das variáveis de entrada e a matriz de planejamento fatorial.
[Table I - Coded factor levels and real values for entrance variables and factorial desing matrix.]

Variáveis de entrada	Níveis codificados		
	Nível -1	Ponto central 0	Nível +1
Tensão (V)	7	10	13
Tempo (min)	40	80	120
Matriz de planejamento fatorial			
Experimentos	Tensão (V)	Tempo (min)	
1	-1	-1	
2	+1	-1	
3	-1	+1	
4	+1	+1	
5, 6 e 7	0	0	

de Bofe e Verde-lodo. A argila Bofe é proveniente da mina Juá, enquanto que a argila Verde-lodo foi extraída das minas Tonito e Juá, localizadas em Boa Vista, PB. As argilas são compostas mineralogicamente por argilominerais do grupo da esmectita e com presença do mineral quartzo. A argila Verde-lodo apresenta ainda caulinita [13].

Métodos

Preparação das dispersões – As dispersões das argilas foram preparadas com concentração de 4,86% em massa (24,3 g em 500 mL de água dionizada), sendo agitadas a velocidade de 17.000 rpm, durante 20 min, em agitador da marca Hamilton Beach.

Processo de eletrodialise - Foi realizado em um reator de bancada (Fig. 2), composto por dois compartimentos: o compartimento anódico ou de alimentação, onde fica o

eletrodo negativo e o compartimento catódico, onde fica o eletrodo positivo. Os dois compartimentos são separados entre si por uma membrana polimérica catiônica da BDH Laboratory Supplies, Inglaterra. Os detalhes do reator e o estudo para determinar suas condições operacionais estão apresentados na referência [8]. No compartimento de alimentação foi inserida a dispersão da argila bentonítica (1000 mL) e, no compartimento catódico, uma solução de ácido nítrico (HNO_3) (500 mL), com pH próximo de 3. No par de eletrodos, foi aplicada uma diferença de potencial (ddp) de acordo com o planejamento fatorial apresentado na Tabela I. Durante todo o processo de eletrodialise, a dispersão de argila foi agitada com velocidade de aproximadamente 840 rpm em agitador mecânico da marca Fisatom, com haste de vidro.

Aditivção das dispersões com carbonato de sódio (Na_2CO_3) - Ao final do processo de eletrodialise, as dispersões de argila foram separadas em duas frações de 500 mL, sendo

uma delas tratada com 150 meq de $\text{Na}_2\text{CO}_3/100$ g de argila seca, na forma sólida, sob agitação, e após 5 dias de cura, realizado o estudo reológico. A outra fração, foi utilizada para a determinação dos cátions trocáveis. Para efeito de comparação, foram também preparadas dispersões de argilas e tratadas com 150 meq de $\text{Na}_2\text{CO}_3/100$ g de argila seca, na forma sólida, sob agitação, sendo realizado o estudo reológico após 5 dias de cura.

Estudo reológico – Após a cura, foram determinadas as viscosidades aparente (VA) e plástica (VP), em viscosímetro Fann 35A e volume de filtrado (VF), em filtro prensa Fann [14].

Planejamento fatorial - Foi elaborado um planejamento fatorial do tipo $2^2 + 3$ experimentos no ponto central para avaliar a influência da tensão aplicada aos eletrodos e do tempo de ensaio sobre a reologia das dispersões de argila. Os valores codificados e reais das variáveis de entrada e a matriz de planejamento fatorial estão apresentados na Tabela I.

Determinação dos cátions trocáveis – As frações de 500 mL das dispersões das argilas, após eletrodialise, foram submetidas à secagem em estufa com circulação de ar a temperatura de $50\text{ }^\circ\text{C} \pm 2$ por um período de 7 dias. A seguir, foram moídas em almofariz e passadas em peneira ABNT nº 200 (0,074 mm) para determinação dos cátions trocáveis

Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , segundo metodologia descrita em Souza Santos [15]. A determinação dos cátions trocáveis foi também realizada com as argilas no estado natural.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas II e III, estão apresentados os resultados das propriedades reológicas, viscosidades aparente (VA) e plástica (VP), e volume de filtrado (VF) das dispersões preparadas com as argilas Bofe e Verde-lodo antes e após o processo de eletrodialise e tratadas com Na_2CO_3 , respectivamente.

Não foram observadas variações significativas nos valores de VA, VP e VF das dispersões das argilas Bofe (Tabela II) e Verde-lodo (Tabela III) após eletrodialise e tratadas com 150 meq de $\text{Na}_2\text{CO}_3/100$ g de argila seca.

A análise de significância estatística (Tabela IV) mostrou que, os coeficientes de correlação (R) e os % de variação explicada dos resultados experimentais, foram satisfatórios apenas para o VF das dispersões da argila Bofe.

Os modelos matemáticos codificados, apresentados na Tabela V, mostram a influência da tensão e do tempo de ensaio sobre VA, VP e VF das dispersões estudadas está apresentada na Tabela V. Dentre os resultados, observou-se que apenas

Tabela II – Propriedades reológicas, viscosidades aparente (VA) e plástica (VP), e volume de filtrado (VF) das dispersões da argila Bofe antes e após eletrodialise e tratadas com 150 meq de $\text{Na}_2\text{CO}_3/100$ g de argila seca.
[Table II – Rheological properties, apparent and plastic viscosities, and water loss of the Bofe clay dispersions before and after electro dialysis and treated with 150 meq of $\text{Na}_2\text{CO}_3/100$ g of dry clay.]

Condições de ensaio	VA (cP)	VP (cP)	VF (mL)
Sem eletrodialise	4,3	3,0	25,5
7 V – 40 min	4,8	3,0	27,0
13 V – 40 min	5,0	3,0	27,5
7 V – 120 min	4,8	3,0	26,0
13 V – 120 min	4,8	3,5	27,0
10 V – 80 min*	4,8	3,5	27,1

* Valores referentes à média dos 3 ensaios realizados no ponto central.

Tabela III – Propriedades reológicas, viscosidades aparente (VA) e plástica (VP), e volume de filtrado (VF) das dispersões da argila Verde-lodo antes e após eletrodialise e tratadas com 150 meq de $\text{Na}_2\text{CO}_3/100$ g de argila seca.

[Table III – Rheological properties, apparent and plastic viscosities, and water loss of the Verde-lodo clay dispersions before and after electro dialysis and treated with 150 meq of $\text{Na}_2\text{CO}_3/100$ g of dry clay.]

Condições de ensaio	VA (cP)	VP (cP)	VF (mL)
Sem eletrodialise	6,5	2,5	25,5
7 V – 40 min	7,3	2,5	26,5
13 V – 40 min	7,0	2,5	24,0
7 V – 120 min	7,0	2,5	24,5
13 V – 120 min	6,5	2,5	27,0
10 V – 80 min*	6,0	2,5	25,5

* Valores referentes à média dos 3 ensaios realizados no ponto central.

Tabela IV – Análise estatística das propriedades reológicas, viscosidade aparente (VA) e plástica (VP), e do volume de filtrado (VF) das dispersões das argilas Bofe e Verde-lodo após eletrodialise e tratadas com 150 meq de $\text{Na}_2\text{CO}_3/100$ g de argila seca.

[Table IV – Statistical analyze of rheological properties, apparent and plastic viscosities, and water loss of the Bofe and Verde-lodo clays dispersions after electro dialysis and treated with 150 meq of $\text{Na}_2\text{CO}_3/100$ g of dry clay.]

Amostras	Coeficiente de correlação (R)			% de variação explicada*		
	VA	VP	VF	VA	VP	VF
Bofe	0,29	0,66	0,94	8,14	43,7	88,9
Verde-lodo	0,42	ND	0,76	17,5	ND	57,9

ND – não determinado por invariância dos resultados.

SQ_R – soma quadrática da regressão; SQ_T – soma quadrática total.

* $R^2 = (SQ_R/SQ_T).100$

o VF das dispersões da argila Bofe, após eletrodialise e tratadas com 150 meq de $\text{Na}_2\text{CO}_3/100$ g de argila seca é influenciado pelas variáveis de entrada (tensão e tempo de ensaio), com 95% de confiança, sendo os menores valores obtidos para tensões mais baixas (7 V) e tempos de ensaios mais longos (120 min).

Na Fig. 3 estão apresentadas as superfícies de resposta, utilizando-se dos modelos matemáticos codificados (Tabela V), para VA, VP e VF das dispersões da Bofe e para VA e VF das dispersões da Verde-lodo. Embora os modelos matemáticos codificados tenham mostrado que apenas VF das dispersões da Bofe é estatisticamente influenciado pelas variáveis de entrada, a análise das superfícies de resposta, mostrou as seguintes tendências para a argila Bofe: (i) para obtenção de maiores valores de VA, deverão ser utilizadas tensões mais elevadas, acima de 12,0 V e tempos de ensaio curtos, inferiores a 50 min; (ii) para obtenção de maiores valores de VP, deverão ser utilizadas tensões acima de 10,0 V e tempos de ensaio longos, acima de 80 min e (iii) para obtenção de menores valores de VF deverão ser utilizadas baixas tensões, inferiores a 8,0 V e tempos de ensaio longos, acima de 100 min. Para as dispersões da Verde-lodo, foram observadas as seguintes tendências: (i) para obtenção de maiores valores de VA, deverão ser utilizadas baixas tensões, inferiores a 10,0 V e tempos de ensaio curtos, abaixo de 60 min e (ii) para obtenção de menores valores de VF, deverão ser utilizadas elevadas tensões, superiores a 12,0 V e tempos de ensaio longos, acima de 100 min, ou baixas tensões, inferiores a 8,0 V e curtos tempos de ensaio, inferiores a 50 min.

As concentrações dos cátions trocados das argilas Bofe e Verde-lodo, antes e após os ensaios de eletrodialise, estão apresentados na Tabela VI. Observou-se que houve a eliminação dos íons Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} das argilas, ou seja, houve a transferência dos íons Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} das dispersões das argilas para a solução ácida, e de um modo geral, que o transporte dos íons monovalentes (Na^+ e K^+) é maior que o dos íons divalentes (Ca^{2+} e Mg^{2+}). Esse comportamento está de acordo com os resultados obtidos

Tabela V – Modelos matemáticos codificados para as propriedades reológicas, viscosidade aparente (VA) e plástica (VP), e para o volume de filtrado (VF) das dispersões das argilas Bofe e Verde-lodo após eletrodialise e tratadas com 150 meq de $\text{Na}_2\text{CO}_3/100$ g de argila seca.

[Table V – Mathematics models of rheological properties, apparent and plastic viscosities, and of water loss of the Bofe and Verde-lodo clays dispersions after electro dialysis and treated with 150 meq of $\text{Na}_2\text{CO}_3/100$ g of dry clay.]

Dispersões da argila Bofe
VA = 4,88* + 0,05T - 0,05t - 0,05Tt
VP = 3,28* + 0,12T + 0,12t + 0,12Tt
VF = 26,97* + 0,37*T - 0,37*t + 0,15Tt
Dispersões da argila Verde-lodo
VA = 6,54* - 0,20T - 0,20t - 0,05Tt
VP = 2,5
VF = 25,57* + 0,25t + 1,25Tt

T – tensão e t – tempo de ensaio.

* Estatisticamente significativos com 95,0 % de confiança

em estudos realizados sobre a remoção de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} respectivamente, de soluções de NaCl , KCl , CaCl_2 e MgCl_2 , através de eletrodialise [16, 17].

Dentre as condições de ensaio estudadas, a de 13,0 V e 120 min foi a que proporcionou a maior taxa de eliminação dos íons Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} para a argila Bofe. Os percentuais eliminados atingiram valores da ordem de 72,0% para o Na^+ , 36,0% para o Ca^{2+} e 48,0% para o Mg^{2+} . Correlacionando esses dados com o comportamento reológico, apresentado na Tabela II, observa-se que os valores de VA, VP e VF não apresentaram variações significativas antes e após o processo de eletrodialise na condição supracitada. Para a argila Verde-lodo, a condição de ensaio que proporcionou a maior taxa de eliminação dos íons Ca^{2+} e Mg^{2+} foi a de 10,0 V e 80 min, sendo eliminados percentuais de

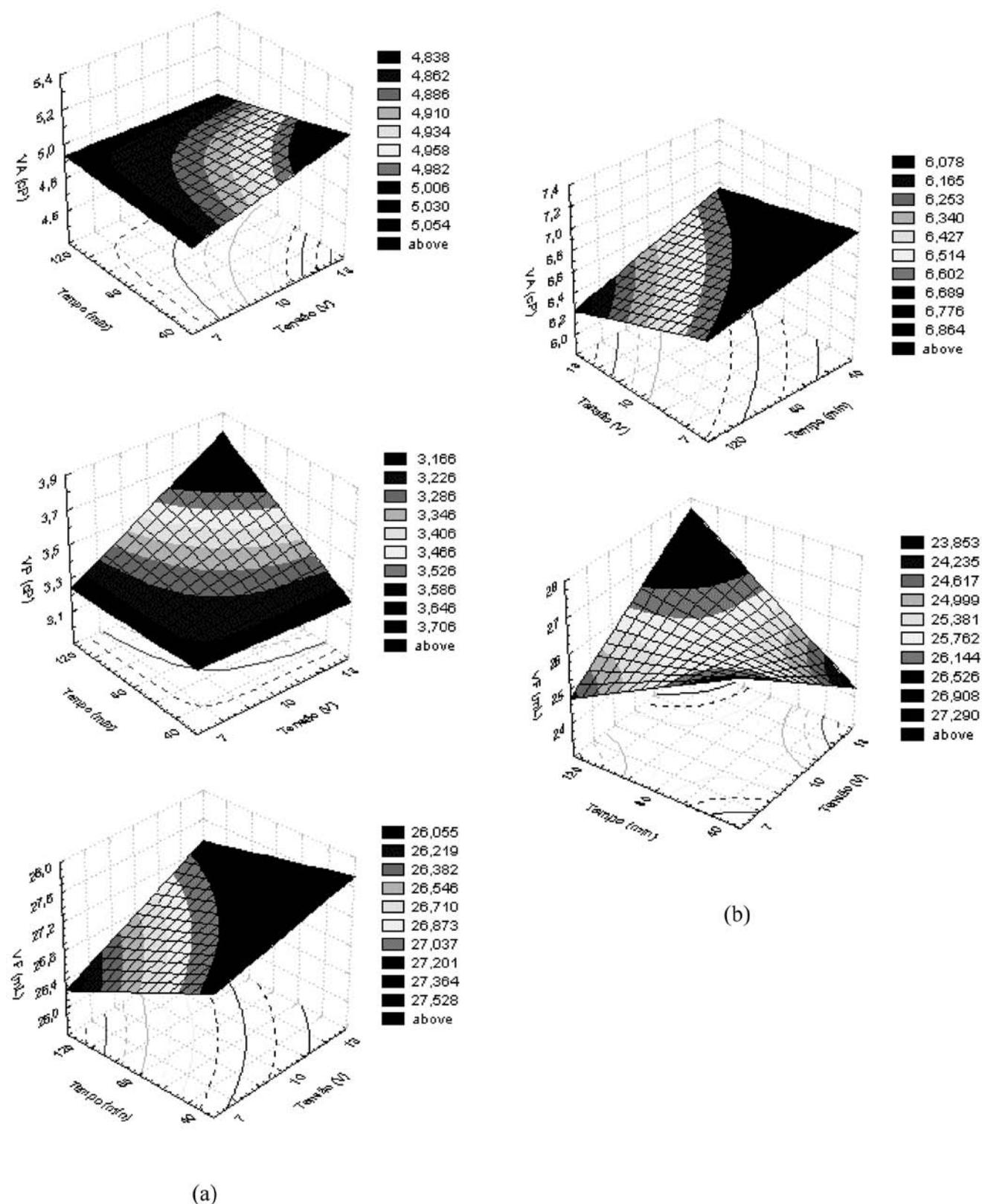


Figura 3: Superfícies de resposta para as propriedades reológicas das dispersões após eletrodiálise e tratadas com 150 meq de $\text{Na}_2\text{CO}_3/100$ g de argila seca (a) VA, VP e VF das dispersões da argila Bofe e (b) VA e VF das dispersões da argila Verde-lodo.

[Figure 3: Response surface of rheological properties of the dispersions after electrodiálise and treated with 150 meq de $\text{Na}_2\text{CO}_3/100$ g dry clay (a) VA, VP and VF of Bofe clay dispersions and (b) VA and VF Verde-lodo clay dispersions.]

Tabela VI – Concentrações de cátions trocáveis das argilas Bofe e Verde-lodo após os ensaios de eletrodialise.
 [Table VI – Exchange cations concentrations of Bofe and Verde-lodo clays after electro dialysis.]

Argila Bofe					
Condições de ensaio	Concentração de íons (meq/100 g de argila seca)				
	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Soma
Sem eletrodialise	17,8	2,9	41,6	35,3	97,6
7,0 V - 40 min	8,4	1,0	27,0	20,2	56,6
13,0 V - 40 min	9,3	2,2	33,9	24,6	70,0
7,0 V - 120 min	12,6	ND	46,1	30,0	88,7
13,0 V - 120 min	5,0	1,9	26,4	18,4	51,7
10,0 V - 80 min*	6,3	0,9	29,5	19,5	56,2
Argila Verde-lodo					
Sem eletrodialise	17,2	2,5	22,3	29,5	71,6
7,0 V - 40 min	11,4	2,6	20,6	26,0	60,3
13,0 V - 40 min	9,6	3,2	20,3	27,3	60,4
7,0 V - 120 min	9,4	ND	19,5	26,1	55,1
13,0 V - 120 min	5,2	3,2	19,9	26,5	54,8
10,0 V - 80 min*	6,8	2,1	17,2	23,0	49,2

*A determinação dos cátions trocáveis para esta condição de ensaio (ensaio no ponto central realizado em triplicata) foi realizada com uma amostra média obtida através da mistura das amostras individuais de cada ensaio. ND: não determinado.

23,0% e 22,0%, respectivamente. Também neste caso, os valores de VA, VP e VF não apresentaram variações significativas antes e após o processo de eletrodialise na condição mencionada (Tabela III). Desta forma, pode-se afirmar que a eliminação de aproximadamente 36,0% de Ca²⁺ e 48,0% de Mg²⁺ da argila Bofe e 23,0% de Ca²⁺ e 22,0% de Mg²⁺ da argila Verde-lodo não interfere no seu comportamento reológico.

CONCLUSÕES

Com o objetivo de avaliar a influência dos cátions Ca²⁺ e Mg²⁺, através da eletrodialise, na reologia de dispersões de argilas bentoníticas de Boa Vista, PB, concluiu-se que:

(i) o processo de eletrodialise remove parcialmente os cátions Na⁺, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ das dispersões das argilas bentoníticas de Boa Vista, PB, sob diferentes taxas de transporte iônico e

(ii) os cátions Ca²⁺ e Mg²⁺ eliminados em proporções de aproximadamente 36,0% de Ca²⁺ e 48,0% de Mg²⁺ da argila Bofe e de 23,0% de Ca²⁺ e 22,0% de Mg²⁺ da argila Verde-lodo não interferem no seu comportamento reológico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Agência Nacional do Petróleo – ANP, ao MCT, a FINEP, ao CNPq e ao CNPq/CTPETRO pelo apoio financeiro .

REFERÊNCIAS

- [1] P. Souza Santos, Estudo Tecnológico de Argilas Montmoriloníticas do Distrito de Boa Vista, Município de Campina Grande, Paraíba, Tese para Concurso à Cátedra de Química Industrial, DEQ, EPUSP, S. Paulo (1968).
- [2] A. R. Zandonadi, Estudos Tecnológicos de Argilas Montmoriloníticas Brasileiras, Tese de Doutorado, IQ, USP, S. Paulo (1972).
- [3] F. R. Valenzuela Díaz, Estudos, em Escala de Laboratório, Visando Corrigir a Viscosidade Plástica Dilatante de Esmectita de Cor Verde-lodo, de Lages, Distrito de Boa Vista, Campina Grande, Paraíba, Dissertação de Mestrado, DEQ, EPUSP, S. Paulo (1983).
- [4] F. R. Valenzuela Díaz, P. Souza Santos, H. C. Ferreira, Cerâmica **32**, 203 (1986) 319.
- [5] P. Souza Santos, Ciência e Tecnologia de Argilas, vol. 2, Editora Edgard Blücher Ltda., S. Paulo, Brasil (1992) 618.
- [6] L. V. Amorim, C. M. Gomes, H. S. Ferreira, F. L. H. da Silva, K. B. França, H. L. Lira, H. C. Ferreira, Anais do 15º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Natal, RN (2002) 273.
- [7] L. V. Amorim, C. M. Gomes, K. B. França, H. L. Lira, H. C. Ferreira, in Proceedings Mat. Res. Soc. Symp., Vol. 752, Materials Research Society, Boston, USA **752** (2002) 1010-1016.
- [8] L. V. Amorim, C. M. Gomes, K. B. França, H. L. Lira, H. C. Ferreira, Anais do 4º Congresso Ibero-Americano em Ciência e Tecnologia de Membranas, Florianópolis, SC

(2003) 493.

[9] L. V. Amorim, C. M. Gomes, F. L. H. da Silva, K. B. França, H. L. Lira, H. C. Ferreira, Anais do 4º Congresso Ibero-Americano em Ciência e Tecnologia de Membranas, Florianópolis, SC (2003) 498.

[10] H. Strathmann, *in* Proceedings of the CEE - Workshop on Membrane Separation Processes, Rio de Janeiro, RJ, (1992) 334-437.

[11] L. E. Applegate, *Chemical Engineering* **91** (1984) 77-88.

[12] M. G. Azevedo, Membranas de troca iônica a base de polímeros termorresistentes para eletrodialise e célula à combustível, Exame de Qualificação, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro (2002).

[13] L. V. Amorim, Melhoria, proteção e recuperação da reologia de fluidos hidroargilosos para uso na perfuração de poços de petróleo, Tese de Doutorado, Engenharia de Processos, UFCG, Campina Grande (2003).

[14] Petrobras, Ensaio de viscosificante para fluido de perfuração base de água na exploração e produção de petróleo, Método, N-2605 (1998).

[15] P. Souza Santos, *Ciência e Tecnologia de Argilas*, vol. 1, Editora Edgard Blücher Ltda., S. Paulo, Brasil (1992) 231.

[16] N. Kabay, M. Demircioglu, E. Ersöz, I. Kurucaovali, *Desalination* **149** (2002) 343-349.

[17] N. Kabay, M. Arda, I. Kurucaovali, E. Ersöz, H. Kahveci, M. Can, S. Dal, S. Kopuzlu, M. Haner, M. Demircioglu, M. Yuksel, *Desalination* **158** (2003) 95-100.

(*Rec. 17/11/2004, Ac. 07/03/2005*)