



PRPG Pró-Reitoria de Pós-Graduação
PIBIC/CNPq/UFPG-2009

AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA HÍBRIDO: MEMBRANAS ELETRODIALÍTICAS/RESINAS PARA FINS DE PRODUÇÃO DE ÁGUAS DE BAIXA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

José Izaquiel Santos da Silva¹, Sidinei Kleber Silva², Kepler Borges França³

RESUMO

Este trabalho teve o objetivo de estudar e avaliar o desempenho do transporte iônico de soluções salinas através de membranas planas eletrodialíticas e de um leito de resinas trocadoras de íons. Utilizou-se para este estudo um sistema eletrodialítico e uma coluna de resina mista. As análises foram feitas considerando a condutividade elétrica, a densidade de corrente e as análises físico-químicas da solução de alimentação e do produto de saída. Os resultados mostraram que a variação da condutividade elétrica do produto e do concentrado depende da concentração inicial da solução. A densidade de corrente para todos os casos estudados tem seu valor aumentado em função da concentração. A variação do pH do produto e do concentrado depende da concentração da solução de alimentação, da velocidade da solução no interior do reator e conseqüentemente do potencial aplicado durante o processo. A limpeza com água deionizada após cada batelada realizada evita incrustações.

Palavras-chave: reator eletrodialítico, resinas de troca iônica, água.

EVALUATION OF A HYBRID SYSTEM: ELECTRODIALYTICAL MEMBRANES/RESINS FOR THE PRODUCTION OF WATER OF LOW ELECTRICAL CONDUCTIVITY

ABSTRACT

This work aimed to study and evaluate the performance of saline solutions of ionic transport through electro-dialytical membranes flat and a bed of ion exchange resin. It was used for this study a electro-dialytical system and a column of resin mixed. The tests were made considering the electrical conductivity, density of current and the physical-chemical analysis of the feed solution and product output. The results showed that the variation of electrical conductivity of the product and the concentrate depends on the initial concentration of the solution. The density of current for all cases has increased its value as a function of concentration. The variation of pH of the product and concentrate the solution depends on the concentration of power, the speed of the solution inside the reactor and consequently the potential applied during the process. The cleaning with deionized water after each batch held prevents fouling.

Keywords: electro-dialytical reactor, ion exchange resins, water.

¹ Aluno de Curso de Graduação em Engenharia Química, Unidade Acadêmica de Engenharia Química, UFPG, Campina Grande, PB, e-mail: izaquiel22@yahoo.com.br

² Engenheira Química, Professor da Universidade Estadual da Paraíba, UEPB, Campina Grande, PB, e-mail: sidinei@labdes.ufcg.edu.br

³ Engenheira Química, Prof. Ph.D, Unidade Acadêmica de Engenharia Química, UFPG, Campina Grande, PB, e-mail: kepler@labdes.ufcg.edu.br

INTRODUÇÃO

A eletrodialise é um processo de separação eletroquímica no qual, membranas semipermeáveis e uma diferença de potencial são usadas para separar espécies iônicas de uma solução aquosa. Presentemente, este processo é amplamente utilizado para dessalinizar águas salobras. Em alguns países, é o principal processo na produção de água potável. Apesar de a dessalinização de águas e a produção de sal sejam as mais importantes aplicações, existem outros empregos significantes para a eletrodialise, tais como: um efetivo controle do meio ambiente, purificação de diversos rejeitos, tratamento de águas industriais residuais, o tratamento de esgotos urbanos, a concentração de vinhoto, e mesmo a concentração do soro obtido como subproduto na manufatura de queijos (Azevedo, 2002 & Bazinet, 2004). Estimuladas pelo desenvolvimento de novas membranas com melhor seletividade, baixa resistência elétrica, e melhores propriedades térmicas, químicas e mecânicas, outras aplicações da eletrodialise tem obtido um amplo campo de interesse mundial (Escudier, Cottureau, & Moutounet, 1989).

A eletrodialise trata-se de uma tecnologia de separação que, em geral, não envolve mudança de fase, o que significa uma economia no consumo de energia, principalmente se comparado aos processos tradicionais. A separação com membranas pode, em muitos casos, melhorar a qualidade do produto final. A dessalinização de águas através da eletrodialise ocorre devido a uma diferença de potencial elétrico nas superfícies de membranas bipolares. Esse tipo de membrana promove eletricamente a difusão acelerada de cátions e ânions através das superfícies das membranas gerando durante o processo, dois efluentes: um com elevada concentração de sais (água concentrada) e outro com uma baixa concentração de sais (água diluída ou dessalinizada).

A purificação de água através de resinas de troca iônica é chamada de desmineralização. Esse processo remove praticamente todos os íons presentes em uma água, através de resinas catiônicas e aniônicas (Filho, 1983). A aplicação de resinas tem se difundido bastante devido a sua gama de aplicabilidade. As resinas são bastante utilizadas em indústrias, na purificação de águas para a alimentação de caldeiras, obtenção de água pura para química fina, extração de materiais orgânicos, extração de colóides, dessalinização de águas, extração de metais pesados (Pohl, 2006), entre vários outros (Dow, 2006).

O desenvolvimento tecnológico da qualidade das resinas catiônicas e aniônicas com relação à seletividade e sua capacidade de troca têm sido estudados e cada vez mais difundidos (Applebaum, 1969). A extração de sais por resinas de troca iônica é uma tecnologia que não envolve mudança de fase, o que significa uma economia no consumo de energia, principalmente comparada aos processos tradicionais (Silva, 2004), toda a água que alimenta o sistema é convertida em água purificada, eliminando a possibilidade de produção de um subproduto não desejado e seu processo de recuperação é simples e barato.

As resinas possuem a capacidade de trocar cátions e ânions dissolvidos na água de alimentação por íons H^+ e ânions OH^- encontrados nas resinas. Quando a troca ocorre, os íons H^+ e OH^- são liberados na água que se encontra em contato com a resina e reagem entre si como forma de neutralizar a água purificada formando, a cada instante, uma nova molécula de água. Assim, este trabalho se propôs a avaliar um sistema híbrido, com membranas eletrodialíticas/resinas com a finalidade de produzir águas de baixa condutividade elétrica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES) no Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande, PB.

Material utilizado no sistema

Para o sistema eletrodialítico:

Policloreto de Vinila (PVC) de 1 (um) cm de espessura; Teflon de 1 mm de espessura; Placas de Titânio de 1 mm de espessura; Parafusos de Cobre de 3/8 polegada; Membranas eletrodialíticas do tipo K-101 (catiônicas) e A-201 (aniônicas) da ASAHI CHEMICAL CO., Japão. ; Válvulas de passagem DECA ½ polegada; Tubos e conexões em PVC de ½ polegada; Tubos plásticos; Recipientes de plásticos com capacidade de 10, 20 e 50 litros; Recipientes plásticos com cerca de 40 ml para amostragens; Vidrarias para análise físico-química.

Para a coluna de resina mista:

Tubulações de Policloreto de Vinila (PVC) de (1/2) cm de espessura de 8 cm de diâmetro; Válvulas

de passagem DECA ½ polegada; Tubos e conexões em PVC de ½ polegada; Tubos plásticos; mangueiras de plásticos de ¼ de polegada; Recipientes plásticos com cerca de 40 ml para amostragens; vidrarias para análise físico-química.

Instrumentação

Para o sistema eletrodialítico:

Fonte retificadora modelo 6545A (0-120V/ 0-1,5^a) da Agilent; Condutivímetro modelo 600 da Analyser; Cronômetro; Rotâmetros; pHmetro digital PG1000 da GEHAKA; Bombas centrífugas 1/20 HP modelo 1.5 Sulplastic; Bomba de imersão 1/200 HP modelo Better – 650.

Para a Coluna de Resina Mista:

Bomba de água ½ HP da DANCOR; Condutivímetro modelo 600 da Analyser; Cronômetro; Rotâmetros; pHmetro digital PG1000 da GEHAKA.

Produtos químicos

Ácido Nítrico da CHEMCO;
Água dessalinizada;
Água deionizada;
Cloreto de Sódio (NaCl) P.A da MERCK.

Metodologia

Sistema Eletrodialítico:

O sistema eletrodialítico é constituído pelo reator eletrodialítico, fonte de alimentação elétrica, sistema hidráulico e equipamentos de medidas e registros de dados, de acordo com a Figura 01.

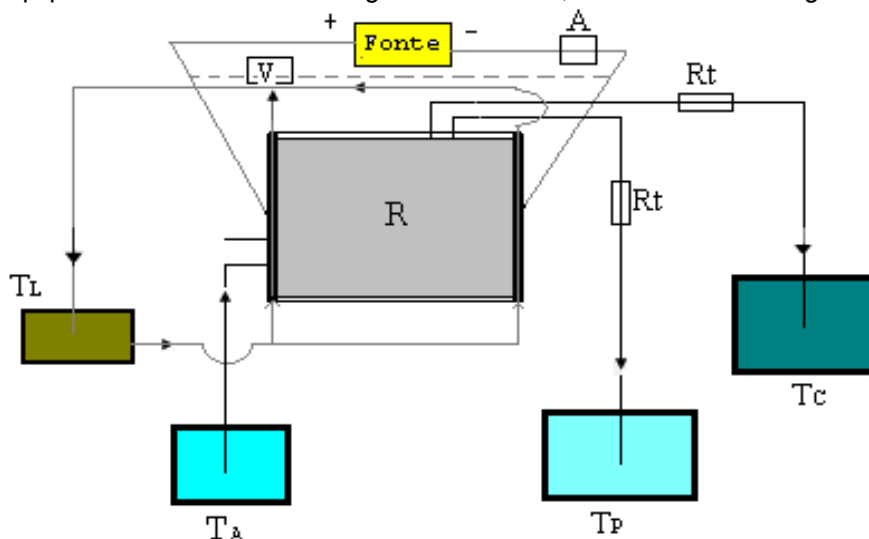


Figura 01. Sistema eletrodialítico.

O Sistema eletrodialítico é composto das seguintes unidades:

Fonte elétrica, R-reator eletrodialítico, T_A-tanque de alimentação (NaCl), T_L – tanque de lavagem, T_P – tanque do produto, T_C – tanque do concentrado, Rt – rotâmetros, A – amperímetro, V – voltímetro.

O reator eletrodialítico é o principal componente deste sistema, contendo um total de dez membranas, sendo cinco catiônicas e cinco aniônicas. As membranas são dispostas alternadamente entre dois eletrodos do reator na seguinte ordem: catiônica e aniônica. Entre cada membrana são colocados os espaçadores de PVC e o teflon, que conduzem o fluxo líquido por entre as membranas eletrodialíticas, proporcionando uma área de troca iônica de 330 cm². Entre as membranas ocorre a entrada da solução de cloreto de sódio, NaCl, impulsionada por bombas centrífugas dos tanques de entrada.

Durante a eletrodialise, formam-se os seguintes compartimentos: água dessalinizada ou diluída e o concentrado.

Os eletrodos utilizados para o cátodo e o ânodo são feitos com placas de titânio com um milímetro de espessura, revestidos por uma camada de cinco milímetros de platina. O conjunto formado por eletrodos, membranas e espaçadores é pressionado entre placas de PVC de 10 mm de espessura, por parafusos de cobre.

Entre cada eletrodo e a membrana vizinha existe um compartimento denominado de compartimento eletródico, com a finalidade de receber um fluxo contínuo de uma solução de ácido nítrico ($\text{pH} = 3$), com o objetivo de lavar as paredes dos eletrodos, evitando a formação de incrustações e para aumentar a densidade de corrente nos mesmos e também carrear gases hidrogênio e cloro formados no cátodo e ânodo, respectivamente.

O reator em estudo apresenta, inicialmente, duas entradas e duas saídas, onde uma delas é dirigida para o produto diluído ou água dessalinizada e a outra para a solução salina de NaCl.

Coluna de Resina de Troca Iônica

Após o processo de dessalinização por eletrodialise, a água dessalinizada produzida passou por um “polimento” em uma coluna de resina mista de troca iônica, obtendo-se uma água com elevada pureza para aplicações em procedimentos analíticos laboratoriais. O Concentrado produzido no processo de eletrodialise foi reaproveitado em um sistema de reciclo do concentrado para a alimentação do eletrolizador.

A Figura 02 ilustra uma visão geral de como ocorre o processo de dessalinização das soluções de NaCl e o “polimento” na água produzida.

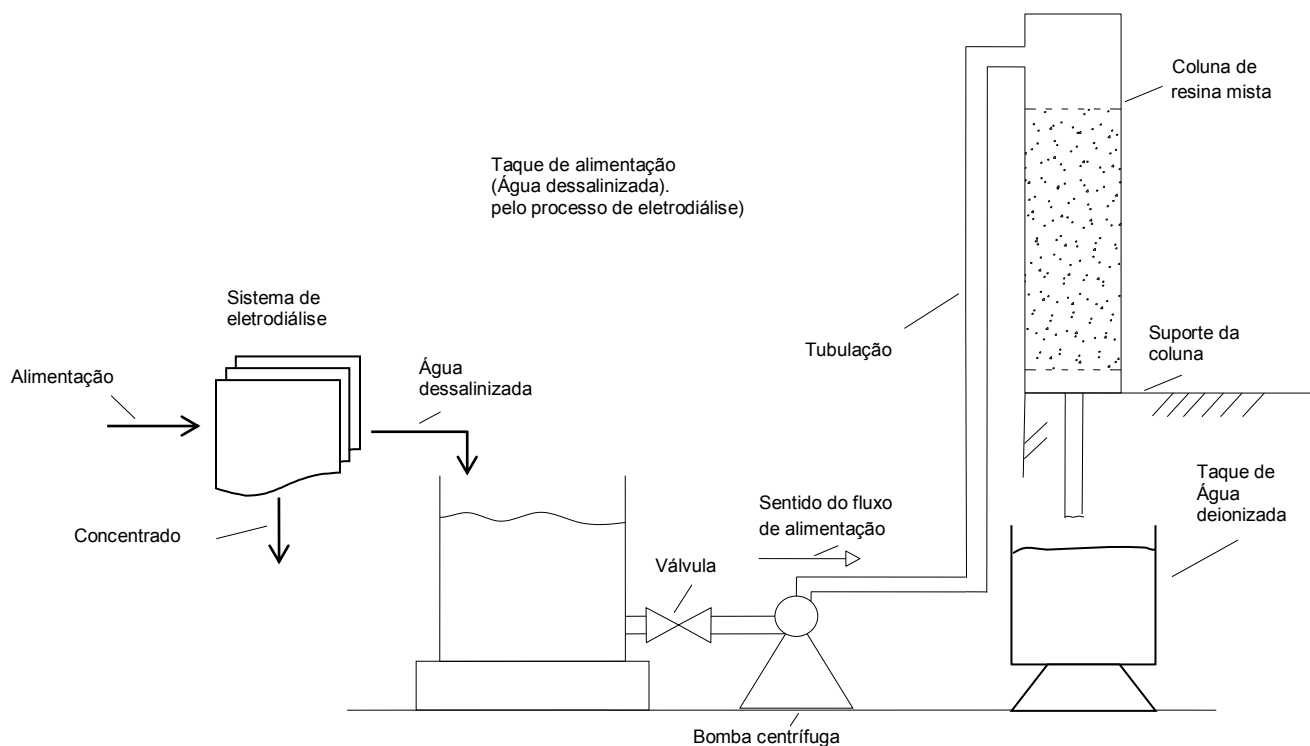


Figura 02. Sistema híbrido de dessalinização de águas.

Procedimento Experimental

Foram realizadas bateladas com concentrações de 1000 e 2000 mg/L. As bateladas foram realizadas sob um efeito de um potencial elétrico de 12 volts à temperatura ambiente. Ao final de cada batelada, o reator eletrodialítico foi lavado com água deionizada

As amostras foram submetidas à passagem pela coluna de resinas de troca iônica para que, assim, fosse obtida água com condutividade elétrica baixa, de valores próximos de zero.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeito da condutividade elétrica

Os gráficos 01 e 02 representam o comportamento da condutividade elétrica dos efluentes do produto e do concentrado em função do tempo com o reator trabalhando em bateladas realizadas com soluções de NaCl de 1000 e 2000 mg/L, respectivamente.

Pode-se observar que a condutividade elétrica do concentrado é sempre maior do que a condutividade elétrica do produto em todos os casos estudados. Isso ocorre devido ao projeto hidrodinâmico do reator e conseqüentemente, da forma como o processo eletrodialítico ocorre no seu interior, uma vez que a corrente do concentrado recebe uma parte do NaCl em solução que não foi convertido, desfavorecendo a taxa de produção do concentrado, que é menor. Isto mostra que a vazão para a corrente do concentrado é sempre maior que a vazão para a corrente do produto.

Em função do potencial elétrico aplicado ocorre o transporte iônico para os compartimentos do produto e concentrado.

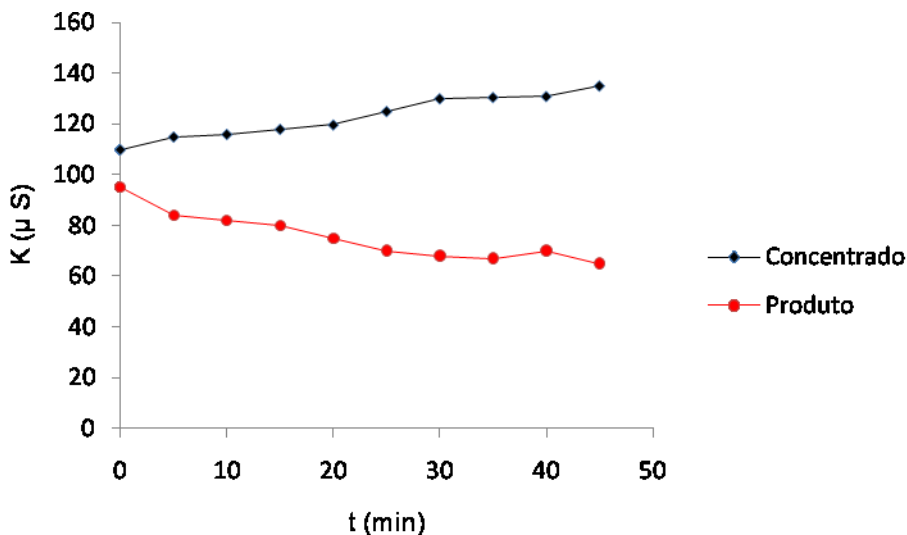


Gráfico 01 – Condutividade elétrica em função do tempo, para a batelada realizada com uma solução de NaCl a 1000 mg/L e $V = 12$ V.

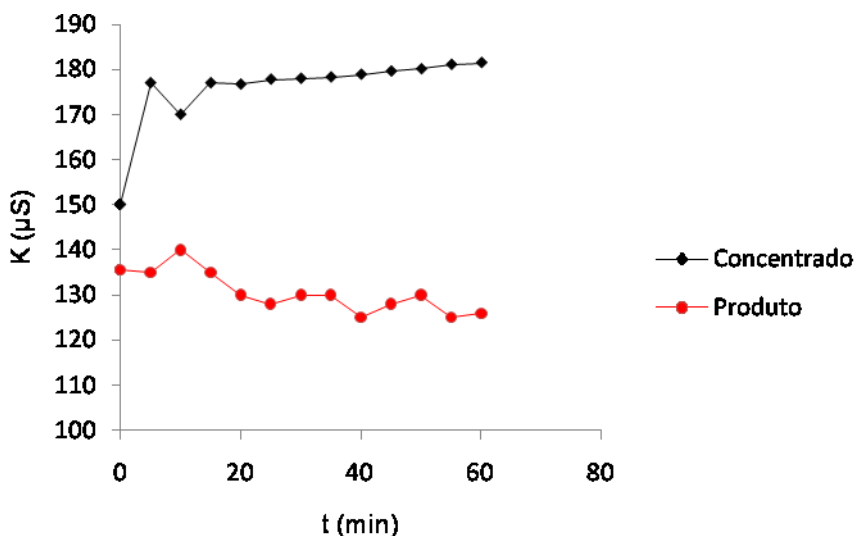


Gráfico 02 – Condutividade elétrica em função do tempo, para a batelada realizada com uma solução de NaCl a 2000 mg/L e $V = 12$ V.

Efeito da densidade de corrente

A densidade de corrente é um parâmetro que representa o potencial do transporte iônico no interior do reator, o qual pode decrescer ou crescer em função do caminho hidrodinâmico oferecido pelos

compartimentos, pela diferença de potencial aplicada e também pela concentração das espécies iônicas presentes (Strathmann, 1992). No presente trabalho, a densidade de corrente foi obtida através da Equação abaixo:

$$J = \frac{I}{A_e}$$

Onde: I = corrente lida durante a dessalinização em Ampéres.

A_e = área efetiva da membrana em cm^2 .

Os gráficos 03 e 04 representam o comportamento da densidade de corrente em função do tempo.

Analisando o gráfico 03, cuja concentração da solução foi de 1000 mg/L, observamos que no início da batelada a função de impulso inicial da densidade de corrente foi decrescente, e logo após cresceu de forma contínua. Por outro lado, a densidade de corrente representada pelo gráfico 04, cuja concentração foi de 2000 mg/L, manteve-se a valores crescentes.

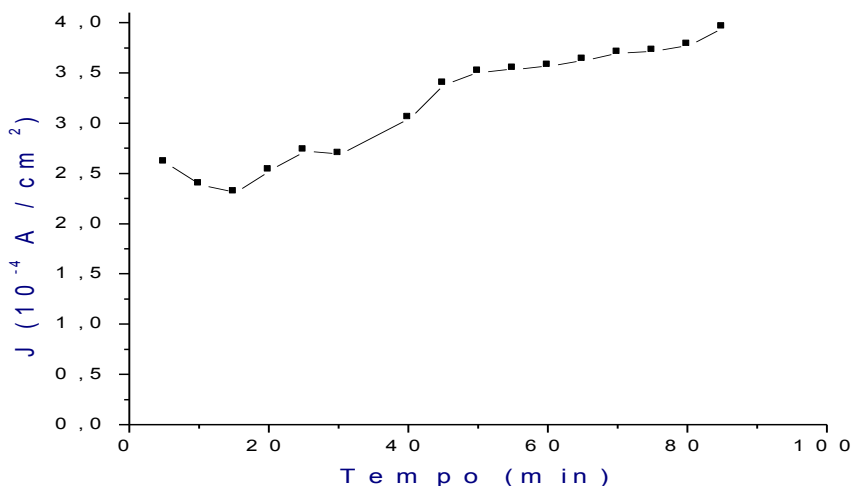


Gráfico 03 - Densidade de corrente elétrica em função do tempo, para a batelada realizada com uma solução de NaCl a 1000 mg/L e V = 12 V.

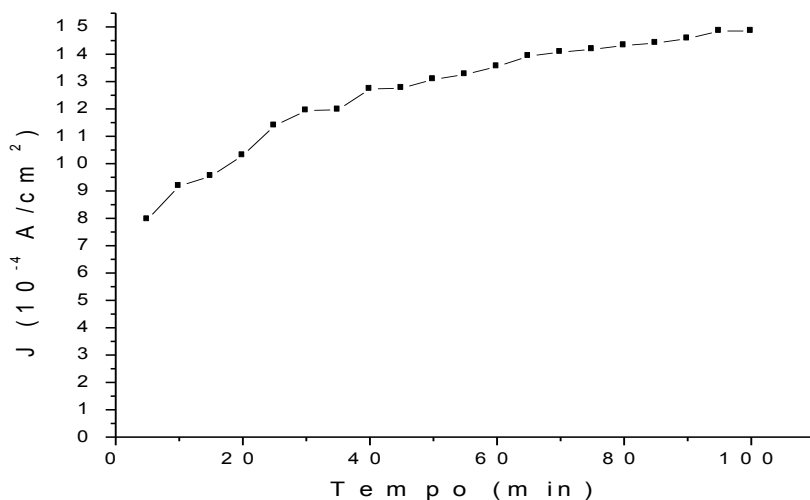


Gráfico 04 - Densidade de corrente elétrica em função do tempo, para a batelada realizada com uma solução de NaCl a 2000 mg/L e V = 12 V.

À medida que o transporte iônico ocorre entre as membranas eletrodialíticas, a densidade de corrente tende a aumentar.

Considerações sobre o efeito do pH

Os gráficos 05 e 06 são referentes ao potencial hidrogeniônico em função do tempo para a corrente do concentrado e o produto.

Pode-se observar com o aumento da concentração de NaCl, ou seja, da solução de alimentação, o pH para a corrente do produto e do concentrado sofre pequenas variações. Observa-se que o valor do pH tende a aumentar para o produto; e, diminuir para o concentrado.

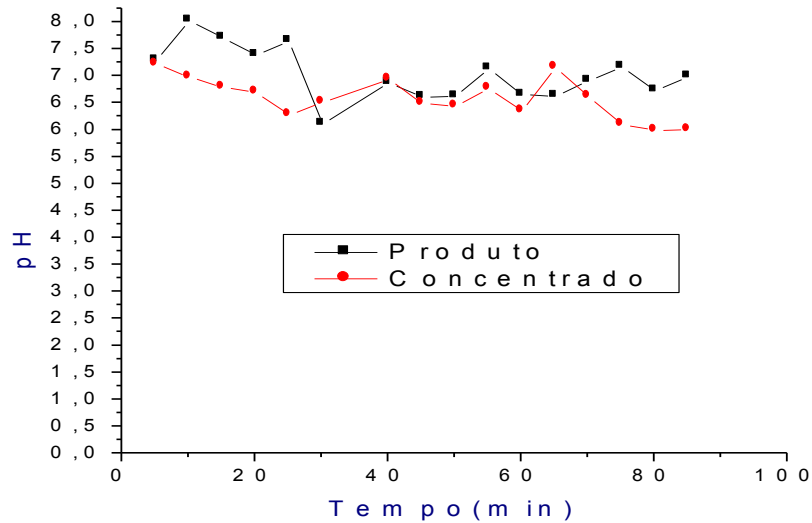


Gráfico 05 – Potencial hidrogeniônico em função do tempo, para a batelada realizada com uma solução de NaCl a 1000 mg/L e $V = 12$ V.

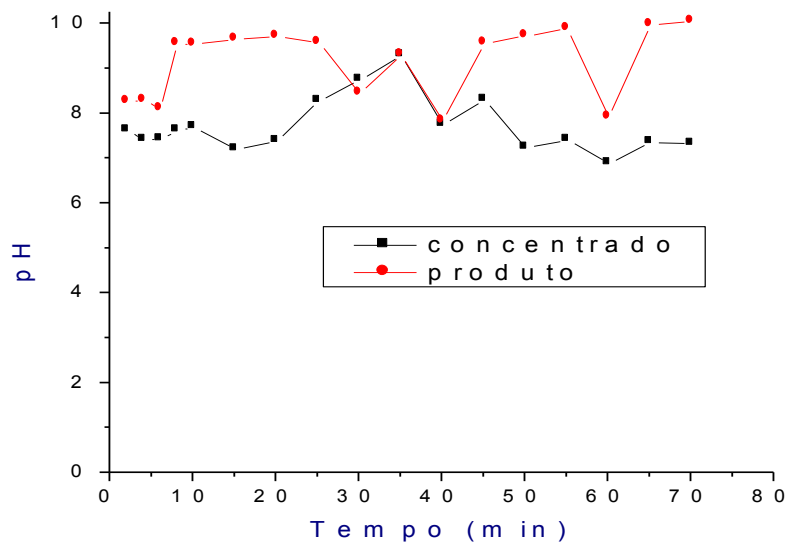


Gráfico 06 – Potencial hidrogeniônico em função do tempo, para a batelada realizada com uma solução de NaCl a 2000 mg/L e $V = 12$ V.

CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos nesta pesquisa experimental, concluiu-se que:

A variação da condutividade elétrica do produto e do concentrado depende da concentração inicial da solução.

A densidade de corrente para todos os casos estudados tem seu valor aumentado em função da concentração.

A variação do pH do produto e do concentrado depende da concentração da solução de alimentação, da velocidade da solução no interior do reator e conseqüentemente do potencial aplicado durante o processo.

A limpeza com água deionizada após cada batelada realizada evita inscrustações.

A água depois de submetida à passagem pelo leito recheado de resinas trocadora de íons apresentou medidas de condutividade elétrica de valores abaixo de 1 μ S, que acarreta numa água de baixa condutividade elétrica.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica; à UFCG e ao LABDES pelo apoio e pelas oportunidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APPLEBAUM, SAMUEL B., **Demineralization By Ion Exchange In Water Treatment And Chemical Processing Of Other Liquids**, Ed. Academi Press, New York and London. p. 1-5. Second printing 1969.

AZEVEDO, M. G. de, *Membranas de troca iônica a base de polímeros termorresistentes para eletrodialise e célula à combustível*, Proposta de pesquisa para Tese de doutorado em Engenharia Química da COPPE, UFRJ, 2002.

BAZINET, L., *Electrodialytic phenomena and their applications in the dairy industry: A review*, [Critical Reviews in Food Science and Nutrition](#), v 44, Issues 7-8, p. 525-544, 2004.

DOW, **Ion Exchange Applications**, http://www.dow.com/liquidseps/prod/ix_apps.htm acessado em 08/04/2006.

ESCUDIER, J. L., COTTEREAU, P. & MOUTOUNET, M., *Electrodialysis Applications in the Treatment of Grape Musts*, Bull. O.I.V., v 62, p 695-696, 1989.

FILHO, D. F. DOS SANTOS, **Tecnologia de Tratamento de Água**, Ed. Livraria NOBEL, 2^a. Edição, 1983. Pág. 60.

POHL, PAWEL, **Application of Ion-Exchange Resins to The Fractionation of Metals in Water**, **Trends in Analytical Chemistry**, Vol. 25, No. 1, 2006.

SILVA, S. K., **Aumento da Vida Útil de Sistemas de Dessalinização no Campo: Análise, Manutenção e Monitoração Remota**, 2004. Dissertação (CTHidro – CNPq), Graduação em Engenharia Química – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 60p. Pág. 4-5.

STRATHMANN, H. *Electrodialysis and Related Processes*. In: Workshop CEE- Brazil on Membrane Separation Processes. Rio de Janeiro, 1992. p. 334-e437.