

# MODELAGEM DE UM REATOR ELETROQUÍMICO DE CONFIGURAÇÃO PERPENDICULAR UTILIZANDO ELETRODOS DE AÇO-INOX 316 E DSA(TI/RU<sub>0,3</sub>TI<sub>0,7</sub>O<sub>2</sub>)<sup>®</sup> EXPANDIDO<sup>1</sup>

Georgiana Maria Vasconcelos Martins<sup>2</sup>

Eudésio Oliveira Vilar<sup>3</sup>

## Resumo

As correlações empíricas apresentam uma importância relevante quando deseja-se ampliar a escala de reatores eletroquímicos o *scale-up* ou *scale-down*. O presente trabalho teve como objetivo estudar a transferência de massa em um reator eletroquímico tubular do tipo PFR (*Plug Flow Reactor*) de configuração perpendicular, utilizando eletrodos comerciais formados por placas perfuradas em aço-inox 316 (contra eletrodo) e placa expandida de DSA(Ti|Ru<sub>0,3</sub>Ti<sub>0,7</sub>O<sub>2</sub>)<sup>®</sup> (eletrodo de trabalho). A técnica eletroquímica empregada foi a eletroredução do ferricianeto de potássio, em meio alcalino, sob regime de controle difusional. A relação entre a influência do escoamento hidrodinâmico sobre o coeficiente médio de transferência de massa foi estabelecida a partir da aplicação do teorema  $\pi$  de Buckingham. Esse teorema é um meio para simplificar um problema físico, empregando a homogeneidade dimensional. Essa análise dimensional é útil para representar e interpretar dados experimentais; problemas difíceis de ser resolvidos com a solução analítica. O modelo empírico encontrado foi expresso pela relação entre o número de Sherwood e o número de Reynolds. A análise comparativa evidenciou um modelo semelhante ao encontrado para um reator eletroquímico do tipo filtro-prensa operando, em regime laminar, completamente desenvolvido.

**Palavras-chave:** Reator eletroquímico; DSA<sup>®</sup>; Modelagem; Aço-inox 316.

## MODELING OF AN ELECTROCHEMICAL REACTOR CONFIGURATION USING ELECTRODES PERPENDICULAR 316 STAINLESS STEEL AND DSA (TI/RU<sub>0,3</sub>TI<sub>0,7</sub>O<sub>2</sub>)<sup>®</sup> EXPANDIDO

### Abstract

The empirical correlations have a great importance when it is desired to expand the scale of electrochemical reactors to "scale-up" or "scale-down". This work aimed to study the mass transfer in a tubular electrochemical reactor type PFR ("Plug Flow Reactor") perpendicular configuration, using commercial electrodes formed by perforated plates in stainless steel 316 (counter electrode) and expanded board DSA (Ti | RU<sub>0,3</sub> Ti<sub>0,7</sub> O<sub>2</sub>)<sup>®</sup> (working electrode). For this we used the technique of electrochemical electro reduction of potassium ferricyanide in alkaline medium, under diffusion control regime. The relationship between the influence of hydrodynamic flow on the mean rate of mass transfer was established from the application of Buckingham  $\pi$  theorem. This theorem is a means of simplifying a physical problem by employing dimensional uniformity. This dimensional analysis is useful to represent and interpret experimental data; difficult problems to be solved with the analytical solution. The empirical model found in this study was expressed by the ratio between the Sherwood number and the Reynolds number. The comparative analysis showed a similar pattern to that found for an electrochemical reactor type filter press operates, laminar, fully developed.

**Key words:** Electrochemical reactor; DSA<sup>®</sup>; Modeling; Stainless steel – 316.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 68<sup>o</sup> Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Mestre. Professora, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, PB, Brasil.

<sup>3</sup> Dr. Professor, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Walsh<sup>(1)</sup> o estudo de transferência de massa em reatores eletroquímicos tem por finalidade a obtenção de um diagnóstico referente à capacidade de conversão do reator durante um determinado processo químico ou eletroquímico. Esta conversão está diretamente relacionada a diversos fatores como: a densidade de corrente elétrica, potencial de célula, o tipo, composição e morfologia dos eletrodos, composição e velocidade de fluxo da espécie eletrolítica, além de outros fenômenos ocorridos na interface eletrodo-eletrólito.

Têm sido reportados na literatura alguns trabalhos de transferência de massa utilizando reatores eletroquímicos de leito, com fluxos de eletrólito e corrente paralelo (*flow-trough*) e perpendicular (*flow-by*), entre eles pode-se destacar: Coueret<sup>(2)</sup> investigou a transferência de massa em regime laminar em um reator eletroquímico de configuração perpendicular de eletrodo poroso percolante de leito fixo de partículas esféricas. No trabalho de Marracino, Coeuret e Langlois<sup>(3)</sup> estudaram a taxa de transferência de massa, usando como eletrodo de trabalho, o feltro de espuma metálica porosa de níquel, com configuração de fluxos de eletrólito e corrente paralelos.

Embora a literatura dos estudos de transferência de massa em reatores de leito fixo, seja antiga. Todavia nas últimas décadas ainda têm despertado o interesse de alguns pesquisadores, entres eles pode-se destacar: Mobarak et al.,<sup>(4)</sup> Soltan et al.,<sup>(5)</sup> Zaki, Nirdosh e Sedahmed,<sup>(6)</sup> os quais estudaram a transferência de massa em células eletroquímicas com e/ou sem a influência de bolhas de gás, da configuração de fluxo de eletrólito e corrente perpendicular.

Segundo Soltan et al.,<sup>(5)</sup> os estudos de transferência de massa em células eletroquímicas com os fluxos de corrente e potencial através de eletrodos de leito fixo, quando são desenvolvidos em células com arranjo de fluxos paralelos, sofrem com a não uniformidade de potencial e distribuição de corrente, ao longo do leito, o que ocasiona baixas conversões de redução de íons presentes no eletrólito, características estas que dificultam, a sua aplicação em escala piloto. Desta forma, para se obter uma distribuição uniforme de potencial e corrente, em um reator com eletrodo de leito fixo, este deve estar operando com fluxos de eletrólito e correntes perpendiculares, pois essa configuração proporciona maiores tempos de residência, maiores conversões por passo, favorecendo a sua aplicação em escala piloto.

O presente trabalho contribui para se estabelecer um modelo de transferência de massa a partir de um reator eletroquímico de leito fixo de configuração perpendicular utilizando como eletrodo de trabalho a placa expandida de DSA(Ti|Ti<sub>0,3</sub>Ru<sub>0,7</sub>O<sub>2</sub>)<sup>®</sup>. A importância deste estudo é que normalmente este tipo de material é frequentemente utilizado como contra-eletrodo (ânodo), devido as suas propriedades semicondutoras (anti-corrosivas). São poucos os trabalhos encontrados na literatura que estudaram a transferência de massa neste material utilizando-o como eletrodo de trabalho.

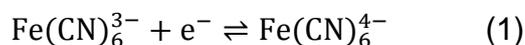
O objetivo principal foi estudar a transferência de massa em um reator eletroquímico tubular do tipo PFR (*Plug Flow Reactor*) de configuração perpendicular, com eletrodos comerciais: o aço inoxidável 316 de placa perfurada (contra eletrodo) e a placa expandida de DSA<sup>®</sup> (eletrodo de trabalho). Dessa forma contribuindo para: propor uma correlação empírica do reator de configuração perpendicular, entre os números adimensionais de Sherwood e Reynolds. Como também para comparar os resultados da correlação empírica proposta com outros modelos encontrados na literatura para células eletroquímicas em condições de trabalho semelhantes.

## 2 MATERIAS E MÉTODOS

Os materiais, os equipamentos, o sistema (reator acoplado ao sistema hidráulico e elétrico) e, principalmente as metodologias, podem ser visualizadas a seguir.

### 2.1 Metodologia Aplicada no Estudo da Transferência de Massa

No estudo da transferência de massa do reator eletroquímico foi utilizada a técnica clássica de eletroredução do íon ferricianeto de potássio, sob regime de controle difusional, em um meio alcalino, utilizando uma concentração de 1N de NaOH, como eletrólito suporte. A reação de redução do íon ferricianeto de potássio nas superfícies catódicas do eletrodo de trabalho (DSA<sup>®</sup>):



A composição do eletrólito utilizada foi constituído por uma concentração de  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  igual a 0,0025 N,  $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$  igual a 0,125 N e de NaOH igual a 1N.

#### 2.1.1 Metodologia da determinação do coeficiente médio da transferência de massa ( $K_d$ )

O método empregado na determinação do coeficiente médio de transferência de massa ( $K_d$ ), foi a polarografia, a qual consiste na varredura de potencial catódico, com o objetivo de conhecer a influência da transferência de massa relacionada às condições hidrodinâmicas do sistema, variando as vazões volumétricas de  $8,33 \cdot 10^{-6}$  a  $194 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ . O método polarográfico foi aplicado utilizando três eletrodos: as placas expandidas do eletrodo de trabalho (DSA<sup>®</sup>), as placas perfuradas do contra eletrodo de aço-inoxidável 316 e um eletrodo de referência ( fio de níquel), seguindo as condições mostrada de Coeuret.<sup>(7)</sup>

A Figura 1 representa o esquema experimental para a determinação do coeficiente médio de transferência de massa ( $K_d$ ).

Os valores da intensidade de corrente em função do potencial catódico de DSA<sup>®</sup>, para a faixa de vazão volumétrica já mencionada, foram obtidos a partir da varredura de potencial (2 mV/s), em relação ao eletrodo de referência ( fio de níquel).

Como o sistema em estudo está sob controle difusional, existindo somente a reação controlada pela transferência de massa. Desta forma, o coeficiente médio de transferência de massa foi obtido aplicando a Equação 2.

$$I_L = v_e \cdot F \cdot K_d \cdot c_{A\infty} \cdot A_e \quad (2)$$

Analisando a Equação 2 observa-se que o coeficiente de transferência de massa, depende da corrente limite e da área eletroquimicamente ativa dos eletrodos de DSA<sup>®</sup>, portanto é indispensável às determinações destes parâmetros. A área ativa dos eletrodos foi determinada geometricamente. Por outro lado, a corrente limite foi determinada, pelo platô de cada polarograma.



**Figura 1.** Representação esquemática do sistema da determinação do coeficiente médio de transferência de massa ( $K_d$ ).<sup>(8)</sup>

### 2.1.2 Metodologias das propriedades físico-químicas do eletrólito

Segue a descrição da determinação dos parâmetros físico-químicos da alíquota da solução utilizada na determinação dos coeficientes de transferência de massa sob influência da faixa da vazão volumétrica apresentada. Os parâmetros determinados foram: coeficiente de difusão ( $D_A$ ), viscosidade cinemática ( $\nu$ ), massa específica ( $\rho$ ) e viscosidade dinâmica ( $\mu$ ). Segue-se a descrição desses parâmetros.

### 2.1.3 Determinação do coeficiente de Difusão, $D_A$

Uma amostra do eletrólito utilizado na transferência de massa, a uma temperatura ambiente, foi conduzida à célula de vidro, onde para cada velocidade de rotação do eletrodo de trabalho na faixa de variação de 26,18 a 314,16  $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ , fez-se uma varredura do potencial. Assim, os valores das correntes limites determinados pelo platô de cada polarograma, correspondente a cada velocidade de rotação do eletrodo compreendida entre a faixa de rotação já mencionada. E com os valores das outras constantes:  $C_{A\infty}$ ,  $F$ ,  $D_A$  e  $A_e$ . Aplica-se a Equação de Levich representada pela Equação 3.

$$I_L = 0,621 \cdot \nu_e \cdot F \cdot C_{A\infty} \cdot D_A^{2/3} \cdot \nu^{-1/6} \cdot \omega^{1/2} \quad (3)$$

### 2.1.4 Determinação da concentração real dos íons ferricianetos

A técnica utilizada foi a titulação amperométrica, a qual consiste em determinar a concentração real do íon ferricianeto, presente na amostra do eletrólito utilizado na determinação dos coeficientes de transferência de massa, sob influência da vazão volumétrica ( $Q_V$ ). Essa técnica consiste em adicionar alíquotas de cloreto de cobalto II à solução amoniacal que contém os íons de ferricianeto até reduzi-los. Com um solução tampão de 3 M de hidróxido de amônio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) e 4 M de cloreto de amônio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) de forma a obter um pH próximo a 10, com o objetivo de evitar a precipitação do íon hexamino cobalto na forma do íon cloreto de cobalto II. A partir de uma solução contendo os íons de ferricianeto, utilizou-se uma célula eletroquímica básica de vidro, termostatizada ( $27^\circ\text{C}$ ) constituída por três eletrodos: o eletrodo de trabalho de disco rotante com pontas de platina, o eletrodo auxiliar de pontas de DSA<sup>®</sup> e o eletrodo de referência de  $\text{Hg}|\text{HgO}|\text{NaOH}$ .

### 2.1.5 Modelagem empírica do sistema em estudo

A análise dimensional foi determinada utilizando o teorema  $\pi$  de Vaschy-Buckingham mostrado em Bird, Stenart e Lightfoot<sup>(9)</sup> e Roma.<sup>(10)</sup> Os parâmetros considerados do sistema de um reator de geometria cilíndrica do tipo *Plug-Flow*.

Para este sistema específico as variáveis repetidas são: coeficiente de difusão ( $D_A$ ), massa específica do fluido ( $\rho$ ) e diâmetro hidráulico do tubo do reator ( $D$ ). Enquanto que os parâmetros variados foram: coeficiente de transferência de massa ( $K_d$ ), velocidade do fluido ( $u$ ) e a viscosidade dinâmica ( $\mu$ ).

A Formação dos grupos  $\pi$ :

- Grupo adimensional  $\pi_1$

$$\pi_1 = f(D_A, \rho, D, K_d) \quad (4)$$

$$\pi_1 = \left(\frac{L^2}{T}\right)^a \cdot \left(\frac{M}{L^3}\right)^b \cdot (L)^c \cdot \left(\frac{L}{T}\right) = 1^0 \quad (5)$$

Determinando os parâmetros ou coeficientes  $a$ ,  $b$  e  $c$  do grupo  $\pi_1$ , tem-se que:

$$M = b = 0 \quad (6)$$

$$L = 2a - 3b + c + 1 = 0 \leftrightarrow c = 1 \quad (7)$$

$$T = -a - 1 = 0 \leftrightarrow a = -1 \quad (8)$$

Substituindo as Equações 6, 7 e 8 nos coeficientes do grupo adimensional:

$$\pi_1 = \frac{D \cdot K_d}{D_A} \quad (9)$$

- Grupo adimensional  $\pi_2$ :

$$\pi_2 = \left(\frac{L^2}{T}\right)^d \cdot \left(\frac{M}{L^3}\right)^e \cdot (L)^f \cdot \left(\frac{M}{L \cdot T}\right) = 1^0 \quad (10)$$

Determinando os parâmetros ou coeficientes  $d$ ,  $e$  e  $f$  do grupo, tem-se que  $\pi_2$ :

$$M = e + 1 = 0 \leftrightarrow e = -1 \quad (11)$$

$$T = -d - 1 = 0 \leftrightarrow d = -1 \quad (12)$$

$$L = 2e - 3e + f = 0 \leftrightarrow f = 0 \quad (13)$$

Substituindo as Equações 11, 12 e 13, nos parâmetros do grupo adimensional  $\pi_2$ :

$$\pi_2 = \frac{\mu}{\rho \cdot D_A} = \frac{\nu}{\mu} \leftrightarrow Sc = \frac{\nu}{\mu} \quad (14)$$

- Grupo adimensional  $\pi_3$ :

$$\pi_3 = \left(\frac{L^2}{T}\right)^g \cdot \left(\frac{M}{L^3}\right)^h \cdot (L)^i \cdot \left(\frac{L}{T}\right) = 1^0 \quad (15)$$

Determinando os parâmetros ou coeficientes  $g$ ,  $h$  e  $i$  do grupo  $\pi_3$ , tem-se que:

$$M = h = 0 \leftrightarrow h = 0 \quad (16)$$

$$L = 2g - 3h + i + 1 = 0 \leftrightarrow i = 0 \quad (17)$$

$$T = -g - 1 = 0 \leftrightarrow g = 0 \quad (18)$$

Relacionando, tem-se que:

$$\frac{D \cdot u}{D_A} \div \frac{D \cdot u}{D_A} \leftrightarrow Re = \frac{D \cdot u \cdot \rho}{\mu} \quad (19)$$

Assim, a correlação proposta que melhor representa o sistema de estudo é representada pela seguinte correlação:

$$Sh = a \cdot Re^b \cdot Sc^c \quad (20)$$

Portanto, para o sistema de estudo a correlação empírica é expressa por:

$$\left(\frac{k_d \cdot D}{D_A}\right) = a \cdot \left(\frac{\rho \cdot u \cdot D}{\mu}\right)^b \quad (21)$$

$$\text{Ou, } Sh = a \cdot (Re)^b$$

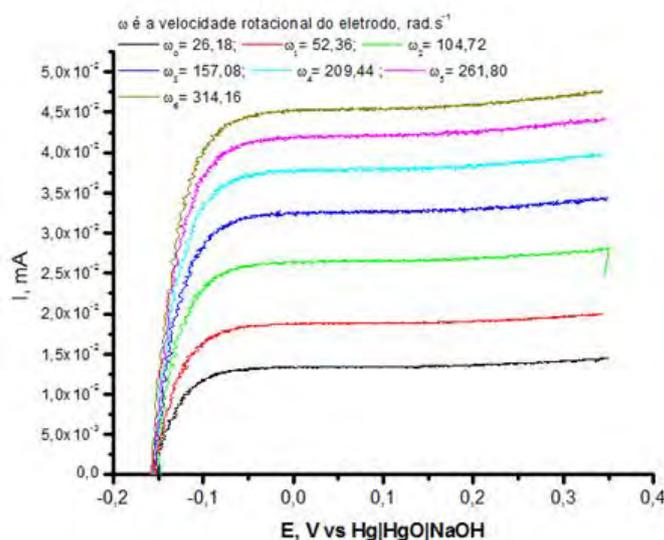
$$(22)$$

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Determinação do Coeficiente de Difusão ( $D_A$ )

A Figura 2 representa as curvas polarográficas de intensidade de corrente versus potencial catódico, para as diferentes velocidades de rotação do eletrodo de trabalho, entre 26,18 a 314,16  $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ , correspondente a faixa mínima e máxima do controlador de velocidade. A partir do platô (região das curvas polarográficas onde a corrente se mantém constante) das curvas da Figura 2 foi possível determinar as correntes limites ( $I_L$ ).

A Figura 3 representa a intensidade de corrente limite ( $I_L$ ) em função da raiz quadrada da velocidade rotacional do eletrodo de trabalho ( $\omega^{1/2}$ ). O perfil das curvas mostra que, o aumento da velocidade de rotação promove um aumento linear da corrente limite que controla o processo de transporte de massa sob controle difusional.



**Figura 2.** Variação da intensidade de corrente em função da variação do sobrepotencial catódico em relação ao eletrododeóxido mercuroso( $\text{Hg}|\text{HgO}|\text{NaOH}$ ).<sup>(8)</sup>

A Equação de ajuste linear da Figura 3 é representada por:

$$I_L = 2,533 \cdot 10^{-6} \cdot \omega^{1/2} - 7,21 \cdot 10^{-7} \quad (23).$$

Com coeficiente de correlação quadrático igual a  $R^2=0,998$ .

A partir da aplicação da Equação de ajuste (Equação 23) e com os valores dos parâmetros: número de elétrons envolvido na reação de redução dos íons ferricianetos, constante de Faraday, concentração real dos íons ferricianetos, viscosidade cinemática e a área da superfície do eletrodo de trabalho, determinou-se o coeficiente de difusão dos íons ferricianeto.

### 3.2 Determinação da Concentração Real dos Íons Ferricianeto

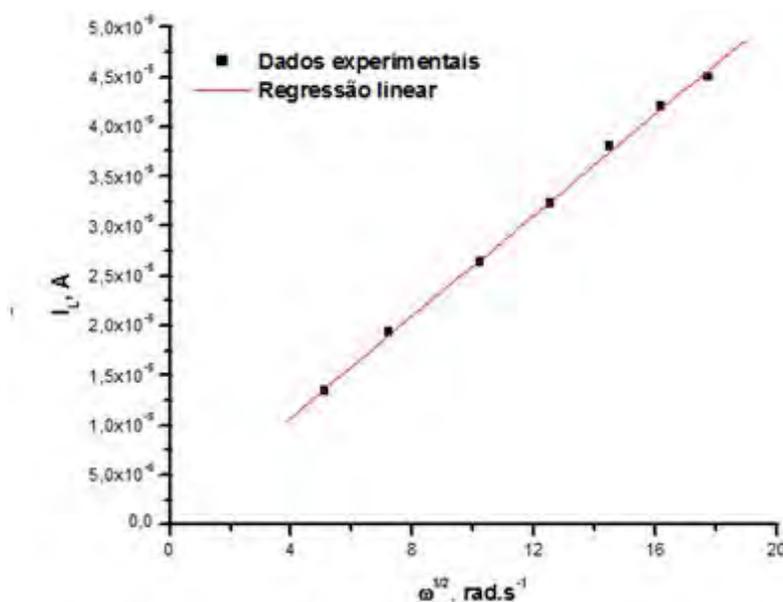
A Figura 4 apresenta as curvas polarográficas do eletrólito. A partir dos aspectos dessas curvas pode-se observar-se que, à medida que se adiciona-se cloreto de cobalto à solução amoniacal, reduz-se significativamente a intensidade de corrente, a qual está associada a redução da concentração dos íons ferricianetos presente na solução.

A tangente de cada curva polarográfica, conforme mostra a Figura 4, representa a intensidade de corrente limite ( $I_L$ ). Com estes valores foi criado um gráfico de corrente limite ( $I_L$ ) em função do volume de cloreto de cobalto, conforme mostra a Figura 5. A partir do perfil da curva observa-se que a corrente limite decresce com o volume de cloreto de cobalto adicionado a solução amoniacal, a qual está associada a redução significativamente da concentração dos íons ferricianetos presente no eletrólito.

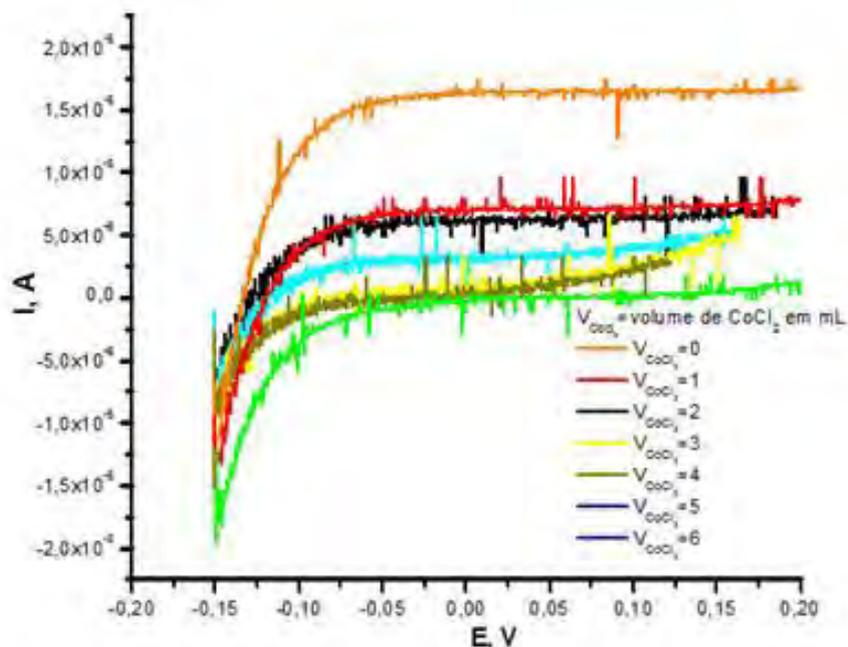
A partir da Equação de ajuste linear da Figura 5 representada por:

$$I_L = 1,43 \cdot 10^{-5} - 3,10 \cdot 10^{-6} \cdot V_{CoCl} \quad (24)$$

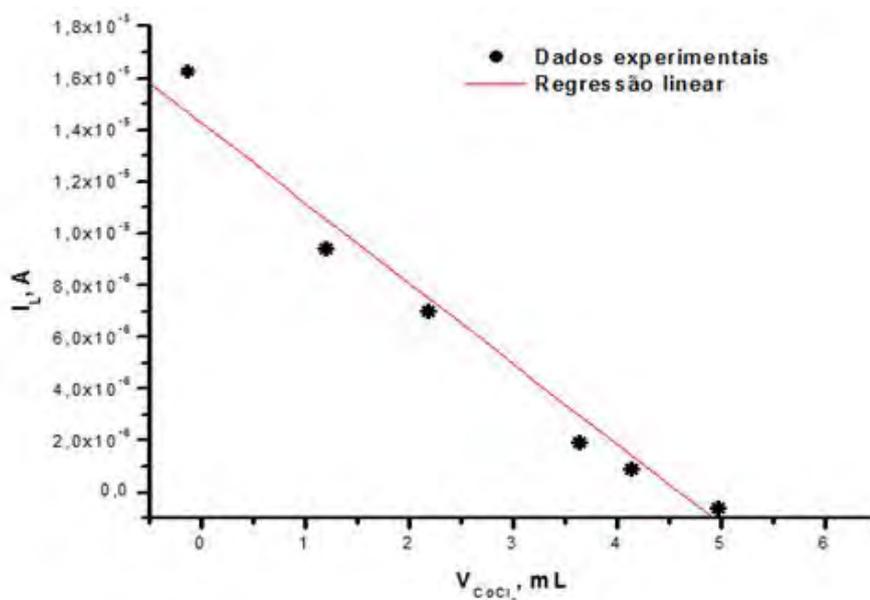
Com coeficiente de correlação quadrado de  $R^2=0,97$ .



**Figura 3.** Variação da intensidade da corrente limite em função da variação da raiz quadrada da velocidade rotacional.<sup>(8)</sup>



**Figura 4.** Variação da intensidade de corrente em função da variação do sobrepotencial catódico em relação ao eletrodo de referência de óxido mercurioso (Hg|HgO/NaOH).<sup>(8)</sup>



**Figura 5.** Variação da intensidade de corrente limite em função do volume do cloreto de cobalto (II).<sup>(8)</sup>

É possível encontrar, a partir da Equação de ajuste (Equação 24) conforme mostra a Figura 5 o volume de cloreto de cobalto necessário para reduzir os íons de ferricianeto presente na amostra, quando a corrente limite reacional é desprezível. O volume encontrado é aproximadamente de 4,76 mL. Em seguida, substitui-se na Equação 25 e, determina-se o valor de  $[Fe(CN)_6^{3-}]$ .

$$C_{\text{amostra}} = \frac{0,0339 \cdot V_{\text{CoCl}_2}}{V_{\text{amostra}}} \quad (25)$$

A Tabela 1 apresenta as propriedades físico-químicas, do eletrólito utilizado nas análises de: concentração real do íon ferricianeto ( $[Fe(CN)_6^{3-}]$ ), viscosidade cinemática ( $\nu$ ), coeficiente de difusão ( $D_A$ ), viscosidade dinâmica ( $\mu$ ) e massa específica ( $\rho$ ).

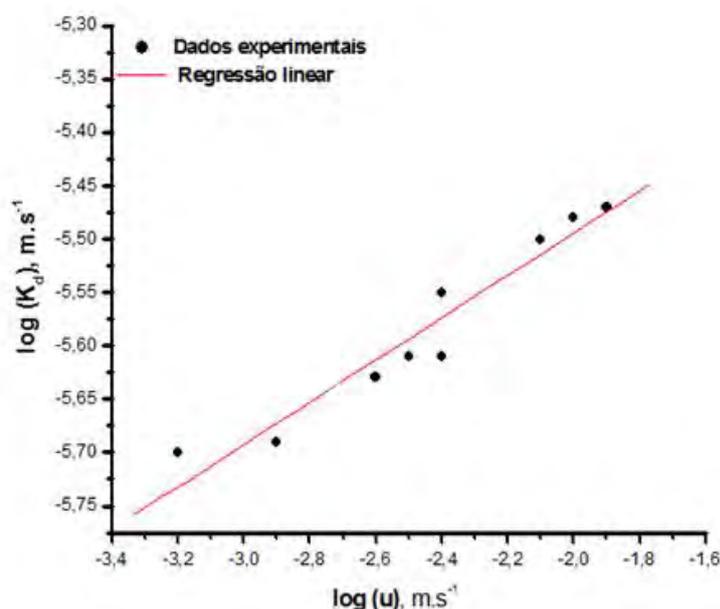
**Tabela 1.** Propriedades físico-químicas da solução eletrolítica, em hidróxido de sódio<sup>(7)</sup>

Dados experimentais
$[\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}] = 0,0032 \text{ mol. L}^{-1}$
$v = 5,50 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
$D_A = 6,150 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
$\mu = 6,265 \cdot 10^{-6} \text{ Kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
$\rho = 1,129 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

### 3.3 Coeficiente Médio de Transferência de Massa ( $K_d$ ) e a Correlação Empírica do Sistema

A Figura 6 representa a curva linearizada do coeficiente médio de transferência de massa (valores experimentais) em função da velocidade de eletrólito ( $u$ ).

De acordo com curva representada pela Figura 6, observa-se que o coeficiente médio de transferência de massa ( $K_d$ ) aumenta com a velocidade do eletrólito. Este perfil pode ser explicado, devido à convecção gerada no sistema na interface eletrólito/eletrodo, proporcionando o transporte mais rápido dos íons, desde seio da solução até a superfície do eletrodo, o que intensifica a cinética de reação e, conseqüentemente aumenta a transferência de massa. A correlação empírica que representa os dados experimentais, do coeficiente médio de transferência de massa e a velocidade de alimentação do eletrólito no reator eletroquímico com eletrodos de aço-316 e DSA<sup>®</sup> e configuração perpendicular, com um coeficiente de correlação quadrado igual a  $R^2 = 0,98$  (Figura 7). Com faixa válida de Reynolds entre  $12,60 < \text{Re} < 158,0$ , um número de Schmidt igual a 9025.

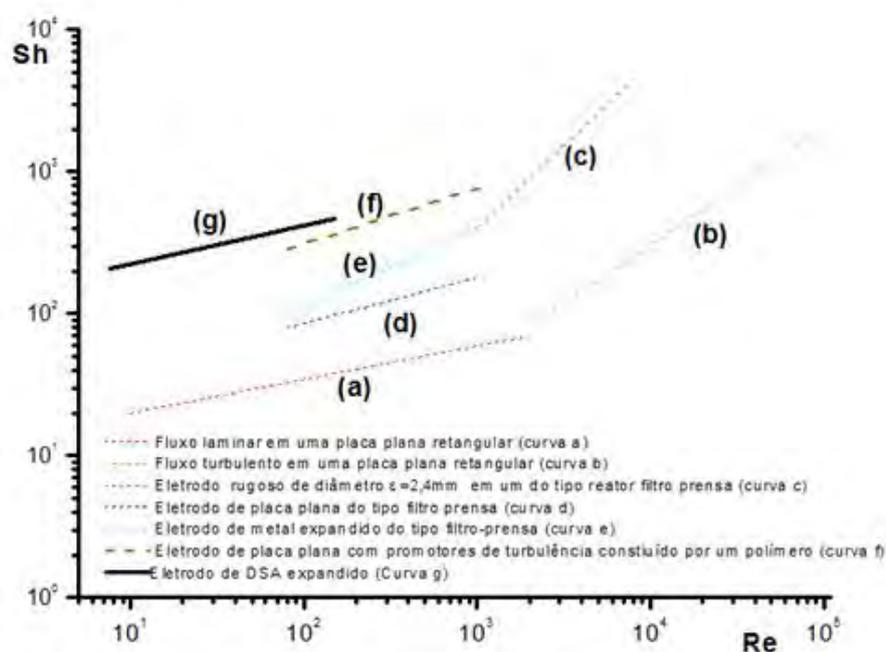


**Figura 6.** Curva linearizada do coeficiente de transferência de massa em função da velocidade do eletrólito ( $u$ ).<sup>(8)</sup>

### 3.4 Correlação Empírica da Célula Eletroquímica Comparada com a Literatura

A Figura 7 representa a comparação da correlação empírica da modelagem do reator cilíndrico (curva g), com as correlações da literatura de Walsh<sup>(1)</sup> e Ralph et. al.<sup>(11)</sup> São elas: fluxo laminar em uma placa plana retangular (curva a), fluxo turbulento em uma placa retangular (curva b), eletrodo rugoso de diâmetro 2,4mm

(curva C), eletrodo de placa plana (curva d), eletrodo de metal expandido (curva e), eletrodo de placa plana com promotores de turbulência constituído por um polímero (curva f), eletrodo de DSA<sup>®</sup> expandido (curva g). A partir da análise do perfil das correlações representadas da Figura 7 verificar que, o perfil da curva g do reator aproximou-se melhor da correlação de um fluido completamente desenvolvido em um reator do tipo filtro-prensa curva a, correlação proposta apresenta o mesmo perfil da correlação representada pela curva a. Desta forma a correlação do presente trabalho está em condições fisicamente semelhantes, embora a correlação do presente estudo esteja sob a ação de forças viscosas mais intensas do que a correlação do reator da curva a. Esse efeito reflete consideravelmente no valor do número adimensional de Schmidt. No caso do presente trabalho o número de Schmidt está trabalhando a 9025 e da correlação do reator do tipo filtro-prensa em uma faixa compreendida entre  $2850 < Sc < 5140$ .



**Figura 7.** Comparação da correlação experimental com as correlações da literatura expressa pelo número de Sherwood (Sh) em função do número de Reynolds (Re).<sup>(8)</sup>

#### 4 CONCLUSÃO

Os resultados experimentais do estudo da transferência de massa em um reator eletroquímico com eletrodos comerciais: o DSA<sup>®</sup> (eletrodo de trabalho) e aço inoxidável 316, de configuração de fluxo perpendicular (*flow-by*), evidenciou que o valor do expoente para o número de Reynolds encontrado pela modelagem é compatível com o regime de escoamento laminar encontrado para o sistema em análise. A comparação da modelagem estabelecida do reator em estudo com à literatura dos reatores do tipo filtro-prensa foi possível verificar que, o perfil da curva da correlação empírica proposta se aproximou melhor a de um fluxo completamente desenvolvido entre placa plana paralela sem um reator do tipo filtro-prensa trabalhando em regime laminar.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro.

## REFERÊNCIAS

- 1 WALSH, F.C. **A first course in electrochemical engineering**. Theelectrochemical Consultancy. England, 1993. p. 77-169.
- 2 COEURET, F. L' Electrode Poreuse Percolante (EPP) - I Transfert de Matiere en Lit Fixe. **Electrochimica. Acta**, França, v. 21, p.185-193, 1975.
- 3 MARRACINO J. M.; COEURET, F.; LANGLOIS, S. A first investigation of flow-through porous electrodes made of metallic felts or foams. **Electrochimica acta**, n.9, v.32, p.1303-1309, 1987.
- 4 MOBARAK,A.A. ;ABDO,M.S.E. ;HASSAN ; SEDAHMED, G.H. Mass transfer behaviour of a flow-by fixed bed electrochemical reactor composed of a vertical stack of screens under single and upward two phase flow. **Journal of Applied Electrochemistry, Alexandria, Egypt.**; v. 30, p. 1269-1276, 2000.
- 5 SOLTAN,E.A.;NOSIER,S.A.;SALEM,A.Y.;MANSOUR,A.S.;SEDAHMED,G.H. Mass transfer behavior of a flow-by fixed bed electrochemical reactor under different hydrodynamic conditions. **Chemical Engineering Journal, Alexandria, Egypt**; v.91, p. 33-44, 2003.
- 6 ZAKI, M.M.; NIRDOSH, I.;SEDAHMED, G.H. Mass transfer inside conical cavities under transverse laminar flow. **Chemical Engineering and Processing, Thunder Bay, Ont., Canada**; v.44, p.1306–1311, 2005.
- 7 COEURET, F. **Introduction a la ingeniería Electroquímica**. 1. ed. Barcelona: Editorial Reverté S.A.,1992. p. 55-94.
- 8 MARTINS, G.M.V. **Modelagem de um reator eletroquímico de configuração perpendicular utilizando eletrodos de aço-316 e DSA (Ti/Ru<sub>0,3</sub>Ti<sub>0,7</sub>O<sub>2</sub>)<sup>®</sup> expandido**. M386m 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, 2009.
- 9 BIRD, R.B.; STEWART, W.E.; LIGHTFOOT,E.N. **Fenômenos de Transporte**. 2.ed. São Paulo: Livros Técnicos Científicos.S.A, 2004.
- 10 ROMA,W. N. L.; **Fenômenos de Transporte para Engenharia**, 2 ed. São Carlos: RiMa, 2006.
- 11 RALPH, T. R.; HITCHMAN, M.L.; MILLINGTON, J.P.; WALSH,F. C. Mass transport in a filterpress reactor and its Enhancement by turbulence promoters. **Electrochimica. Acta**, Chester CHI 6ES, England; v. 41, n. 4, p. 591-603, 1996.