



# ESTUDO DA DISSOLUÇÃO DINÂMICA DO CLORETO DE SÓDIO EM SALMOURA.

S.C. MAGALHÃES<sup>1</sup>, L.F. MARTINS<sup>1</sup>, M.D.C. SILVA<sup>1</sup>, C.M. SCHEID<sup>1</sup> e L.A. CALÇADA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Química  
e-mail: sergio.magalhaes@ufrj.br / sergio1412@gmail.com

**RESUMO** – No cenário da exploração no pré-sal, um problema específico tem sido relatado pela indústria petrolífera a partir do surgimento de cascalhos salinos formados durante a perfuração da composição salina. Estes cascalhos tendem a se dissolver no fluido de perfuração durante seu transporte até a superfície, alterando suas propriedades físicas, dificultando as operações de perfuração. Este trabalho propõe um estudo da dissolução dinâmica de cloreto de sódio em salmouras por meio de duas unidades experimentais, uma unidade de bancada e uma unidade de escoamento. Nesta última, salmoura e partículas de sal escoam juntas configurando uma dissolução dinâmica. Como produto final uma correlação semi-empírica preliminar foi proposta com o objetivo de não somente aferir o coeficiente de transferência de massa do sal em estudo no fluido de interesse, mas também obter preditibilidade a respeito da massa que irá se dissolver sob determinadas condições operacionais.

**PALAVRAS-CHAVE:** pré-sal; dissolução; granulometria.

## 1. INTRODUÇÃO.

Durante as operações de perfuração na camada pré-sal, a indústria petrolífera relata um problema específico, a invasão de particulado salino no fluido de perfuração. Este particulado tem a tendência natural de se dissolver no fluido de perfuração, mudando suas características físicas, prejudicando as manobras de perfuração naquele poço (Thomas, 2004).

Visando este problema, este trabalho traz um estudo da dissolução dinâmica de sal comercial em salmoura, conduzido numa unidade de mistura em bancada e depois em uma unidade de escoamento composta basicamente por calhas, tanques, uma bomba centrífuga, tubos e válvulas.

O estudo propriamente dito centraliza-se no balanço de massa entre a fase sólida e a

líquida e em propostas de correlações empíricas. Como produto final propõe-se uma correlação semi-empírica capaz de prever a dissolução de sais em salmoura levando-se em conta variáveis operacionais como vazão volumétrica de salmoura, vazão mássica de sal, concentração da salmoura, etc.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS.

### 2.1. Desenvolvimento do Modelo Matemático.

O processo dissolutivo adotado neste estudo é dinâmico. Parte-se então da premissa que os fenômenos difusivos envolvidos no processo não são significativos frente aos fenômenos convectivos. A definição de processo dinâmico aqui colocado refere-se à dissolução de cloreto de



sódio sob agitação e/ou escoamento, sendo sua camada limite de transferência de massa constantemente perturbada pelo escoamento do meio solvente (Bird, et al., 2001).

Sob este contexto, a maioria dos sais puramente iônicos segue o modelo de dissolução descrito pela equação 1 (Aksel'rud, et al., 1990):

$$\frac{dm}{dt} = k \cdot A_s \cdot (C_{sat} - C_a) \quad (1)$$

onde  $m$  é a massa de sal que vai para a solução,  $t$  o tempo,  $k$  é o coeficiente de transferência de massa efetivo,  $A_s$  é a área superficial instantânea efetiva para transferência de massa,  $C_{sat}$  é a concentração de saturação do soluto no solvente e  $C_a$  a concentração instantânea do soluto na solução.

Para este estudo, ao invés de massa, trabalhou-se com ganho de concentração na solução, logo a equação 1 resulta na equação 2,

$$\frac{dC_a}{dt} = \frac{k \cdot A_s \cdot (C_{sat} - C_a)}{V} \quad (2)$$

onde  $V$  é o volume da solução.

O volume foi considerado constante, uma vez que o coeficiente de expansão térmica volumétrico para a água é na ordem de  $1,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{C}$ . O coeficiente efetivo de transferência de massa  $k$  é função da interação físico-química entre solvente e soluto. Este coeficiente altera o seu valor quando condições operacionais como grau de agitação, fração volumétrica de sólidos (efeito populacional) e temperatura são alterados. A área superficial para troca mássica varia à medida que íons deixam a formação cristalina, admite-se então que a mesma é uma função da variação da concentração da solução. Para estudar esta relação, as expressões 3, 4 e 5 foram usadas

considerando inicialmente que as partículas de sal são esféricas,

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \quad (3)$$

$$V_s = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \quad (4)$$

$$A_s = 4 \cdot \pi \cdot r^2 \quad (5)$$

onde  $\rho_s$  é a massa específica do sólido,  $m_s$  é a massa de uma partícula,  $V_s$  é o volume de uma partícula,  $A_s$  é a área superficial de uma partícula e  $r$  o raio dessa partícula.

Como os estudos foram executados em uma população de partículas, considerou-se um diâmetro médio. Este diâmetro para efeito de caracterização foi considerado como o diâmetro médio de Sauter, denominado por este trabalho de  $d_{pe}$ . Sua definição pode ser dada pela equação 6 (Massarani, 2001),

$$d_{pe} = \frac{1}{\int_0^1 \frac{dX}{D_p}} \cong \frac{1}{\sum_i \left( \frac{\Delta X}{D_p} \right)_i} \quad (6)$$

onde  $\Delta X$  é a fração mássica retida e  $D_p$  o diâmetro da peneira.

Assim, as relações descritas nas equações 4 e 5 passam a ser descritas pelas equações 7 e 8.

$$V_s = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \left( \frac{d_{pe}}{2} \right)^3 \quad (7)$$

$$A_s = 4 \cdot \pi \cdot \left( \frac{d_{pe}}{2} \right)^2 \quad (8)$$

Substituindo a equação 7 em 3, obtém-se a equação 9:



$$dpe = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot m_s}{\rho_s \cdot \pi}} \quad (9)$$

Substituindo a equação 9 em 8, obtém-se a equação 10:

$$A_s = \pi \cdot \left( \frac{6 \cdot m_s}{\rho_s \cdot \pi} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (10)$$

A equação 10 demonstra uma relação direta entre a área de uma partícula e sua respectiva massa. Como o objeto de interesse é conhecer a área instantânea durante a dissolução, propõe-se uma mudança na equação 10, resultando na expressão 11, que traduz a redução da área em função da dissolução.

$$A_s = \pi \cdot \left( \frac{6 \cdot (m_s - V(Ca - Cai))}{\rho_s \cdot \pi} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (11)$$

onde Ca e Cai são a concentração instantânea e a inicial (no tempo 0) da solução, respectivamente.

Pode-se perceber então que a redução da área será uma função direta do incremento na concentração da solução. Note que se não há incremento (Ca=Cai), não há redução de área.

Para a correção da equação 11 em relação à forma geométrica das partículas, foi introduzido a esfericidade como fator de forma. Para este trabalho o valor deste fator foi arbitrado em 0,7 já que a literatura afirma que partículas advindas de processos de moagem geralmente apresentam esfericidade entre 0,5 e 0,7 (Massarani, 2001).

Além do fator de forma, a equação 11 deve ser generalizada para uma população de partículas, já que a mesma estima a área de uma partícula e os experimentos foram executados em forma de população. Desta maneira a equação 12 foi proposta para

estimar a área total de troca mássica para uma população de partículas de geometria aleatória,

$$A_p = \frac{\pi \cdot Np}{\phi} \cdot \left( \frac{6 \cdot [M_s - V(Ca - Cai)]}{\rho_s \cdot \pi \cdot Np} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (12)$$

onde  $A_p$  é a área total de contato para dissolução,  $\phi$  é o fator de forma esfericidade,  $M_s$  é a massa total da população,  $V$  o volume total da solução,  $\rho_s$  é a massa específica do sólido e  $Np$  o número de partículas da população.

O número de partículas pode ser estimado a partir da razão entre o volume total da amostra e o volume de uma partícula, como mostra a equação 13:

$$Np = \frac{6 \cdot M_s}{\rho_s \cdot \pi \cdot dpe^3} \quad (13)$$

O coeficiente efetivo de transferência de massa é obtido experimentalmente através da resolução das equações 2, 12 e 13. Porém, seu valor é alterado quando condições operacionais como temperatura, grau de agitação e efeito populacional são mudados. Logo se propõe uma correlação empírica que possa prever o valor deste coeficiente frente às variáveis operacionais em questão, com exceção do grau de agitação, que será estudado futuramente. A equação 14 demonstra a correlação proposta, sua construção foi baseada em análise dimensional:

$$k = k_{ref} + \frac{A1 \cdot \left( \frac{T}{T_{ref}} \right)^2 + A2 \cdot \left( \frac{T}{T_{ref}} \right) + A3}{\left( \frac{M_s}{V \cdot (\rho_s - \rho_l)} \right)^{A4}} \quad (14)$$

onde  $k$  é o coeficiente efetivo de troca mássica corrigido,  $k_{ref}$  é o coeficiente efetivo de referência,  $T$  é a temperatura da solução,

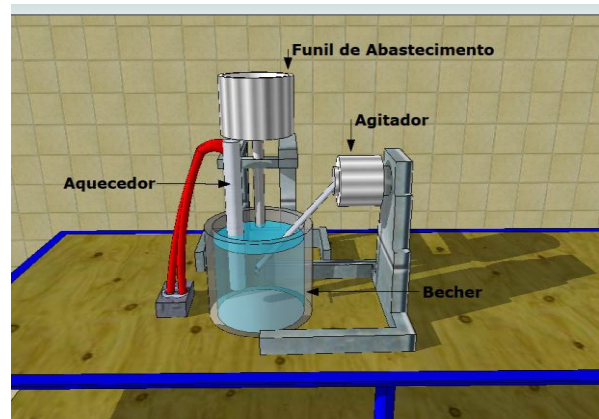


Figura 1 – Desenho esquemático da unidade de mistura de sais em bancada.

$T_{ref}$  é a temperatura de referência,  $M_s$  é a massa total da amostra populacional,  $\rho_s$  é a massa específica do sólido soluto,  $\rho_l$  é a massa específica do líquido solvente,  $V$  o volume da solução e  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  e  $A_4$  são os parâmetros a serem ajustados. Os valores destes parâmetros foram obtidos a partir de uma malha experimental montada baseada em planejamento fatorial. Os resultados constam na próxima seção.

## 2.2. Matéria-Prima.

O sal escolhido para este estudo foi o cloreto de sódio obtido a partir de sal grosso comercial. Sua composição, segundo fabricante, é cloreto de sódio, iodeto de potássio e ferrocianeto de sódio. As amostras de sal foram arranjadas em pequenos recipientes plásticos com aproximadamente 1 kg cada.

Todos os cuidados referentes ao manuseio, homogeneização, estocagem, secagem e testes realizados na matéria-prima podem ser encontrados com detalhes em Magalhães Filho et.al. (2009).

## 2.3. Unidades Experimentais.

Unidade de Bancada: Previamente o estudo foi conduzido em uma unidade de mistura de bancada onde o objetivo foi aferir o coeficiente efetivo de transferência de massa. Desta forma, a idéia inicial era obtê-lo na unidade de bancada e usá-lo no processo dissolutivo da unidade experimental. Na Figura 1 está demonstrado o aparato de bancada.

Neste aparato, a seguinte metodologia foi adotada: após aferir e calibrar a temperatura desejada, o grau de agitação era fixado, e este mesmo grau foi utilizado em todos os experimentos. O tipo de impelidor utilizado foi o “hidrofoil”, onde as 3 pás possuem ângulos e inclinações diferentes.

Para a colocação da amostra dentro do béquer, um funil de aço inox foi utilizado. O volume de solvente utilizado era aferido em balão volumétrico assim como a massa era levada a análise granulométrica onde eram aferidos sua massa total e seu diâmetro médio (Sauter). Ao entrar em contato com a solução o tempo de residência era computado, e aleatoriamente amostras eram recolhidas da solução. As concentrações da solução foram determinadas por técnica gravimétrica em triplicata. Usando a equação 15, e em posse dos dados experimentais da concentração final, foi possível determinar o valor do coeficiente efetivo de transferência de massa.

Unidade de Escoamento: Nas Figuras 2 e 3 é observada a unidade experimental montada para o escoamento do sal no qual o coeficiente será testado.



Figura 2 – Foto da unidade experimental de escoamento de sais.

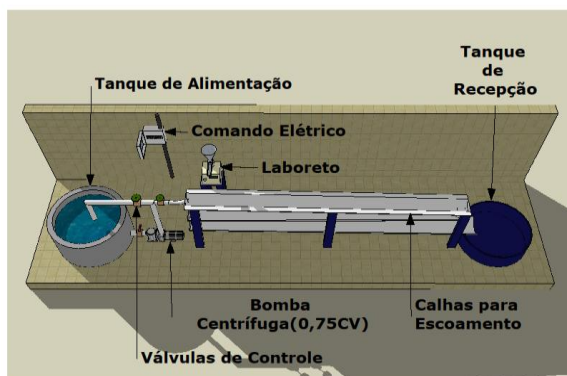


Figura 3 – Desenho esquemático da unidade experimental de escoamento de sais.

O funcionamento da unidade consistia basicamente no bombeamento da salmoura através das calhas, onde o sal era alimentado através de um alimentador de sólidos, em pontos distintos da unidade. Ambos escoavam juntos até o término das calhas, onde sólido e líquido eram recolhidos separadamente por meio de uma peneira. O líquido era estocado no tanque de recepção onde era aferido sua concentração final e o sólido era encaminhado para secagem. Posteriormente, após completamente seco, as partículas eram submetidas à análise granulométrica, podendo assim aferir a massa final restante, concluindo o balanço de massa. Todos os procedimentos, metodologia e testes executados durante os experimentos nesta unidade são relatados com detalhes em Magalhães Filho et al.. (2009).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.

#### 3.1. Determinação do coeficiente efetivo de troca mássica e condições operacionais capazes de alterar seu valor.

Como abordado anteriormente, um ajuste empírico foi proposto, descrito pela equação 14. Para a observação do efeito da variação da temperatura sobre o coeficiente  $k$ , cinco experimentos na unidade de mistura em bancada foram conduzidos em condições operacionais semelhantes apenas variando-se a temperatura. Os valores obtidos para cada um dos coeficientes pode ser observado na Tabela 1. Os coeficientes de transferência de massa foram obtidos através da resolução das equações 2, 12 e 13, de forma numérica.

O coeficiente de referência foi aquele obtido sob uma condição operacional escolhida como referência, a saber, temperatura a  $25^{\circ}\text{C}$ , massa da amostra a aproximadamente 1 kg, volume da solução em 2 litros e dpe a 1,7mm. Logo se conclui que o coeficiente obtido para o experimento 1 da Tabela 1 foi adotado como referência.



Tabela 1 – Determinação do valor do coeficiente efetivo de transferência de massa a diferentes temperaturas.

Exp.	Massa (kg)	Volume (m <sup>3</sup> )	Temp. (°C)	dpe (m)	Conc. Inicial (kg/m <sup>3</sup> )	Conc. Saturação (kg/m <sup>3</sup> )	Conc. Final (kg/m <sup>3</sup> )	Tempo (s)	k.10 <sup>5</sup> (m/s)
1	0,98818	2.10 <sup>-3</sup>	25	1,7.10 <sup>-3</sup>	0	315,6	195,00	20,27	5,75
							251,67	40,50	5,50
							279,33	60,58	5,40
							297,00	90,31	5,02
							301,22	120,61	4,16
$5,17.10^{-5} \pm 0,621.10^{-5}$									
2	1,115	1,5.10 <sup>-3</sup>	35	2,1.10 <sup>-3</sup>	0	315,6	245,33	24,28	5,63
							269,00	30,33	5,93
							282,67	36,96	5,87
							292,33	42,46	5,97
							296,00	48,35	5,62
$5,80.10^{-5} \pm 1,67.10^{-5}$									
3	0,87277	1,5.10 <sup>-3</sup>	45	2,1.10 <sup>-3</sup>	0	315,6	243,00	25,24	7,65
							278,67	39,61	7,67
							296,00	53,91	7,59
							304,00	65,98	7,51
							307,67	74,87	7,45
$7,57.10^{-5} \pm 0,0935.10^{-5}$									
4	0,9794	1,5.10 <sup>-3</sup>	55	1,7.10 <sup>-3</sup>	0	315,6	220,33	12,95	8,01
							254,00	17,47	8,55
							275,33	22,05	8,85
							291,00	27,66	8,99
							304,00	38,27	8,62
$8,60.10^{-5} \pm 0,379.10^{-5}$									
5	0,88792	1,5.10 <sup>-3</sup>	65	2,1.10 <sup>-3</sup>	0	315,6	224,00	14,17	10,7
							253,33	19,59	10,8
							275,00	23,93	11,7
							285,67	29,94	10,9
							297,67	34,56	11,9
$11,21.10^{-5} \pm 0,520.10^{-5}$									

O valor da concentração de saturação do cloreto de sódio utilizado neste trabalho diverge do valor encontrado na literatura, que está em 360 kg/m<sup>3</sup> (Perry, 1980). O valor adotado é o valor experimental da saturação da mistura de sais, em água potável. Testes foram conduzidos em triplicata e o valor médio é aquele apresentado na Tabela 1. Para a avaliação do efeito populacional, comparou-se o k obtido da dissolução de uma população com o k advindo da dissolução de uma partícula isolada, ainda na unidade de bancada. Na Tabela 2 podem ser observados os resultados.

Para o ajuste dos parâmetros da equação 14 uma malha de experimentos com 2 níveis e 3 fatores foi construída, totalizando 8 experimentos (2<sup>3</sup>). Além disto, os 5 experimentos que constam na Tabela 1 foram somadas a malha para contribuir na preditibilidade do modelo. Também foi levantado o erro experimental através da triplicata no ponto central. A Tabela 3 traz os resultados obtidos decorrente da malha de experimentos.

Tabela 2 – Coeficientes de transferência de massa para uma partícula e para população.

T. (°C)	k <sub>méd.</sub> (m/s) populacional	k <sub>méd.</sub> (m/s) 1 partícula
25	$5,17.10^{-5} \pm 6,21.10^{-6}$	$6,05.10^{-5} \pm 0,155.10^{-5}$
35	$5,80.10^{-5} \pm 1,67.10^{-6}$	$6,90.10^{-5} \pm 0,197.10^{-5}$
45	$7,57.10^{-5} \pm 9,35.10^{-7}$	$8,31.10^{-5} \pm 0,415.10^{-5}$
55	$8,60.10^{-5} \pm 3,79.10^{-6}$	$9,40.10^{-5} \pm 0,519.10^{-5}$
65	$11,21.10^{-5} \pm 5,20.10^{-6}$	$13,21.10^{-5} \pm 0,0220.10^{-5}$



Tabela 3 – Valores de coeficiente resultante da malha fatorial.

Exp	Temperatura (°C)	Massa (kg)	Volume (m <sup>3</sup> )	k (m/s)
1	60	0,98287	1,5.10 <sup>-3</sup>	9,52.10 <sup>-5</sup> ± 0,950.10 <sup>-5</sup>
2	40	0,97418	1,5.10 <sup>-3</sup>	7,08.10 <sup>-5</sup> ± 0,111.10 <sup>-5</sup>
3	60	0,48348	1,5.10 <sup>-3</sup>	13,0.10 <sup>-5</sup> ± 0,991.10 <sup>-5</sup>
4	40	0,50282	1,5.10 <sup>-3</sup>	7,0.10 <sup>-5</sup> ± 0,617.10 <sup>-5</sup>
5	60	0,98462	3,0.10 <sup>-3</sup>	12,0.10 <sup>-5</sup> ± 0,227.10 <sup>-5</sup>
6	40	0,99077	3,0.10 <sup>-3</sup>	7,76.10 <sup>-5</sup> ± 0,592.10 <sup>-5</sup>
7	60	0,50230	3,0.10 <sup>-3</sup>	16,6.10 <sup>-5</sup> ± 1,08.10 <sup>-5</sup>
8	40	0,50877	3,0.10 <sup>-3</sup>	9,85.10 <sup>-5</sup> ± 0,777.10 <sup>-5</sup>
9	25	0,99090	2,0.10 <sup>-3</sup>	5,10.10 <sup>-5</sup> ± 0,388.10 <sup>-5</sup>
10	35	1,11500	1,5.10 <sup>-3</sup>	5,80.10 <sup>-5</sup> ± 0,167.10 <sup>-5</sup>
11	45	0,87277	1,5.10 <sup>-3</sup>	7,57.10 <sup>-5</sup> ± 0,093.10 <sup>-5</sup>
12	55	0,97940	1,5.10 <sup>-3</sup>	8,60.10 <sup>-5</sup> ± 0,378.10 <sup>-5</sup>
13	65	0,88792	1,5.10 <sup>-3</sup>	11,2.10 <sup>-5</sup> ± 0,520.10 <sup>-5</sup>
14	50	0,76306	2,25.10 <sup>-3</sup>	10,7.10 <sup>-5</sup> ± 0,372.10 <sup>-5</sup>
15	50	0,75172	2,25.10 <sup>-3</sup>	11,0.10 <sup>-5</sup> ± 0,444.10 <sup>-5</sup>
16	50	0,75593	2,25.10 <sup>-3</sup>	10,6.10 <sup>-5</sup> ± 0,779.10 <sup>-5</sup>

Observando a Tabela 3, nos pontos 14 a 16, que são os experimentos em triplicata, verifica-se que o coeficiente de variância em relação ao coeficiente k está em aproximadamente 1,6%. Fazendo uso do software STATISTICA® para a regressão não linear dos dados obtém-se os seguintes valores para os parâmetros propostos, organizados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados dos parâmetros ajustados para a proposta da equação 14.

A1	3,01.10 <sup>-6</sup>
A2	1,21.10 <sup>-5</sup>
A3	-1,60.10 <sup>-5</sup>
A4	0,70

A análise dos resíduos consta nas Figuras 4 e 5, onde também pode ser avaliado o desempenho do ajuste.

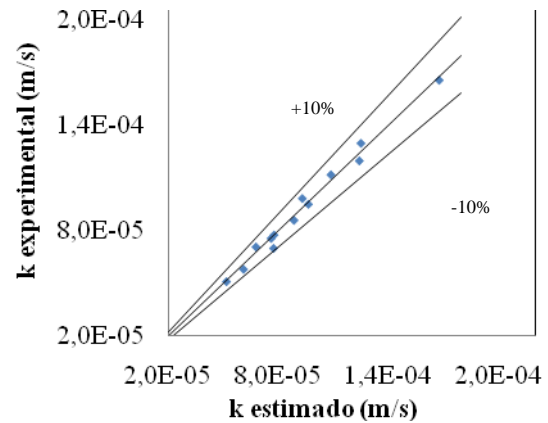


Figura 4 – Desvios entre valores de k estimados e experimentais.

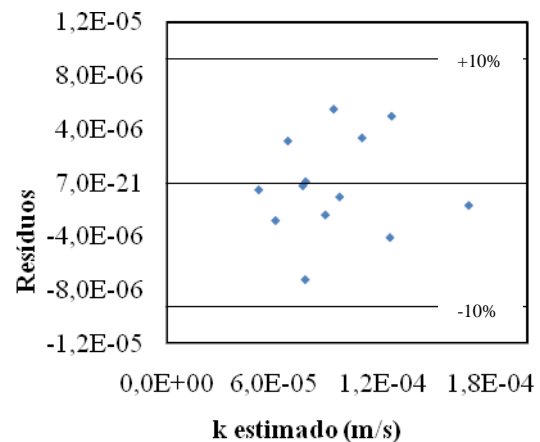


Figura 5 – Análise dos resíduos de k estimado.

Por meio da Figura 4 pode-se observar que os desvios entre os valores de k experimentais e estimados não ultrapassam 10%, bem como isto é corroborado na Figura 5.

### 3.2. Avaliação da capacidade preditiva do modelo para experimentos na unidade em bancada.

Com os parâmetros da equação 14 obtidos, as equações 2, 12, 13 e 14 foram utilizadas de forma preditiva em relação à concentração final de uma solução após certo tempo t de contato entre as fases soluto e



solvente. Para verificar o desempenho desta preditibilidade mais dois experimentos foram conduzidos na unidade de bancada, em condições operacionais aleatórias. Na Tabela 5 são observados os resultados para os desvios existentes entre a concentração final experimental e a estimada pelo modelo, estes desvios não passam de 6%. A Tabela 5 foi deslocada para a próxima página por questões de formatação.

### 3.3. Avaliação da capacidade preditiva do modelo para experimentos na unidade de escoamento de sais.

Para os experimentos executados na unidade de escoamento, a Tabela 6 traz a malha experimental montada.

Tabela 6 – Malha experimental para os testes na unidade experimental.

Exp	Conc. Inicial Média (g/l)	Vazão Mássica Média (g/s)	Comp. de escoamento (m)	Temp. Média (°C)	Vazão Vol. Média (l/s)
1	93,16	11,75	18	30	0,54
2	93,16	24,92	18	30	0,54
3	93,16	11,75	6	30	0,54
4	93,16	24,92	6	30	0,54
5	93,16	11,75	6	30	0,96
6	93,16	24,92	18	30	0,96
7	93,16	11,75	18	30	0,96
8	93,16	24,92	6	30	0,96
9	181,39	11,75	18	30	0,54
10	181,39	24,92	18	30	0,54
11	181,39	24,92	6	30	0,54
12	181,39	11,75	6	30	0,54
13	181,39	11,75	6	30	0,96
14	181,39	24,92	18	30	0,96
15	181,39	11,75	18	30	0,96
16	181,39	24,92	6	30	0,96

A Tabela 7 traz a comparação entre os valores experimentais de concentração inicial e final e os previstos pelo modelo.

Tabela 7 – Resultados obtidos para as concentrações experimentais e as previstas pelo modelo na dissolução dinâmica da unidade de escoamento.

Exp.	Conc. Inicial Aferida (Salmoura) (g/l)	Conc. Final Aferida (g/l)	Conc. Final Predita (g/l)	Desvio Relativo (%)
1	94,0	105,67	110,54	4,61
2	94,0	119,33	125,30	5,00
3	94,0	104,33	107,97	3,49
4	94,0	110,00	108,76	1,13
5	92,3	98,33	97,90	0,44
6	92,3	109,33	109,87	0,49
7	93,3	104,33	103,94	0,37
8	93,3	103,33	103,09	0,23
9	182,30	191,33	195,12	1,98
10	182,30	200,67	203,15	1,24
11	182,30	197,67	192,02	2,86
12	182,30	191,00	185,66	2,80
13	183,00	186,33	188,70	1,27
14	183,00	192,33	195,79	1,80
15	178,30	182,67	185,06	1,31
16	178,30	183,00	182,58	0,23

Analisando a Tabela 7 pode-se observar que os desvios não ultrapassam 5%. Isto indica que o modelo independe do tipo de configuração adotada para a dissolução, desde que seja dinâmica.

## 4. CONCLUSÕES.

Neste trabalho foi proposta uma expressão para o coeficiente convectivo de transferência de massa na dissolução de sais. As correlações propostas foram utilizadas para descrever a dissolução. Os resultados apresentaram concordância entre os dados experimentais e os simulados para a unidade piloto.





Tabela 5 – Avaliação da preditibilidade do modelo proposto acoplado ao ajuste empírico.

Exp.	Massa (kg)	Volume (m <sup>3</sup> )	Temp. (°C)	dpe (m)	Conc. Inicial (kg/m <sup>3</sup> )	Conc. Saturação (kg/m <sup>3</sup> )	Tempo de Contato (s)	Conc. Final Aferida (kg/m <sup>3</sup> )	Conc. Final Estimada (kg/m <sup>3</sup> )	Desvio Relativo (%)
1	0,9806	1,5.10 <sup>-3</sup>	51	1,75.10 <sup>-3</sup>	0	315,6	15,76	239,50	248,70	3,84
							19,18	256,00	269,10	5,12
							25,16	277,67	287,89	3,68
							29,18	288,67	295,70	2,44
							32,91	296,00	299,60	1,22
2	0,9911	3.10 <sup>-3</sup>	40	1,74.10 <sup>-3</sup>	0	315,6	13,25	143,67	150,70	4,89
							17,40	170,67	175,50	2,83
							21,35	185,00	190,30	2,86
							25,31	196,00	206,00	5,10
							30,31	210,49	217,50	3,33

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

AKSEL'RUD, G.A, BOIKO, A.E, KASHCHEEV, A.E. "Kinetics of the solution of mineral salts suspended in a liquid flow".UDC 532.73-3. SPE (Society of Petroleum Engineers).

BIRD, R.B, STEWART, W.E & LIGHTFOOT, E.N."Transport Phenomena". Second Edition. Chemical Engineering Department. University of Wisconsin-Madison.

MASSARANI, G. "Fluidodinâmica em Sistemas Particulados". Programa de Engenharia Química, COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.

MAGALHAES FILHO, S.C., MARTINS, A.L., CALÇADA, L.A. & SCHEID, C.M. "Estudo Preliminar da Dinâmica de Dissolução de sais". Artigo aceito para publicação, Enemp 2009. Campinas, SP.

PERRY, R. H. & CHILTON, H. C. Manual de Engenharia Química. 5ª edição. Editora Guanabara Dois, São Paulo: 1980.

THOMAS, J. E. Fundamentos de Engenharia de Petróleo. 2ª edição. Editora Interciência, 2004.