

***EFEITOS DO CAMPO MAGNÉTICO EM SOLUÇÕES AQUOSAS**

Autores: F.J.G. Landgraf, P.M.P. Garcia, J. G. Poço, M. Giuliatti
landgraf@ipt.br
Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT)

RESUMO

A literatura internacional já reconhece como fato o papel positivo do campo magnético na redução da incrustação de carbonato de cálcio em tubulações onde a água passa por algum aquecimento. A evidência mais amplamente reconhecida é o aumento da fração de aragonita em detrimento de calcita nas soluções aquosas expostas ao campo magnético. Uma característica intrigante do fenômeno é o “efeito memória”, ou seja, a solução tem comportamento alterado mesmo horas depois de cessada a aplicação do campo magnético. Não há, entretanto, modelo teórico que explique convincentemente o fenômeno. Nem há consenso sobre o efeito em variáveis físicas das soluções. O presente trabalho avalia o efeito da exposição de soluções aquosas contendo carbonato de cálcio ao campo magnético na condutividade elétrica, pH e tensão superficial.

Palavra Chave: Campo Magnético; Efeito Memória; Incrustação do Carbonato de Cálcio.

INTRODUÇÃO

Incrustação em tubulações é um grande problema para a indústria e para residências, prejudicando a vazão de água em caldeiras e centrais de aquecimento. Darvill estimou que, só na Inglaterra, a incrustação custa, anualmente, 1 bilhão de libras (Dar 93). De acordo com a Water Quality Association dos EUA, incrustação é o principal tema na qualidade da água (Raf 00). Incrustação pode ser formada por distintas espécies químicas (sulfato de cálcio, sulfato de bário, fosfato de cálcio, hidróxido de magnésio, fosfato de zinco, hidróxido de ferro, sílica, mas o carbonato de cálcio é a fonte mais comum (Bak 96). Os casos mais graves estão associados à cristalização de carbonato de cálcio em situações de aquecimento de água dura, pois a solubilidade do carbonato cai com o aumento da temperatura. Para ser mais preciso, é necessário diferenciar a solubilidade do carbonato de cálcio em água sem CO₂, que é muito baixa (7ppm à 25° C) e aumenta com a temperatura, da solubilidade em água com CO₂ dissolvido, que é muito mais alta (acima de 400ppm) e decresce com a temperatura. Em presença de CO₂ na água forma-se o bicarbonato. A solubilidade depende também da presença de outros sais (que aumentam a solubilidade do carbonato de cálcio), do pH).

A gravidade do problema depende da “dureza” da água: quanto mais “dura”, maior a incrustação que ela promove. A dureza da água é uma medida da quantidade de sais dissolvidos. A dureza é expressa em partes por milhão de massa de sólidos dissolvidos. É praticamente o mesmo que miligramas por litro. Alguém acostumado com água com dureza de 35ppm consegue diferenciar, pelo gosto, tato e ação de lavagem, uma água com 125ppm de dureza. A maioria das pessoas

identifica como dura uma água com 150ppm. Água com 175ppm de dureza já exige o uso de amaciantes.

As soluções mais comuns para o problema da incrustação incluem a pré-precipitação do incrustante por cal ou carbonato de sódio, a adição de reagentes inibidores da incrustação (em geral EDTA - ácido etilenodiaminotetraacético ou seu sal de sódio – que prendem os íons metálicos eliminando seu caráter iônico), e a substituição do incrustante por íons solúveis (em geral sódio), por troca iônica em zeólitas ou resinas (02Bri). Todos esses métodos são eficazes, mas alteram a química da solução e podem ser caros (96Bak). Uma solução alternativa, objeto deste trabalho, é a aplicação de campo magnético. Há dezenas de anos afirma-se que o problema pode ser minimizado, ou até eliminado, com a colocação de ímãs à montante da região de aquecimento da água. O baixo custo dessa alternativa vem impulsionando o uso de sistemas contendo ímãs no controle da incrustação: Não há custos operacional, só o investimento.

Um dos aspectos intrigantes dos fenômenos envolvidos nessa aplicação está associado ao fato de que, nas aplicações declaradamente bem sucedidas, os ímãs são colocados em posições tais que a solução aquosa é exposta ao campo magnético antes do seu aquecimento, ou seja, pode-se falar da “memória magnética” da solução: seu comportamento continuará alterado mesmo após cessada a aplicação do campo magnético.

Até o momento não há teoria científica que explique o fenômeno do efeito do campo magnético na alteração do comportamento das soluções, nem a tal “memória”. A explicação freqüentemente mencionada na propaganda dos vários produtos disponíveis internacionalmente para essa finalidade, confunde o comportamento eletricamente “polar” da molécula de água com possíveis efeitos dos “pólos” magnéticos dos ímãs, que “alinhariam” as moléculas da água, alterando seu comportamento. Vasta literatura científica já foi publicada sobre o tema, a grande maioria com uma abordagem empírica, buscando determinar em quais circunstâncias ocorre o fenômeno. Os resultados, entretanto, têm sido desconcertantes. Tomando como exemplo o possível efeito do campo no pH das soluções, trabalhos não científicos citam uma redução de 0,5 quando o pH é básico, outros comentam a ausência de efeito quando o pH é neutro e outros mostram aumento do pH numa solução ácida.

Uma das poucas evidências reproduzíveis é o efeito do campo magnético sobre a forma cristalina do carbonato formado, seja o carbonato estável, calcita, ou os carbonatos metaestáveis, aragonita ou vaterita. Quando água contendo carbonato de cálcio é exposta ao campo magnético e subsequentemente aquecida, a solubilidade cai e formam-se cristais de calcita. Esses cristais tendem a aderir-se à superfície das tubulações, causando a incrustação. Quando exposta a um campo magnético da ordem de 0,1T, não ocorre incrustação e aumenta a fração de cristais de aragonita (uma outra forma cristalina do carbonato de cálcio). Entretanto, é relevante destacar que se o efeito vem ganhando credibilidade, ainda não foi encontrada uma explicação para o fenômeno. Artigos mencionam que, sob campo magnético, aumenta a freqüência de ocorrência da aragonita. Isso, entretanto, depende da temperatura de cristalização da fase: entre 80 e 100° C, ocorre uma inversão, é normal formar a aragonita, mas sob campo magnético forma-se calcita.

Baker e Judd (96Bak) fizeram uma boa revisão sobre o efeito do campo magnético na incrustação na revista *Water Research*, uma das mais importantes da área. Segundo eles, os mecanismos propostos para explicar os efeitos podem ser agrupados em quatro categorias, sendo a última a mais provável:

- Efeitos infra-atômicos (por exemplo, mudanças na configuração eletrônica)
- Efeitos de contaminação (devido à dissolução assistida por campo magnético)
- Efeito intermoleculares/iônicos (por exemplo, mudanças na coordenação água-ion)
- Efeitos interfaciais (distorção da dupla camada)

Coe (00Coe) confirmou a ocorrência da aragonita e a permanência do efeito por centenas de horas. Listou 3 hipóteses para explicar a ocorrência de aragonita, supondo que o campo promova a sua nucleação quando a solução é exposta ao campo, considerando que os núcleos sejam estáveis por centenas de horas após a exposição e que cresçam quando a água é aquecida. :

- (i) O campo pode reduzir a energia de um núcleo devido a uma diferença de susceptibilidade magnética com as redondezas, supondo que o núcleo tenha íons contaminantes paramagnéticos. Ele considera esta hipótese pouco provável, pois análises por microsonda não encontraram ferro nem manganês nos cristais de aragonita. Mesmo que houvesse da ordem de 1at% no núcleo, a alteração de energia seria da ordem de 10^{-2} J/mol.
- (ii) Ocorrência de aglomerados de hidróxido de Mn ou Fe que podem agir como nucleação heterogênea. A energia de aglomerados superparamagnéticos seria da ordem de 1J/mol.
- (iii) Modificação da concentração iônica local via força de Lorentz $qv \times B$. Fazendo uma analogia com o efeito Hall, cátions e ânions sofreriam deflexões em direções opostas, quando se movimentassem num campo magnético. Assumindo $v=1\text{m/s}$ e $B=0,1\text{T}$ chega-se a uma densidade de carga superficial de 10^{-11}C/m^2 . Essa carga corresponde a uma mudança de concentração local. Supondo uma camada de 1nm, isso corresponderia a mudança de concentração da ordem de $1\mu\text{M}$, o que é 3 ordens de magnitude menor que a concentração de carbonato de cálcio.

A hipótese central de Coey (o efeito se daria na etapa da nucleação) não contempla o fenômeno identificado por Higashitani e outros (93Hig) e confirmado por Barrett e Parsons (98Bar), de que a exposição de uma solução de carbonato de sódio ao campo magnético leva à cristalização de aragonita (em vez de calcita), quando misturada com cloreto de cálcio. Esse resultado sugere que o efeito do campo magnético se dá na solução aquosa, e não na nucleação da cristalização.

Estudo feito por Alexandre Magno de Freitas demonstrou que o campo magnético altera a solubilidade, a largura da zona metaestável (ΔT entre T do limite de solubilidade e T de início de cristalização) e as taxas de nucleação e de crescimento cristalino do sulfato de zinco (diamagnético) em solução aquosa, mas não a do sulfato de cobre (paramagnético) em solução aquosa (00Fre). Observou também que há efeito de memória magnética na solução de sulfato de zinco.

Rocha, da Petrobrás, reportou a ocorrência de efeito do campo magnético na viscosidade de petróleos nacionais (98Roc).

A literatura não científica (presente nos catálogos de fabricantes de equipamentos) tem mencionado efeitos na tensão superficial das soluções e no potencial zeta de partículas em suspensão. Autores poloneses (02Hol) avaliaram o efeito no potencial zeta, com resultados pouco claros.

Um problema adicional é que só foi sistematicamente comprovado o efeito da exposição da solução a campo magnético no tipo de carbonato formado. Outros efeitos tem sido mencionados (alteração do pH, da condutividade elétrica, da tensão superficial, do potencial zeta), mas nenhum deles está repetidamente comprovado.

A falta de um modelo explicativo impede qualquer veleidade de “projeto de engenharia” de dispositivos de controle de incrustação, e seu uso é feito com base num empirismo não sistemático.

Existe literatura não científica informando que a exposição de água ao campo magnético promove uma redução de 10% na tensão superficial da água (veja p. ex. www.aqua-correct.dk). O Lab. De Materiais Têxteis do IPT fez, a pedidos de um vendedor desse tipo de equipamento, medidas do efeito do campo magnético na tensão superficial de água “de torneira” (02Mal), reportando que água exposta ao campo magnético teve sua tensão superficial reduzida de 71 para 65mN/m e que esse efeito desapareceu em alguns minutos. Experimentos recentes feitos no mesmo laboratório, com água deionizada (condutividade elétrica de 1,2 μ S/ cm) não mostraram qualquer efeito, mantendo-se a tensão em 71mN/m. Isso sugere que o efeito deve estar associado com os sais em solução na água “de torneira” (condutividade elétrica de 60 μ S/ cm). O presente trabalho mostra os resultados das tentativas frustradas de identificar alterações no comportamento da água, num trabalho de iniciação científica de Priscila M.P. Garcia.

MATERIAIS E MÉTODOS

Tipo De Soluções Usadas Para a Experiência

Como o caso industrial mais importante é a incrustação de carbonato de cálcio, pretenderam-se soluções aquosas com solução dessa substância. Entretanto, a solubilização de calcita é muito lenta. Foram preparadas duas soluções, por dois métodos diferentes.

1°- Solução de CaCO₃

Formada pela dissolução de CaCO₃ na água por tempo prolongado a 50°C; essa solução foi armazenada por 2 meses. Reteve um resíduo sólido no fundo, que foi removido através de filtragem. Baseada na condutividade elétrica medida (150 μ S/ cm), admite-se que seu teor de soluto seja de 230ppm.

2°- Solução de CaCO₃ a partir de Ca (OH)₂

Trabalho adaptado do apresentado no CBECIMAT 2004

Autores Landgraf, Garcia, Poço e Giulietti

Porto Alegre, dezembro de 2004

Como a solubilidade de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ é muito maior, objetivou-se formar CaCO_3 a partir da dissolução de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e borbulhamento de CO_2 . A solução foi armazenada por 2 meses. Baseada na condutividade elétrica medida ($250 \mu\text{S}/\text{cm}$), admite-se que seu teor de soluto seja de 400ppm.

3°- Água Deionizada

A água deionizada era coletada no laboratório todas as vezes que se realizava nova experiência.

4°- Água Destilada

A água destilada era coletada da torneira do próprio laboratório todas vezes que foi utilizada. Após algum tempo deixou de ser utilizada por questão de desconfiança de qualidade, onde não havia uma estabilidade de pH e condutividade.

5°- Água “Torneiral”

A água “torneiral” foi coletada da torneira do laboratório todas vezes que foi utilizada para novas medições.

Equipamentos utilizados

Medidor de pH

Foi utilizado um pH-metro marca Digimed modelo dmph-2, que possui registrador gráfico, titulado automático, Karl Fischer e eletrodo combinado. Dispõe de um multímetro padrão de 6½ dígitos.

Define-se o pH como sendo o co-logaritmo decimal da concentração dos íons de hidrogênio presentes na solução, medidos em g/ L. Matematicamente a definição de pH é dada por:

$\text{pH} = -\log([\text{H}^+])$, em que $[\text{H}^+]$ representa a concentração dos íons de hidrogênio medida em íon g/ L).

Calibração

O eletrodo é colocado em solução tampão de 7 pH e 4 pH (padrão NBS-National Bureal of Standard) e efetuadas medidas em mV. Com os dados obtidos, o microprocessador efetua os cálculos percentuais do mesmo, baseado na teoria de Nerst. Essa calibração foi realizada sempre que se utilizou o aparelho.

Medidor de Condutividade

Foi utilizado um condutivímetro marca Digimed modelo cd-21, que dispõe de um display com 3 ½ dígitos que fornece os valores diretamente em condutividade. A chave seletora de escala varia

Trabalho adaptado do apresentado no CBECIMAT 2004

Autores Landgraf, Garcia, Poço e Giulietti

Porto Alegre, dezembro de 2004

de 0,01 a 2000 μ S/ cm. Além da troca do fundo de escala, mudam-se as condições de leitura com a troca de frequência 1 a 2000 μ S/ cm, sendo assim, o valor de medida de uma escala, não necessariamente corresponderá ao mesmo valor lido em outra escala.

Calibração

A calibração foi feita antes de cada conjunto de medidas, usando as soluções padrão de 146,9 e 1412 μ S/ cm.

Medidor de tensão superficial

Foram usados dois métodos: o tensiômetro de anel e o Sensadine

Tensiômetro de Anel

Trata-se de um anel de arame com uma alça, acoplado a uma balança. Mergulha-se o anel no líquido, e depois se mede a força necessária para romper o menisco. O tensiômetro foi calibrado medindo-se água deionizada, cuja tensão superficial é conhecida e da ordem de 70 mN/m.

Tensiômetro Sensadine

Esse outro teste feito com um equipamento computadorizado e com software especial para tensão superficial. A realização das medições é se com a pressão do nitrogênio a 148bar.

Calibração

Água quente de 60 a 70 °C, para alta calibração.

Água Destilada em um Becker com banho de gelo de 0 °C, para baixa calibração.

Álcool absoluto, para baixa calibração.

Um termômetro de mercúrio para medir a tempera das soluções para que se coloca o valor medido.

E novamente água destilada em um Becker com banho de gelo de 0 °C, para baixa calibração.

Após a realização dessas etapas o equipamento estava pronto para uso, à calibração foi feita sempre antes das medições ou pelo menos uma vez no dia.

MÉTODO EXPERIMENTAL

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da aplicação do campo magnético em certas propriedades físicas daquelas soluções aquosas já mencionadas. Como o campo magnético é normalmente usado em circuitos de água corrente, nas aplicações comerciais, condição similar foi criada em laboratório. A figura 1 descreve o método de circulação das soluções, que inclui um tanque, uma tubulação e uma bomba de água. A água é succionada da parte inferior do tanque e realimentada na parte superior do tanque. A vazão da solução foi de 0,057 l/min. Foram utilizados duas derivações, na tubulação de borracha, uma com ímã e outra sem ímã. O campo magnético presente no motor elétrico da bomba d'água é inferior a 0,002T. Campo magnético foi aplicado na solução por meio de quatro ímãs de

Trabalho adaptado do apresentado no CBECIMAT 2004

Autores Landgraf, Garcia, Poço e Giulietti

Porto Alegre, dezembro de 2004

neodímio ferro boro, que aplicavam um campo de 0,45T. A solução circulou por 15 min sem campo. Depois disso se retirava uma pequena amostra (100ml) num Becker, para imediatamente após serem realizadas as medições de pH e condutividade e tensão superficial. O mesmo procedimento foi aplicado em mais 4 amostras, uma a cada 5 min. No final de cada experiência tinha-se um total de 5 amostras. A temperatura ambiente foi medida com um termômetro de mercúrio. Completadas as cinco medidas, alteravam-se a circulação da solução para aplicar campo magnético, como mostrado na figura 2.

Como referência, após as 5 medidas de cada aplicação, media-se a propriedade de água deionizada colocada em um bécker.

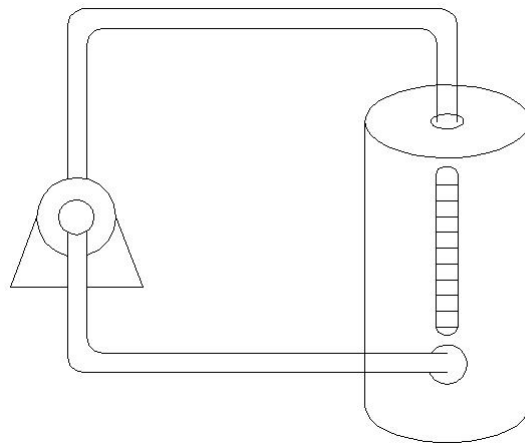


Figura 1: Equipamento sem aplicação do campo magnético.

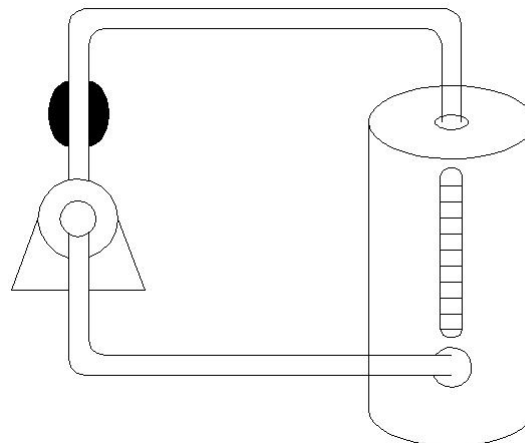


Figura 2: Equipamento com aplicação do campo magnético.

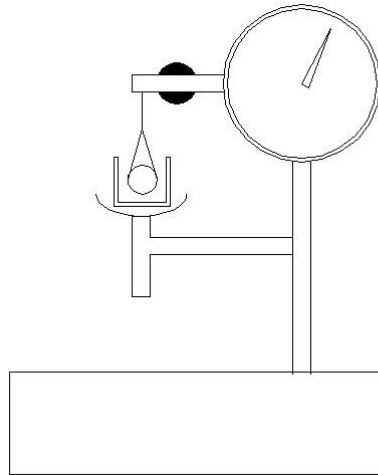


Figura 3: Tensiômetro de Anel.

RESULTADOS

A Figuras 4a e 4b mostram o efeito do campo magnético em oito séries de medidas de condutividade elétrica e pH de uma mesma solução aquosa, produzida a partir da solubilização de CaCO_3 e repetidamente ensaiada ao longo de vários meses. O valor médio de condutividade observado na Figura 4^a, da ordem de $150 \mu\text{S}/\text{cm}$. **Água dura tem condutividade a partir de quanto?** A Figura 4a mostra que não se pode dizer que há uma mudança da condutividade elétrica da solução após a aplicação do campo magnético. Cada ponto é o valor médio de 5 determinações. O desvio padrão de cada conjunto de 5 determinações é da ordem de $2 \mu\text{S}/\text{cm}$, mas a variação das medidas em dias sucessivos é surpreendentemente grande, dez vezes maior. Cada conjunto de 10 determinações foi feito num dia, sendo 5 sem campo e depois 5 após passagem pelo campo magnético descrito na Figura 2. O ensaio seguinte foi feito pelo menos 3 dias depois. Não temos explicações para as variações de condutividade entre conjuntos de ensaios.

A Figura 4b mostra que o valor médio do pH é ligeiramente básico, compatível com a presença de carbonato de cálcio em solução. A medida do pH da solução era feita logo antes da medida de condutividade. Existe uma tendência dos valores de pH serem sistematicamente maiores após a aplicação do campo, mas a variação é da ordem de 0,1. Também ocorreu uma variação do valor do pH da solução ao longo do tempo, com um padrão de variação oposto ao da condutividade: quando esta crescia, aquela diminuía. Os desvios padrão podem ser vistos no Anexo 1.

A Figura 5^a mostra o efeito do campo magnético em seis séries de medidas de condutividade elétrica e pH em uma solução aquosa de CaCO_3 produzida a partir da dissolução de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e borbulhamento de CO_2 . A condutividade dessa solução é maior, refletindo maior quantidade de soluto, mas o pH é semelhante. Repetindo o comportamento da Figura 4, não foi possível detectar um efeito do campo magnético na condutividade, mas a mesma ligeira tendência de maior pH após exposição ao campo magnético foi observada.

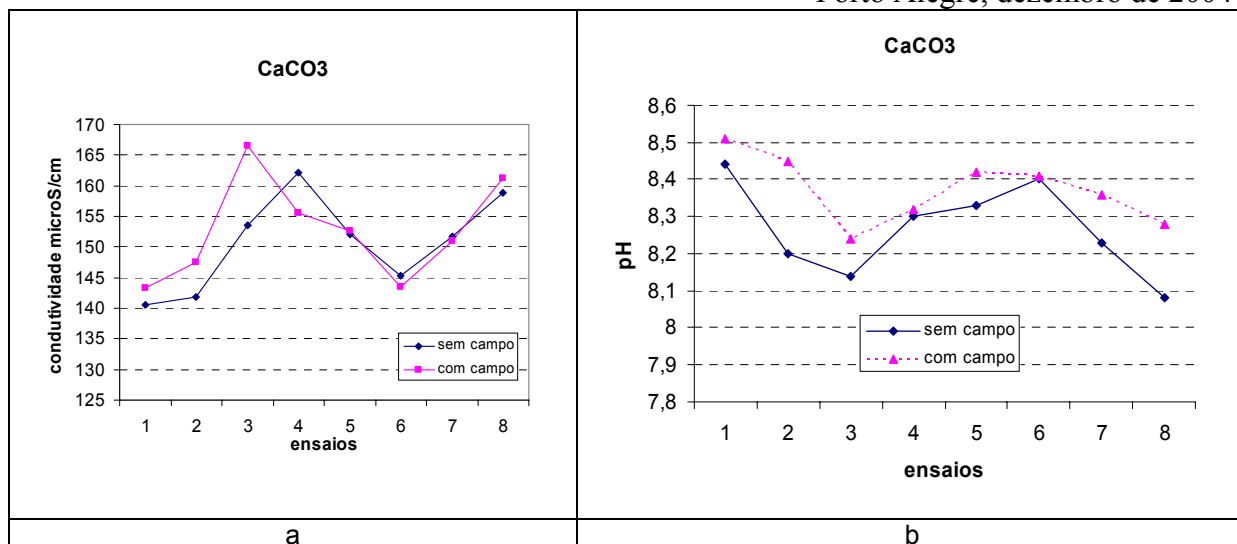


Figura 4. Efeito do campo magnético na condutividade elétrica e pH de solução aquosa contendo CaCO₃.

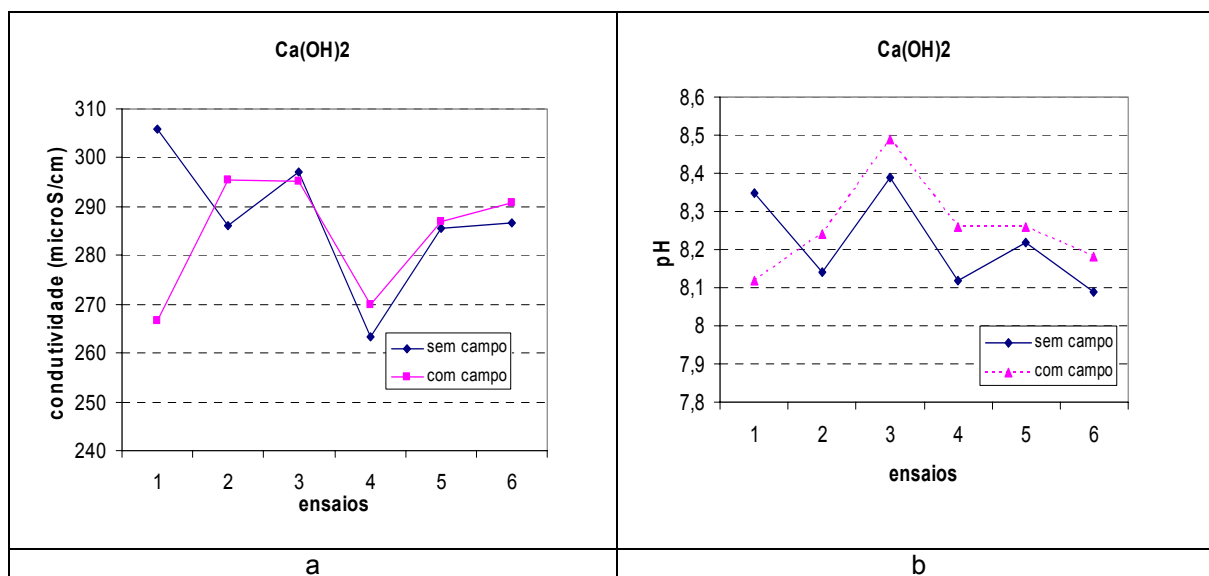


Figura 5. Efeito do campo magnético na condutividade elétrica (a) e pH (b) de solução aquosa de CaCO₃ produzida a partir de Ca (OH)₂

As Figuras 6 e 7 mostram o efeito do campo magnético na tensão superficial das mesmas soluções, tendo sido medida simultaneamente a condutividade elétrica. Os valores médios das condutividades se repetiram (entre 140 e 160 2μS/cm para a solução de CaCO₃ e entre 260 e 280 para a solução produzida a partir de Ca(OH)₂). A tensão superficial da primeira solução, medida em tensiômetro de anel, ficou em torno de 63 mN/m, quando água pura tem tensão de 72 mN/m. a segunda solução mostrou variação exagerada, entre 70 e 60 mN/m. Não foi notado nenhum efeito sistemático do campo magnético na tensão superficial.

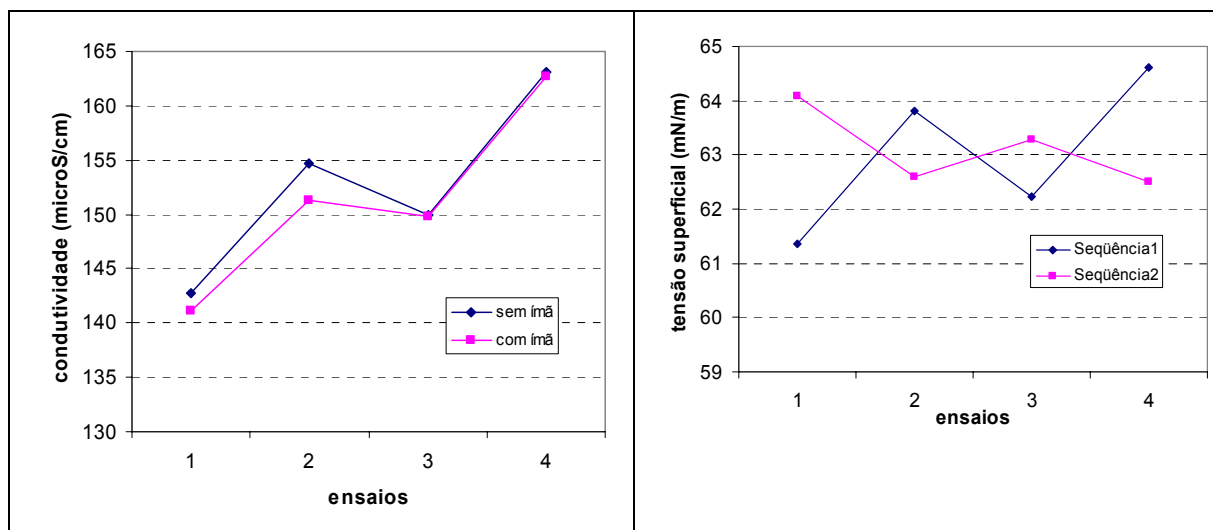


Figura 6. Efeito do campo magnético na condutividade e tensão superficial de solução de CaCO_3 .

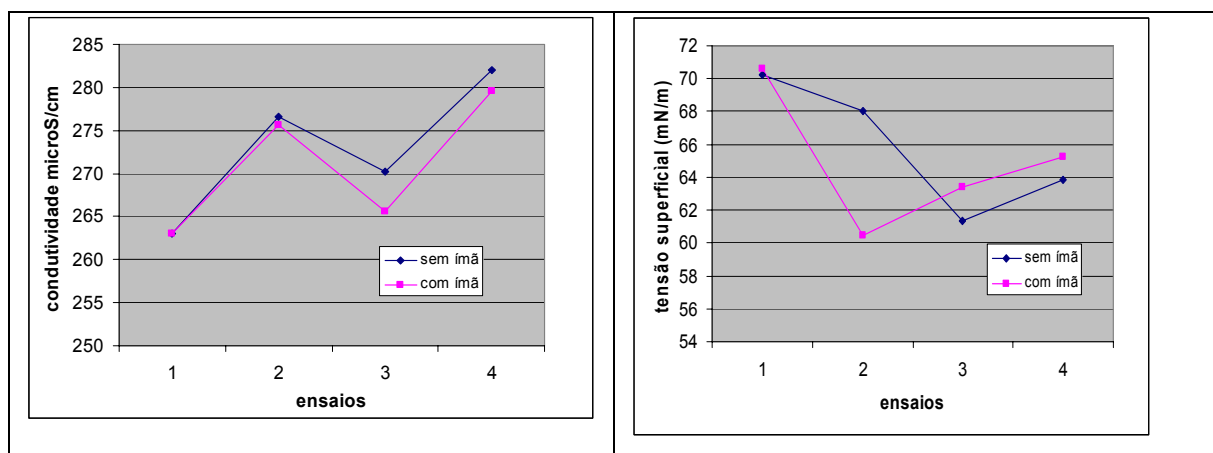


Figura 7. Efeito do campo magnético na condutividade elétrica e tensão superficial de soluções de carbonato de cálcio preparadas a partir de $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Supondo que a medida da tensão superficial pelo método do anel pudesse ter algum problema, utilizou-se um tensiômetro Sensadine. Os resultados mostraram, na Tabela I, que a dissolução de carbonato levou a um aumento da tensão superficial, ao contrário do observado no tensiômetro de anel, mas a aplicação do campo pouco a alterou. Os resultados são intrigantes, mostrando principalmente que o controle nas determinações de propriedades físicas da água exige mais cuidado do que foi possível exercer no presente conjunto de experimentos.

Tabela 1 valores de tensão superficial da solução produzida a partir da dissolução de CaCO_3 , medidos em tensiômetro Sensadine.

Solução de CaCO_3	pH		Tensão Superficial mN/m		
	Valor médio	Desvio padrão	Valor médio da solução	Valor médio de água deionizada	Desvio padrão
Medidas com Bomba					
27/05/04 s/ ímã	7,92	0,06	74,1	71,8	0,15
27/05/04 c/ ímã	7,94	0,03	73,9	71,6	0,19

DISCUSSÃO

As Figuras 4 e 5 mostraram que a dissolução de carbonato de cálcio aumentou significativamente a condutividade da água (150 e 240 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Os valores encontrados para água deionizada, neste trabalho, estão muito altos (entre 25 e 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Medidas de condutividade elétrica e de pH apresentaram baixa repetibilidade. Não foram identificadas quais as variáveis de procedimento que provocaram tal baixa repetibilidade. Os resultados sugerem um pequeno efeito do campo magnético no aumento do pH das soluções, mas esse aumento é muito menor que a variabilidade das medidas.

As Figuras 6 e 7 mostram que a tensão superficial caiu de 70 (água deionizada) para 63 mN/m (nas soluções contendo carbonato de cálcio). Entretanto, não se percebeu efeito do campo magnético.

CONCLUSÕES

O conjunto de experimentos realizado não confirmou o efeito do campo magnético na tensão superficial de soluções aquosas, contrariamente ao anteriormente determinado em ensaio no IPT. Deve-se levar em consideração, entretanto, que os ensaios aqui reportados apresentam baixa repetibilidade. Admitindo que o efeito do campo magnético nas incrustações existe, dúvidas, entretanto, permanecem: quais são as propriedades físicas afetadas pela exposição a campo magnético?

REFERÊNCIAS

Trabalho adaptado do apresentado no CBECIMAT 2004

Autores Landgraf, Garcia, Poço e Giulietti

Porto Alegre, dezembro de 2004

Baker, J.S e Judd, S.J. Magnetic Amelioration of scale formation *Water Research* v.30, pp. 247-260 (1996)

Barrett, R.A; Parsons, S.A *Water Research* v.32 p.609 (1998)

Coe, J.M.D. e Cass, S. Magnetic Water Treatment, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 209 (2000) p.71-74.

Coe, J.M.D. e Hinds, G. Magnetic electrodeposition *Journal of Alloys and Compounds* 326 (2001) p.238-245

Darvill, M. Magnetic Water Treatment *Water Waste Treat.* Ed. Julho, p. 40, 1993.

Encyclopaedia Britannica. CD-ROM Deluxe edition 2002 Verbetes hard Water e Water softener. 2002.

Freitas, A. M. B. ; Landgraf, F. J. G. ; Nývlt, J. e Giulietti, M. Effect of magnetic field on the crystallisation of zinc sulfate. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. Brazil, 2000.Vol. 17, number 1, p. 111-115.

Higashitani, L.; kage, A.; katamura, S.; Imai, K.; Hatade, S.; Colloid, J. *Interface Science* v. 156 p. 90 (1993)

Holysz, L.; Chibowski, M. Time- dependent changes of zeta potential and other parameters of in situ calcium carbonate due to magnetic field treatment *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* v.208 p.231-240(2002).

Maluf, E. Relatório Técnico IPT, 2002.

Rafferty, K. Scaling in geothermal heat pump systems *GHC Bulletin*, Março (2000) p.11-15

Rocha, N. O; González, G. e Vaitsman, D.S. Efeito do campo magnético na precipitação de parafinas. *Química Nova*, v.21 1998 p.11-15.

EFFECT FIELD MAGNETIC IN SOLUTION AQUEOUS

ABSTRACT

The international literature already recognizes how fact the positive paper of the magnetic field in the reduction of the incrustation of carbonator of calcium in tubulation when the Water pass for any heating. The evidence more recognized is the increase of the fraction aragonite in whole of calcite in the solution aqueous expose to the magnetic field. A characteristically intriguer of the phenomenon is the "Memory Effect", either, the solution have conduct changed beside after hours stop the application of the magnetic field. There isn't however, theory standard that explain the phenomenon. There isn't consensus about the effect in variable physics of the solution. The present word appraise the effect expose of solution aqueous contain carbonator calcium to the magnetic field in the electric conductor, pH and Superfases tension.

KEY WORDS: Magnetic Field; Effect Memory; Incrustation of Carbonator of Calcium.

Anexos

Tabela 1: Desvio padrão e média da solução de CaCO_3 (condutividade e pH)

Solução de CaCO_3	Condutividade elétrica $\mu\text{S/cm}$		pH	
	Média	Desvio padrão	média	Desvio padrão
29/10/03 s/ ímã	140	3,5	8,4	0,02
29/10/03 c/ ímã	143	1,5	8,5	0,01
04/11/03 s/ ímã	142	3,0	8,2	0,05
04/11/03 c/ ímã	147	3,8	8,4	0,04
07/11/03 s/ ímã	153	0,8	8,1	0,02
07/11/03 c/ ímã	166	1,8	8,2	0,02
12/12/03 s/ ímã	162	2,6	8,3	0,01
12/12/06 c/ ímã	155	2,4	8,3	0,02
06/01/04 s/ ímã	152	0,5	8,3	0,01
06/01/04 c/ ímã	152	0,5	8,4	0,02
21/01/04 s/ ímã	145	1,2	8,4	0,01
21/01/04 c/ ímã	143	0,9	8,4	0,01
26/01/04 s/ ímã	151	0,6	8,2	0,07
26/01/04 c/ ímã	151	0,9	8,4	0,07
06/02/04 s/ ímã	158	0,2	8,1	0,04
06/02/04 c/ ímã	161	0,4	8,3	0,03

Tabela 2: Desvio padrão e média da solução de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (condutividade e pH)

Solução de $\text{Ca}(\text{OH})_2$	Condutividade elétrica $\mu\text{S/cm}$		pH	
	Média	Desvio padrão	média	Desvio padrão
20/10/03 s/ ímã	306	3,8	8,3	0,04
20/10/03 c/ ímã	266	3,6	8,1	0,03
04/11/03 s/ ímã	286	1,7	8,1	0,05
04/11/03 c/ ímã	295	3,4	8,2	0,03
10/11/03 s/ ímã	297	0,8	8,4	0,01
10/11/03 c/ ímã	295	0,8	8,5	0,01
05/01/04 s/ ímã	263	3,5	8,1	0,09
05/01/04 c/ ímã	270	0,8	8,3	0,06
27/01/04 s/ ímã	286	1,5	8,2	0,03
27/01/04 c/ ímã	287	2,2	8,3	0,05

06/02/04 s/ ímã	287	1,5	8,1	0,05
06/02/04 c/ ímã	291	0,4	8,2	0,08

Tabela 3: Desvio padrão e média da Água Deionizada (condutividade e pH)

Água Deionizada	Condutividade elétrica μS/cm		pH	
	Média	Desvio padrão	média	Desvio padrão
14/10/03 s/ ímã	5,2	2,0	5,5	0,04
21/10/03 s/ ímã	14,7	0,9	5,2	0,01
21/10/03 c/ ímã	14,7	3,4	5,4	0,01
22/10/03 s/ ímã	41,8	8,0	4,8	0,02
22/10/03 c/ ímã	23,3	3,5	4,9	0,04
24/10/03 s/ ímã	28,1	1,8	4,6	0,02
24/10/03 c/ ímã	27,4	1,2	4,6	0,01
30/10/03 s/ ímã	38,8	0,9	4,6	0,02
30/10/03 c/ ímã	41,1	2,7	4,6	0,01
05/11/03 s/ ímã	41,2	2,7	4,8	0,02
05/11/03 c/ ímã	40,3	1,4	4,8	0,03
12/11/03 s/ ímã	47	2,1	7,5	0,14
12/11/03 c/ ímã	48	2,2	7,5	0,05
21/11/03 s/ ímã	75	1,0	7,7	0,10
21/11/03 c/ ímã	70	2,5	7,6	0,03
28/11/03 s/ ímã	61	6,7	7,7	0,07
28/11/03 c/ ímã	68	1,0	7,6	0,01
04/01/04 s/ ímã	62	0,3	8,0	0,09
04/01/04 c/ ímã	62	0,3	7,8	0,01
05/01/04 s/ ímã	71	1,0	7,6	0,15
05/01/04 c/ ímã	62	0,3	7,8	0,09

Tabela 3: Cont

Água Deionizada	Condutividade elétrica μS/cm		pH	
	Média	Desvio padrão	média	Desvio padrão
07/01/04 s/ ímã	55	1,1	7,7	0,05
07/01/04 c/ ímã	55	1,9	7,8	0,08
20/01/04 s/ ímã	58	1,2	8,1	0,07
20/01/04 c/ ímã	57	0,9	8,1	0,09
27/01/04 s/ ímã	57	0,2	7,8	0,03
27/01/04 c/ ímã	57	0,3	7,8	0,04

29/01/04 s/ ímã	58	1,9	7,8	0,09
29/01/04 c/ ímã	57	0,1	7,8	0,05

Tabela 4: Desvio padrão e média da Água Destilada (condutividade e pH)

Água destilada	Condutividade elétrica $\mu\text{S/cm}$		pH	
	Média	Desvio padrão	média	Desvio padrão
14/10/03 s/ ímã	36	1,2	9,5	0,08
14/10/03 c/ ímã	37	2,7	9,7	0,07
24/10/03 s/ ímã	56	0,6	9,8	0,01
24/10/03 c/ ímã	46	4,9	9,7	0,02
06/11/03 s/ ímã	34	1,7	9,2	0,06
06/11/03 c/ ímã	32	2,3	8,5	0,06
18/11/03 s/ ímã	67	1,4	9,0	0,03
18/11/03 c/ ímã	41	1,5	9,0	0,06
24/11/03 s/ ímã	14	2,2	7,6	0,10
24/11/03 c/ ímã	19	1,4	7,5	0,05
19/01/04 s/ ímã	52	0,8	8,0	0,06
19/01/04 c/ ímã	52	1,1	8,0	0,04
20/01/04 s/ ímã	58	1,2	8,1	0,07
20/01/04 c/ ímã	57	0,9	8,1	0,09

Tabela 5: Desvio padrão e média da Água “De torneira” (condutividade e pH)

Água “De torneira”	Condutividade elétrica $\mu\text{S/cm}$		pH	
	Média	Desvio padrão	média	Desvio padrão
15/10/03 s/ ímã	67,4	3,0	9,4	0,11
20/10/03 s/ ímã	71,6	1,4	9,4	0,03
20/10/03 c/ ímã	92,2	8,4	9,4	0,03
21/10/03 s/ ímã	66,2	2,5	9,0	0,03
21/10/03 c/ ímã	71,8	1,7	9,3	0,03
30/10/03 s/ ímã	71,2	1,0	9,4	0,02
30/10/03 c/ ímã	72,5	1,3	9,2	0,05
05/11/03 s/ ímã	75,0	2,1	9,2	0,03

Trabalho adaptado do apresentado no CBECIMAT 2004
 Autores Landgraf, Garcia, Poço e Giulietti
 Porto Alegre, dezembro de 2004

05/11/03 c/ ímã	72,9	1,4	8,7	0,03
14/11/03 s/ ímã	69,7	1,5	8,4	0,05
14/11/03 c/ ímã	68,3	2,1	8,1	0,06
20/11/03 s/ ímã	89,5	13,1	8,7	0,04
20/11/03 c/ ímã	69,0	1,1	8,2	0,01
27/11/03 s/ ímã	50,1	2,2	8,9	0,03
27/11/03 c/ ímã	50,3	1,2	8,6	0,02
06/01/04 s/ ímã	60,6	0,2	8,0	0,02
06/01/04 c/ ímã	58,8	0,5	8,0	0,03
21/01/04 s/ ímã	53,1	1,2	9,0	0,05
21/01/04 c/ ímã	52,9	0,5	8,6	0,03
27/01/04 s/ ímã	50,0	0,5	8,2	0,07
27/01/04 c/ ímã	51,1	0,2	8,1	0,02
04/02/04 s/ ímã	64,1	2,4	8,9	0,01
04/02/04 c/ ímã	62,5	0,7	8,7	0,03

Tabela 6: Desvio padrão e média da solução de CaCO_3 (condutividade e Tensão Superficial medida no tensiômetro de anel).

Solução de CaCO_3	Condutividade elétrica $\mu\text{S/cm}$		Tensão Superficial mN/m		
	Valor médio	Desvio padrão	Valor médio da solução	Valor médio de água deionizada	Desvio padrão
Medidas com Bomba					
28/01/04 s/ ímã	142,7	1,9	61,4	71,9	0,8
28/01/04 c/ ímã	141,1	1,2	64,1	72,2	1,7
02/02/04 s/ ímã	154,7	3,3	63,8	72,5	2,9
02/02/04 c/ ímã	151,2	2,0	62,6	71,3	1,9
09/02/04 s/ ímã	150,0	0,8	62,2	72,0	2,5
09/02/04 c/ ímã	149,8	0,2	63,3	72,5	1,8
Medidas sem Bomba					
12/05/04 s/ ímã	163,16	0,9	64,6	72,1	1,1
12/05/04 c/ ímã	162,70	0,2	62,5	71,6	0,5

Tabela 6 cont: Os resultados a seguir, foram medidos no tensiômetro Sensadine

Solução de CaCO_3	pH		Tensão Superficial mN/m		
	Valor médio	Desvio padrão	Valor médio da solução	Valor médio de água	Desvio padrão
Medidas com Bomba					

Trabalho adaptado do apresentado no CBECIMAT 2004
 Autores Landgraf, Garcia, Poço e Giulietti
 Porto Alegre, dezembro de 2004

				deionizada	
27/05/04 s/ ímã	7,92	0,06	74,14	71,8	0,15
27/05/04 c/ ímã	7,94	0,03	73,88	71,6	0,19

Tabela 7: Desvio padrão e média da solução de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (condutividade e Tensão Superficial com tensiômetro de anel).

Solução de $\text{Ca}(\text{OH})_2$	Condutividade elétrica $\mu\text{S}/\text{cm}$		Tensão Superficial mN/m		
	Valor médio	Desvio padrão	Valor médio da solução	Valor médio de água deionizada	Desvio padrão
Medidas com Bomba					
28/01/04 s/ ímã	263	4,8	70	-	0,6
28/01/04 c/ ímã	263	1,6	70	-	0,9
02/02/04 s/ ímã	276	4,2	68	72,3	2,8
02/02/04 c/ ímã	275	2,9	60	71,2	3,2
09/02/04 s/ ímã	270	0,8	61	71,5	2,6
09/02/04 c/ ímã	265	1,3	63	71,9	2,3
Medidas sem Bomba					
12/05/04 s/ ímã	282	0,7	64	71,7	0,9
12/05/04 c/ ímã	280	0,5	65	71,6	0,8