



CO₂ COMO AGENTE CORROSIVO EM SISTEMAS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Marcus V. F. Rodrigues¹; Erilândia S. da Silva²; Christiane G. S. Gurgel²; Érika A. S. Braga¹; Francisco B. Romero¹; Paula L. R. de Sousa²

¹ Universidade Federal do Ceará;

² Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará;
marcusviniciusfr@alu.ufc.br

Palavras-Chave: Carbonatação, Corrosão, Geoquímica.

Introdução

O Ceará é um dos estados com maior consumo de águas subterrâneas no Brasil devido aos longos períodos de estiagem no ano e invernos irregulares, o que fez os governos, em todas as instâncias, investirem em perfurações de novos poços para suprir as necessidades da população. Uma vez que as águas que abastecem os poços passam por lixiviação do solo, os seus componentes encontram-se dissolvidos na água, como é o caso do dióxido de carbono (CO₂). Este, pode absorver-se na água durante a precipitação chuvosa em contato com o ar atmosférico, bem como dissolver-se por decorrência da decomposição da matéria orgânica no solo (Araújo, 2019).

A presença de dióxido de carbono (CO₂) em águas subterrâneas pode intensificar significativamente processos corrosivos, especialmente em sistemas metálicos utilizados para captação e transporte de água. Quando dissolvido, o CO₂ forma ácido carbônico (H₂CO₃), que reduz o pH da água e aumenta sua acidez. Essa condição favorece a corrosão de materiais como ferro, aço e cobre, acelerando a degradação de tubulações, bombas e reservatórios. Além disso, o ambiente subterrâneo, muitas vezes pobre em oxigênio e rico em minerais, pode potencializar reações eletroquímicas que comprometem a integridade estrutural dos sistemas hidráulicos (Rodrigues, 2020).

Outro fator relevante é a interação do CO₂ com minerais presentes no solo, como calcita e dolomita, que podem sofrer dissolução química, alterando a composição da água e contribuindo para a formação de incrustações ou depósitos corrosivos. Essa dinâmica não apenas afeta a durabilidade dos materiais, mas também pode comprometer a qualidade da água, tornando-a inadequada para consumo humano ou uso industrial. Portanto, o monitoramento da concentração de CO₂ em aquíferos e a escolha de materiais resistentes à corrosão são medidas essenciais para garantir a segurança e a eficiência dos sistemas subterrâneos de abastecimento (Cavazanna, 2011).

Sabe-se que alguns parâmetros, bem como a combinação deles, contribuem para a ação corrosiva de uma água, tais como baixos valores de pH, alcalinidade e dureza e altos valores de gases dissolvidos na água (Lane, 1993).

Normalmente são utilizadas tubulações metálicas para distribuição dessas águas, tais como aço galvanizado, ferro ou cobre. Logo, a presença de gases dissolvidos na água, como o oxigênio, CO₂ e gás sulfídrico, ao entrar em contato com essas superfícies, acrescidos dos

demaís íons salinos presentes nas águas subterrâneas, podem conferir características corrosivas ou incrustantes (Zortéa, 2020; Kellner & Oliveira, 2022).

Dessa maneira, o presente trabalho tem como objetivo determinar o teor de CO₂ e avaliar o potencial corrosivo em amostras de águas subterrâneas.

Material e Métodos

Para realização deste trabalho, foram determinados os teores de CO₂ livre, pH, Alcalinidade Total (AT) e Ferro em quinze amostras de águas subterrâneas, provenientes de três regiões diferentes do estado do Ceará (A, B e C), de acordo a metodologia descrita no *Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater* (APHA, 2017).

O teor de CO₂ livre foi determinado por titulação com hidróxido de sódio 0,02 N na presença do indicador fenolfataleína, até o ponto de viragem indicado pela mudança da coloração da amostra de incolor para rósea. O teor de CO₂ livre é calculado a partir da equação a seguir:

$$\text{CO}_2 \text{ livre (mg/L)} = (V_{\text{NaOH}} \times N \times 44 \times 1000) / V_{\text{amostra}}$$

Onde:

V_{NaOH}: volume de NaOH gasto na titulação;

N: normalidade da solução de NaOH 0,02 N;

44: massa molar do CO₂;

V_{amostra}: volume da amostra de água.

O ensaio de pH foi realizado por método direto em pHmetro, onde o eletrodo foi imerso em uma alíquota da amostra até estabilização da leitura.

A determinação de AT se deu por titulação com ácido sulfúrico 0,02 N, na presença do indicador alaranjado de metila 0,1%, até o ponto de viragem indicado pela mudança da coloração da amostra de amarela para rosa alaranjado. O teor de Alcalinidade Total é obtido pela equação:

$$\text{AT (mg de CaCO}_3\text{L}^{-1}) = V \times N \times (50000/A)$$

Onde:

V = volume de ácido sulfúrico 0,02 N gasto na titulação;

N = Normalidade da solução de ácido sulfúrico 0,02 N;

A = volume da amostra em mL.

Resultados e Discussão

A Resolução CONAMA nº 396, de 2008, que estabelece diretrizes para o controle e monitoramento da qualidade das águas subterrâneas no Brasil, não define um parâmetro específico para a concentração de dióxido de carbono livre (CO₂ livre). Essa ausência de referência normativa pode ser atribuída à variabilidade natural das características hidrogeoquímicas dos aquíferos, que são influenciadas por fatores como profundidade, tipo de rocha, atividade microbiológica e presença de matéria orgânica. Apesar disso, o CO₂ livre desempenha papel relevante na acidez da água e na sua capacidade de dissolver minerais, o que pode impactar tanto a potabilidade quanto a durabilidade de sistemas de captação e distribuição.

Segundo informações da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS), é comum que águas superficiais apresentem concentrações de CO₂ livre inferiores a 10 mg/L, refletindo maior contato com a atmosfera e menor confinamento geológico. Por outro lado, em

ambientes subterrâneos, especialmente em aquíferos confinados ou profundos, os níveis de CO_2 livre podem ultrapassar esse valor, como apontado por estudos como o de Santos (2015). Essa elevação está relacionada à decomposição de matéria orgânica, à atividade microbiana e à ausência de troca gasosa com o ar, o que favorece a acumulação de dióxido de carbono dissolvido. Esses aspectos reforçam a importância de considerar o CO_2 livre como um parâmetro complementar na avaliação da qualidade da água subterrânea, mesmo que ainda não regulamentado oficialmente (Santos, 2015). Os resultados obtidos para cada parâmetro encontram-se ilustrado na Tabela 1, a seguir.

Tabela 1: Resultados médios de CO_2 livre e pH nas amostras analisadas.

Parâmetros	Amostras				
	A1	A2	A3	A4	A5
CO_2 (mg/L)	$25,4 \pm 0,01$	$22,8 \pm 0,01$	$35,0 \pm 0,04$	$9,6 \pm 0,04$	$21,9 \pm 0,02$
pH a 25 °C	$7,54 \pm 0,01$	$7,76 \pm 0,01$	$7,44 \pm 0,01$	$7,31 \pm 0,01$	$7,72 \pm 0,01$
AT (mg/L)	$177,5 \pm 0,10$	$243,4 \pm 0,06$	$227,3 \pm 0,05$	$219,5 \pm 0,06$	$405,1 \pm 0,06$
Ferro (mg/L)	< LQ	0,1	< LQ	< LQ	< LQ
Parâmetros	B1	B2	B3	B4	B5
CO_2 (mg/L)	$16,6 \pm 0,03$	$18,4 \pm 0,03$	$15,8 \pm 0,05$	$16,6 \pm 0,01$	$14,9 \pm 0,01$
pH a 25 °C	$7,19 \pm 0,01$	$6,76 \pm 0,01$	$7,09 \pm 0,02$	$7,07 \pm 0,01$	$6,97 \pm 0,02$
AT (mg/L)	$343,1 \pm 0,07$	$209,4 \pm 0,14$	$203,6 \pm 0,03$	$229,4 \pm 0,04$	$63,8 \pm 0,07$
Ferro (mg/L)	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
Parâmetros	C1	C2	C3	C4	C5
CO_2 (mg/L)	$3,86 \pm 0,04$	$11,44 \pm 0,04$	$17,27 \pm 0,05$	$3,68 \pm 0,01$	$3821,5 \pm 0,01$
pH a 25 °C	$8,25 \pm 0,014$	$7,74 \pm 0,007$	$7,63 \pm 0,02$	$8,24 \pm 0,01$	$5,19 \pm 0,02$
AT (mg/L)	$349,93 \pm 0,07$	$315,94 \pm 0,14$	$369,93 \pm 0,04$	$325,93 \pm 0,04$	$295,94 \pm 0,07$
Ferro (mg/L)	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ

Fonte: Autoria própria.

LQ: Limite de Quantificação.

Nos dados referentes às amostras do município A (A1 a A5), os valores de CO_2 livre variaram entre 9,6 e 25,4 $\text{mgCO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$. O pH manteve-se próximo de 7, enquanto a AT oscilou entre 177,5 e 405,1 $\text{mgCaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$. O teor de ferro esteve abaixo do limite de quantificação (LQ) ou do valor de referência 0,3 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, estabelecido pela Resolução CONAMA nº 396/08. Quanto ao potencial corrosivo, a maioria das amostras apresentou elevada probabilidade de corrosão, obtendo valores acima do limite de 10 $\text{mgCO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ indicado por Santos (2015), com exceção da amostra A4. A alcalinidade encontra-se dentro do intervalo considerado adequado por Moraes (2008), até 500 $\text{mgCaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$, indicando condições favoráveis aos processos biológicos.

Nas amostras do município B (B1 a B5), os valores de CO_2 livre variaram entre 15,68 e 18,4 $\text{mgCO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$, com pH também próximo de 7 e alcalinidade entre 63,8 e 343,1 $\text{mgCaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$. O teor de ferro total permaneceu abaixo do LQ conforme a Resolução

CONAMA nº 396/08. Assim como no município A, os níveis elevados de CO_2 livre indicam alto potencial corrosivo. A AT das amostras está dentro do intervalo de 60 a $350 \text{ mgCaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$.

No município C, os valores de CO_2 livre apresentaram ampla variação, de 3,68 a $3821,5 \text{ mgCO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$. O pH variou entre 5,19 e 8,25, e a alcalinidade entre 295,94 e $369,93 \text{ mgCaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$. O teor de ferro total esteve abaixo do LQ conforme a Resolução CONAMA nº 396/08. Observa-se maior variabilidade nas amostras: C1 e C4 apresentaram valores de CO_2 livre abaixo de $10 \text{ mgCO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$, indicando baixa probabilidade de corrosão; C2 e C3 mostraram valores ligeiramente superiores, sugerindo risco moderado. A amostra C5, por sua vez, apresentou valor extremamente elevado de CO_2 livre, indicando acidez carbônica acentuada e possível interferência antrópica ou poluição, conforme o intervalo de pH entre 4,5 e 8,2 descrito por Von Sperling (2005). De todas as amostras analisadas, essa representa o maior potencial corrosivo. Assim como as amostras dos outros municípios, a AT permanece dentro do intervalo de 30 a $500 \text{ mgCaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$, indicado por Moraes (2008), sugerindo normalidade nos processos biológicos dos mananciais.

Em suma, verifica-se a contribuição pH, alcalinidade e CO_2 na corrosividade da água, uma vez que o CO_2 , ao reagir com a água, causa uma redução do pH e, em combinação com baixa alcalinidade, aumenta o risco de corrosão.

Conclusões

Das 15 amostras avaliadas, apenas três apresentaram concentrações de CO_2 livre abaixo de 10 mg/L , indicando baixa corrosividade. As demais mostraram níveis mais elevados, sugerindo maior risco de corrosão e necessidade de monitoramento e tratamento adequado para evitar impactos à saúde pública.

Quanto ao ferro, a maioria das amostras apresentou valores abaixo do limite de quantificação, exceto a amostra A2, que permaneceu dentro dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA Nº 396/08. Isso indica que, até o momento, não há evidências de corrosão nas tubulações de ferro nessas localidades, embora a vigilância contínua seja recomendada para prevenir contaminações futuras.

Em relação ao pH, a maioria das amostras está dentro dos limites normativos, com exceção da amostra C5, que apresentou pH de 5,19 e alta concentração de CO_2 livre, aumentando o potencial corrosivo. Esse manancial requer atenção especial das autoridades competentes.

Por fim, todas as amostras apresentaram alcalinidade total entre 30 e 500 mg/L de CaCO_3 , o que sugere baixa propensão à formação de incrustações. Reforça-se a importância de ampliar os estudos na região para garantir o acesso à água potável, promovendo saúde pública e o cumprimento dos direitos constitucionais.

Referências

APHA-American Public Associations. **Standard Methods for the Examinations of Water and Wastewater**. 23rd Washington DC. 2017.

ARAÚJO, L. F. S. **Águas subterrâneas no Ceará: análise de corrosividade e incrustação**. 2019. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) - Universidade Federal do Ceará, 2019.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008*. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.



Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 7 abr. 2008. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/wp-content/uploads/sites/13/2013/11/res39608.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2025.

CAVAZANNA, G. H. **Análise da corrosividade e incrustação das águas subterrâneas na região urbana de Campo Grande – MS**. 2011. 55 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2011.

KELLNER, E.; OLIVEIRA, F. E. S. A agressividade da água e a possibilidade de alteração da qualidade para o consumo humano. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, n.1, p. 159 – 168, 2022.

LANE, R.W. **Control of Scale and Corrosion in Building Water Systems**. New York: McGraw Hill, 1993.

MORAES, P. B. **Tratamento Biológico e Físico-Químico de Efluentes Líquidos**. UNICAMP: Centro Superior de Educação Tecnológica, 2008.

RODRIGUES, M. V. F. **Avaliação da presença de dióxido de carbono em águas subterrâneas e sua influência no processo de corrosão**. 2020. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Bacharelado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

SANTOS, J. F. **Análise físico-química e bacteriológica da água do poço Valdemiro Francisco Mota, do município Brejo do Cruz –Paraíba**. 2015. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, 2015.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

ZORTÉA, J. B. **Estudo do meio corrosivo e da corrosão de diferentes aços carbono em água clarificada de uma planta de tratamento de água industrial**. 2020. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2020.