

## VARIAÇÃO EM ÍNDICES DE TENDÊNCIA À CORROSÃO E INCRUSTAÇÃO EM RESERVATÓRIO DO TRÓPICO SEMIÁRIDO

Stephanie de Oliveira Souza \*, Ana Carolina de Oliveira Nobre, Gustavo Ross Ribeiro Lima, Francisco Klayton Marques de Alencar, Fernando José Araújo da Silva

\* Universidade Federal do Ceará. stephanie\_souza@hotmail.com

### RESUMO

Nas regiões áridas e semiáridas é comum a captação e armazenamento de água em reservatórios superficiais, que constituem a principal fonte de abastecimento para os múltiplos usos da água. O clima semiárido potencializa o processo de salinização das águas, o que representa um dos principais problemas de qualidade da água enfrentado em reservatórios destas regiões. Nesse contexto, avaliou-se a qualidade iônica das águas superficiais do reservatório cearense Pereira de Miranda através do cômputo de índices de estabilidade da água. Realizou-se a abordagem estatística dos dados de qualidade de água desse reservatório referentes ao período de 2004 a 2014. Determinou-se a influência do ciclo climático anual e a variação temporal dos índices de Saturação de Langelier, Estabilidade de Ryznar, Larson-Skold, Incrustação de Puckorius e de Agressividade. Os resultados apontaram águas do tipo cloretadas sódicas, evidenciando a influência da litologia local e a proximidade com o oceano. Houve potencial corrosivo como indicado pela maioria dos índices de estabilidade da água. As estações chuvosas e secas não apresentaram influências estatisticamente significativas sobre os índices avaliados, mesmo sendo perceptível no cômputo desses índices a deterioração da qualidade de água no período de estiagem. Conclui-se que a avaliação das águas superficiais do Trópico Semiárido através de índices de estabilidade da água é uma excelente ferramenta para a gestão da qualidade desses recursos, indicando possíveis limitações aos usos finais e norteador medidas preventivas e corretivas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Índices de estabilidade da água, corrosão, incrustação, trópico semiárido.

### INTRODUÇÃO

No Trópico Semiárido o comportamento irregular das chuvas, em sua distribuição e intensidade, e a intensa evaporação ocasionam secas periódicas. Tradicionalmente, o cenário de escassez hídrica é enfrentado com a implantação de reservatórios artificiais. Desta forma, o semiárido nordestino se torna a região com maior densidade de reservatórios com usos múltiplos do país. No entanto, a influência das condições climáticas do semiárido nordestino pode tornar as águas desses reservatórios em verdadeiros depósitos de elementos químicos. Assim, avaliação da qualidade dessas águas e a detecção de possíveis deteriorações são importantes para o manejo das bacias hidrográficas e seus múltiplos usos.

As características físicas, químicas e microbiológicas da água afetam sua estabilidade. O monitoramento da estabilidade da água é necessário para reduzir custos com substituição de tubulações, bombas e equipamentos (MIRZABEYGI *et al.*, 2016). Os potenciais de corrosão e de incrustação na água podem acarretar sérios problemas operacionais, financeiros e de segurança (AL-RAWAJFEH; AL-SHAMAILEH, 2007). Nos sistemas de distribuição de água, podem causar falhas nas tubulações, mudanças indesejadas na qualidade da água, efeitos adversos na saúde e problemas econômicos, hidráulicos e estéticos (ALIPOUR *et al.*, 2015; TAGHIPOUR *et al.*, 2012). Parâmetros físicos, químicos e biológicos estão relacionados à formação de incrustação e corrosão, como pH, dióxido de carbono, alcalinidade, dureza, sólidos dissolvidos totais, teor de oxigênio dissolvido, temperatura e velocidade de escoamento da água (ALIPOUR *et al.*, 2015; KURDI; FERDOWS; MAGHSOUDI, 2015).

Corrosão e incrustação são indicadores de mensuração da qualidade da água. A corrosão decorre de reações físicas e químicas entre o material do condutor hidráulico e o ambiente, que podem ocasionar a diluição do material na solução. Já a incrustação pode ser formada a partir de uma variedade de espécies químicas dissolvidas em água. Geralmente, a água contém cátions de cálcio e magnésio em conjunção com os ânions bicarbonato, carbonato, cloreto e sulfato. Esse conjunto origina as formas mais comuns de deposição como incrustação, tais como: carbonato de cálcio, carbonato de magnésio, sulfato de cálcio e cloreto de magnésio (KURDI; FERDOWS; MAGHSOUDI, 2015).

Diferentes índices de estabilidade da água foram desenvolvidos como ferramentas simples de monitoramento (MIRZABEYGI *et al.*, 2016). Esses índices foram baseados no conceito de saturação de carbonato de cálcio, a fim de determinar a tendência de corrosão ou incrustação em tubos de transporte de água, sistemas de aquecimento ou refrigeração de plantas industriais, sistemas de irrigação por gotejamento, sistemas de abastecimento de água potável e entre outros (NIA *et al.*, 2010). Os índices mais comuns na avaliação do caráter corrosivo e incrustante da água são: Índice de Saturação de Langelier, Índice de Estabilidade de Ryznar, Índice de Larson-Skold, Índice de Incrustação de Puckorius e Índice de Agressividade (AL-RAWAJFEH; AL-SHAMAILEH, 2007; ALIPOUR *et al.*, 2015; TAGHIPOUR *et al.*, 2012).

## OBJETIVOS

O presente estudo teve como objetivo avaliar a qualidade da água de um reservatório do semiárido brasileiro quanto a diferentes índices de tendência à corrosão e incrustação, bem como verificar a influência do ciclo climático anual sobre estes no período analisado.

## METODOLOGIA

O reservatório estudado é o Pereira de Miranda, também conhecido como açude Pentecoste, localizado no Estado do Ceará. Encontra-se entre as coordenadas geográficas 470.964 E e 9.579.848 N e faz parte da bacia hidrográfica do rio Curu. Foi construído, represando o rio Canindé, entre os anos de 1950 e 1957 pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS). Possui uma capacidade de armazenamento de 395.638.000 m<sup>3</sup>, bacia hidrográfica de 2.840 Km<sup>2</sup> e bacia hidráulica de cerca de 5.700 ha (CEARÁ, 2018). O açude tem como propósitos: o abastecimento de água, a irrigação, a geração de energia elétrica, a piscicultura e o controle das cheias do rio Curu. O açude Pentecoste nos últimos anos (2004 a 2018) apresentou redução considerável no volume disponível devido à estiagem prolongada na região. O mapa de localização da área em estudo é ilustrado na Figura 1.

O presente estudo foi desenvolvido utilizando os dados de qualidade de água do banco de dados da Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará (COGERH). Para avaliar a qualidade das águas desse reservatório quanto a sua estabilidade foi considerado o período de 2004 a 2014. Para cada ano do estudo foram considerados dois períodos para avaliação (1º e 2º semestres), a fim de determinar a influência do ciclo climático anual. Os índices de estabilidade da água, suas equações e critérios de classificação seguem na Tabela 1.

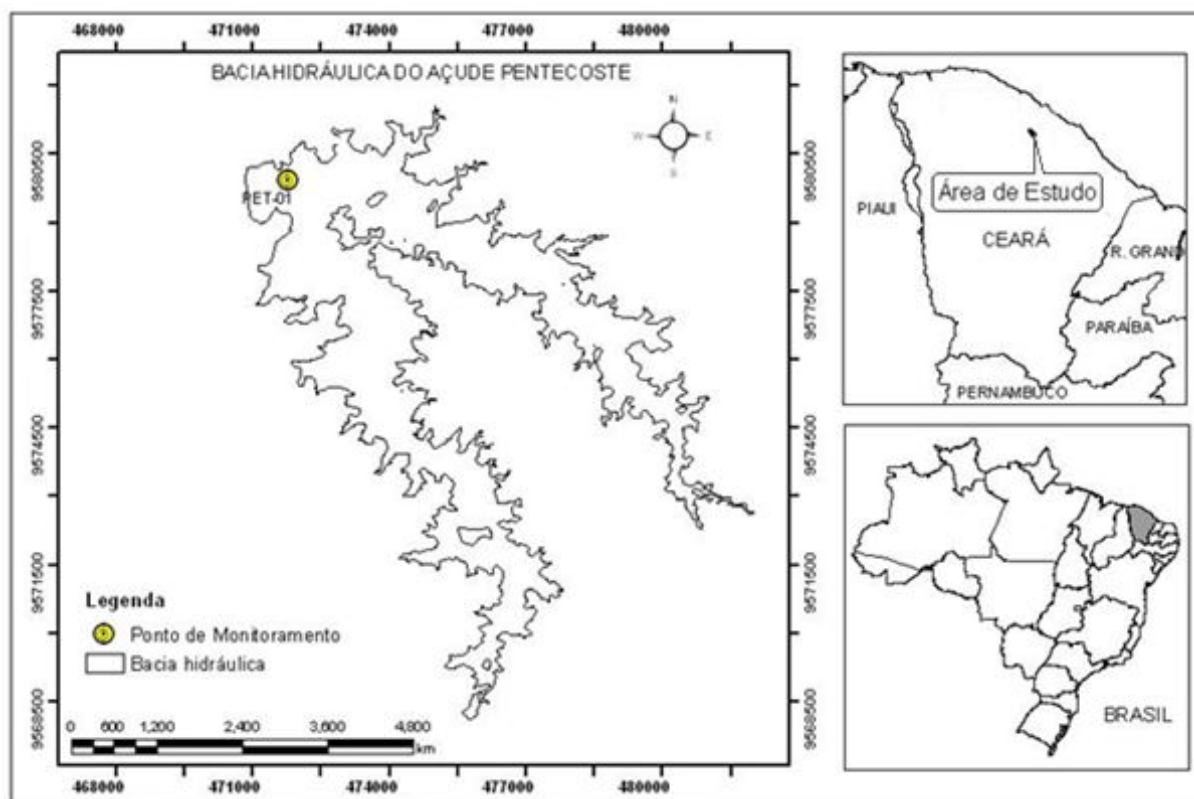


Figura 1: Localização do Açude Pentecoste.

## Índice de Saturação de Langelier

O Índice de Saturação de Langelier (LSI) é bastante empregado para indicar o potencial de corrosão ou incrustação da água contendo carbonatos, que está diretamente associada ao seu pH. O índice compara o pH da água de interesse com o pH da respectiva água saturada em relação ao carbonato de cálcio (pHs). A determinação do pHs é feita com os seguintes parâmetros: concentração de sólidos dissolvidos totais (STD) em mg/L, temperatura da água (T) em °C, concentração de Ca<sup>2+</sup> e alcalinidade (Alc), como mg CaCO<sub>3</sub>/L.

**Tabela 1. Índices de estabilidade da água.**

Índice	Equação	Valor do Índice	Condição da Água
Índice de Saturação de Langelier (LSI)	$LSI = pH - pH_s$	$0,5 < LSI < 2$	Incrustação forte
	$pH_s = (9,3 + A + B) - (C + D)$	$0 < LSI < 0,5$	Incrustação suave
	$A = \frac{(\log[STD] - 1)}{10}$	$LSI = 0$	Balanceado
	$B = -13,12 \cdot [\log(T + 273,15)] + 34,55$	$-0,5 < LSI < 0$	Corrosão suave
	$C = \log[Ca^{2+}] - 0,4$ $D = \log[Alc]$	$-2 < LSI < -0,5$	Corrosão severa
Índice de Estabilidade de Ryznar (RSI)	$RSI = 2 \cdot pH_s - pH$	$4 < RSI < 5$	Incrustação severa
		$5 < RSI < 6$	Incrustação média
		$6 < RSI < 7$	Pouca incrustação ou corrosão
		$7 < RSI < 7,5$	Corrosão média
		$7,5 < RSI < 9$	Corrosão elevada
		$RSI > 9$	Corrosão severa
Índice de Incrustação de Puckorius (PSI)	$PSI = 2 \cdot pH_s - pH_{EQ}$ $pH_{EQ} = 1,465 \cdot \log[Alc] + 4,54$	$PSI < 4,5$	Tendência à incrustação
		$4,5 < PSI < 6,5$	Baixa tendência de incrustação e corrosão
		$PSI > 6,5$	Tendência à corrosão
Índice de Agressividade (IA)	$IA = pH + \log[(Alc) \times (D_{Ca})]$	$AI < 10$	Altamente agressiva
		$10 < AI < 12$	Moderadamente agressiva
		$AI > 12$	Não agressiva
Índice de Larson-Skold (ILS)	$ILS = \frac{[Cl^-] + [SO_4^{2-}]}{[HCO_3^-] + [CO_3^{2-}]}$	$ILS < 0,8$	Corrosão baixa
		$0,8 < ILS < 1,2$	Corrosão significativa
		$ILS > 1,2$	Corrosão elevada

### Índice de Estabilidade de Ryznar

O Índice de Estabilidade de Ryznar (RSI) infere sobre o potencial de incrustação de uma solução aquosa. Considera a quantidade de carbonato de cálcio potencialmente a ser formada e prevê a corrosividade de águas não formadoras de incrustação (MILLETTE *et al.*, 1980). O RSI é uma extensão prática do Índice de Saturação de Langelier com base em registro e compilação de práticas e experimentos. Assim, o RSI oferece uma correspondência mais próxima entre os resultados previstos e os obtidos no campo (AL-RAWAJFEH, 2004).

### Índice de Incrustação de Puckorius

O Índice de Incrustação de Puckorius (PSI) leva em consideração dois outros parâmetros críticos: a alcalinidade total e a quantidade máxima de precipitado que pode se formar em condições de equilíbrio. O PSI quantifica a relação entre o estado de supersaturação da água e a formação de incrustação levando em consideração a capacidade tampão da água. Esse índice fornece uma indicação mais precisa das tendências à incrustação do carbonato de cálcio. O PSI utiliza o pH de equilíbrio ( $pH_{EQ}$ ) em vez do pH da amostra.

### Índice de Agressividade

O Índice de Agressividade (IA) mede a tendência da água em deteriorar a estrutura de tubos de cimento-amianto (fibrocimento) (IMRAN *et al.*, 2005). Esse índice considera os efeitos do pH da amostra, da alcalinidade total (mg  $CaCO_3/L$ ) e da concentração de cálcio, expressa como mg  $CaCO_3/L$  (TAGHIPOUR *et al.*, 2012).

## Índice de Larson-Skold

A agressividade natural da água a tubos de aço e de ferro fundido pode ser verificada através do Índice de Larson-Skold (ILS). Esse índice deduz o poder corrosivo da água a partir da proporção de agentes corrosivos, cloretos e sulfatos, e agentes inibidores, propriedades protetoras do bicarbonato e carbonato (IMRAN *et al.*, 2005). As concentrações de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{CO}_3^{2-}$  utilizadas no cálculo do ILS são expressas em miliequivalentes por litro (meq/L).

## Abordagem estatística

Utilizou-se para a organização e abordagem estatística dos dados: planilha eletrônica, *software R: A Language and Environment for Statistical Computing* com a interface *Rstudio* e o *software Paleontological Statistical (PAST)*.

Testes de aderência auxiliaram na decisão quanto à adequação ou não de um certo modelo distributivo à distribuição empírica da amostra. A possibilidade de utilização das distribuições de probabilidade teóricas Normal, *Gama*, *Lognormal* e *Weibull* foram verificadas através do teste de aderência de *Kolmogorov-Smirnov (KS)* a um nível de significância de 5% ( $\alpha = 0,05$ ). Posteriormente, aplicou-se o Critério de Informação de *Akaike (AIC)* com intuito de identificar entre os modelos distributivos classificados pelo teste de aderência o que melhor se ajustou a distribuição dos dados amostrais. A distinção sobre a influência do ciclo climático anual (período chuvoso *versus* período de estiagem) foi verificada a partir de testes de análise de variância paramétrico (ANOVA) e não paramétrico (*Kruskal-Wallis*), a fim de verificar a ocorrência de diferenças estatisticamente significativas entre os dados.

## RESULTADOS

### Classificação iônica das águas do reservatório de estudo

A partir dos dados de concentração dos íons presentes nas amostras de água do reservatório do estudo foi possível determinar os íons dominantes com base no diagrama de Piper. Este traçado é comumente utilizado para classificação e comparação de grupos distintos de águas quanto aos íons dominantes. Utilizou-se o *software Qualigraf* para a plotagem do diagrama de Piper. Averiguou-se, conforme mostrado na Figura 2, que as águas do açude Pereira de Miranda foram predominantemente cloretadas sódicas (82%), complementadas com tipos sódicas mistas (9%) e cloretadas mistas (9%) no período chuvoso. Verificou-se ainda o predomínio das águas cloretadas sódicas (91%) em relação às mistas (9%) durante o período seco dos anos estudados. Esses resultados explicam a elevação da concentração de cloreto à proporção que a estação seca progride.

As águas superficiais do reservatório estudado apresentaram maiores concentrações dos íons cloreto e sódio como decorrência natural da litologia local. Segundo Leprun (1983), as águas superficiais do semiárido nordestino de embasamento cristalino são do tipo cloretadas sódicas e obedecem às seguintes relações para cátions e ânions, respectivamente:  $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ . Ademais, as concentrações de sais contidas na precipitação atmosférica, notadamente cloretos, tendem a decrescer com a distância entre o local de precipitação e o oceano (SOUZA FILHO; CAMPOS, 2005). Os fatos expostos podem explicar o que ocorreu com o açude Pereira de Miranda, já que está localizado em embasamento cristalino, o qual cobre mais de 80% da bacia do Curu, e dista aproximadamente 50 Km da costa.

### Índices de estabilidade da água

A depender da química específica, a água pode promover incrustação, corrosão ou ambos, caracterizando uns dos problemas mais críticos de qualidade da água (SHANKAR; ARCOT, 2018). As médias dos índices de estabilidade nos primeiros e segundos semestres de cada ano estão nas Tabela 2 e 3, respectivamente. De acordo com os resultados do LSI, as águas do açude Pereira de Miranda apresentaram uma alternância entre as classes corrosão suave (45,5%), corrosão severa (9,1%) e incrustação suave (45,5%) nos primeiros semestres. Já nos segundos semestres, observou-se as seguintes classes do LSI: incrustação suave, incrustação forte, corrosão suave e corrosão severa, com predomínio da classe corrosão suave (45,5%). Dessa forma, as águas avaliadas podem ter ocasionado corrosão.

A avaliação da estabilidade da água com o RSI mostrou que todas as amostras apresentaram potencial corrosivo, que variou entre elevado, severo e médio, sendo inadequadas para transporte por tubulações (HARITASH; GAUR; GARG, 2016). Segundo Shah *et al.* (2019), valores de RSI maiores que 7 revelam que a formação de carbonato de cálcio não levará a um filme inibidor de corrosão. Ao comparar o RSI com o LSI cabe ratificar o que declaram Nia *et al.* (2010). Esses autores destacam que o RSI estima um risco de incrustação menor que aquele referido no LSI, como observado nos resultados aqui obtidos.



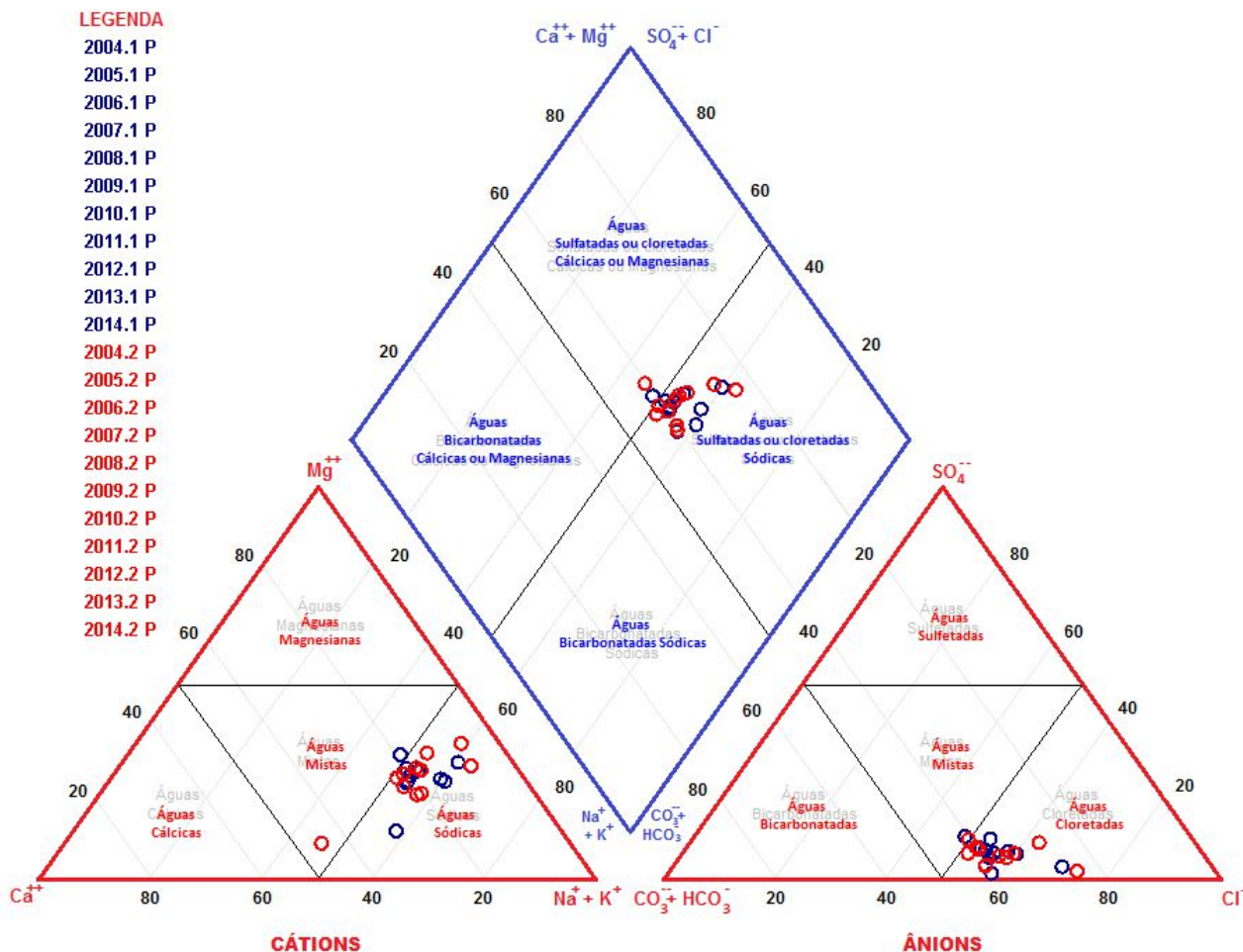


Figura 2: Diagrama de Piper para as águas do açude Pereira de Miranda no período chuvoso e de estiagem (1º e 2º semestres de cada ano).

Quanto ao ILS, todas as amostras apresentaram grau de corrosão elevada, tanto nos primeiros como nos segundos semestres de cada ano avaliado. Dessa forma, essas águas tenderam à corrosão de tubos de aço e de ferro fundido, reduzindo a eficiência do processo industrial. A corrosão metálica observada é fortemente relacionada às concentrações de  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  em relação à de  $\text{HCO}_3^-$ . Segundo Agatemor e Okolo (2008), o incremento salino com os ânions  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  eleva a tendência corrosiva da água.

Baseado no PSI, águas estudadas exibiram tendência corrosiva independente do período avaliado, confirmando que essas águas eram deficitárias de íons responsáveis pela formação de incrustações. Cabe ressaltar que a baixa concentração de  $\text{HCO}_3^-$  também pode ser responsável pela tendência corrosiva da água (AGATEMOR; OKOLO, 2008). Os valores do IA médio classificaram as águas de estudo como moderadamente agressiva, ou seja, moderadamente corrosiva. Detectou-se a ocorrência das classes moderadamente agressiva e não agressiva nos primeiros e segundos semestres. Em suma, o IA indicou potencial de corrosão moderada das águas do estudo para condutores hidráulicos à base de cimento como material principal.

As águas avaliadas pelos índices de estabilidade da água não originaram potencial incrustante significativo nos tubos de transporte de água, porém, podem ter implicado na sua corrosão. De tal modo, os potenciais corrosivo e incrustante necessitam ser considerados nos programas de controle da qualidade da água, pois, são essenciais à proteção da saúde pública e à qualidade da água. Ademais, é preciso selecionar o índice mais adequado e em conformidade à situação real do sistema estudado.

**Tabela 2. Índices de estabilidade da água no período chuvoso.**

\* Classificação - CE: Corrosão elevada; CS: Corrosão severa; CSU: Corrosão suave; CV: Coeficiente de variação; ISU: Incrustação suave; MA: Moderadamente agressiva; NA: Não agressiva; TC: Tendência à corrosão.

Ano/Semestre	LSI	*	RSI	*	ILS	*	PSI	*	IA	*
2004.1	-0,14	CSU	8,56	CE	1,47	CE	9,69	TC	11,70	MA
2005.1	0,37	ISU	7,97	CE	1,89	CE	9,36	TC	12,23	NA
2006.1	-0,12	CSU	8,33	CE	1,76	CE	8,94	TC	11,73	MA
2007.1	-0,57	CS	8,80	CE	1,47	CE	9,03	TC	11,28	MA
2008.1	0,46	ISU	7,87	CE	1,58	CE	9,38	TC	12,30	NA
2009.1	0,00	CSU	8,29	CE	1,59	CE	9,22	TC	11,85	MA
2010.1	-0,02	CSU	8,33	CE	1,54	CE	9,29	TC	11,82	MA
2011.1	-0,02	CSU	8,33	CE	1,55	CE	9,28	TC	11,83	MA
2012.1	0,02	ISU	8,24	CE	1,67	CE	9,12	TC	11,88	MA
2013.1	0,14	ISU	8,01	CE	2,00	CE	8,77	TC	11,99	MA
2014.1	0,15	ISU	7,98	CE	2,73	CE	8,64	TC	12,03	NA
Média	0,02	ISU	8,25	CE	1,75	CE	9,16	TC	11,88	MA
CV	11,10	-	0,03	-	0,21	-	0,03	-	0,07	-

**Tabela 3. Índices de estabilidade da água no período de estiagem.**

\* Classificação - CE: Corrosão elevada; CM: Corrosão média; CS: Corrosão severa; CSU: Corrosão suave; CV: Coeficiente de variação; IF: Incrustação forte; ISU: Incrustação suave; MA: Moderadamente agressiva; NA: Não agressiva; TC: Tendência à corrosão.

Ano/Semestre	LSI	*	RSI	*	ILS	*	PSI	*	IA	*
2004.2	-0,03	CSU	8,46	CE	1,51	CE	9,59	TC	11,84	MA
2005.2	-0,01	CSU	8,34	CE	1,96	CE	9,36	TC	11,87	MA
2006.2	-0,40	CSU	8,60	CE	1,38	CE	8,94	TC	11,47	MA
2007.2	0,07	ISU	8,16	CE	1,71	CE	9,04	TC	11,95	MA
2008.2	0,58	IF	7,61	CE	1,46	CE	8,97	TC	12,45	NA
2009.2	-0,37	CSU	8,61	CE	1,48	CE	9,34	TC	11,48	MA
2010.2	0,14	ISU	8,03	CE	1,48	CE	8,92	TC	12,02	NA
2011.2	0,01	ISU	8,30	CE	1,52	CE	9,29	TC	11,87	MA
2012.2	-0,25	CSU	8,57	CE	1,81	CE	9,20	TC	11,62	MA
2013.2	-0,67	CS	9,09	CS	2,58	CE	9,26	TC	11,21	MA
2014.2	0,87	IF	7,28	CM	3,04	CE	8,60	TC	12,77	NA
Média	-0,01	CS	8,28	CE	1,81	CE	9,14	TC	11,87	MA
CV	-67,26	-	0,06	-	0,29	-	0,03	-	0,04	-

### Análises estatísticas

Realizou-se testes de análise de variância paramétrico (ANOVA) e não paramétrico (*Kruskal-Wallis*) para a detecção de tendências entre o ciclo climático anual. De acordo com esses testes, a hipótese nula ( $H_0$ ) é igual à inexistência de tendência na série temporal, ou seja, a variação de um ou mais conjuntos de dados não difere significativamente dos demais, enquanto a hipótese alternativa ( $H_1$ ) é igual à existência de tendência. As tendências semestrais de cada índice de estabilidade da água para o período de 2004 a 2014 foram avaliadas ao nível de significância de 5% ( $\alpha = 0,05$ ). As distribuições dos conjuntos de dados, que tiveram como base o Critério de Informação de *Akaike* (AIC), e os resultados da análise de variância podem ser vistos na Tabela 4.

As distribuições semestrais comparadas dos índices de estabilidade da água (LSI, RSI, PSI, LSI e IA), não foram significativamente diferentes para o período de 2004 a 2014 no açude Pereira de Miranda. Isto foi verificado pelos resultados do teste paramétrico ANOVA ( $p$ -valor  $> 0,05$  e  $F_{\text{calculado}} < F_{\text{crítico}}$ ) e não paramétrico *Kruskal-Wallis* ( $p$ -valor  $> 0,05$  e  $H_{\text{teste}} < H_{\text{crítico}}$ ). Desse modo, o ciclo climático anual não influenciou de forma significativa o potencial de corrosão e de incrustação das águas avaliadas pelos referidos índices de estabilidade da água.

**Tabela 4. Distribuições teóricas e testes de variância dos índices de estabilidade da água do Açude Pereira de Miranda.**

Açude Pereira de Miranda		FDP	ANOVA			<i>Kruskal-Wallis</i>		
			$F_{\text{calculado}}$	$F_{\text{crítico}}$	$p$ -valor	$H_{\text{teste}}$	$H_{\text{crítico}}$	$p$ -valor
LSI	1º semestre	<i>Normal</i>	0,22	4,35	0,64	0,09	3,84	0,77
	2º semestre	<i>Gama</i>						
RSI	1º semestre	<i>Lognormal</i>	0,03	4,35	0,86	0,68	3,84	0,41
	2º semestre	<i>Normal</i>						
PSI	1º semestre	<i>Normal</i>	0,03	4,35	0,87	0,07	3,84	0,79
	2º semestre	<i>Normal</i>						
ILS	1º semestre	<i>Lognormal</i>	0,10	4,35	0,75	0,24	3,84	0,62
	2º semestre	<i>Lognormal</i>						
IA	1º semestre	<i>Normal</i>	0,003	4,35	0,96	0,05	3,84	0,82
	2º semestre	<i>Lognormal</i>						

## CONCLUSÕES

Este trabalho avaliou o potencial corrosivo e incrustante das águas superficiais do açude Pereira de Miranda entre 2004 e 2014. Os resultados mostraram o predomínio de águas do tipo cloretadas sódicas no reservatório, justificada pela proximidade deste com a costa e pela litologia local de embasamento cristalino.

Quanto à estabilidade da água, depreende-se que as águas estudadas foram potencialmente corrosivas. Deste modo, a tendência corrosiva observada pode ter afetado as atividades industriais da região, caso utilizada sem tratamento prévio, e induzido a redução da qualidade química, microbiológica e estética da água durante o período analisado. Como um todo, não houve diferença estatisticamente significativa ao longo de cada ano para os índices computados, apesar da observação da deterioração destes com a redução da precipitação e do volume reservado.

Mediante o exposto, o conhecimento do conteúdo iônico das águas superficiais e a representação de seus atributos através de índices são primordiais para avaliação da qualidade dessas águas. É possível, assim, apontar possíveis limitações de usos e se tornar uma ferramenta para a gestão da água.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agatemor, C.; Okolo, P. O. Studies of corrosion tendency of drinking water in the distribution system at the University of Benin. **The Environmentalist**, v. 28, n. 4, p. 379-384, 2008.
- Alipour, V.; Dindarloo, K.; Mahvi, A. H.; Rezaei, L. Evaluation of corrosion and scaling tendency indices in a drinking water distribution system: a case study of Bandar Abbas city, Iran. **Journal of Water and Health**, v. 13, n. 1, p. 203-209, 2015.
- Al-Rawajfeh, A. E.; Al-Shamaileh, E. M. Inhibition of corrosion in steel water pipes by ammonium pyrrolidine dithiocarbamate (APDTC). **Desalination**, v. 206, n. 1-3, p. 169-178, 2007.
- Ceará. Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará. **Atlas eletrônico dos recursos hídricos do Ceará**. Disponível em: <[http://atlas.srh.ce.gov.br/infra-estrutura/acudes/detalhaCaracteristicasTecnicas.php?cd\\_acude=175&status=0](http://atlas.srh.ce.gov.br/infra-estrutura/acudes/detalhaCaracteristicasTecnicas.php?cd_acude=175&status=0)>. Acesso em: 20 jul. 2018.
- Haritash, A. K.; Gaur, S.; Garg, S. Assessment of water quality and suitability analysis of River Ganga in Rishikesh, India. **Applied Water Science**, v. 6, n. 4, p. 383-392, 2016.
- Imran, S. A.; Dietz, J. D.; Mutoti, G.; Taylor, J. S.; Randall, A. A. Modified Larsons ratio incorporating temperature, water age, and electroneutrality effects on red water release. **Journal of Environmental Engineering**, v. 131, n. 11, p. 1514-1520, 2005.



7. Kurdi, M.; Ferdows, M. S.; Maghsoudi, A. Sensitivity of corrosion and scaling indices based on ions; case study Iran. **Water Quality, Exposure and Health**, v. 7, n. 3, p. 363-372, 2015.
8. Leprun, J.C. **Primeira Avaliação das Águas Superficiais do Nordeste**. Relatório de fim de convênio de manejo e conservação do solo do Nordeste brasileiro. Recife: SUDENE-DRN, 1983, p. 91-141.
9. Millette, J. R.; Hammonds, A. F.; Pansing, M. F.; Hansen, E. C.; Clark, P. J. Aggressive water: Assessing the extent of the problem. **Journal (American Water Works Association)**, v. 72, n. 5, p. 262-266, 1980.
10. Mirzabeygi, M.; Naji, M.; Yousefi, N.; Shams, M.; BiglarI, H.; Mahvi, A. H. Evaluation of corrosion and scaling tendency indices in water distribution system: a case study of Torbat Heydariye, Iran. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 54, p. 25918-25926, 2016.
11. Nia, M. G; Rahimi, H.; Sohrabi, T.; Naseri, A.; Tofighi, H. Potential risk of calcium carbonate precipitation in agricultural drain envelopes in arid and semi-arid areas. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 10, p. 1602-1608, 2010.
12. Shah, M.; Sircar, A.; Varsada, R.; Vaishnani, S.; Savaliya, U.; Faldu, M.; Vaidya, D.; Bhattacharya, P. Assessment of geothermal water quality for industrial and irrigation purposes in the Unai geothermal field, Gujarat, India. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 8, p. 59-68, 2019.
13. Shankar, B.; Arcot, U. A critical evaluation of the water stability indices for the groundwaters of bommasandra industrial area in Bangalore, India. **American Journal of Environmental Engineering and Science**, v. 5, n. 1, p. 8-16, 2018.
14. Souza Filho, F. A.; Campos, J. N. B. Um método paramétrico de avaliação do potencial de salinização de reservatórios aplicado a regiões semi-áridas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 2, p. 5-14, 2005.
15. Taghipour, H.; Shakerkhatibi, M.; Pourakbar, M.; Belvasi, M. Corrosion and scaling potential in drinking water distribution system of Tabriz, northwestern Iran. **Health Promotion Perspectives**, v. 2, n. 1, p. 103, 2012.