

Artigo

Implicações Hidroquímicas da Condutividade Elétrica e do Íon Cloreto na Qualidade das Águas Subterrâneas do Semiárido Cearense

Lima, J. O. G.*; França, A. M. M.; Loiola, H. G.

Rev. Virtual Quim., 2014, 6 (2), 279-292. Data de publicação na Web: 11 de dezembro de 2013

<http://www.uff.br/rvq>

Hydrochemical Implications of Electrical Conductivity and Chloride Ion on the Quality of Groundwater from Region Semi-arid of Ceará

Abstract: Ion concentration in groundwater of semiarid regions such as the Brazilian Northeast can reach very high values, restricting and/or thwarting its domestic use or in irrigation. The rural population of Crateús, a municipality located in the semiarid region of Ceará, besides problems related to shortage of water supply, also suffers with the poor quality from these resources, when they are available. The purpose of this study, conducted during twelve months, was to analyze the behavior of the Electrical Conductivity (EC) and the concentration of chloride ion (Cl⁻) in waters of ten wells located in the municipality of Crateús (two in urban area and eight in rural area), evaluating their influence on water quality. The conductivity values were measured in the field with aid of a conductivimeter and contents of chloride ion were obtained in laboratory using the Mohr method. The results showed that the water of the wells from rural communities of Assis, Cabaças, Curral Velho, Ibiapaba and Santa Clara, and San Jose neighborhood, can be classified with adequate quality to human consumption and can be used to irrigate several cultures. The waters of the wells located in the rural communities of the Cajás do Jorge, Lagoa das Pedras and Poti, and in the Planalto neighborhood, and can not be exploited for human consumption; also its use in agriculture has severe restrictions.

Keywords: Hydrochemistry; groundwater; chloride ion; electric conductivity.

Resumo

Nas águas subterrâneas de regiões semiáridas como o Nordeste brasileiro, a concentração de íons pode atingir valores muito altos, restringindo e/ou inviabilizando o seu uso doméstico ou na agricultura. A população rural de Crateús, município localizado na região semiárida cearense, além de enfrentar problemas relacionados com a escassez de água para abastecimento, também sofre com a má qualidade desse recurso quando está disponível. O objetivo deste estudo, realizado durante doze meses, foi analisar o comportamento da Condutividade Elétrica (CE) e da concentração do íon cloreto (Cl⁻) nas águas de dez poços localizados no município de Crateús (dois na zona urbana e oito na zona rural), avaliando a sua influência na qualidade dessas águas. Os valores da condutividade foram medidos no campo com auxílio de um condutivímetro e os teores de íon cloreto foram obtidos em laboratório, usando-se o método de Mohr. Os resultados mostraram que as águas dos poços das comunidades rurais de Assis, Cabaças, Curral Velho, Ibiapaba e Santa Clara, e do bairro São José, podem ser classificadas como de qualidade suficientemente adequada para atender o consumo humano, podendo ser usadas na irrigação de muitas culturas. Já as águas dos poços localizados nas comunidades rurais de Cajás do Jorge, Lagoa das Pedras e Poti, e do bairro Planalto, não podem ser aproveitadas para consumo humano, sendo que seu uso na agricultura apresenta severas restrições.

Palavras-chave: Hidroquímica; águas subterrâneas; íon cloreto; condutividade elétrica.

* Universidade Estadual do Ceará, Faculdade de Educação de Crateús, Rua José Saboia Livreiro, 1480, Altamira, CEP 63700-000, Crateús-CE.

 jose.lima@uece.br

DOI: [10.5935/1984-6835.20140020](https://doi.org/10.5935/1984-6835.20140020)

Implicações Hidroquímicas da Condutividade Elétrica e do Íon Cloreto na Qualidade das Águas Subterrâneas do Semiárido Cearense

José O. G. de Lima,* Antonia Mayza M. França, Helena G. Loiola

Universidade Estadual do Ceará, Faculdade de Educação de Crateús, Rua José Saboia Livreiro, 1480, Altamira, CEP 63700-000, Crateús-CE.

* jose.lima@uece.br

Recebido em 10 de abril de 2013. Aceito para publicação em 18 de agosto de 2013

1. Introdução

- 1.1. Águas subterrâneas
- 1.2. Íon cloreto (Cl⁻)
- 1.3. Condutividade Elétrica (CE)
- 1.4. Águas subterrâneas de Crateús-Ceará

2. Metodologia

- 2.1. Área de estudo
- 2.2. Materiais e métodos

3. Resultados e discussão

- 3.1. O íon cloreto (Cl⁻)
- 3.2. A Condutividade Elétrica (CE)
- 3.3. O íon cloreto (Cl⁻) e a Condutividade Elétrica (CE)

4. Considerações finais

1. Introdução

1.1. Águas Subterrâneas

Todas as formas de vida existentes na Terra dependem da água. No entanto, a água doce disponível para consumo e para uso na maioria das atividades humanas constitui aproximadamente 2,5% de toda a água do planeta. Desta quantidade, cerca de 68,9%

estão localizadas nas calotas polares e glaciares, 29,9% são de água subterrânea, cuja metade está a mais de um quilometro de profundidade, 0,3% são águas que ocorrem em rios e lagos e 0,9% estão presentes em outros tipos de reservatórios.¹

Do ponto de vista hidrogeológico e hidroquímico, a qualidade da água subterrânea é tão importante quanto o aspecto quantitativo. A disponibilidade desses recursos hídricos para determinados tipos de uso depende fundamentalmente da

qualidade físico-química. Esta qualidade é determinada pelas características das espécies químicas dissolvidas nas águas subterrâneas, as quais refletem os meios por onde elas percolam, isto é, movimentam-se lentamente no subsolo, removendo ou dissolvendo alguns constituintes do solo ou das rochas. Assim, essas águas demonstram guardar uma estreita relação com os tipos de rochas drenados e com os produtos das atividades humanas desenvolvidas ao longo do trajeto percorrido por elas.^{2,3}

A princípio, a água subterrânea tende a aumentar as concentrações de substâncias dissolvidas à medida que percola os diferentes aquíferos. No entanto, muitos outros fatores interferem, tais como clima, composição da água de recarga, tempo de contato água/meio físico etc., além da contaminação causada pelo homem.⁴

Esta estreita relação é muito marcante nas regiões onde predominam os aquíferos passíveis de contaminação pelas atividades humanas. Nos grandes centros urbanos existem problemas muito graves associados às descargas de poluentes. Efluentes líquidos industriais e domésticos, vazamentos de depósitos de combustíveis, chorumes provenientes de depósitos de lixo doméstico, descargas gasosas e de material particulado lançado na atmosfera pelas indústrias e veículos são os mais frequentes tipos de atividades que poluem os aquíferos urbanos.⁵

Nas áreas onde se desenvolve algum tipo de agricultura, as características das espécies dissolvidas na água podem estar fortemente influenciadas pelos produtos químicos utilizados: inseticidas, herbicidas, adubos químicos, calcário, entre outros.⁶

Na avaliação da qualidade de uma água, os padrões estabelecidos para uso na irrigação são mais simples do que aqueles utilizados para consumo humano, porque o número de parâmetros a serem considerados é menor. A concentração do íon cloreto (Cl^-) e a Condutividade elétrica (CE) são os principais parâmetros físico-químicos utilizados na classificação de uma água para fins agrícolas, pois são capazes de influenciar,

de maneira diferenciada, no crescimento de cada espécie vegetal. Os efeitos da qualidade da água nos vegetais consideram não só as espécies químicas nela dissolvidas, mas também os tipos de vegetais (tolerância à salinidade, seu ciclo de vida etc.) e de solos (permeabilidade, porosidade, textura, composição mineral etc.) onde se desenvolvem.⁷

1.2. Íon cloreto (Cl^-)

Um dos parâmetros hidroquímicos que podem indicar características do meio percolado, quando se conhece o tipo de material aquífero, é a concentração de íon Cl^- , o qual está presente em praticamente todos os tipos de água. No entanto, esse íon também podem refletir problemas relacionados à poluição, por isso constitui um bom indicador de contaminação para fontes que, de maneira inadequada, recebem esgotos domésticos e para mananciais próximos a aterros sanitários e lixões.⁸

Considerado um dos maiores responsáveis pela salinidade de uma água, o íon Cl^- está presente em todas as águas naturais, com valores de concentração situados entre 10 e 250 mg/L nas águas doces.⁹

Os sais de Cl^- , em geral, são muito solúveis e muito estáveis em solução e, por isso, dificilmente precipitam. Não oxidam e nem se reduzem. Entretanto, em concentrações acima de 40 mg/L, podem facilmente precipitar, dependendo do índice de saturação do sal a ser formado.⁷

Por ser muito solúvel, o íon Cl^- aporta nas águas naturais de vários modos: por dissolução de seus sais presentes na superfície do solo ou de formações mais profundas; por transporte e aspersão da água do mar sob a forma de aerossol sobre os terrenos; por invasão das águas dos oceanos e mares em rios que a eles afluem; por intrusão de água do mar em aquíferos como resultado do desequilíbrio da pressão hidrostática; e por descarga de águas residuais domésticas que contém, em média,

mais de 15 mg/L de íon Cl^- que a água de abastecimento original continha.¹⁰

As águas subterrâneas apresentam geralmente teores de Cl^- inferiores a 100 mg/L. Já nas águas dos mares são abundantes, com valores entre 18.000 e 21.000 mg/L, podendo chegar a 220.000 mg/L nas salmouras naturais.² Em se tratando de potabilidade, a Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde estabelece o valor máximo permitido (VMP) de 250 mg/L para íon Cl^- como padrão de aceitação de consumo de uma água.¹¹

O íon Cl^- não é prejudicial aos seres humanos, mesmo em concentrações razoáveis. Porém, acima de 250 mg/L conferem um sabor salgado que é desagradável para muitos consumidores.¹²

1.3. Condutividade elétrica (CE)

Entende-se por condutividade elétrica (CE) de uma água a capacidade que ela tem de conduzir eletricidade, estando diretamente relacionada à quantidade de sais dissolvidos sob a forma de íons. A unidade padrão de medida da condutividade no SI (Sistema Internacional) é o Siemens (S) e os valores para as águas subterrâneas são referidos ao milionésimo do S/cm, ou seja, $\mu\text{S}/\text{cm}$, a uma temperatura padrão de 25°C.^{3,13}

Em geral, a condutividade aumenta com a temperatura, por isso ela deve ser medida anotando-se também a temperatura de referência da água amostrada, para posterior conversão ao padrão. No entanto, praticamente todos os equipamentos disponíveis no mercado, utilizados para medir a condutividade de uma água e conhecidos por condutivímetros, já fornecem o valor corrigido de acordo com a temperatura padrão.¹⁴

A maioria das águas utilizadas na agricultura apresentam CE inferior a 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Em todo o mundo, colheitas que utilizaram águas com CE superior a esse

valor, em geral, não foram satisfatórias para o desenvolvimento adequado dos vegetais. Existem alguns critérios para classificar a água para a agricultura, sendo atualmente mais aceita e utilizada a classificação do *United States Salinity Laboratory* (USSL).¹⁵

1.4. Águas subterrâneas de Crateús-Ceará

Um dos maiores problemas relacionados ao uso de águas subterrâneas é o aumento da concentração dos íons nelas presentes. Este fenômeno, conhecido por salinização, pode ser originado a partir da lixiviação dos solos e de atividades antrópicas poluentes.¹⁶

Também as águas subterrâneas de regiões quentes e áridas costumam apresentar problemas com salinidade elevada. O alto índice de evaporação e a baixa pluviometria favorecem a concentração dos sais, fazendo aumentar a salinidade das águas dessas regiões.¹⁷

Durante longos períodos de estiagem, como ocorrem na região semiárida do Nordeste brasileiro, muitos dos açudes de pequeno porte secam e as águas subterrâneas se tornam de grande importância para a sobrevivência de homens e animais.¹⁸

A população rural de Crateús, município localizado na região semiárida conhecida por Sertão de Crateús, no Estado do Ceará, enfrenta problemas sérios com relação à qualidade das águas que são utilizadas para abastecimento doméstico, pois não conta com sistema de tratamento d'água. Somente a população da sede do município faz uso de água bem tratada.¹⁹

Para resistir aos períodos de seca com a falta d'água, essa população faz uso das águas obtidas nos chamados "cacimbões", os quais secam quando a estação sem chuvas se prolonga por muitos meses. Além desses mananciais, os poços profundos e as cisternas constituem as principais fontes de água para a sobrevivência dessa população.^{1,9}

A partir das conjecturas apresentadas até aqui, o objetivo deste trabalho foi estudar, por meio de análises físico-químicas, durante o período de um ano, o comportamento da CE e da concentração do íon Cl^- nas águas utilizadas principalmente pela população rural do município de Crateús e que tem origem em poços do tipo amazonas.

De modo especial, esse trabalho apresenta dois propósitos verdadeiramente importantes. O primeiro se fundamenta na necessidade de acrescentar dados físico-químicos que possam contribuir, de modo real, para se avaliar a qualidade desses recursos hídricos. O segundo foi possibilitar a realização de uma classificação dessas águas que são usadas em sistemas de irrigação para agricultura familiar. Na realidade, estes dois intuitos visam procurar amenizar a carência de políticas públicas capazes de melhorar a qualidade de vida dessa população.

arbustiva aberta e mata seca). Também é encontrada a vegetação de carrasco, predominando xerófitas arbustivas densas de caules finos. No quadro geológico do município predomina rochas do embasamento cristalino pré-cambriano, na forma de gnaisses, quartzitos e migmatitos.^{20,22}

O clima da região é o tropical quente semiárido. O verão ou estação seca começa geralmente em junho e termina em janeiro. A temperatura nessa época do ano pode chegar a 40°C. O inverno ou estação chuvosa começa em janeiro e se estende até maio com uma pluviometria média de 700 mm.²³

No município existem diversos açudes destacando-se o Realejo e o Carnaubal ou Grota Grande. Este último é o que aporta maior volume de água e, por consequência, abastece a população da sede do município.^{21,24}

2. Metodologia

2.1. Área de estudo

O município de Crateús está localizado na microrregião do Sertão de Crateús (coordenadas geográficas: S 5° 10' 33,3" e O 40° 40' 42"), na porção centro-oeste do Estado do Ceará (Figura 1). Sua área territorial compreende 2.985,411 km² e faz parte da Depressão Sertaneja, um pediplano típico da região semiárida do Nordeste brasileiro com altitudes variando de 20 a 500m.²⁰

Na porção oeste do município está a Serra Grande que apresenta elevações em torno de 700 metros. O relevo da porção leste e da maior parte do território municipal é suave com poucas dissecções, resultado do aplainamento da formação cenozoica.²¹

Os solos encontrados no município são do tipo lanossolos, latossolos e podzólicos, dominados por florestas da espécie caducifólia espinhosa (caatinga arbórea) e subcaducifólia tropical pluvial (caatinga

2.2. Materiais e métodos

Para avaliar a concentração de íon Cl^- das águas subterrâneas de Crateús, foram coletadas mensalmente durante um período de doze meses, dez amostras de águas, sendo duas de poços localizados na zona urbana do município (**P05** e **P10**) e oito de poços da zona rural (**P01**, **P02**, **P03**, **P04**, **P06**, **P07**, **P08** e **P09**) (Tabela 1 e Figura 1).

As coletas foram realizadas sempre entre os dias 16 e 22 de cada mês. Os dados referentes às características dos poços analisados estão mostrados na Tabela 1. O período de desenvolvimento dos trabalhos de pesquisa compreendeu abril de 2011 a março de 2012.

Os dois poços da sede do município que foram pesquisados estão localizados no Bairro São José (**P05**) e no Bairro Planalto (**P10**). Os poços da zona rural que foram analisados estão localizados nos seguintes distritos: Assis (três poços amazonas, um localizado na sede do distrito, **P01**, outro na comunidade de Santa Clara, **P09**, e o terceiro na comunidade de Cajás do Jorge, **P03**);

Lagoa das Pedras (um poço amazonas da sede do distrito, **P02**); Poti (dois poços amazonas, um localizado na sede do distrito,

P04, e outro na comunidade de Cabaças, **P06**); Ibiapaba (um poço amazonas, **P07**); e Curral Velho (um poço amazonas, **P08**).

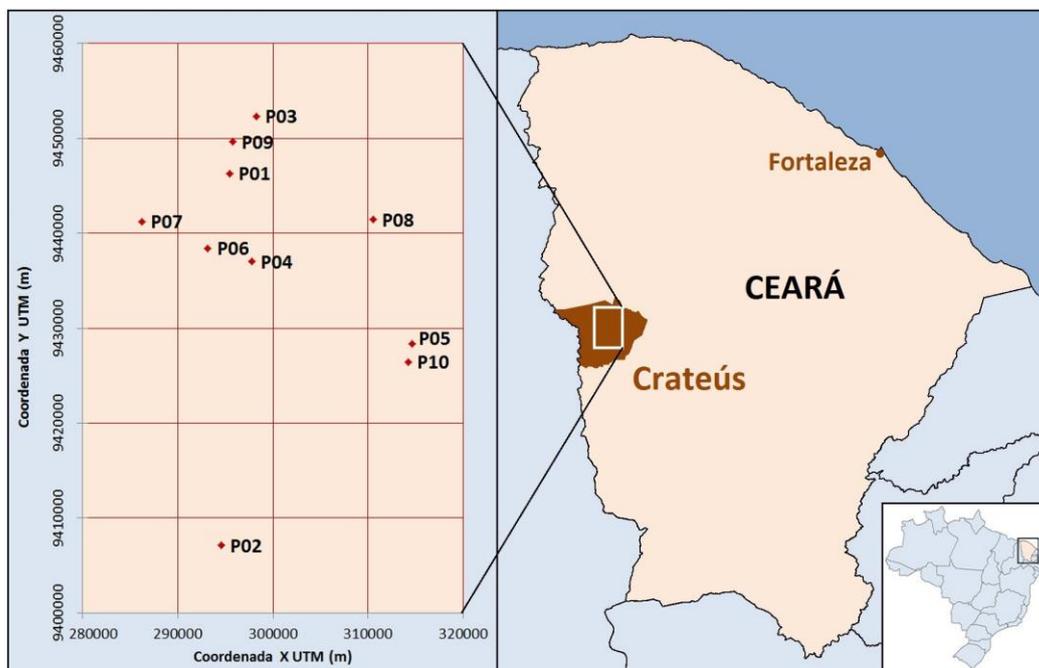


Figura 1. Mapa destacando a localização dos dez poços estudados no município de Crateús, centro-oeste do Estado do Ceará

As análises químicas para a determinação do teor de íon Cl^- foram realizadas sempre no dia seguinte ao da coleta. Os frascos contendo as amostras foram previamente esterilizados e ambientados com a água a ser amostrada. Após a coleta, foram bem tampados e mantidos sob refrigeração. A literatura não registra cuidados especiais para a conservação de amostras de água destinadas a determinação de íon cloreto. No entanto, recomenda-se que os procedimentos dessa natureza sejam realizados, no máximo, em até 14 dias após a amostragem.^{25,26}

Os valores das concentrações desse íon foram obtidos utilizando-se a técnica analítica conhecida como Método de Mohr por Argentimetria. Neste procedimento, sempre realizado em duplicata, o analito presente na amostra é titulado com uma solução padronizada de nitrato de prata (AgNO_3) usando-se cromato de potássio

(K_2CrO_4) como indicador do ponto final da titulação. As análises químicas realizadas seguiram rigorosamente a metodologia descrita no *Standard Methods*.²⁶

Os resultados das duas titulações foram inseridos numa planilha do programa Microsoft Excel, elaborada especialmente para o tratamento matemático desses dados. O cálculo da concentração de íon Cl^- é efetuado automaticamente a partir da média dos dois valores, diminuindo a margem de erro acidental.

A CE de cada amostra foi medida no momento da coleta, usando-se um aparelho condutivímetro modelo BS510, marca BEL Engineering, o qual já fornece o resultado na temperatura padrão de 25°C . Imediatamente antes da bateria mensal de coletas, o equipamento era calibrado, utilizando-se uma solução padrão de KCl (0,01 mol/L) que corresponde a $1.408 \mu\text{S}/\text{cm}$.²⁷

Tabela 1. Dados referentes aos dez poços pesquisados

Poço	Zona	Comunidade	Distrito	Tipo	Principal uso
P01	Rural	Sede do distrito	Assis	Amazonas	Doméstico
P02	Rural	Lagoa das Pedras	Lagoa das Pedras	Amazonas	Doméstico
P03	Rural	Cajás do Jorge	Assis	Amazonas	Doméstico
P04	Rural	Sede do distrito	Poti	Amazonas	Doméstico
P05	Urbana	Bairro São José	-	Amazonas	Doméstico
P06	Rural	Cabaças	Poti	Amazonas	Doméstico
P07	Rural	Sede do distrito	Ibiapaba	Amazonas	Doméstico
P08	Rural	Sede do distrito	Curral Velho	Amazonas	Doméstico
P09	Rural	Santa Clara	Assis	Amazonas	Doméstico
P10	Urbana	Bairro Planalto	-	Amazonas	Industrial

3. Resultados e discussão

3.1. O íon cloreto (Cl⁻)

Na Tabela 2 estão mostrados os valores obtidos para as concentrações de íon Cl⁻ presente nas amostras dos dez poços estudados. Examinando-se minuciosamente os resultados dessas análises e a Figura 2, é possível identificar dois grupos de poços quanto ao teor desse íon presente em suas águas.

O primeiro é composto pelos poços **P01**, **P05**, **P06**, **P07**, **P09** e nove amostras de **P08**. As concentrações do íon Cl⁻ dessas águas não comprometem a sua qualidade, pois os valores estão **abaixo** de 250 mg/L, o VMP estabelecido pela legislação brasileira através da Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde para águas destinadas ao abastecimento público, ou seja, dentro dos padrões de potabilidade.¹¹

No segundo grupo estão incluídos os poços **P02**, **P03**, **P04**, **P10** e três amostras de **P08** (Tabela 2, Figura 2), todos com valores para concentrações de íon Cl⁻ acima de 250 mg/L, ou seja, superior ao VMP determinado

pelo Ministério da Saúde brasileiro. Em se tratando de sua utilização para atender ao consumo humano, estas águas não são recomendadas, pois, além de apresentarem sabor salgado, os altos teores de íon Cl⁻ podem significar sinais de contaminação.^{31,32} Em relação a sua utilização em processos de irrigação, deve ser tomada extrema cautela, já que altas quantidades desse íon são tóxicas para a maioria dos vegetais, causando inibição no seu crescimento.^{2,3}

Examinando-se os dados da Tabela 2 e a Figura 2, é possível observar que essas águas apresentam dois comportamentos quanto à variação anual da concentração de íon Cl⁻.

O primeiro pode ser identificado nas águas dos poços **P01**, **P02**, **P03** e **P10** nas quais se percebe uma diminuição dos valores da concentração de íon Cl⁻ de abril/2011 a março/2012, significando uma melhoria na qualidade dessas águas. Essa melhoria ocorreu mais significativamente com as águas dos poços **P01** e **P03**, cujos valores reduziram-se em 45,9% e 54,7%, respectivamente. Com as águas dos poços **P02** e **P10** esses índices foram bem menores, 4,8% e 3,3%, respectivamente. Esses valores são mostrados na Figura 3 em termos de percentuais negativos.

Tabela 2. Valores da concentração de íon cloreto (Cl⁻), em mg/L, das amostras dos dez poços pesquisados durante um ano

Mês/Ano	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10
Abr/11	98,22	783,76	911,05	454,68	110,12	6,94	28,77	127,98	12,90	785,75
Mai/11	60,52	755,49	537,72	448,43	48,61	12,90	14,88	120,04	15,87	805,59
Jun/11	71,32	931,49	465,51	470,26	88,44	16,17	33,28	132,19	11,41	784,08
Jul/11	99,85	907,71	356,14	524,94	119,82	23,77	60,86	153,11	16,17	741,29
Ago/11	111,26	895,82	363,28	584,38	137,89	32,33	74,18	169,27	20,92	772,20
Set/11	103,66	867,30	429,84	593,89	151,21	38,99	82,74	201,61	28,53	779,33
Out/11	113,17	822,12	498,79	605,78	151,21	49,45	84,64	230,14	24,73	750,80
Nov/11	131,92	821,65	538,97	609,64	155,47	55,59	82,92	253,47	24,50	748,54
Dez/11	143,22	802,81	440,04	619,07	155,47	60,30	70,67	262,89	26,38	746,27
Jan/12	82,92	760,40	381,14	609,64	160,18	62,19	64,07	256,29	29,21	774,54
Fev/12	112,13	762,76	390,57	593,15	155,47	67,84	114,01	227,08	27,33	755,69
Mar/12	53,44	745,77	412,37	570,79	155,59	61,00	141,40	225,57	25,06	759,96

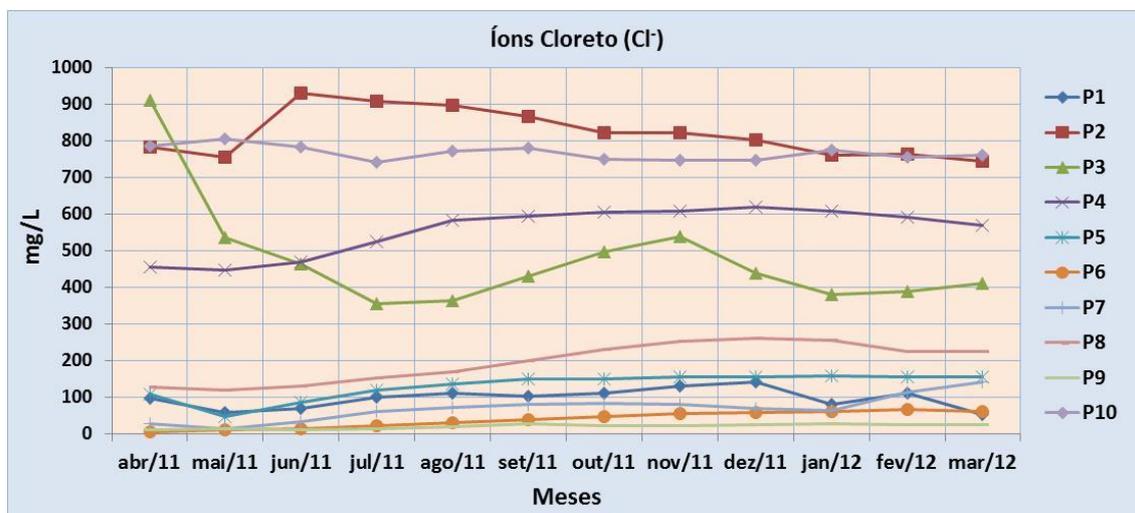


Figura 2. Comportamento da concentração do íon cloreto (Cl⁻) nas amostras dos 10 (dez) poços analisados durante um ano de pesquisa

O segundo comportamento foi observado nas águas dos poços **P04, P05, P06, P07, P08 e P09**, cujas concentrações de íon Cl⁻ sofreram aumento nos seus valores quando

se analisa os meses de abril/2011 e março/2012 (Tabela 2 e Figura 2). A Figura 3 mostra esses valores em percentagens positivas.

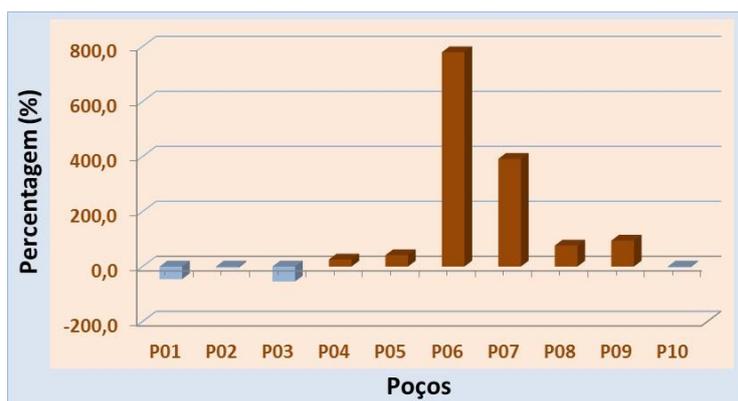


Figura 3. Variação anual em percentagem da concentração do íon cloreto (Cl⁻) dos poços estudados. As percentagens negativas (■) indicam que houve uma diminuição do primeiro para o último mês de análise. As positivas (■), ao contrário, significam que ocorreu um aumento

Os maiores índices de aumento dessas concentrações ocorreram nas águas dos poços **P06** e **P07**, que atingiram os valores de 779,0% e 391,5%, respectivamente. Para o poço **P08** foi de 76,3% e para **P09** foi de 94,3%, valores bastante significativos. Os menores índices foram registrados para os poços **P04** e **P05**, com 25,5% e 41,3% respectivamente.

3.2. A Condutividade Elétrica (CE)

Os valores medidos para a CE das amostras dos dez poços estudados durante o ano de pesquisa estão mostrados na Tabela 3. Estes valores e o gráfico apresentado na Figura 4 permitiram classificar essas águas em três categorias.

Tabela 3. Valores da Condutividade Elétrica (CE), em $\mu\text{S}/\text{cm}$, das amostras dos dez poços pesquisados durante um ano

Mês/Ano	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10
Abr/11	668	2.610	3.420	2.710	860	257	450	1.133	472	2.960
Mai/11	560	2.510	2.340	2.790	452	388	254	1.108	695	2.920
Jun/11	725	3.520	2.180	3.300	808	483	733	1.215	1.098	3.220
Jul/11	838	3.370	1.993	3.400	972	548	560	1.268	570	2.840
Ago/11	905	3.450	2.000	3.800	1.168	647	713	1.365	755	2.930
Set/11	837	3.430	2.210	3.900	1.260	732	823	1.477	825	3.350
Out/11	835	3.280	2.420	3.850	1.272	795	903	1.485	773	2.710
Nov/11	817	2.440	2.230	3.500	1.188	848	907	1.478	753	2.615
Dez/11	875	2.580	2.090	3.700	1.223	920	998	1.552	760	2.520
Jan/12	597	2.400	1.772	3.480	1.162	915	988	1.443	750	2.300
Fev/12	708	2.290	1.735	2.940	1.108	915	1.093	1.383	538	2.390
Mar/12	473	2.280	1.827	2.780	1.102	817	998	1.355	440	2.370

Na primeira categoria estão seis amostras de águas do poço **P01** (abr a jun/11 e jan a mar/12), uma de **P05** (mai/11), seis de **P06** (abr a set/11), cinco de **P07** (abr a ago/11) e seis de **P09** (abr, mai e jul/11, jan a mar/12) (Tabela 3 e Figura 4), que apresentaram valores de CE variando de 250 a 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Essas águas são classificadas como de salinidade média e devem ser usadas com precaução em processos de irrigação. Preferencialmente, elas devem ser utilizadas para irrigar culturas que se desenvolvem em solos silto-arenosos, siltosos ou arenos-argilosos, quando houver uma lixiviação moderada do solo. Em geral, a maioria dos vegetais cultivados pode ser irrigada com esse tipo de água, basta aplicar os manejos recomendados.^{3,28}

Com valores de CE variando entre 750 e 2.250 $\mu\text{S}/\text{cm}$, estão seis amostras de águas do poço **P01** (jul a dez/11), nove de **P03** (jun a set/11; nov/11 a mar/12), onze de **P05** (abr/11; jun/11 a mar/12), seis de **P06** (out/11 a mar/12), sete de **P07** (set/11 a mar/12), todas de **P08** e seis de **P09** (jun/11; ago/11 a dez/12) (Tabela 3 e Figura 4). Segundo a literatura, essas águas são classificadas como de salinidade alta e só

podem ser utilizadas na irrigação de culturas de vegetais quando realizadas em solos bem drenados. No entanto, devem ser tomadas algumas precauções especiais de combate ao fenômeno da salinização, mesmo quando o solo é bem preparado. Somente plantas que apresentam alta tolerância salina podem ser cultivadas com esse tipo de água, como, por exemplo, abacateiro, alface, tomate, abacaxi, centeio, arroz, batata, cana-de-açúcar, etc.^{3,29}

A terceira categoria inclui as águas que apresentaram valores de CE variando entre 2.250 e 5.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Neste conjunto estão todas as águas dos poços **P02**, **P04**, **P10** e três amostras de **P03** (abr a mai/11 e out/12) (Tabela 3 e Figura 4), sendo classificadas como de salinidade muito alta. Em geral, essas águas não servem para irrigação, no entanto, podem ser utilizadas de modo excepcional em solos arenosos e bastante permeáveis, os quais devem ser bem cuidados e abundantemente irrigados. Atenção deve ser tomada para que somente os vegetais de tolerância salina muito alta sejam irrigados com elas: algodoeiro, azevém, beterraba açucareira, capim bermuda, cártamo, cevada, trigo, etc.^{3,29,30}

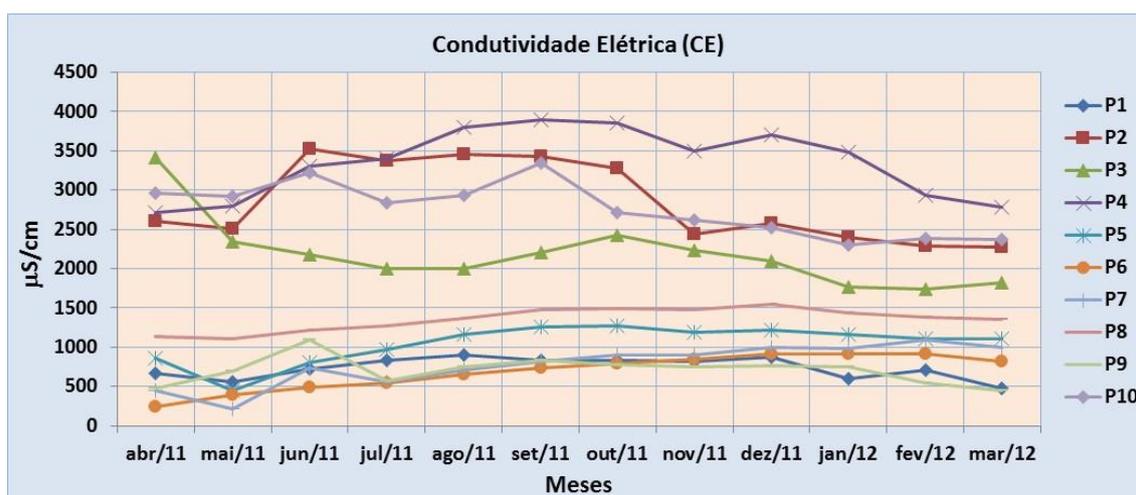


Figura 4. Comportamento da Condutividade Elétrica (CE) nas águas dos dez poços pesquisados durante um ano

Analisando-se os dados da Tabela 3 e a Figura 5, pode-se observar que essas águas

apresentam, similamente ao percebido para a concentração do íon Cl^- , dois

comportamentos quanto à variação anual da CE.

Um deles pode ser identificado nos poços **P01**, **P02**, **P03**, **P09** e **P10** quando se percebe uma diminuição dos valores da CE de abril/2011 a março/2012, significando uma melhoria na qualidade dessas águas tanto para o consumo humano quanto para a utilização em irrigação.

A Figura 3 mostra, em termos percentuais, que a melhoria mais significativa ocorreu com as águas do poço **P03**, cuja CE reduziu-se em 46,6%. As águas do poço **P09** foram as que tiveram o menor índice de melhora na qualidade, apenas 6,8%. Os poços **P01**, **P02** e

P10 atingiram os valores de 29,2%, 12,6% e 19,9%, respectivamente. Todos esses valores estão representados com sinais negativos na Figura 5.

O outro comportamento pode ser observado nas águas dos poços **P04**, **P05**, **P06**, **P07** e **P08**, os quais sofreram aumento nos valores de sua CE quando se analisa os meses de abril/2011 e março/2012 (Tabela 3 e Figura 5). Isto significa um aumento na salinidade dessas águas, o que piora a sua qualidade. Em se tratando de sua utilização para consumo humano e processos de irrigação, elas podem apresentar severas restrições.

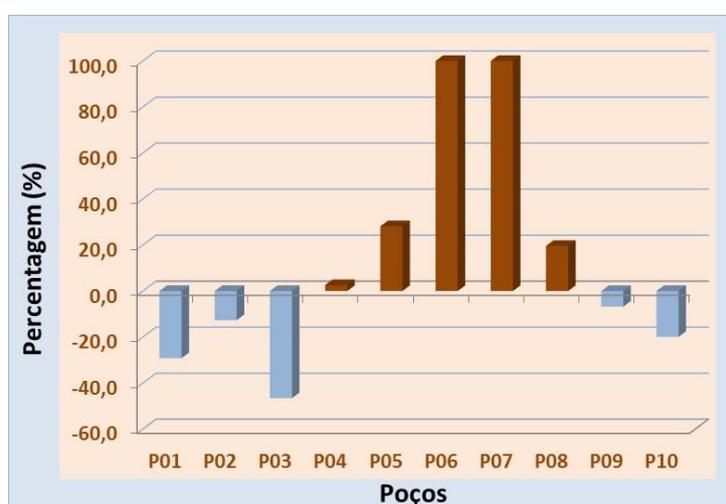


Figura 5. Variação anual em percentagem da Condutividade Elétrica (CE) dos poços estudados. As percentagens negativas (■) indicam que houve uma diminuição do primeiro para o último mês de análise. As positivas (■), ao contrário, significam que ocorreu um aumento

Os maiores índices de aumento da salinidade dessas águas ocorreram com os poços **P06** e **P07**, que atingiram os valores negativos de 230,8% e 121,8%, respectivamente. O menor índice foi registrado para o poço **P04**, com 2,6%. As águas dos poços **P05** e **P08** ficaram em 28,1% e 19,6%, respectivamente. Estes percentuais são apresentados com valores positivos na Figura 5.

3.3. A Condutividade Elétrica (CE) e o íon cloreto (Cl⁻)

Ao se analisar conjuntamente estes dois parâmetros hidroquímicos, alguns pontos relativos à qualidade das águas estudadas neste trabalho devem ser considerados.

Com relação às águas dos poços **P01**, **P05**, **P06**, **P07** e **P09**, elas podem ser consideradas de boa qualidade. Isto significa que sua utilização para consumo humano não encontra restrições, principalmente levando-se em conta os teores de íon Cl⁻. Quanto à CE, elas somente devem ser usadas para irrigação de vegetais que apresentam tolerância salina apropriada, de modo a não prejudicar o crescimento normal das plantas.

Assim, dependendo da época do ano, várias culturas poderão ser desenvolvidas.^{29,33}

Em se tratando do poço **P08** apenas três amostras, nov/11, dez/11 e jan/12, apresentaram valores para concentração de íon Cl⁻ levemente acima do VMP pela legislação brasileira. Essa característica e os seus valores de CE, no entanto, não inviabilizam sua utilização na irrigação de culturas de plantas com apropriada tolerância salina.³⁴

As águas dos poços **P02**, **P04** e **P10** não são consideradas de qualidade suficientemente satisfatória para consumo humano, pois além de apresentarem sabor salgado, por causa das altas concentrações de íon Cl⁻, podem estar contaminadas. Ademais, os elevados valores de CE as caracterizam como águas de salinidade muito alta, apresentando severas restrições quanto ao seu uso na agricultura.³⁵

Em se tratando das águas do poço **P03**, os valores de CE flutuam em torno de 2.250 µS/cm, limite mínimo para uma água de salinidade muito alta. Em três das amostras (abr/11, mai/11 e out/11) esse limite chega a ser ultrapassado. E, por fim, como as concentrações de íon Cl⁻ de todas as suas amostras estão bem acima do VMP pela Portaria nº 2.914/2011, as águas desse poço apresentam praticamente os mesmos aspectos qualitativos do grupo anteriormente descrito.³⁶

4. Considerações finais

A partir dos resultados obtidos das análises físico-químicas da condutividade elétrica (CE) e da concentração de íon cloreto (Cl⁻), realizadas em amostras de águas mensalmente coletadas de dez poços localizados no município de Crateús, foi possível ter noções sobre a qualidade desses recursos hídricos tão essenciais à população rural da cidade.

Os resultados mostraram que as águas dos poços das comunidades rurais de Assis,

Cabaças, Curral Velho, Ibiapaba e Santa Clara podem ser classificadas como de qualidade suficientemente adequada para atender a demanda de consumo humano e ser usada na irrigação de culturas apropriadas. As águas do poço localizado no bairro São José, na sede do município, também apresenta essas mesmas características.

Por outro lado, as águas dos poços localizados nas comunidades rurais de Cajás do Jorge, Lagoa das Pedras e Poti, e do poço do bairro Planalto, localizado na sede municipal, não apresentam qualidade suficiente para atender a demanda de consumo humano. Além disso, o seu uso na agricultura encontra várias restrições, reduzindo expressivamente o número de tipos de vegetais que podem ser irrigados com elas.

Estes resultados mostram que, apesar do clima semiárido responsável por um elevado grau de evapotranspiração³⁷ e do tempo de residência das águas no aquífero cristalino que predomina na região³⁸, mais da metade dos poços analisados apresentam água com qualidade suficiente para o bom desempenho de várias atividades agrícolas, as quais podem ser desenvolvidas pelas populações das comunidades rurais do município de Crateús.

No entanto, para que seja possível fazer uma análise mais completa sobre a qualidade destas águas, com resultados mais precisos, é necessária a realização de outros procedimentos analíticos, tais como determinações dos teores de íons sódio e potássio.

Agradecimentos

À Universidade Estadual do Ceará (UECE) e à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), pelas bolsas concedidas.

Referências Bibliográficas

- ¹ Lopes, F. C. da C.; *Monografia de Graduação*, Faculdade de Educação de Crateús, Brasil, 2010.
- ² Fernandes, M. A. B.; Santiago, M. M. F.; Gomes, D. F.; Mendes Filho, J.; Frisckorn, H.; Lima, J. O. G. A origem dos cloretos nas águas subterrâneas na Chapada do Apodi – Ceará. *Águas Subterrâneas* **2005**, *19*, 25. [[Link](#)]
- ³ Santos, A. C. Em *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*; Feitosa, F. A. C.; Manoel Filho, J., eds.; CPRM (LABHID-UFPE): Fortaleza, 2000, cap. 5.
- ⁴ Silva, C. T. S.; Silva, K. F. N. L. Carvalho, C. M. Vieira, A. J. D. *Resumos do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Maceió, Brasil, 2011.
- ⁵ Athayde Júnior, G. B.; Nóbrega, C. C.; Gadelha, C. L. M.; Souza, I. M. F.; Fagundes, G. S. Efeito do antigo Lixão do Roger, João Pessoa, Brasil, na qualidade da água subterrânea local. *Ambiente & Água* **2009**, *4*, 142. [[CrossRef](#)]
- ⁶ Paz, V. P. S.; Frizzone, J. A.; Botrel, T. A.; Folegatti, M. V. Otimização do uso da água em sistemas de irrigação por aspersão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* **2002**, *6*, 404. [[CrossRef](#)]
- ⁷ Hem, J. D.; *Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water*, 3a. ed., U.S. Geological Survey: Alexandria, 1985.
- ⁸ Zoby, J. L. G. *XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, Natal, Brasil, 2008. [[Link](#)]
- ⁹ Lima, J. R.; *Monografia de Graduação*, Faculdade de Educação de Crateús, Brasil, 2011.
- ¹⁰ Filho, C. F. M. *Abastecimento de água*. Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento>>. Acesso em: 29 mar. 2013.
- ¹¹ BRASIL. *Portaria MS nº 2.914/2011*, Brasília, Brasil, 2011. [[Link](#)]
- ¹² Rocha, C. M. B. M.; Rodrigues, L. S.; Costa, C. C.; Oliveira, P. R.; Silva, I. J.; Jesus, É. F. M.; Rolim, R. G. Avaliação da qualidade da água e percepção higiênico-sanitária na área rural de Lavras, Minas Gerais, Brasil, 1999-2000. *Cadernos de Saúde Pública* **2006**, *22*, 1967. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ¹³ Silva, Ê. F. F.; Anti, G. R.; Carmello, Q. A. C.; Duarte, S. N. Extratores de cápsulas porosas para o monitoramento da condutividade elétrica e do teor de potássio na solução de um solo. *Scientia Agricola* **2000**, *57*, 785. [[CrossRef](#)]
- ¹⁴ Oliveira, J. C. P. T.; Padilha, A. F. Caracterização microestrutural dos alumínios comerciais AA1100, AA1050 e AA1070 e do alumínio superpuro AA1199. *Rem: Revista Escola de Minas* **2009**, *62*, 373. [[CrossRef](#)]
- ¹⁵ Alshammary, S. F.; Qian, Y. L.; Wallner, S. J. Growth response of four turfgrass species to salinity. *Agricultural Water Management* **2004**, *66*, 97. [[CrossRef](#)]
- ¹⁶ Pereira, L.; Santiago, M. M. F.; Frisckorn, H.; Araújo, J. C.; Lima, J. O. G. A salinidade das águas superficiais e subterrâneas na Bacia da Gameleira, Município de Aiuaba/CE. *Águas Subterrâneas* **2006**, *20*, 9. [[Link](#)]
- ¹⁷ Brasil. *Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca - PAN-Brasil*. Brasília, Brasil, 2004. [[Link](#)]
- ¹⁸ Ramos, L. R.; *Monografia de Graduação*, Universidade Federal do Ceará, Brasil, 2005.
- ¹⁹ Feitosa, F. A. C.; Vidal, C. *Proposta CTHidro*, Ministério das Minas e Energia – CPRM, Brasil, 2004. [[Link](#)]
- ²⁰ Feitosa, F. A. C. *Atlas digital dos recursos hídricos do Estado do Ceará*, CPRM, Fortaleza, 1998. [[Link](#)]
- ²¹ Brasil. *Plano territorial*, Ministério do Desenvolvimento Agrário, Fortaleza, 2010. [[Link](#)]
- ²² Soares, A. M. L.; Carvalho, M. S. B. S.; Soares, Z. M. L.; Almeida, M. A. G.; Santos, S. M.; Oliveira, F. A. J.; Freitas, H. C. *XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, 2009. [[Link](#)]

- ²³ Zavattini, J. A. *Estudos do clima no Brasil*, 1a. ed., Alínea: Campinas, 2004.
- ²⁴ COGERH/SEMACE. *Boletim informativo*, Secretaria dos Recursos Hídricos, Fortaleza, 2000. [\[Link\]](#)
- ²⁵ Silva, R. C. A.; Araújo, T. M. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). *Ciência & Saúde Coletiva* **2003**, *8*, 1019. [\[CrossRef\]](#)
- ²⁶ APHA. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, 21a. ed., AWWA – WEF: Denver. 2005.
- ²⁷ Lima, R. S.; Santos, V. B.; Guerreiro, T. B.; Araújo, M. C. U.; Gaião, E. N. Um sistema microcontrolado para o monitoramento on-line, in situ e remoto de pH, condutividade e temperatura de águas. *Química Nova* **2011**, *34*, 135. [\[CrossRef\]](#)
- ²⁸ Almeida, O. A. *Qualidade da água de irrigação*. Livro eletrônico. Embrapa: Cruz das Almas, 2010. [\[Link\]](#)
- ²⁹ Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. INCT Sal: Fortaleza, 2010. [\[Link\]](#)
- ³⁰ Andrade Júnior, A. S.; Silva, E. F. de F.; Bastos, E. A.; Melo, F. B.; Leal, C. M. Uso e qualidade da água subterrânea para irrigação no semi-árido piauiense. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* **2006**, *10*, 873. [\[CrossRef\]](#)
- ³¹ Silva Júnior, L. G. A.; Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F. Composição química de águas do cristalino do nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* **1999**, *3*, 11. [\[Link\]](#)
- ³² Manoel Filho, J. Em *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*; Feitosa, F. A. C.; Manoel Filho, J., eds.; 2a. ed. CPRM (LABHID-UFPE): Fortaleza, 2000, cap. 6.
- ³³ Filgueira, H. J. A. Agricultura no semiárido e a água: Vulnerabilidades e mitigação. *Conceitos*, **2004**, *1*, 98. [\[Link\]](#)
- ³⁴ Barroso, A. A. F.; Gomes, G. E.; Lima, A. E. O.; Palácio, H. A. Q.; Lima, C. A. L. Avaliação da qualidade da água para irrigação na região Centro Sul no Estado do Ceará. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* **2011**, *15*, 588. [\[CrossRef\]](#)
- ³⁵ Silva, F. J. A.; Araújo, A. L.; Souza, R. O. Águas subterrâneas no Ceará – poços instalados e salinidade. *Revista Tecnologia* **2007**, *28*, 136. [\[Link\]](#)
- ³⁶ Lobato, F. A. O.; Andrade, E. M.; Meireles, A. C. M.; Crisostomo, L. A. Sazonalidade na qualidade da água de irrigação do Distrito Irrigado Baixo Acaraú, Ceará. *Revista Ciência Agrônômica* **2008**, *39*, 167. [\[Link\]](#)
- ³⁷ Costa, A. M. B.; Melo, J. G.; Silva, F. M. Aspectos da salinização das águas do aquífero cristalino no Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. *Águas Subterrâneas* **2006**, *20*, 67. [\[Link\]](#)
- ³⁸ Salati, E. Leal, J. M.; Campos, M. M. *Isótopos ambientais aplicados a um estudo hidrogeológico do Nordeste brasileiro*. SUDENE/DRN: Recife, 1979.