

## APLICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA ÁGUA NOS ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS DA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL

*Mickaelon Belchior Vasconcelos<sup>1</sup> Claudio Cesar de Aguiar Cajazeiras<sup>2</sup> Rafael Rolim de Sousa<sup>3</sup>*

**RESUMO** - A determinação da qualidade química de águas subterrâneas ou águas superficiais, trata-se de um mecanismo que, na maioria das vezes denota a realização de análises laboratoriais com custos relativamente consideráveis ao orçamento do Projeto. Mesmo com a disponibilidade no mercado especializado de equipamentos científicos para análise parâmetros de qualidade de água portáteis, ou seja, que podem ser transportados ao local de coleta com relativa facilidade, ainda torna-se um desafio esse conhecimento em decorrência dos custos envolvidos. Este trabalho objetiva apresentar um panorama de utilização do parâmetro de condutividade elétrica (CE) da água, aplicado como uma ferramenta em diversos estudos hidrogeológicos. São apresentadas situações em que foi investigada a variação da CE na coluna d'água de poços, variação temporal em bombeamento de poços, variação sazonal da CE em poços localizados em rochas fraturadas, também a elaboração de mapa de isovalores e, correlações hidroquímicas. O parâmetro da condutividade elétrica representa um parâmetro satisfatório para indicar informações instantâneas em uma primeira caracterização hidroquímica da amostra e conseqüentemente contribuir para o conhecimento hidrogeológico de determinada região.

**Palavras-chave** – hidrogeologia; qualidade de água; semiárido.

**ABSTRACT** - The determination of the chemical quality of groundwater or surface waters is a mechanism that, in most cases, denotes laboratory tests with relatively considerable costs to the project budget. Even with the availability in the specialized market of scientific equipment for analysis of portable water quality parameters, that is, that can be transported to the collection site with relative ease, this knowledge becomes a challenge due to the costs involved. This work aims to present a panorama of the use of the parameter of electrical conductivity (EC) of water, applied as a tool in several hydrogeological studies. We present situations in which the EC variation in the well water column, temporal variation in well pumping, EC seasonal variation in wells and fractured rocks was investigated, as well as the mapping of isovalues using this parameter. The electrical conductivity parameter represents a satisfactory parameter to indicate instantaneous information in a first hydrochemical characterization of the sample and consequently contribute to the hydrogeological knowledge of a given region.

---

<sup>1</sup> Serviço Geológico do Brasil-CPRM; Residência de Fortaleza; Avenida Antônio Sales, nº 1418, CEP.60.135-101 Fortaleza-CE.(85)3878.0233  
mickaelon.vasconcelos@cprm.gov.br

<sup>2</sup> Serviço Geológico do Brasil-CPRM; Residência de Fortaleza. claudio.cajazeiras@cprm.gov.br

<sup>3</sup> Serviço Geológico do Brasil-CPRM; Residência de Fortaleza. rafael.rolim@cprm.gov.br

## 1. INTRODUÇÃO

A determinação da qualidade hidroquímica de aquíferos ou águas superficiais, trata-se de um mecanismo que, na maioria das vezes requer a realização de análises laboratoriais. Mesmo com a disponibilidade do comércio de equipamentos científicos para análise parâmetros de qualidade de água portáteis, ou seja, que podem ser transportados ao local de coleta com relativa facilidade, ainda torna-se um desafio esse conhecimento em decorrência dos valores das sondas portáteis e também da estrutura muitas vezes necessária para seguir os padrões de coleta e análise.

Uma amostra d'água pode ser classificada em termos paramétricos, em três características:

a) Características físicas; b) Características químicas; c) Características microbiológicas:

Um parâmetro que pode ser utilizado como referência para conhecimento mesmo que superficial da qualidade dos corpos hídricos, é a condutividade elétrica (CE). A condutividade elétrica da água representa um parâmetro físico utilizado para obtenção das características de determinado meio líquido, em termos de águas subterrâneas, trata-se de um processo relativamente fácil e rápido para se caracterizar o meio. De um modo geral, reflete a capacidade da água conduzir corrente elétrica. Esta propriedade pode ser um parâmetro relativo para compará-la a quantidade de sais presentes. Águas subterrâneas com condutividade elétrica elevada possuem também maiores quantidades de sais (cátions e ânions). A unidade usual para expressar este parâmetro é o microsiemes por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), que é a unidade utilizada pelo Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), operado pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM.

A concentração dos íons maiores ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_2$  dissolvido,  $\text{SiO}_2$ ) normalmente compõem mais do que 95% do STD na maioria das águas naturais (Fitts, 2002).

A CE não é muito utilizada como um parâmetro de potabilidade, porém um manual técnico da Austrália recomenda o máximo de 800 microsiemes/cm para consumo humano (Waterwatch Australia, 2005).

Existe uma correlação empírica entre a Condutividade Elétrica (CE) e os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) que a CE é aproximadamente igual a “A multiplicado pelo (STD)”, onde CE é expressa em microsiemes/cm, o STD em mg/L e “A” representa uma constante que varia na faixa de 0,55 até 0,75 para uma larga faixa de águas naturais (Hem, 1985) *in* Fitts (2002). Em alguns documentos, o STD é nomeado de Sólidos Dissolvidos Totais (SDT).

## **2 OBJETIVOS**

Este trabalho tem o objetivo de apresentar um panorama da aplicação do parâmetro de condutividade elétrica da água, bem como as suas aplicações em alguns trabalhos desenvolvidos especificamente para estudo das águas subterrâneas.

## **3 METODOLOGIA**

O desenvolvimento desse trabalho foi realizado a partir da compilação de estudos específicos que apresentam a utilização do parâmetro da condutividade elétrica no estudo das águas subterrâneas.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1 Análise da variação da condutividade elétrica na coluna d'água de poços tubulares.**

O processo de perfilagem de condutividade elétrica e temperatura é um procedimento que tem como objetivo a identificação de possíveis variações destes parâmetros correlacionados com a profundidade da lâmina d'água no poço considerado. Silva *et al.* (2003) utilizou este método em poços no cristalino para a identificação das fraturas, sendo também foi utilizado por Costa *et al.* (2004) para verificar a diferença da qualidade de água da lâmina d'água do poço antes e depois da realização de uma limpeza no poço. Santos e Costa (2008) consideram uma vantagem do perfil de temperatura por fornecer informações de estanqueidade do revestimento em conexões ou em rachaduras onde são indicadas anomalias no valor apresentado. Isso pode ser também observado com os perfis de CE na coluna d'água de poços e podem fornecer uma informação mais apurada utilizando e correlacionado as duas informações, temperatura e CE.

As informações obtidas nesse procedimento de perfilagem da temperatura e condutividade elétrica da água são úteis para:

- Identificação das áreas com maior fluxo de águas subterrâneas, nas telas dos filtros;
- Variações da qualidade de água, que pode indicar poços com limpeza deficiente;
- Localização das principais fissuras responsáveis pelas entradas d'água, no caso de terrenos cristalinos e cársticos.
- Em estudos químicos mais detalhados, identificar as possíveis reações que ocorrem, decorrentes da temperatura.
- Definir ou restringir o uso, principalmente quando se destina ao uso agrícola ou industrial.
- Condições de estanqueidade do revestimento nas conexões dos tubos.

Na perfilagem realizada no poço tubular (Figura 1), foi verificado três níveis de comportamento da condutividade elétrica na coluna d'água do poço. A primeira faixa, que está entre 25 metros (topo da coluna d'água) até aproximadamente 36 metros, no qual possui uma condutividade elétrica variando de 287  $\mu\text{S}/\text{cm}$  até 497  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; a segunda faixa entre 38 metros até 35 metros, com a CE variando entre 995 e 1.082  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e o nível mais inferior onde a CE aumenta significativamente com a CE passando de 1.082  $\mu\text{S}/\text{cm}$  aos 55 m até 5.565  $\mu\text{S}/\text{cm}$  aos 59 metros. ocorre uma variação da condutividade elétrica de forma abrupta, sendo um indício da localização dos filtros. Os estudos ainda estão no início, porém, a expectativa é que ocorra uma sistematização das medidas sazonais e verificar o significado efetivo da variação da CE na coluna d'água do poço.

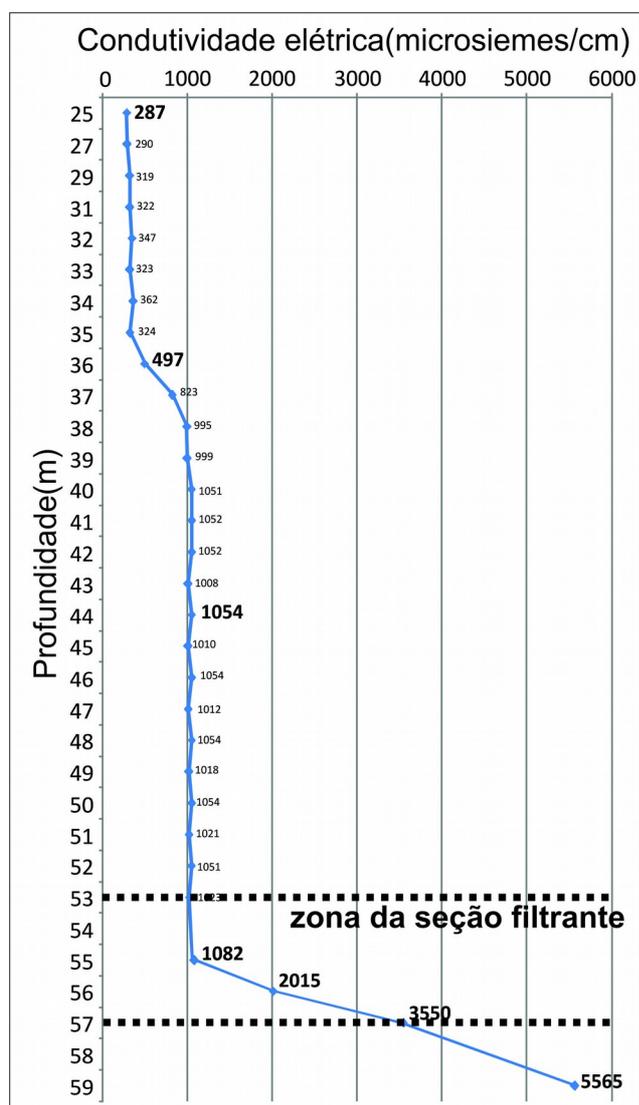


Figura 1 - Perfilagem de condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) na coluna d'água de um poço tubular de monitoramento do município de Brasileira-Piauí.

#### 4.2 Variação da condutividade elétrica em testes de bombeamento de poços.

No estado do Piauí, após a construção de alguns poços de monitoramento no aquífero Cabeças, foi realizado o processo de limpeza dos poços, com isso, foram feitas oito (08) medidas de condutividade elétricas a cada hora. Na figura 2 é apresentada a variação da CE dos poços em processo de bombeamento. Foi verificado que, de um modo geral, a condutividade da água dos poços é estável, ou seja, não existem variações significativas no aquífero considerado. As variações ocorridas nos poços de Brasileira e Oeiras, provavelmente estão associadas ao volume de água estagnada no poço, ou seja, a água presente na coluna d'água possui uma maior concentração de sais. Outras hipóteses seria um baixo fluxo das águas subterrâneas e/ou a presença de litotipos diferenciados, como por exemplo, intrusões de rochas do tipo diabásica.

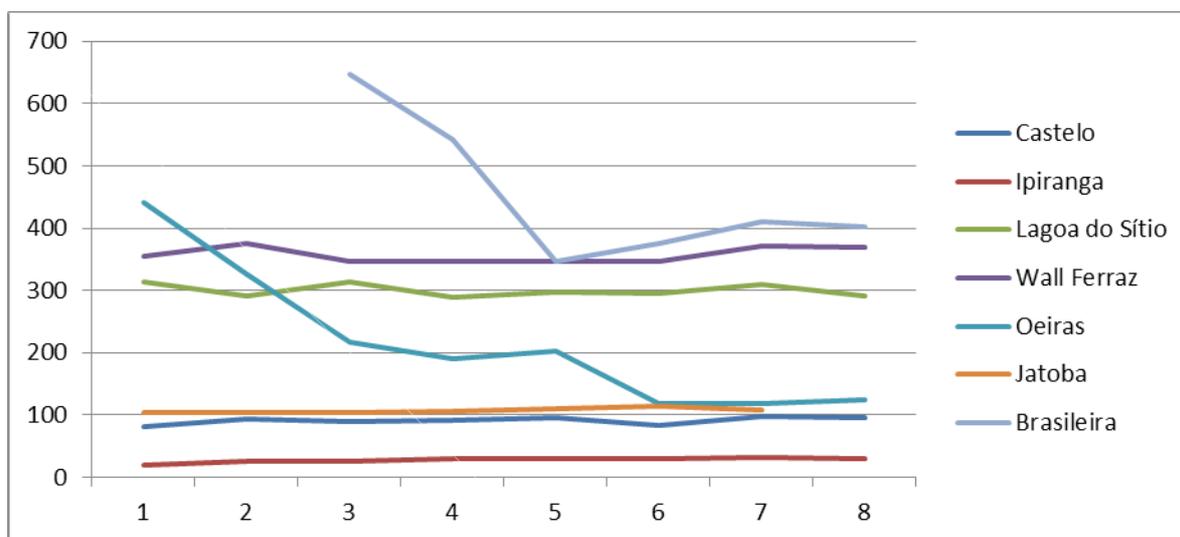


Figura 2 - Variação da condutividade elétrica com o tempo em poços sendo bombeados.

#### 4.3 Variação sazonal da condutividade elétrica em mananciais hídricos.

Silva et al. 1999 realizou a caracterização da variação sazonal da qualidade da água de poços em rochas fraturadas e sua correlação com a água de um reservatório de superfície. Utilizou-se a condutividade elétrica no monitoramento da qualidade de água (Figura 3). Em um espaço de tempo de aproximadamente dois anos, mostrou que as águas dos poços possuem variações no início do monitoramento e logo após, em setembro do ano de 1998 os poços apresentaram um comportamento similar. No que refere-se a água do reservatório de superfície, verificou-se a estreita relação da condutividade elétrica com a variação pluviométrica, ou seja, no período da estação seca, o mesmo alcançou uma CE de 4.000 microsiemes/cm e, durante a estação chuvosa os valores são próximos a 100 microsiemes/cm.

Desta forma, a CE mostra a sua utilidade, pois caracterizou a variação da qualidade da água sem necessidade, em um primeiro momento, de realização de análises hidroquímicas dos íons em laboratório.

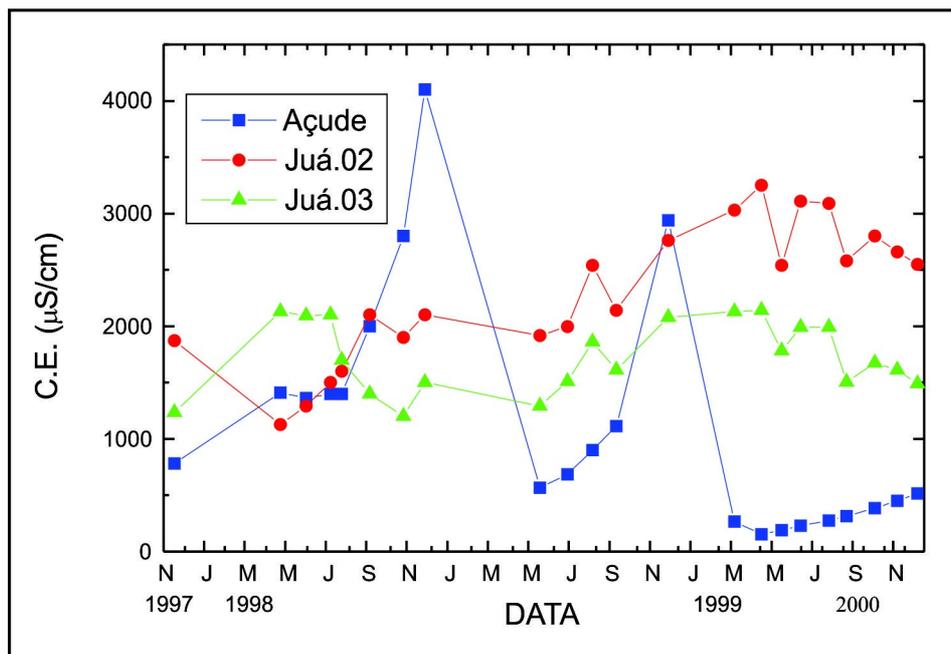


Figura 3 - Monitoramento de poços em rochas fraturadas e um reservatório de superfície (açude) realizado considerando a condutividade elétrica na região do distrito de Juá, município de Irauçuba – Ceará (Fonte: Silva et al. 1999).

#### 4.4 Relações hidroquímicas da condutividade elétrica.

A avaliação das relações hidroquímicas foi baseada em gráficos de dispersão para a obtenção do coeficiente de correlação.

O coeficiente de correlação “r” deve ser usado como uma medida de força da relação de duas variáveis, pois mede o grau de dependência entre elas. Os valores ficam situados no intervalo de  $[-1 \leq r \leq 1]$ . A análise de correlação permite obter o grau de dependência entre dois conjuntos de dados. Se os maiores valores de um conjunto estão associados com os maiores valores de outro conjunto, tem-se uma correlação positiva (+1); ou se menores valores de um conjunto estão associados com maiores valores do outro, tem-se uma correlação negativa (-1). Se os valores nos dois conjuntos não se relacionam, tem-se uma correlação igual ou próxima de zero.

As correlações hidroquímicas realizadas referem-se à determinação físico-química simplificada de 414 amostras de poços, sendo 379 com dados de profundidade, quando foram obtidos dados de condutividade elétrica, cloreto e nitrato realizadas no município de Natal (FUNCERN, 2006). Na análise do íon nitrato *versus* condutividade elétrica e do íon cloreto (mg/L) *versus* condutividade elétrica (Figura 5), obteve-se, respectivamente, um coeficiente de correlação de 0,54 e 0,79.

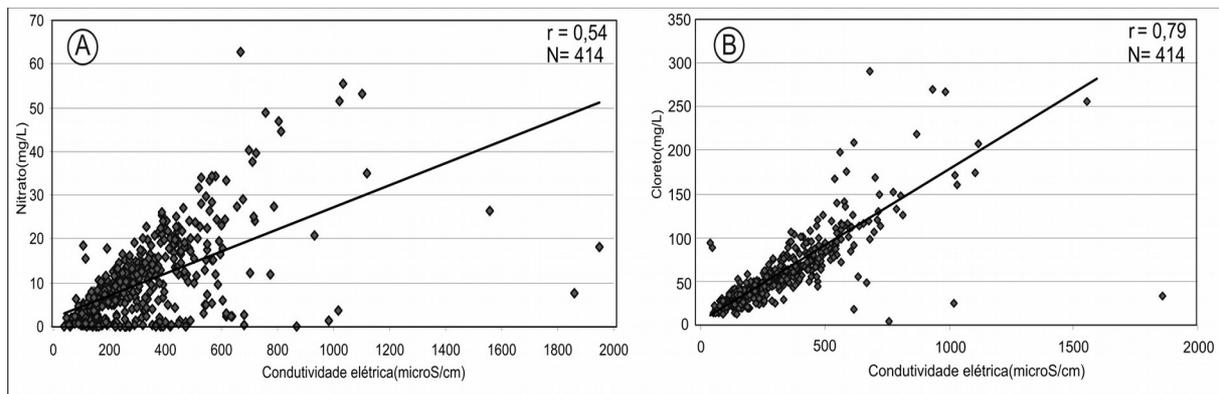


Figura 4 - Coeficiente de correlação: (A) nitrato *versus* condutividade elétrica; (B) cloreto *versus* condutividade elétrica.

#### 4.5 Representação dos valores de condutividade elétrica em mapa.

Para a verificação de uma forma mais geral da qualidade das águas do aquífero Açú na Bacia Potiguar, no estado do Rio Grande do Norte, foi elaborado um mapa de isovalores de Condutividade Elétrica das águas subterrâneas. Diante disso, verifica-se que existe uma diminuição da condutividade elétrica da água, e conseqüentemente redução da salinidade, a medida em que se direciona para norte da área, ou seja, aumenta a distância das rochas cristalinas e se aproxima das rochas da Formação Jandaíra.

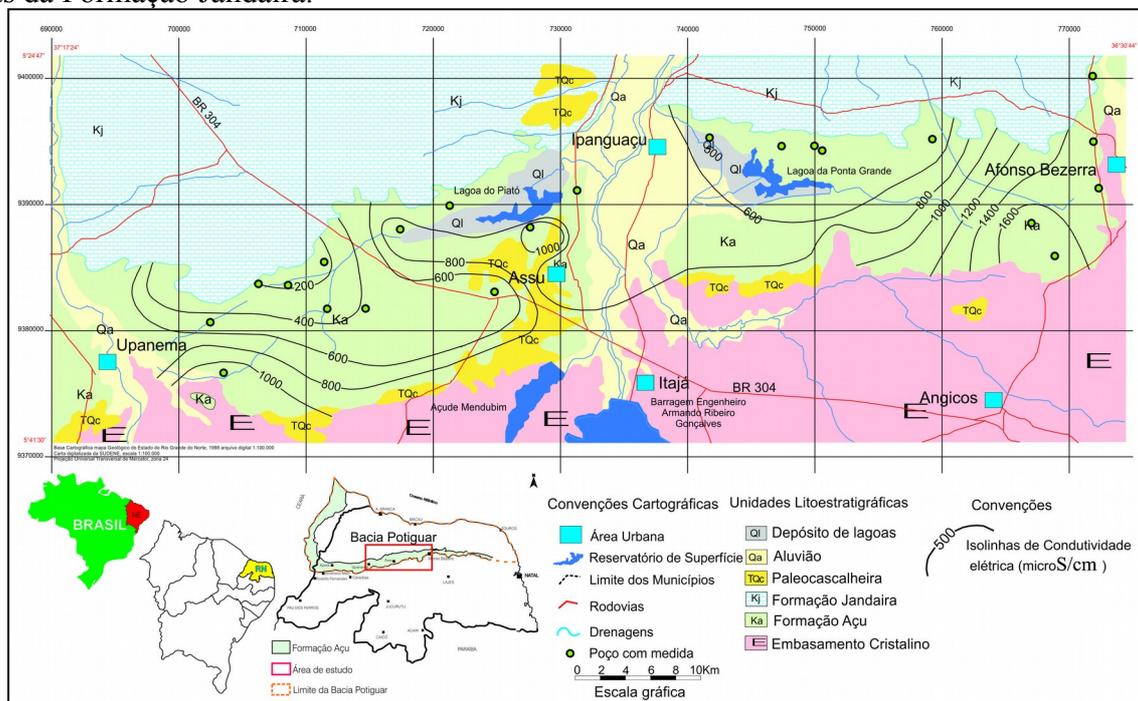


Figura 5 - Mapa de isovalores de condutividade elétrica em março de 2007 para a zona de afloramento do aquífero Açú, no estado do Rio Grande do Norte. (Fonte com modificações Moraes et al. 2007).

No estado do Ceará, o Serviço Geológico do Brasil através do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, realizou um zoneamento da qualidade de água utilizando como parâmetro

inicial a condutividade elétrica (Figura 6). Para compor o mapa de forma que seja utilizado como um zoneamento orientativo em relação a potabilidade da água, transformou-se o valor da CE para o valor de Sólidos Totais Dissolvidos (STD), que representa um parâmetro de qualidade de água de acordo com a Portaria 2914 de 12/12/2011 do Ministério da Saúde. O valor utilizado para converter CE em STD foi de 0,65, representando um valor médio para todas as amostras consideradas.

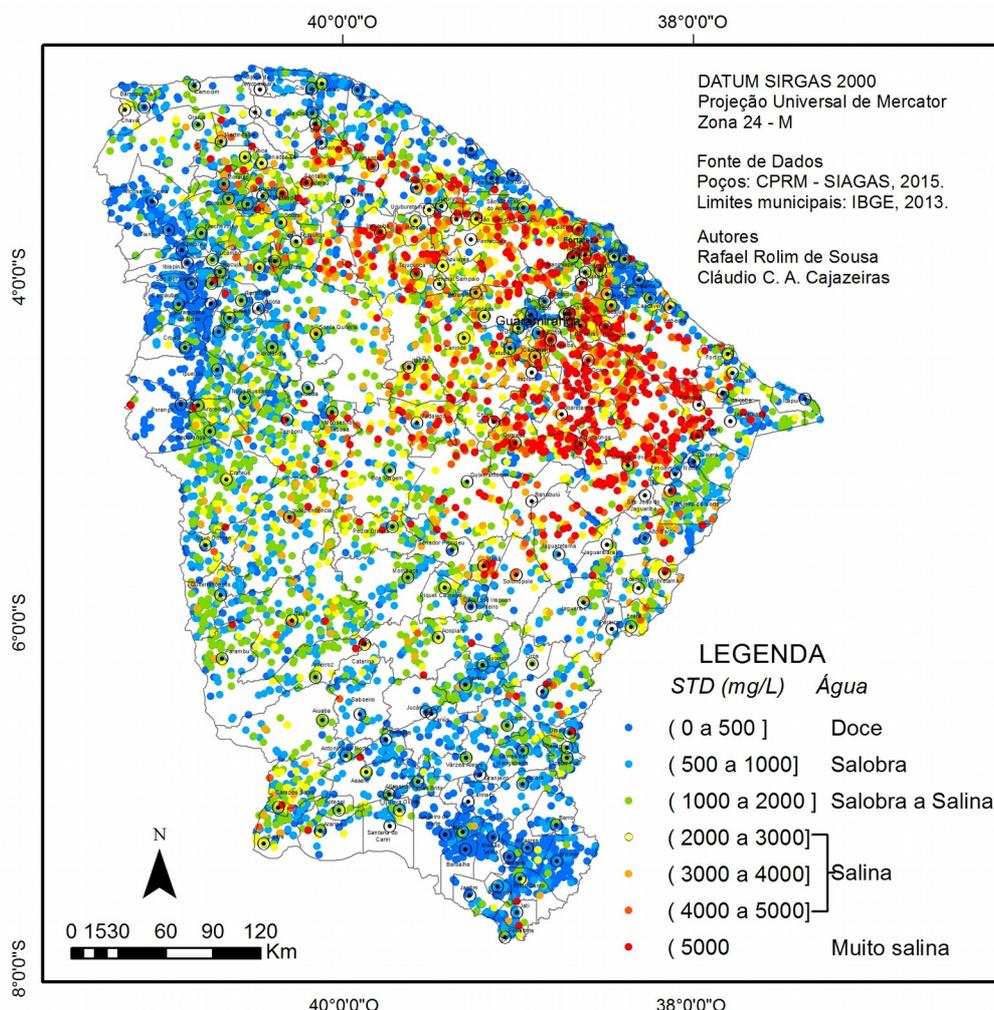


Figura 6 - Mapa do estado do Ceará com as concentrações de Sólidos Totais Dissolvidos obtidos a partir de dados de condutividade elétrica em poços cadastrados no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS).

## 5. CONCLUSÕES

A condutividade elétrica (CE) da água mesmo sem ser utilizada como um parâmetro restritivo de potabilidade no Brasil representa um parâmetro indicativo das condições hidroquímicas, principalmente para levantamentos de baixo custo onde se busca o conhecimento básico da qualidade das águas subterrâneas.

As variações temporais de CE podem indicar diferentes origens das águas subterrâneas e/ou também serem úteis para identificar possíveis impurezas na coluna d'água de poços. Nas variações

de CE na coluna d'água, pode se verificar as possíveis entradas de água em poços, como as seções filtrantes e, também, para poços no cristalinos pode auxiliar na identificação das entradas de águas nas fraturas. Em termos de correlações hidroquímicas, verifica-se que a CE existe uma correlação mais próxima com o cloreto.

Diante das aplicações apresentadas, a condutividade elétrica representa um parâmetro essencial para estudos hidrogeológicos básicos sendo útil para a caracterização e zoneamento de unidades aquíferas e fornecer suporte para análises mais complexas das condições hidrogeológicas particulares de cada aquífero considerado.

## 6. REFERÊNCIAS

COSTA, W.D., SANTOS, M.A.V.; COSTA FILHO, W.C.; CAVALCANTI, D.J. (2004) *Monitoramento dos aquíferos Costeiros de Pernambuco na Região do Recife* in Cabral, J. J. S. P.; Ferreira, J. P. C. L.; Montenegro, S. M. G. L.; Costa, W. D.; Água Subterrânea: Aquíferos Costeiros e Aluviões, Vulnerabilidade e Aproveitamento.

FITTS, C. R.(2002), *Groundwater Science*, 450 p. Academic Press.

FREEZE, R.A.; CHERRY, J.A.(1979), *Groundwater*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA, 604pp.

FUNCERN., 2006. (VOLUME II) Cadastramento e Nivelamento de Poços no Aquífero Barreiras no Município do Natal, RN. Secretaria de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte – SERHID, CEFET-RN, IGARN, Volume II, disponível em: <http://www.igarn.rn.gov.br/conteudo/principal/Cadastro/Relat%C3%B3rio%20Final%20do%20Cadastro%20Volume%2001.pdf>. Acesso em: 17/01/2008.

MICHALSKI, A. (1989) *Application of Temperature and Electrical-Conductivity Logging in Ground Water Monitoring*. Acesso em 18/01/2016 <http://info.ngwa.org/gwol/pdf/891849360.PDF>

MORAIS, F. ; MELO, J. G. ; MEDEIROS, J. I. ; SRIVASTAVA, N. K. ; DINIZ FILHO, J. B.; CASTRO, V. L. L. ; OLIVEIRA, J. A. ; VASCONCELOS, M. B.(2005) *Hidrogeologia do Aquífero Açú na Borda Leste da Bacia Potiguar: Trecho Upanema-Afonso Bezerra* (Relatório Estado da Arte/ Rede Cooperativa de Pesquisa: Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semiárida).

MORAIS, F.; MELO, J.G. ; MEDEIROS, J.I.; SRIVASTAVA, N.K.; DINIZ FILHO, J. B.; CASTRO, V.L.L. ; OLIVEIRA, J.A.; VASCONCELOS, M.B.( 2007) *Comportamento das bacias sedimentares da região semi-árida do Nordeste brasileiro. Avaliação do aquífero Açú na borda sul da bacia Potiguar – Trecho: Upanema-Afonso Bezerra (Relatório Integrado)*. Recife: CPRM/FINEP, 2007.

SILVA, C. M. S. V.; DEMETRIO, J. G. A.; SANTIAGO, M. M. F.; VASCONCELOS, M. B.; FEITOSA, F. A. C. (2003). Perfis de Temperatura no Estudo de Conexões entre Açude e Poços no

Cristalino. *in* XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2003, Curitiba. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

SILVA, C. M. S. V.; SANTIAGO, M. M. F.; VASCONCELOS, M. B. (2001). Recarga e Datação de Poços no Cristalino. *in* IV Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste, Recife. IV Simpósio de Geologia do Nordeste. São Paulo: ABAS, 2001. p. 8-14.

SILVA, C. M. S. V.; SANTIAGO, M. M. F.; FEITOSA, F. A. C.; VASCONCELOS, M. B. (1999) *Mecanismos de Recarga de Poços no Cristalino-Juá/Ceará*. *in* XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte. XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

VASCONCELOS, M. B.; FEITOSA, F. A. C.; SANTIAGO, M. M. F.; SILVA, C. M. S. V. (2000). *Estudo de Um Sistema Aquífero Usando Condutividade Elétrica e Hidroquímica* *in* VI Encontro de Iniciação a Pesquisa, Universidade de Fortaleza, 2000, Fortaleza-CE. VI Encontro de Iniciação a Pesquisa/UNIFOR.

VASCONCELOS, M. B. (2010) *Análise Integrada dos Efeitos da Expansão Urbana nas Águas Subterrâneas como Suporte a Gestão dos Recursos Hídricos da Zona Norte de Natal – RN*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociência, UFPE.

WATERWATCH AUSTRALIA (2005) *Waterwatch Australia national technical manual: module 6 - groundwater monitoring*, Department of the Environment and Heritage, Canberra, ACT. Acesso em 07/07/2016, <<http://nrmonline.nrm.gov.au/catalog/mql:2875>>.