



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO



DANIEL CAMPOS MOREIRA

RECARGA E ASPECTOS QUALI-QUANTITATIVOS DAS ÁGUAS DO
AQUÍFERO JANDAÍRA NO MUNICÍPIO DE BARAÚNA/RN

NATAL, novembro

2017

DANIEL CAMPOS MOREIRA

**RECARGA E ASPECTOS QUALI-QUANTITATIVOS DAS ÁGUAS DO
AQUÍFERO JANDAÍRA NO MUNICÍPIO DE BARAÚNA/RN**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
como parte dos requisitos para a obtenção do grau
de Engenheiro Ambiental.

Orientador: *Profa. Dra. Vera Lúcia Lopes Castro*

NATAL, novembro

2017

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Moreira, Daniel Campos.

Recarga e aspectos quali-quantitativos das águas do aquífero Jandaíra no município de Baraúna/RN / Daniel Campos Moreira. - 2017.

46 f.: il.

Monografia (graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental. Natal, RN, 2017.

Orientadora: Profa. Dra. Vera Lúcia Lopes de Castro.

1. Engenharia ambiental - Monografia. 2. Cárstico - Monografia. 3. Precipitação - Monografia. 4. Poços - Monografia. I. Castro, Vera Lúcia Lopes de. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente a Deus, que me deu forças ao longo da minha caminhada na Universidade e continua dando ao longo da vida.

Aos meus pais, Alexandre de Souza Moreira e Maria da Conceição Campos Moreira, pelo amor e carinho imenso e pelo suporte e proteção que sempre me deram desde o dia que nasci.

Às minhas irmãs Dayse Campos Moreira e Denyse Campos Moreira, pelo amor e amizade desde sempre e pelos inúmeros bons momentos com que compartilhamos até hoje.

À minha professora orientadora, Vera Lúcia Lopes de Castro, por ter me acolhido durante o curso, permitindo que eu participasse de projetos e trabalhos (este incluso) da Universidade que agregassem conhecimento e experiência na minha formação profissional, bem como pela intensa dedicação na orientação deste trabalho, dando-me total atenção, apoio, confiança e incentivo durante os meses em que me dediquei a escrevê-lo.

A todos os meus amigos, dentro e fora da Universidade, pelo companheirismo, pelos momentos de lazer e descontração, e pela ajuda que me deram nos momentos que precisei.

RESUMO

A área da pesquisa, localizada no município de Baraúna/RN, se destaca no setor da atividade agrícola, especificamente na fruticultura irrigada. No entanto, os prolongados períodos de estiagens associados ao intensivo uso das águas subterrâneas do aquífero Jandaíra têm sinalizado a necessidade da realização de avaliações quali-quantitativas contínuas. Nessa perspectiva, o presente estudo tem como objetivo geral compreender o comportamento da recarga natural do aquífero Jandaíra, município de Baraúna/RN, a partir das relações entre as precipitações e as medições dos níveis das águas subterrâneas, entre os anos de 2003 e 2016, e as medições de alguns dos parâmetros físico-químicos, nos anos 2011 e 2015. Assim, foram trabalhados os seguintes objetivos específicos: (i) conhecer o comportamento dos níveis das águas subterrâneas nos períodos secos e chuvosos, a partir dos poços selecionados através de estatística descritiva; (ii) conhecer o comportamento do pH, condutividade elétrica e das concentrações de sólidos totais dissolvidos, nitrato e cloreto nos períodos secos e chuvosos através de estatística descritiva e pelo método estatístico ANOVA e (iii) analisar a capacidade de recuperação dos níveis estáticos dos poços tubulares estudados através de estatística descritiva. Os resultados obtidos, quanto aos aspectos quantitativos, indicaram que os níveis estáticos dos poços respondem em um curto espaço de tempo aos efeitos das precipitações, seja na recuperação rápida dos níveis estáticos dos poços, mediante aos eventos chuvosos intensos, ou aos rebaixamentos quando da ausência das precipitações. Quanto aos aspectos qualitativos, verificou-se que, dentre os parâmetros físico-químicos analisados, o N(NO₃) foi o que apresentou efeitos mais evidentes quanto a sua relação com a recarga do aquífero, se apresentando sempre com valores elevados no período chuvoso em quase todos os poços.

Palavras Chave: Cárstico; Precipitação; Poços.

ABSTRACT

The study area of this work, located in the city of Baraúna/RN, stands out in the agricultural activity sector, mainly in irrigated fruit farm. However, the prolonged periods of drought associated with the intensive use of the groundwater of the Jandaíra aquifer have signaled the need for continuous qualitative and quantitative assessments. In light of this, the present work has as general objective to understand the behavior of natural recharge of Jandaíra aquifer, in the city of Baraúna/RN based on relations between precipitation and measurement of groundwater level, between the years 2003 and 2016, and some physical-chemical parameters, in the years 2011 and 2016. Thus, the following specific objectives were discussed: (i) to know the behavior of groundwater levels in rainy and drought periods, based on selected wells by descriptive statistic; (ii) to know the behavior of pH and electrical conductivity and the concentration of total dissolved solids, nitrate and chloride in rainy and drought periods by descriptive statistics and by statistical method ANOVA and (iii) to analyze the recovery capacity of static water level of studied wells by descriptive statistics. The results obtained showed, related to quantitative results, indicated that the static water levels of the wells respond in a short time to the effects of precipitation, either in the rapid recovery of the static water levels of the wells, through the intense rainy events or the lowering ones in the absence of the precipitations. Regarding the qualitative aspects, it was verified that, among the physical-chemical parameters analyzed, the N (NO₃) was the one that presented more evident effects as regards its relation with the aquifer recharge, always presenting high values in the rainy season in almost every wells.

Keywords: Carst; Precipitation; Wells.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização dos poços tubulares selecionados.....	16
Figura 2: Distribuição dos níveis estáticos dos poços BAR0094 e BAR0069 e das precipitações diárias entre os anos de 2003 e 2016.....	20
Figura 3: Representação dos níveis estáticos dos poços BAR0094 e BAR0069 e das precipitações diárias entre os anos de 2003 e 2004.....	22
Figura 4: Representação do nível estático do poço BAR0069 e das precipitações diárias entre os anos de 2008 e 2009.....	23
Figura 5: Representação dos níveis estáticos dos poços BAR0094 e BAR0069 e das precipitações diárias entre os anos de 2007 e 2008.....	24
Figura 6: Representação do nível estático do poço BAR0094 e precipitações diárias entre os anos de 2007 e 2008.....	25
Figura 7: Representação do nível estático do BAR0069 e das precipitações diárias entre os anos de 2003 e 2004.	26
Figura 8: Representação dos níveis estáticos dos poços BAR0094 e BAR0069 e precipitações diárias entre os anos de 2012 e 2016.....	27
Figura 9: Valores de concentração de pH no período chuvoso e seco de 2011.	29
Figura 10: Valores de concentração de pH no período chuvoso e seco de 2015.	30
Figura 11: Valores de concentração de STD no período chuvoso e seco de 2011.....	32
Figura 12: Valores de concentração de STD no período chuvoso e seco de 2015.....	32
Figura 13: Valores de concentração de C.E. no período chuvoso e seco de 2011.....	34
Figura 14: Valores de concentração de C.E. no período chuvoso e seco de 2015.....	34
Figura 15: Valores de concentração de cloreto no período chuvoso e seco de 2011.....	36
Figura 16: Valores de concentração de cloreto no período chuvoso e seco de 2015.....	37
Figura 17: Valores de concentração de N (NO-3)no período chuvoso e seco de 2011.....	39
Figura 18: Valores de concentração de nitrato no período chuvoso e seco de 2015.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resumo dos valores máximos, médios e mínimos das medições dos níveis estáticos nos respectivos períodos analisados.	20
Tabela 2: Resultado do teste F para os valores de pH dos períodos chuvosos e secos de 2011 e 2015.	30
Tabela 3: Resultado do teste F para os valores de STD dos períodos chuvosos e secos de 2011 e 2015.	33
Tabela 4: Resultado do teste F para os valores de C.E. dos períodos chuvosos e secos de 2011 e 2015.	35
Tabela 5: Resultado do teste F para os valores de cloreto dos períodos chuvosos e secos de 2011 e 2015.	37
Tabela 6: Resultado do teste F para os valores de N (NO-3) dos períodos chuvosos e secos de 2011 e 2015.	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Coordenadas em UTM dos poços selecionados.....	16
Quadro 2: Matriz dos resultados do teste de Tukey para os valores de pH. Janelas em cinza indicam diferença estatística entre os dados dos períodos e janelas em branco indicam igualdade.	31
Quadro 3: Matriz dos resultados do teste de Tukey para os valore de C.E. Janelas em cinza indicam diferença estatística entre os dados dos períodos e janelas em branco indicam igualdade.	35
Quadro 4: Matriz dos resultados do teste de Tukey para os valore de cloreto. Janelas em cinza indicam diferença estatística entre os dados dos períodos e janelas em branco indicam igualdade.	38
Quadro 5: Matriz dos resultados do teste de Tukey para os valore de N (NO-3). Janelas em cinza indicam diferença estatística entre os dados dos períodos e janelas em branco indicam igualdade.	40

SUMÁRIO

RESUMO	5
1. INTRODUÇÃO	11
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	13
3. METODOLOGIA	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	19
4.1 Aspectos Quantitativos.....	19
4.2 Aspectos Qualitativos.....	28
4.2.1 pH.....	28
4.2.2 STD	31
4.2.2 Condutividade elétrica.....	33
4.4.4 Cloreto.....	36
4.4.5 Nitrato	38
CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
REFERÊNCIAS	44

1. INTRODUÇÃO

O município de Baraúna, no Rio Grande do Norte, se destaca no setor da atividade agrícola, especificamente na fruticultura irrigada, que tem transformando a região em um importante polo econômico de exportação de frutas (CASTRO et. al, 2004). Essa situação tem sido consolidada principalmente pela qualidade dos solos, adequada, para o desenvolvimento da fruticultura irrigada, como também ao acesso à água, através da captação por poços tubulares do aquífero cárstico Jandaíra. Ao longo das últimas duas décadas tem-se constatado que o processo de desenvolvimento social e econômico local e regional tem causado uma elevação do consumo da água subterrânea, que associado aos prolongados períodos de estiagens e ao uso intensivo destas águas, do aquífero Jandaíra, têm sinalizado a necessidade da realização de avaliações contínuas quanto ao comportamento da recarga natural do sistema aquífero em questão. Dentre estas avaliações contínuas destacam-se aquelas que remetem às relações entre as precipitações e o comportamento dos níveis das águas e a sua qualidade. Logo, observar e interpretar os efeitos da recarga natural do aquífero em questão, tornam-se imprescindíveis.

Segundo Lerner et. al (1990) a recarga é definida como o fluxo descendente de água que alcança o lençol freático, contribuindo assim para o seu abastecimento direto, e dependendo de como ocorre no ambiente, pode ser classificada como: recarga direta (em que o volume de água de chuva – descontado a evapotranspiração – adentra na zona insaturada a partir do ponto em que a precipitação atinge o solo), recarga indireta (a partir de águas em leitos de rios, lagos e poços que percolam no subterrâneo), e recarga localizada (situação em que as águas de precipitação ao escoarem na superfície, encontram rachaduras e fissuras no solo, direcionando o volume até o lençol freático).

A precipitação pluviométrica é um dos principais componentes da recarga natural dos aquíferos, de modo que a sua intensidade e frequência têm influência direta nas águas subterrâneas e, essa por sua vez, está intrinsecamente relacionada com as características hidrogeológicas, geoambientais, tipo de solo, cobertura vegetal e as interferências antropogênicas. O termo seca hidrológica, por exemplo, é associado com a redução de níveis de água de reservatórios como os aquíferos, tendo duração de tempo que pode variar de alguns dias até vários anos (BRITO et al., 2017).

Desse modo, o presente trabalho tem como objetivo geral compreender o comportamento da recarga natural do aquífero Jandaíra, município de Baraúna/RN, a partir das relações entre as precipitações e as medições dos níveis das águas subterrâneas e as medições de alguns dos parâmetros físico-químicos. No contexto das interpretações, vale destacar que apenas a partir de 2003, que foi iniciado um processo de gestão em relação à exploração das águas subterrâneas, na região, incluindo as fiscalizações, principalmente no ano de 2004, além do instrumento da outorga do direito de uso dos recursos hídricos e a realização de estudos hidrogeológicos (CASTRO et al, 2004). Esse destaque se faz necessário, uma vez que a exploração intensiva das águas subterrâneas para abastecimento das demandas de irrigação, associada a períodos de seca, tem o potencial de causar rebaixamentos acentuados dos níveis estáticos dos poços na região, e que os instrumentos de gestão quando bem aplicados, podem reverter esse quadro, reduzindo os rebaixamentos ou até mesmo proporcionar recuperação dos níveis das águas subterrâneas.

Buscar a compreensão das relações entre as precipitações e seus efeitos na alimentação de um determinado sistema aquífero e, nesse mesmo tempo, identificar quais são as relações existentes com os aspectos qualitativos da água é uma tarefa fundamental para compor a base de suporte à decisão na gestão dos aquíferos. A literatura que trata dessa temática evidencia que são várias as formas de abordagens no âmbito das pesquisas para tais investigações. Conforme Scanlon, Healy e Cook (2002), não existe uma abordagem padrão para investigar o comportamento da recarga de águas subterrâneas, de modo que são vários os métodos citados. Dentre estes, se destacam aqueles que se fundamentam em medições dos níveis das águas subterrâneas, os métodos químicos, (utilizando traçadores ou analisando o comportamento físico-químico das águas), métodos que utilizam medições diretas ou indiretas de fluxos hidrológicos, e que podem associar a ferramenta da modelagem matemática.

No presente estudo foi utilizada a interpretação das medições dos níveis das águas subterrâneas nos períodos secos e chuvosos associando, também, a análise do comportamento de alguns parâmetros físico-químicos como: pH, condutividade elétrica e das concentrações de sólidos totais dissolvidos, nitrato e cloreto, nos períodos secos e chuvosos. Assim, foram trabalhados os seguintes objetivos específicos:

- conhecer o comportamento dos níveis das águas subterrâneas nos períodos secos e chuvosos, a partir dos poços selecionados;
- conhecer o comportamento do pH, condutividade elétrica e das concentrações de sólidos totais dissolvidos, cloreto e nitrato nos períodos secos e chuvosos;
- analisar a capacidade de recuperação dos níveis estáticos dos poços tubulares estudados.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo situa-se no município de Baraúna no Rio Grande do Norte, distante 317 km em relação à capital Natal, e faz fronteira com o município de Mossoró/RN a leste, com o estado do Ceará a oeste e norte. Sua localização encontra-se dentro dos domínios da Chapada do Apodí, com um relevo de terras planas ligeiramente elevadas, formadas por terrenos sedimentares.

O clima da região é semiárido, com temperaturas anuais variando entre 21 a 36 °C (FERNANDES et al., 2005). A pluviosidade média anual normalmente se enquadra na faixa entre 550 mm a 885 mm (EMPARN, 2017) e se configura ao longo do ano de forma que se possam distinguir dois períodos: um chuvoso, compreendendo os meses de janeiro a julho, e um período seco, que corresponde aos meses de agosto a dezembro.

Os habitats locais são classificados como Caatinga hiperxerófila e Caatinga arbórea, tendo essa última uma alta diversidade no estrato arbustivo e herbáceo. Possui importância biológica muito alta, contendo riqueza de espécies e número médio de endemismos (GIULIETTI, 2004). Dentre as espécies vegetais que se destacam na região, tem-se a jurema-preta, mufumbo, faveiro, marmeleiro, xique-xique e facheiro (IDEMA, 2008). O solo predominante da região é o Cambissolo Háptico Taeutrófico típico - CXve, possuindo relevo plano, com ligeira erosão e ausência de pedregosidade (MOTA, 2004).

Quanto aos aspectos hidrogeológicos, a região encontra-se no extremo oeste da Bacia Potiguar na área conhecida geologicamente como Plataforma de Aracati,

abrangendo o Grupo Apodí, representado, localmente, pelas Formações Açú, Quebradas e Jandaíra (OLIVEIRA et al., 2012).

A Formação Açú situa-se acima do embasamento cristalino e está superposta concordantemente à Formação Jandaíra. É constituída por arenitos finos a médios, localmente com matriz argilosa, podendo-se interdigitar lateralmente com a Formação Quebradas (OLIVEIRA et al., 2012). Em sua extensão, a Formação Açú abriga o aquífero Açú, unidade aquífera com característica semiconfinada a confinada constituído de vários níveis aquíferos separados por camadas argilosas com função de aquitardos internos. (ANA, 2010).

Variando entre 20 a 100 metros, dependendo da região, encontra-se a Formação Quebradas. De acordo com Oliveira (2012) esta formação se constitui litologicamente por materiais pouco permeáveis e atua como aquitardo, separando os aquíferos Jandaíra (superior livre) e Açú (inferior confinado). Estudos realizados por Miranda et al. (2012) descreveram estes materiais como sendo argilitos, folhelhos e siltitos avermelhados, como também destaca a ocorrência de arenitos finos esbranquiçados com matriz caulínica.

A Formação Jandaíra ocorre concordantemente sobre as Formações Açú e Quebradas e é formada por mudstones e grainstones bioclásticos e intraclásticos, com eventuais intercalações de arenitos, folhelhos, margas e evaporitos (OLIVEIRA et al., 2012). Essa formação abriga o aquífero Jandaíra, que possui duas porções com comportamentos hidrogeológicos distintos: a primeira, de natureza cárstica, corresponde aos primeiros 100 m, apresentando caráter de aquífero livre e grande potencial hidrogeológico, e a segunda, mais profunda e menos carstificada, que pode variar entre livre a semiconfinado e possui menor potencial hidrogeológico (ANA, 2010). Apesar de ser considerado confinado, o aquífero Açú é alimentando pelo aquífero Jandaíra em alguns locais isolados (OLIVEIRA et al., 2012).

3. METODOLOGIA

A pesquisa iniciou com o levantamento bibliográfico, análise e seleção dos dados e informações dos poços tubulares, nos bancos de dados dos órgãos gestores que atuam no monitoramento quali-quantitativo das águas subterrâneas da região estudada.

Em relação aos dados relacionados à qualidade das águas, buscou-se analisar os dados gerados no âmbito do Programa Água Azul, sob a coordenação do Instituto de Desenvolvimento e Meio Ambiente (IDEMA) cujas coletas de água foram realizadas pelo Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte (IGARN) e análises físico-químicas realizadas pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio Grande do Norte (EMPARN).

No que diz respeito aos dados das medições dos níveis das águas, o levantamento foi realizado junto a Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH) e Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte (IGARN).

Os critérios usados para a seleção dos poços monitorados, pelos respectivos órgãos, incluíram os poços que apresentaram maior quantidade de medições, de forma contínua e que captassem água exclusivamente do aquífero Jandaíra (Figura 1). Ainda, em relação aos poços selecionados para a interpretação da relação das precipitações versus qualidade da água, buscou-se selecionar os poços que tiveram amostras coletadas e analisadas com constância ao longo dos períodos chuvosos e secos. A definição dos períodos chuvosos e secos foi fundamentada nos estudos realizados pela ANA (2010), cujas precipitações médias mensais avaliadas através do balanço hídrico de Thornthwaite para o período de 30 anos, compreendido entre os anos de 1979 e 2008 revelam que, em média, 93% das chuvas ocorrem no primeiro semestre (janeiro a junho, com máximos em março-abril). No segundo semestre (julho a dezembro) ocorrem apenas 7% dos eventos de chuva, sendo outubro e novembro os meses mais secos.

Assim, no que concerne ao estudo da relação entre as precipitações e os aspectos qualitativos das águas do aquífero Jandaíra foram selecionados os anos com seus respectivos períodos secos e chuvosos que tiveram continuidade na coleta das amostras, tendo sido os anos de 2011 e 2015. Os 08 poços tubulares escolhidos (BAR0094, BAR0233, BAR0298, BAR0036, BAR0069, BAR0100, BAR0216 e BAR0502) também se enquadraram no critério da continuidade das coletas e análises físico-químicas.

Quanto aos parâmetros físico-químicos, aqueles que foram analisados em todos os 08 poços nos períodos secos e chuvosos foram apenas o pH, sólidos totais

dissolvidos, condutividade elétrica, cloreto e nitrato. A Figura 1 mostra a localização dos poços tubulares selecionados e o Quadro 1 especifica as suas coordenadas.

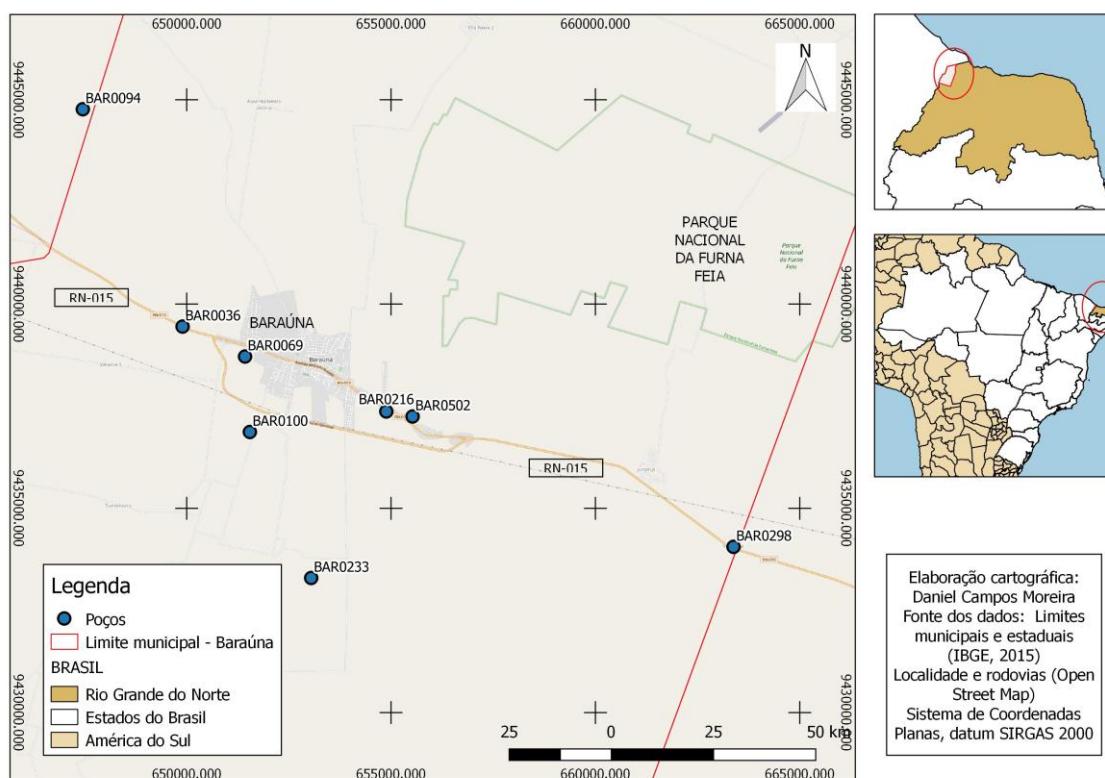


Figura 1: Mapa de localização dos poços tubulares selecionados

Fonte: Elaboração do autor (2017).

Quadro 1: Coordenadas em UTM dos poços selecionados

Fonte: Elaboração do autor (2017).

Poço	Latitude	Longitude
BAR0094	9444727	647421
BAR0233	9433252,23	653008,97
BAR0298	9434014,32	663343,61
BAR0216	9437328,37	654847,11
BAR0502	9437205,99	655490,55
BAR0036	9439406,64	649862,22
BAR0069	9438673,66	651390,74
BAR0100	9436826,88	651508,8

As interpretações das relações entre os parâmetros físico-químicos analisados e os períodos chuvosos e secos foram fundamentadas na Análise de Variância (ANOVA), utilizando o teste F a 95 % de confiança, visando identificar se o comportamento dos parâmetros se mantém estáveis (hipótese nula) ou se alteram entre os períodos, de forma a possibilitar a identificação de semelhanças ou diferenças entre o comportamento dos parâmetros em cada período. Para tal, foram considerados os poços BAR0233, BAR0298, BAR0069 e BAR0100, analisados em todos os períodos chuvosos e secos dos anos de 2011 e 2015. Nas situações em que F apresentou valor significativo, realizou-se o teste de Tukey para comparação das médias das análises em cada campanha.

Além do método estatístico, aplicado, foram elaborados gráficos, que combinassem ambas as informações de precipitações e os parâmetros físico-químicos estudados. As precipitações foram demonstradas em barras e os respectivos valores dos parâmetros físico-químicos em linha. Para cada parâmetro foram elaborados dois gráficos, que retratam os valores das análises nos respectivos períodos, seco e chuvoso.

Para representar a relação dos parâmetros físico-químicos com os períodos secos e chuvosos, em gráfico, foram somadas as precipitações do início ao fim de cada período até o dia anterior às coletas das amostras das águas. Assim, o início do período chuvoso correspondeu ao mês de janeiro, dos anos de 2011 e 2015 e o final deste mesmo período correspondeu ao mês de junho para o ano de 2011 e abril para o ano de 2015. No caso específico do final do período chuvoso do ano de 2015 (mês de abril) foi devido ao fato da realização das coletas das amostras, no âmbito do Programa Água Azul, terem ocorrido nesse mês. Quanto ao início do período seco, este correspondeu ao mês de julho, dos anos de 2011 e 2015 e o final correspondendo ao mês de novembro para 2011 e setembro para 2015. No caso específico do final do período seco do ano de 2015, (mês de setembro) foi devido a realização das coletas das amostras terem ocorrido nesse mês.

No que diz respeito ao estudo da relação entre o comportamento dos níveis estáticos e as precipitações, apenas 02 poços atenderam aos critérios de seleção em relação às medições dos níveis estáticos (BAR0094 e BAR0069). Em relação ao período em que aconteceram as medições dos níveis estáticos, nestes poços, foi selecionado o período de 2003 a 2016. Destaca-se que o início do monitoramento

quantitativo iniciado em 2003, pela SEMARH, deu-se ao fato da necessidade, na época, de estudar a problemática dos excessivos rebaixamentos dos níveis da água ocorridos no aquífero Jandaíra, na região de Baraúna, em função dos prolongados períodos de estiagem associados às significativas explorações das águas subterrâneas.

Para uma melhor compreensão da relação entre as precipitações e o seu efeito no nível estático dos poços, foram observados eventos oportunos na série de medições. As medições com os valores mínimos e máximos dos níveis estáticos foram analisados individualmente, de forma a buscar, sempre, relacionar estas especificidades com o comportamento das precipitações nos meses anteriores à data das medições dos níveis estáticos.

Com base nos valores numéricos das precipitações acumuladas diárias e das medições dos níveis estáticos dos poços, foi elaborado um gráfico demonstrando a combinação dos valores de precipitação acumulada diária de 2003 até 2016 com as medições dos níveis estáticos dos poços BAR0094 e BAR0069, para uma melhor visualização dos efeitos das chuvas no aquífero Jandaíra.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Aspectos Quantitativos

A partir dos dados diários de precipitação acumulada e das medições dos níveis estáticos dos poços tubulares, BAR0094 e BAR0069, entre os anos de 2003 e 2016, foram realizadas as interpretações sobre o comportamento das precipitações na recuperação ou no rebaixamento do nível estático dos respectivos poços.

Outro fator importante para ressaltar é em relação ao comportamento dos níveis das águas subterrâneas a partir de 2012, considerando que foi a partir desse ano que se instalou o período de seca prolongada e que continua até o presente momento (novembro/2017). Assim, optou-se por fazer, inicialmente uma descrição da caracterização da relação precipitação versus nível estático, no período de 2003 a 2011 e entre 2012 a 2016, como demonstrado na Tabela 1. No entanto, a Figura 2 retrata a sequência completa de 2003 a 2016.

No período de 2003 a 2011, a análise das 39 medições realizadas no poço PB0094, indicou que o nível estático médio do poço PB0094 foi de 17,35 metros, com valor mínimo de 5,62 metros, em 16 de março/2004, e máximo de 23,80 metros em 14 de fevereiro/2008. Ressalta-se, no entanto, que não foram realizadas medições do nível estático no respectivo poço nos anos de 2006 e 2009, considerados anos muito chuvosos, com precipitações acumuladas de 1077,5 e 1207,7 mm respectivamente. Portanto, há de se considerar a possibilidade de, nesses anos, ter ocorrido uma maior recuperação do nível estático desse poço e o valor mínimo da profundidade do nível estático ter sido, ainda, menor que 5,62 metros, valor observado em março/2004, Tabela 1.

Em relação ao poço BAR0069, levando-se em conta as 42 medições realizadas, para o nível estático, entre 2003 e 2011, verificou-se um valor médio da ordem de 25,99 m, um valor mínimo de 8,86 m em 18 de agosto/2009 e um valor máximo de 46,62 m em 20 de janeiro/2004, como demonstrado na Tabela 01.

No período de 2012 a 2016, com a diminuição significativa das chuvas na região, observou-se um rebaixamento acentuado do nível estático do poço BAR0094, de modo que, as 15 medições realizadas entre 2012 e 2016 indicaram uma média da

profundidade do nível estático de 30,68 metros, com valor mínimo de 17,96 metros em 20 de março/2012 e máximo de 38,17 metros em 05 de outubro/2016, assim retratado na Tabela 1.

Por sua vez, essas condições climáticas adversas entre os anos 2012 e 2016 também se refletiram no nível estático do poço BAR0069, cujo nível rebaixou consecutivamente ao longo desse período de seca, de uma forma ainda mais impactante que o do BAR0094. Durante o intervalo citado, foram realizadas 17 medições no poço, que revelaram um nível estático médio de 49,89 metros, com valor mínimo de 26,83 m em 20 de março/2012 e valor máximo de 79,13 m em 06 de dezembro/2016.

Tabela 1: Resumo dos valores máximos, médios e mínimos das medições dos níveis estáticos nos respectivos períodos analisados.

Fonte: Elaborado pelo auto (2017)

Poço	Período 2003 a 2011				Período 2012 a 2016			
	Número de medições do NE	Valor Máximo (NE m)	Valor Médio (NE m)	Valor Mínimo (NE m)	Número de medições do NE	Valor Máximo (NE m)	Valor Médio (NE m)	Valor Mínimo (NE m)
BAR0094	39	23,8	17,35	5,62	15	38,17	30,68	17,96
BAR0069	42	43,62	25,99	8,86	17	79,13	49,89	26,83

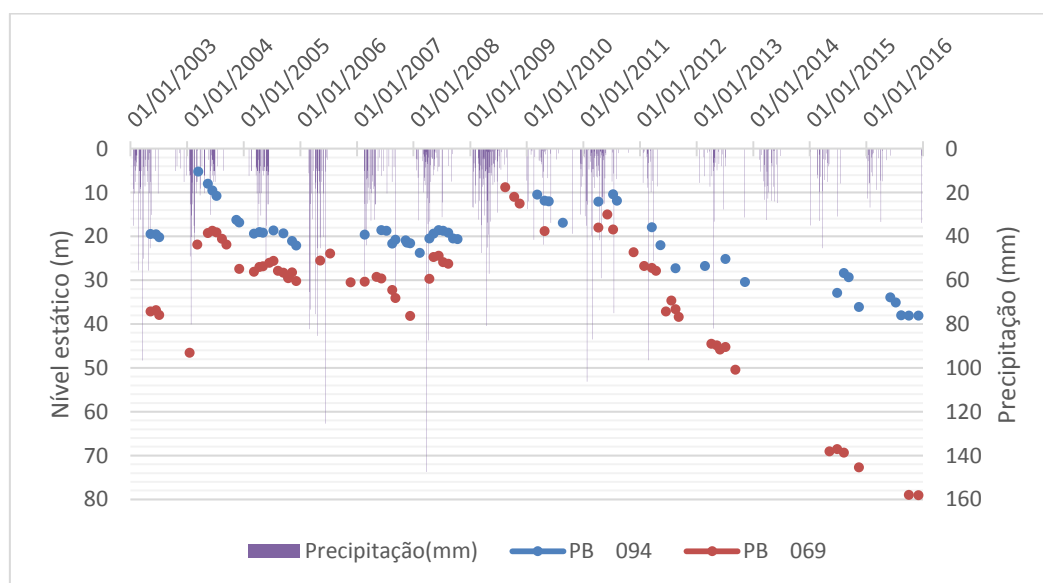


Figura 2: Distribuição dos níveis estáticos dos poços BAR0094 e BAR0069 e das precipitações diárias entre os anos de 2003 e 2016.

Fontes: Adaptado de SEMARH (2017) e EMPARN (2017).

A interpretação dos dados, na Figura 2, demonstra que durante todo o período de estudo, a posição do nível estático do poço BAR0069 se mantém sempre abaixo do nível estático do poço BAR0094, além de apresentar maiores variações no seu valor, principalmente durante os eventos de seca que começam em 2012. Esse comportamento sugere que o poço BAR0094 pode estar localizado em uma área mais relativamente carstificada e assim, se constituir por rochas calcárias com carstificação mais elevada e proporcionar uma recarga diferenciada, através dos condutos. Essa hipótese vem a ser corroborada pelos estudos realizados por FEITOSA (2004), ANA (2010) e OLIVEIRA (2017). Por outro lado, também, não deve ser descartada a possibilidade de influências de um bombeamento mais expressivo (retirada de água dos poços) em torno do BAR0069.

Quando se observa o comportamento das precipitações entre 2003 e 2011, verifica-se que do período seco para o chuvoso, o nível estático se eleva, consideravelmente, principalmente no caso das precipitações ocorrerem de forma intensa demonstrando assim, uma rápida recuperação dos níveis das águas.

Uma situação que exemplifica esse comportamento, foi o ocorrido com a recuperação do poço BAR0094, quando o nível estático mínimo atingiu 5,62 metros em 16 de março de 2004, reflexo das intensas chuvas que ocorreram nos meses de janeiro e fevereiro do mesmo ano, como pode ser observado na Figura 3. O acumulado total de precipitações, anterior à data da medição foi de 690,8 mm volume, normalmente, esperado para todo o ano, naquela região. Esse evento resultou em uma significativa elevação do nível estático do aquífero, que se situava a 20,27 metros, em 08 de julho de 2003.

As medições realizadas no poço BAR0069 nos primeiros meses de 2004 demonstram, também, a significativa recuperação do nível da água nesse poço. Considerando o intervalo de tempo entre os dias anteriores de duas medições – a primeira em 20 de janeiro, um dia após o primeiro evento de chuva intensa na região, e a seguinte em 10 de março – registrou-se na região um precipitado acumulado de 689,6 mm, que proporcionou um nível estático no respectivo poço da ordem de 21,91 m, ou seja, uma recuperação de 24,71 m em 50 dias, demonstrado na Figura 3.

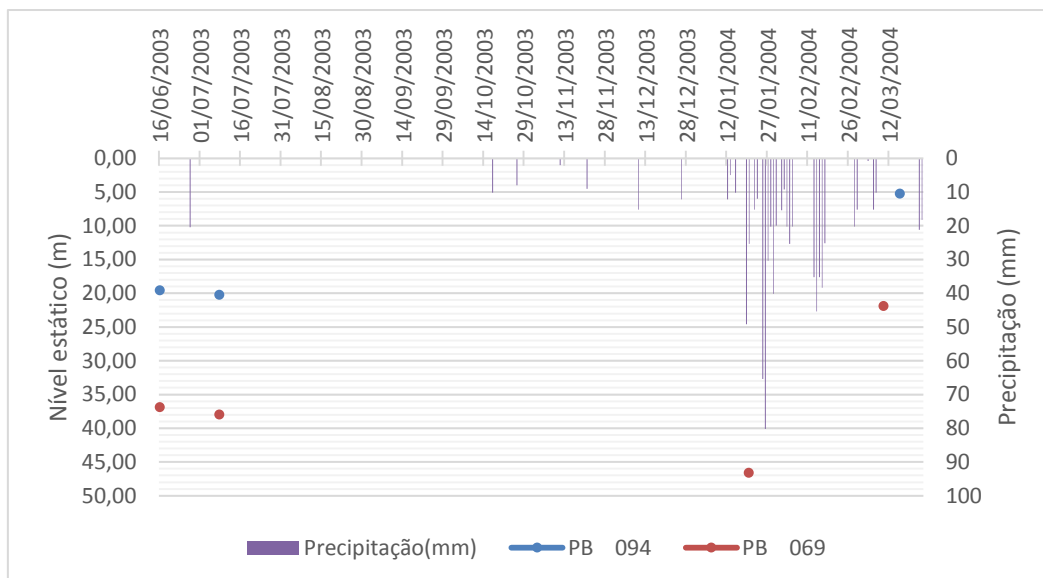


Figura 3: Representação dos níveis estáticos dos poços BAR0094 e BAR0069 e das precipitações diárias entre os anos de 2003 e 2004.

Fontes: Adaptado de SEMARH (2017) e EMPARN (2017).

Outra situação que ilustra a expressiva recuperação do aquífero é no primeiro semestre de 2009, quando as precipitações mais elevadas, proporcionaram a elevação do nível estático no poço BAR0069, na Figura 4. Considerando os três meses em que ocorreram as precipitações, mais concentradas, entre março e maio, o precipitado total observado na região foi de 850,6 mm, maior montante observado do período de estudo levando em conta o intervalo de três meses. Esse cenário favorável à recarga do aquífero se refletiu na medição de nível estático de 8,86 metros feita em 18 de agosto/2009, valor esse bem mais elevado se comparado ao nível estático medido de 26,30 m, medido no mesmo mês do ano anterior em 15 de agosto/2008, por exemplo.

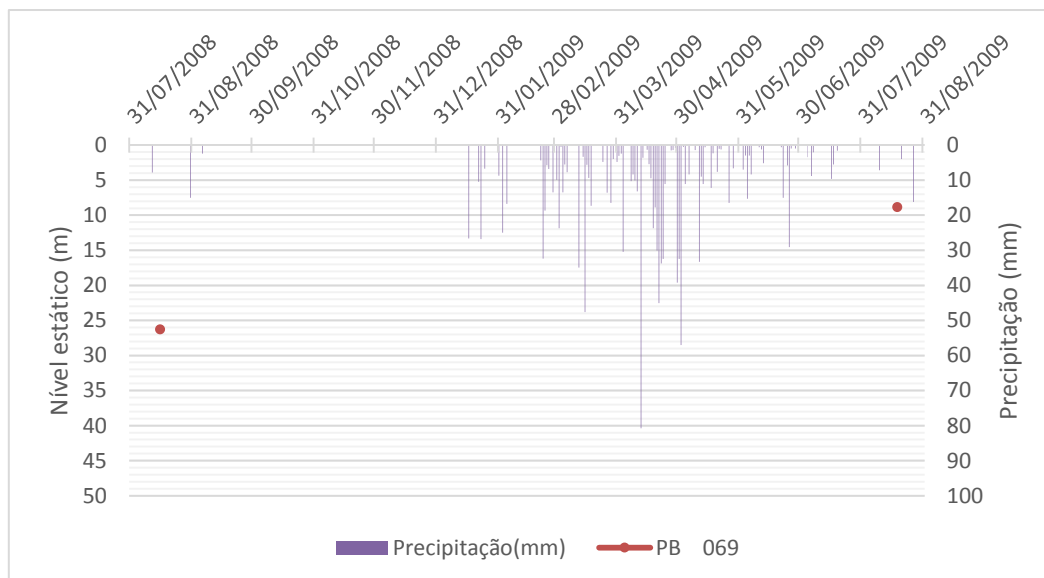


Figura 4: Representação do nível estático do poço BAR0069 e das precipitações diárias entre os anos de 2008 e 2009.

Fontes: Adaptado de SEMARH (2017) e EMPARN (2017).

Outra evidência de recarga em um curto espaço de tempo na área estudada pode ser observado em 2008, ano em que ocorreram diversas medições de nível estático após um período de precipitações intensas (Figura 5). A medição do dia 14 de abril/2008 indica que os valores de nível estático dos poços BAR0094 e BAR0069 eram, respectivamente, 20,55 e 29,74 m e, considerando o intervalo entre o começo de março e o dia anterior ao da medição, foi precipitado um volume de 551,1mm, responsável pela elevação do nível estático dos poços, se comparado às suas medições anteriores (23,80 m no poço BAR0094 em 14 de fevereiro e 38,2 m em 14 de dezembro/2007 no poço BAR0069). Constata-se que mesmo com a diminuição do volume de chuvas, após esse período citado em 2008, o nível da água nos dois poços continua a se elevar, demonstrando que o efeito da recarga continua.

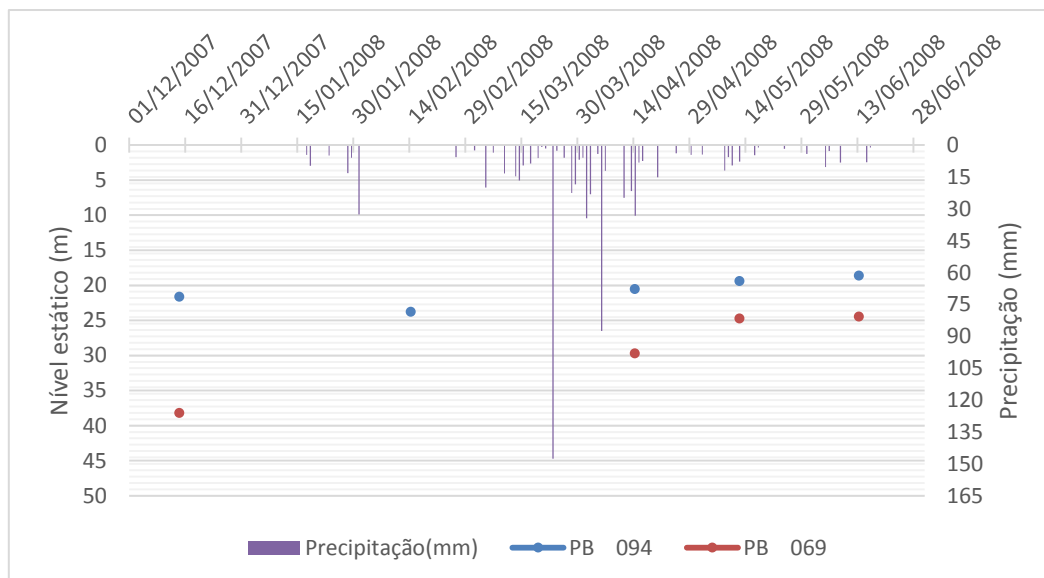


Figura 5: Representação dos níveis estáticos dos poços BAR0094 e BAR0069 e das precipitações diárias entre os anos de 2007 e 2008.

Fontes: Adaptado de SEMARH (2017) e EMPARN (2017).

O valor referente à medição em que se observou o maior rebaixamento do nível estático do poço BAR0094, em fevereiro de 2008, é justificado pelo comportamento das chuvas no ano anterior (Figura 6). O volume precipitado acumulado entre os meses de janeiro e junho de 2007 além de ser o segundo menor se comparado ao mesmo intervalo de tempo nos outros anos estudados, não houve ocorrência de concentração de chuvas intensas em um curto espaço de tempo, resultando em uma recarga pouco expressiva nesse período, que não se manteve ao longo do segundo semestre do ano e o começo do ano seguinte, já que as principais incidências de chuvas em 2008 começariam a surgir apenas a partir de março.

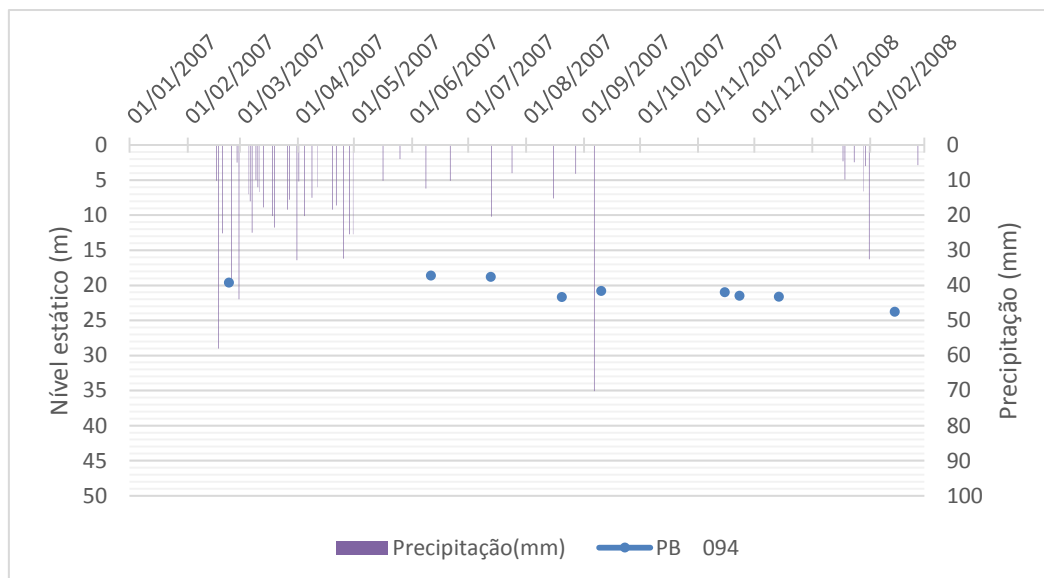


Figura 6: Representação do nível estático do poço BAR0094 e precipitações diárias entre os anos de 2007 e 2008.

Fontes: Adaptado de SEMARH (2017) e EMPARN (2017).

Em relação ao maior valor do nível estático do poço BAR0069, deve-se considerar a medição do nível estático de janeiro de 2004, quando esta ocorreu apenas um dia após a ocorrência do primeiro início de precipitações intensas na região, portanto pode-se dizer que o valor máximo de 46,62m, ainda reflete a situação crítica da ausência de chuvas dos meses anteriores (Figura 7). O ano de 2003, entretanto não foi considerado um ano seco, tendo apresentado uma precipitação acumulada total de 882 mm, volume que se aproxima da faixa que classifica um ano como chuvoso na região (885 a 1046,53 mm). Alguns fatores, no entanto, podem explicar essa contradição, como o fato da medição ter sido feita exatamente após um período de poucas precipitações, de forma que essa medição de 46,62 m refletiu os últimos meses de ausência de precipitações e, conseqüentemente, os rebaixamentos consecutivos do nível estático.

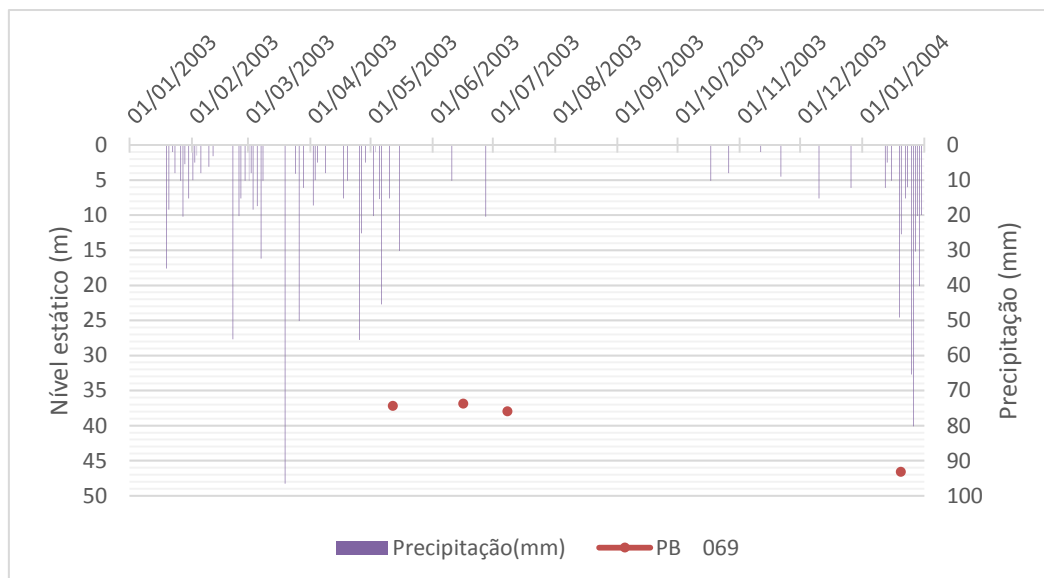


Figura 7: Representação do nível estático do BAR0069 e das precipitações diárias entre os anos de 2003 e 2004.

Fontes: Adaptado de SEMARH (2017) e EMPARN (2017).

A partir do ano de 2012 até a última medição em dezembro/2016 os poços BAR0094 e BAR0069 apresentaram elevados rebaixamentos em seus níveis, devido aos anos de seca que se seguiram, não tendo assim proporcionado recargas expressivas ao aquífero, que continuou mantendo os usos para o abastecimento das demandas da região. Isso pode ser notado, de forma clara, ao analisarmos as medições realizadas nos dois poços durante esse período. As medições dos níveis em 2012 indicaram que o valor mínimo do nível estático para o poço BAR0094, de 17,96 m, e para o poço BAR0069, de 26,83 m, podem ser interpretados como uma herança da recarga que o aquífero recebeu em 2011, cujo volume anual precipitado foi da ordem de 1.022 mm.

Quando se observa a Figura 8, verifica-se claramente a sucessão de anos com poucas precipitações, a partir de 2012, contribuiu para a evolução do rebaixamento dos níveis estáticos dos poços até dezembro de 2016, de modo que no poço BAR0094 o nível da água atingiu 38,17 m em 05 de outubro/2016 e no poço BAR0069 o nível foi de 79,13 m em 06 de dezembro/2016. Destaca-se, também que estes valores são os mais baixos, desde que iniciou o monitoramento em 2003.

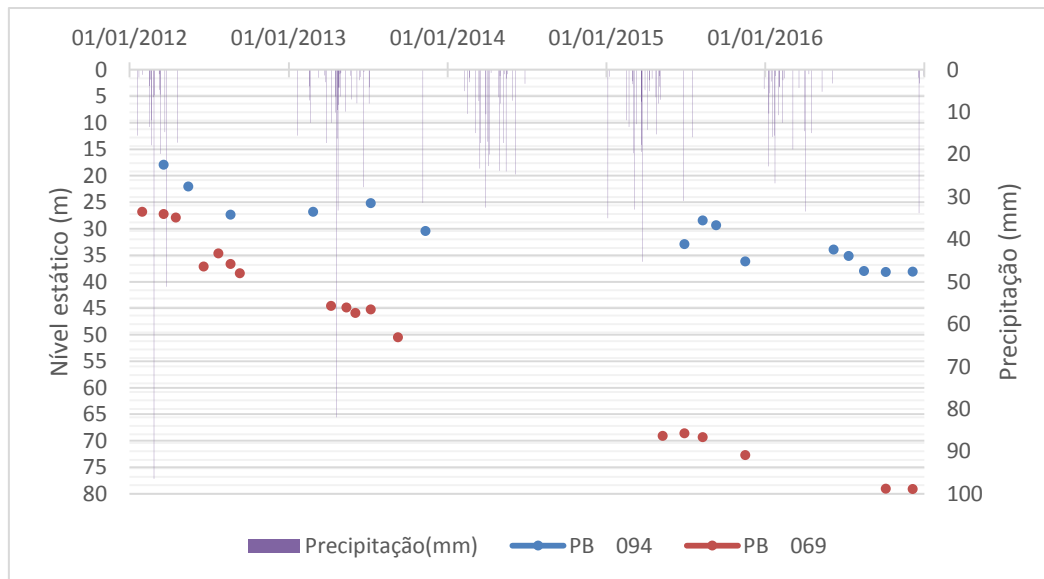


Figura 8: Representação dos níveis estáticos dos poços BAR0094 e BAR0069 e precipitações diárias entre os anos de 2012 e 2016.

Fontes: Adaptado de SEMARH (2017) e EMPARN (2017).

Diante das situações expostas, verifica-se que os níveis estáticos dos poços respondem em um curto espaço de tempo aos efeitos das precipitações, como também se verificou que, mesmo após o efeito imediato, a recuperação dos níveis, em alguns casos continua até que o período seco se instale. Da mesma forma que o aquífero demonstra uma resposta rápida às recargas a que está sujeito, este se mostra sensível aos períodos secos e ao expressivo bombeamento, quando os níveis estáticos dos dois poços tendem a rebaixar.

As interpretações destacadas, no estudo elaborado pela ANA (2010), sobre a recarga do aquífero Jandaíra na região de Baraúna, mencionam os seguintes pontos que merecem a menção nessa pesquisa, tendo em vista que os resultados sinalizam, também, tais hipóteses:

As rápidas ascensões dos níveis das águas subterrâneas do aquífero Jandaíra, nas localidades estudadas, sinalizam ser o reflexo das denominadas zonas preferenciais de recarga natural canalizada.

Igualmente aos estudos anteriores, esta pesquisa demonstra que nos períodos chuvosos mais favoráveis as estruturas cársticas tendem a ser preenchidas rapidamente. A equipe de consultores que trabalhou na aplicação de técnicas geofísicas, ANA (2010) sugeriu que na região existe uma tendência de formação de “domos” ou “altos” de carga potenciométrica pontual na escala do estudo, a partir dos quais, em um segundo estágio,

o meio poroso adjacente (representado pelas redes de fraturas e de vazios de pequena dimensão) é realimentado, além da infiltração difusa a partir das chuvas de maneira generalizada por toda a área. Enquanto o abaixamento do nível resulta da saída de fluxo subterrâneo, devido a exploração de água, por meio de poços e do escoamento natural associado aos prolongados períodos de seca.

4.2 Aspectos Qualitativos

O estudo da relação entre as precipitações e os aspectos qualitativos das águas do aquífero Jandaíra compreende os períodos secos e chuvosos dos anos de 2011 e 2015, envolvendo 08 poços tubulares (BAR0094, BAR0233, BAR0298, BAR0036, BAR0069, BAR0100, BAR0216, BAR0502,) e a análise dos parâmetros físico-químicos: condutividade elétrica, pH, sólidos totais dissolvidos, cloreto e nitrato.

4.2.1 pH

A medida do pH se expressa pela concentração do íon hidrogênio ou de sua atividade, e é definida como o logaritmo negativo da concentração de íons de hidrogênio: $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$. Assim, o pH se encontra na faixa de 0 a 14, cuja classificação compreende:

$\text{pH} < 7$ – água ácida;

$\text{pH} = 7$ – água neutra;

$\text{pH} > 7$ – água básica

O comportamento do pH, na área estudada, durante o período chuvoso e seco ocorre de forma distinta, quando se compara os resultados das análises nos anos 2011 e 2015. Em 2011, houve uma maior diversidade no comportamento do pH nos poços analisados ao longo do ano, com 03 poços apresentando valores maiores no período chuvoso e 03 poços com valores maiores no período seco, como indicado na Figura 9. Dentre esses poços, o BAR0233 foi o único que demonstrou elevação notável do pH entre os dois períodos, com valor de 6,82 na primeira medição e 7,74 na segunda, enquanto que nos poços BAR0298 e BAR0100 o pH decaiu consideravelmente no período seco.

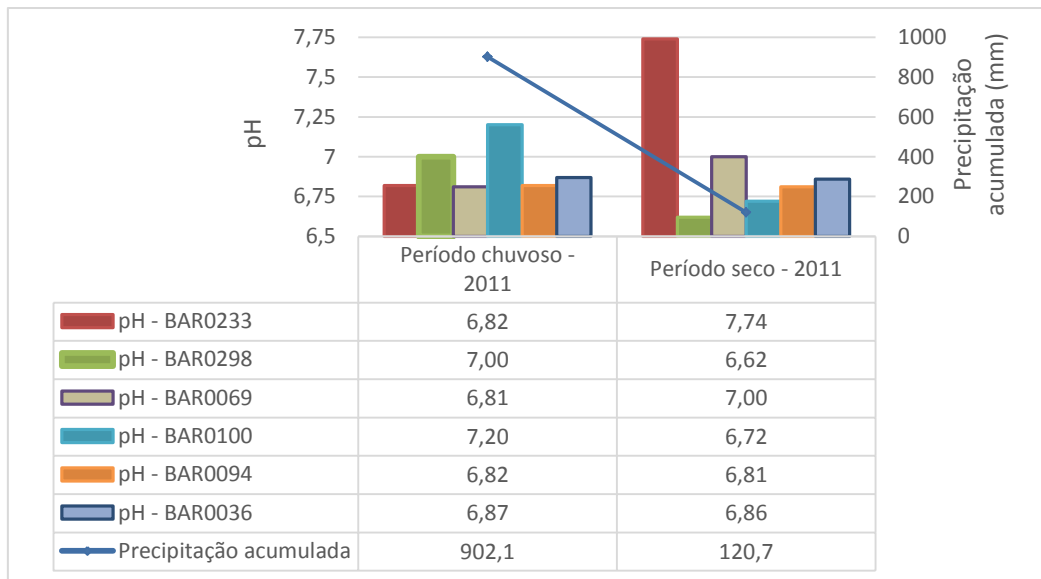


Figura 9: Valores de concentração de pH no período chuvoso e seco de 2011.

Fonte: Adaptado de IDEMA (2011, 2015) e EMPARN (2017).

Em contrapartida, no ano de 2015, os valores de pH são visivelmente menores no período seco, havendo decaimento deste em todos os poços analisados, com destaque para o BAR0298, BAR0216 em que houve uma redução de mais de 1,0 no valor do pH. Por sua vez, nos poços BAR0100, BAR0233 e BAR0502 o valor de pH no período chuvoso é apenas sutilmente maior do que no período seco, conforme indicado na Figura 10. Ressalta-se que o pH no período chuvoso de 2015 em todos poços é notoriamente mais elevado do que nos outros períodos, com poços apresentando valores de pH acima de 8,0.

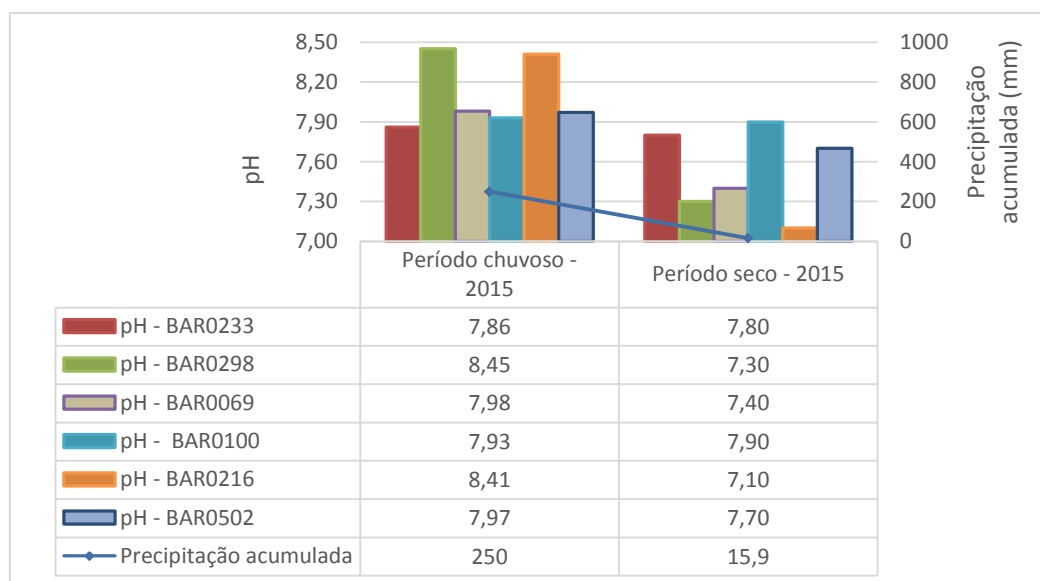


Figura 10: Valores de concentração de pH no período chuvoso e seco de 2015.

Fonte: Adaptado de IDEMA (2011, 2015) e EMPARN (2017).

A aplicação da ANOVA na análise do conjunto de dados de pH nos poços indicou a existência de pelo menos um período, dentre os selecionados, que influenciou no pH de maneira distinta, rejeitando-se a hipótese nula conforme resumo da Tabela 2. O teste de Tukey, então, revelou que no período chuvoso de 2015, o pH comportou-se de forma diferenciada em relação ao período chuvoso e seco de 2011 e que não houve mudança no comportamento do pH entre os períodos chuvosos e secos em cada ano (Quadro 2). O fato do teste Tukey não ter considerado que o pH se comporta de forma distinta no período chuvoso e seco de 2015, pode ser devido a dois dos quatro poços analisados (BAR0233 e BAR0100) terem apresentado valores quase constantes em ambos os períodos.

Tabela 2: Resultado do teste F para os valores de pH dos períodos chuvosos e secos de 2011 e 2015.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F calculado	F tabelado
Entre os tratamentos	3	3,24	1,08	9,62	3,49
Dentro dos tratamentos (Resíduos)	12	1,35	0,11		
Total	15	4,58			

Quadro 2: Matriz dos resultados do teste de Tukey para os valores de pH. Janelas em cinza indicam diferença estatística entre os dados dos períodos e janelas em branco indicam igualdade.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

	Período chuvoso/2011	Período seco/2011	Período chuvoso/2015	Período seco/2015
Período Chuvoso/2011				
Período seco/ 2011				
Período chuvoso/2015				
Período seco/2015				

4.2.2 STD

Os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) correspondem à massa total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume. Conforme a Resolução CONAMA 396/2008 o limite máximo permissível para o consumo humano é de 1000 mg/L.

Em relação aos períodos estudados, os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) apresentaram comportamentos semelhantes, nos dois anos analisados, com o seu valor diferenciando apenas sutilmente entre o período chuvoso e seco na maioria dos poços.

Em 2011, 03 poços tiveram o valor de STD maior no período chuvoso e 03 demonstraram elevação da concentração de STD no período seco, de modo que nenhum dos seis poços apresentaram alterações significativas nos períodos analisados, conforme indicado na Figura 11. O poço BAR0233 se destaca dentre os demais apenas por possuir concentração de STD elevada em ambos os períodos: 1154 mg/L no período chuvoso e 1468 mg/L no período seco.

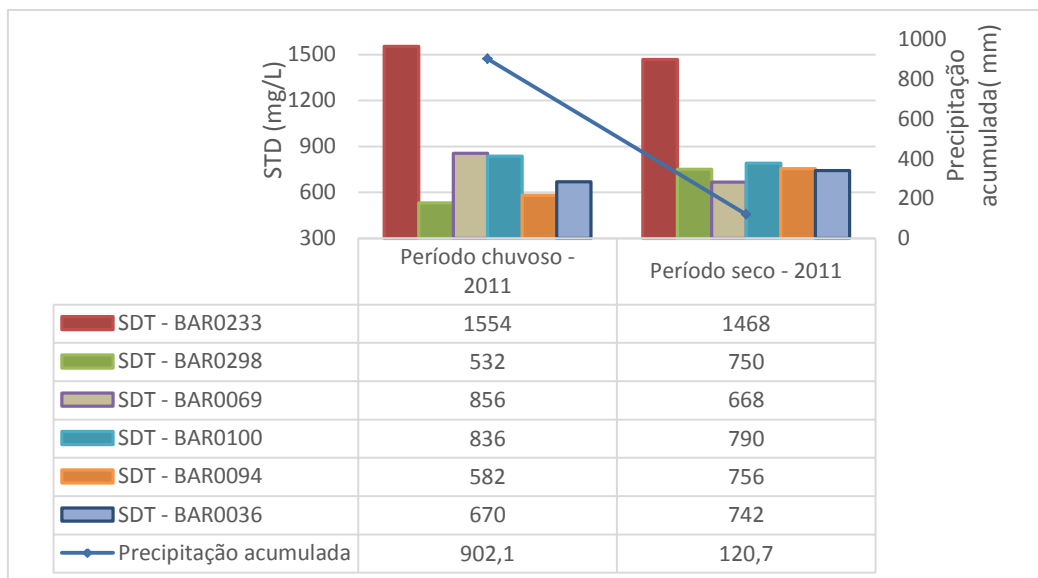


Figura 11: Valores de concentração de STD no período chuvoso e seco de 2011.

Fonte: Adaptado de IDEMA (2011, 2015) e EMPARN (2017).

Em 2015, quase todos os poços apresentaram decaimento da concentração de STD no período seco, mas assim como em 2011, de forma não expressiva, conforme demonstrado na Figura 12. O poço BAR0216 é a única exceção, tendo seu valor de STD aumentado de forma expressiva, variando de 342 mg/L no período chuvoso para 792 mg/L no período seco.

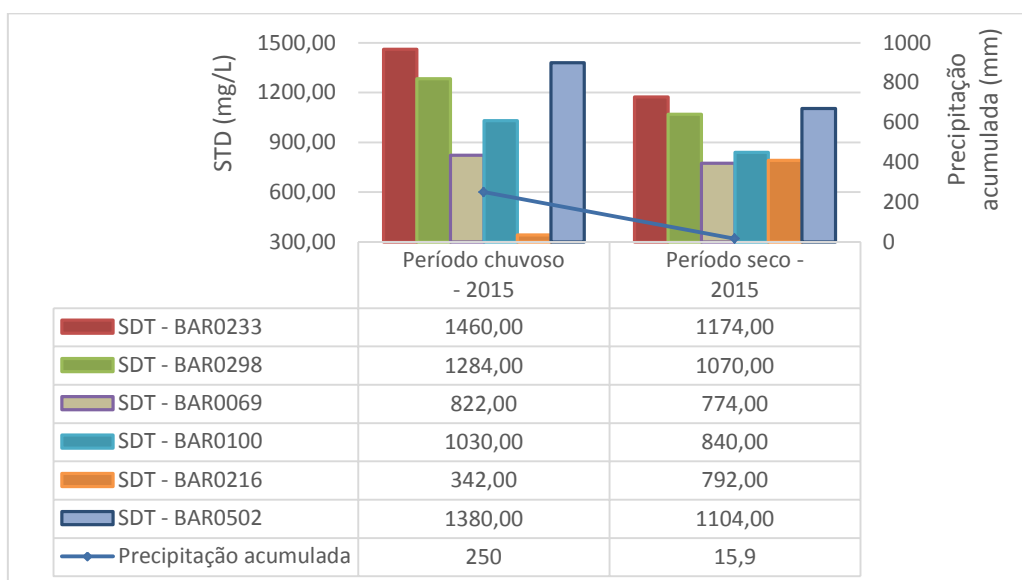


Figura 12: Valores de concentração de STD no período chuvoso e seco de 2015.

Fonte: Adaptado de IDEMA (2011, 2015) e EMPARN (2017).

O conjunto de dados ao serem submetidos à ANOVA revelou que não houve um período de tempo que influenciasse nos valores de STD de forma diferenciada em

relação aos demais, aceitando-se, assim, a hipótese nula, conforme resumo da Tabela 3. Logo, não se faz necessário realizar o teste de Tukey.

Tabela 3: Resultado do teste F para os valores de STD dos períodos chuvosos e secos de 2011 e 2015.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F calculado	F tabelado
Entre os tratamentos	3	121881,00	43960,33	0,40	3,49
Dentro dos tratamentos (Resíduos)	12	1212702,00	109475,17		
Total	15	1445583,00			

4.2.2 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica depende da concentração total das substâncias dissolvidas ionizadas e de sua mobilidade e expressa quantitativamente a capacidade da água conduzir corrente elétrica.

A condutividade elétrica (C.E.), nos poços analisados, apresentou um comportamento diferente nos períodos chuvosos e secos de 2011 e 2015.

No ano de 2011, todos os poços demonstraram valores maiores de C.E. no período chuvoso, conforme indicado na Figura 13. O poço BAR0233, com a C.E. mais elevada no período chuvoso com 2.224 $\mu\text{S}/\text{cm}$, apresentou maior decréscimo no período seco com 885 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

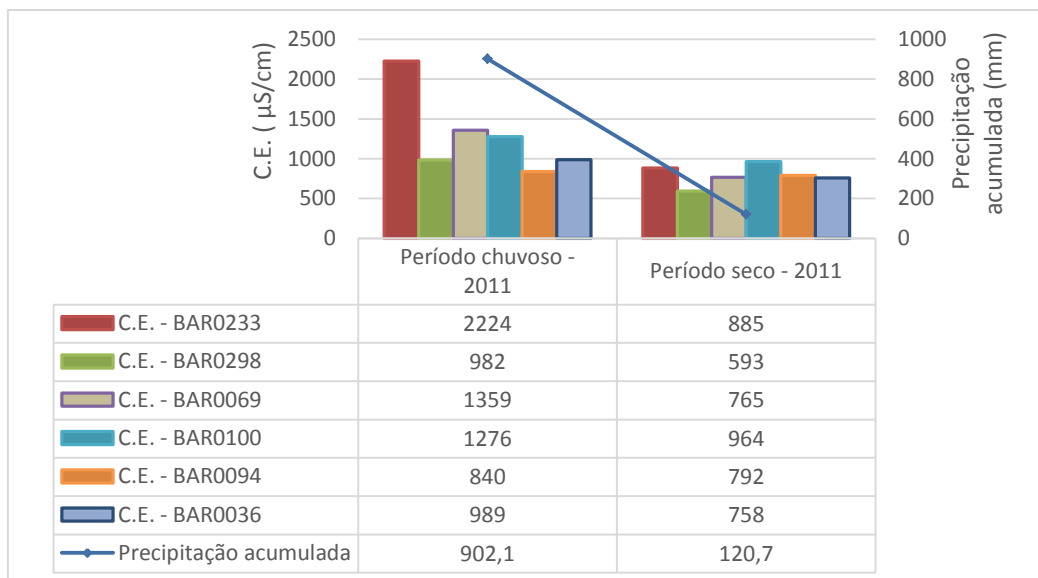


Figura 13: Valores de concentração de C.E. no período chuvoso e seco de 2011.

Fonte: Adaptado de IDEMA (2011, 2015) e EMPARN (2017).

Todos os poços em 2015, no entanto, tiveram os valores de C.E. aumentados no período seco, conforme demonstrado na Figura 14. Dentre estes, apenas o BAR0216 apresentou uma elevação mais acentuada, com 606 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no período chuvoso e 1435 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no período seco.

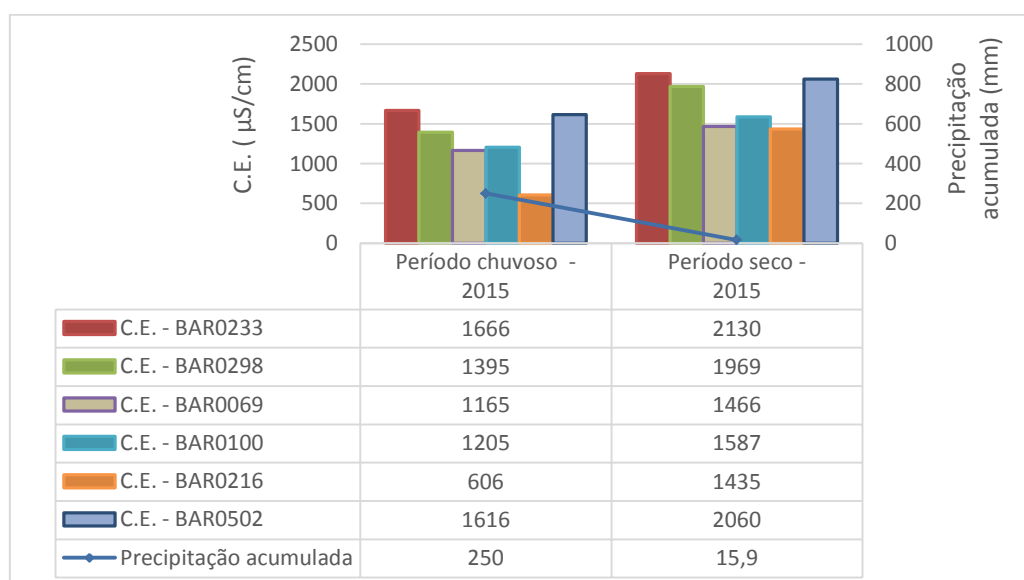


Figura 14: Valores de concentração de C.E. no período chuvoso e seco de 2015.

Fonte: Adaptado de IDEMA (2011, 2015) e EMPARN (2017).

Salienta-se que as águas nos aquíferos cársticos, normalmente se apresentam com valores de C.E. elevados, pois dependendo da dinâmica das águas, nesse meio, a influência das rochas carbonáticas promove a salinidade das águas, refletindo, assim, na C.E.

Ao submeter o conjunto de dados à ANOVA, foi indicado que a C.E. se comportou de maneira diferenciada em pelo menos um dos períodos considerados, rejeitando-se assim a hipótese nula, conforme resumo da Tabela 4. O teste Tukey revelou, então, que a reação da C.E. ao período seco de 2011 e 2015 não coincidem. As variações dos valores de C.E. entre os períodos chuvosos e secos de 2011 e 2015 podem não ter sido expressivas o suficiente para que o teste Tukey determinasse que o comportamento do parâmetro variasse conforme os períodos (Quadro 3).

Tabela 4: Resultado do teste F para os valores de C.E. dos períodos chuvosos e secos de 2011 e 2015.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F calculado	F tabelado
Entre os tratamentos	3	2018488,69	672829,56	5,83	3,49
Dentro dos tratamentos (Resíduos)	12	1285120,25	115426,69		
Total	15	3403608,94			

Quadro 3: Matriz dos resultados do teste de Tukey para os valores de C.E. Janelas em cinza indicam diferença estatística entre os dados dos períodos e janelas em branco indicam igualdade.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

	Período chuvoso/2011	Período seco/2011	Período chuvoso/2015	Período seco/2015
Período Chuvoso/2011				
Período seco/ 2011				
Período chuvoso/2015				
Período seco/2015				

4.4.4 Cloreto

Os cloretos (Cl^-) se apresentam como muito solúveis e estáveis em solução, de modo que os padrões de potabilidade, geralmente, limitam a concentração de cloreto em 250 mg/L, como é o caso da Resolução 396/2008 do CONAMA. O cloreto pode ter origem antrópica e geológica, sendo a lixiviação de rochas, esgotos domésticos e industriais a sua principal origem (USEPA, 2015). Além destas fontes, também, deve-se considerar a influência do manejo de irrigação sobre a dinâmica do cloreto.

Na área estudada, o comportamento do cloreto em relação à transição entre o período chuvoso e seco nos anos 2011 e 2015 se apresentou de forma distinta. A concentração de cloreto nos poços é mais estável em 2011, com poucas variações do seu valor entre a medição do período chuvoso e do período seco em todos os poços, conforme indicado na Figura 15. Mesmo a maior alteração na concentração de cloreto, no poço BAR0298, não ocorreu de forma significativa, com 84 mg/L no período chuvoso e 154 mg/L no período seco.

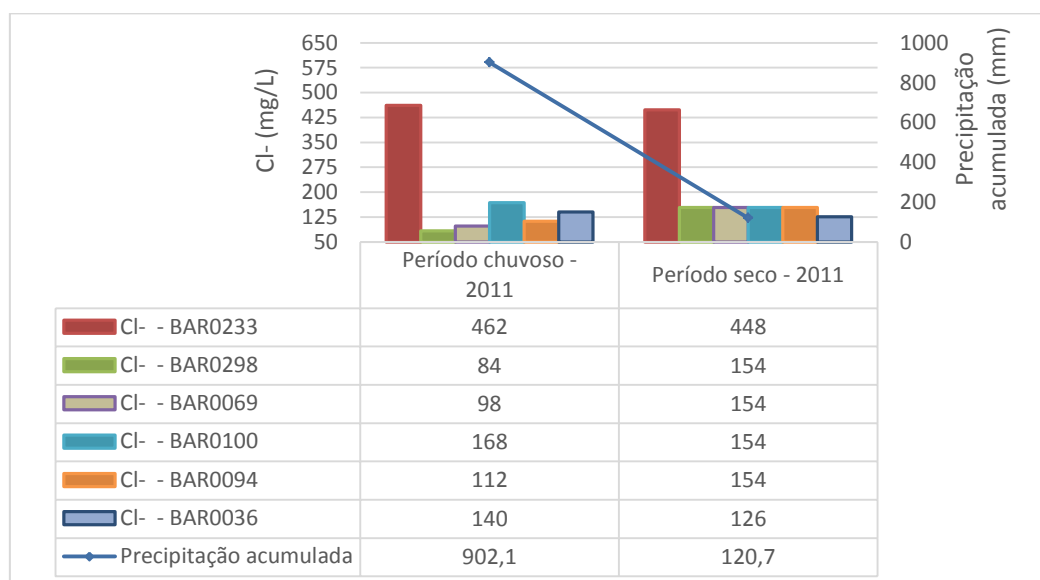


Figura 15: Valores de concentração de cloreto no período chuvoso e seco de 2011.

Fonte: Adaptado de IDEMA (2011, 2015) e EMPARN (2017).

Por outro lado, em 2015 houve uma elevação notória da concentração do cloreto em todos os poços no período seco, ou aumento expressivo em todos os poços, conforme demonstrado na Figura 16.

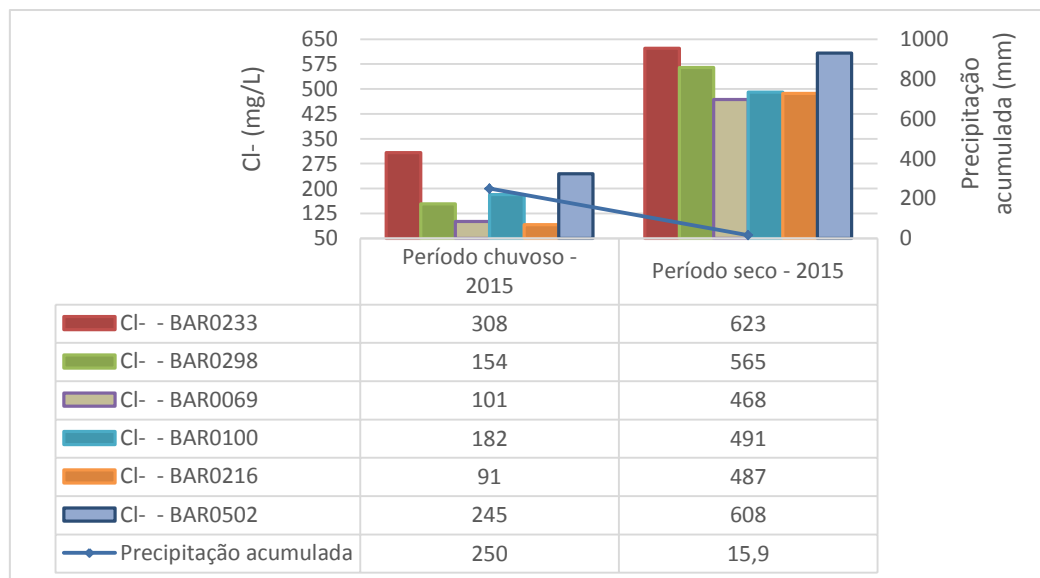


Figura 16: Valores de concentração de cloreto no período chuvoso e seco de 2015.

Fonte: Adaptado de IDEMA (2011, 2015) e EMPARN (2017).

A aplicação da ANOVA no conjunto de dados dos poços apontou que o cloreto se comportou de maneira diferenciada em pelo menos um dos períodos considerados, rejeitando-se assim a hipótese nula conforme resumo da Tabela 5. O teste Tukey revelou então que houve mudança no comportamento do cloreto entre o período seco e chuvoso de 2015, e que o primeiro também se diferencia dos períodos do ano de 2011. Além disso, também é revelado que os períodos chuvosos e secos/2011 não influenciaram na concentração de cloreto (Quadro 4).

Tabela 5: Resultado do teste F para os valores de cloreto dos períodos chuvosos e secos de 2011 e 2015.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F calculado	F tabelado
Entre os tratamentos	3	340333,25	113444,42	6,53	3,49
Dentro dos tratamentos (Resíduos)	12	208448,50	17370,71		
Total	15	548781,71			

Quadro 4: Matriz dos resultados do teste de Tukey para os valores de cloreto. Janelas em cinza indicam diferença estatística entre os dados dos períodos e janelas em branco indicam igualdade.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

	Período chuvoso/2011	Período seco/2011	Período chuvoso/2015	Período seco/2015
Período Chuvoso/2011				
Período seco/ 2011				
Período chuvoso/2015				
Período seco/2015				

4.4.5 Nitrato

O nitrogênio pode estar presente sob as suas diversas formas compostas: orgânica, amoniacal (NH_4^+), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-), seguindo um ciclo desde o organismo vivo até a mineralização total, onde está presente sob a forma de nitrato. Os nitratos são muito solúveis e, por isso, dificilmente precipitam. Podem ser oriundos de fontes como áreas urbanas com ausência de saneamento básico ou áreas agricultáveis.

As concentrações de nitrato nas águas naturais estão na faixa de 0,1 a 10 mg/L; porém, em águas muito poluídas podem chegar a 200 mg/L e em alguns casos de áreas influenciadas por aplicações excessivas de fertilizantes, as concentrações podem ser maiores que 600 mg/L, (ANA, 2010). De acordo com a Resolução 396 do CONAMA (2008) o valor máximo permissível para o consumo humano, quando expresso em $\text{N}(\text{NO}_3^-)$ é de 10 mg/L.

Em 2011, todos os poços analisados no período chuvoso apresentaram concentrações de $\text{N}(\text{NO}_3^-)$, superiores ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008. Já no período seco, dentre os 06 poços analisados, 05 apresentaram valores desconformes. Verificou-se que houve um decréscimo expressivo, do período chuvoso para o seco, no ano de 2011, conforme indicado na Figura 17. Dentre todos os poços, o BAR0100 foi o que apresentou significativa diminuição na concentração de $\text{N}(\text{NO}_3^-)$, com 36,51 mg/L no período chuvoso e 4,40 mg/L no período seco.

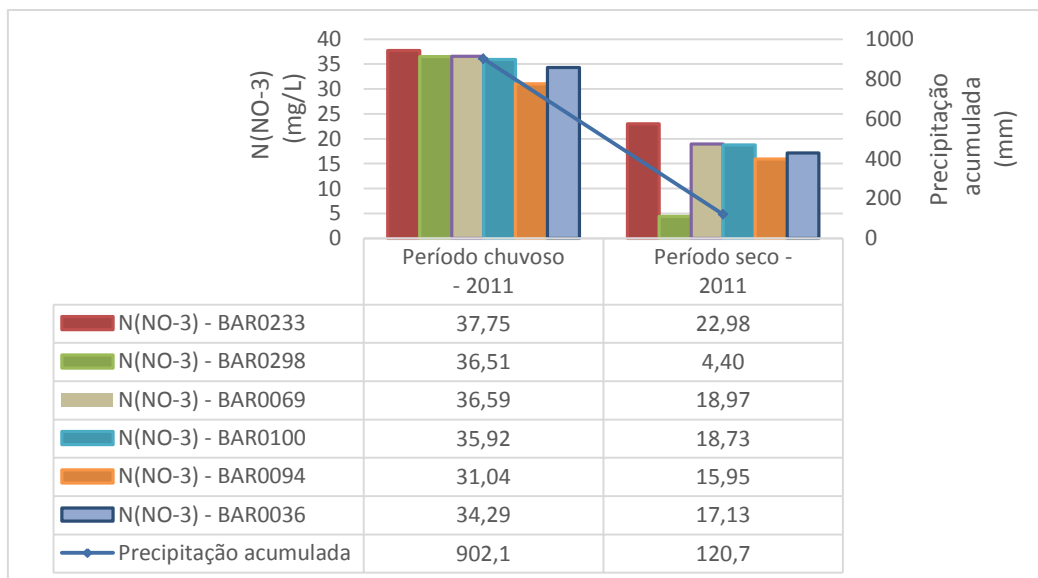


Figura 17: Valores de concentração de N (NO-3) no período chuvoso e seco de 2011.

Fonte: Adaptado de IDEMA (2011, 2015) e EMPARN (2017).

Por sua vez em 2015, apesar de maneira não tão expressiva quanto em 2011, a concentração de N (NO-3) nos poços também diminuiu no período seco, sendo o BAR0216 a única exceção, com 1,0 mg/L no período chuvoso e 8,64 mg/L no período seco, conforme demonstrado na Figura 18. Nota-se que em todos os poços, a concentração de nitrato em 2015, ano com poucas ocorrências de chuva, é notoriamente menor do que em 2011, que foi marcado por precipitações intensas no período chuvoso.

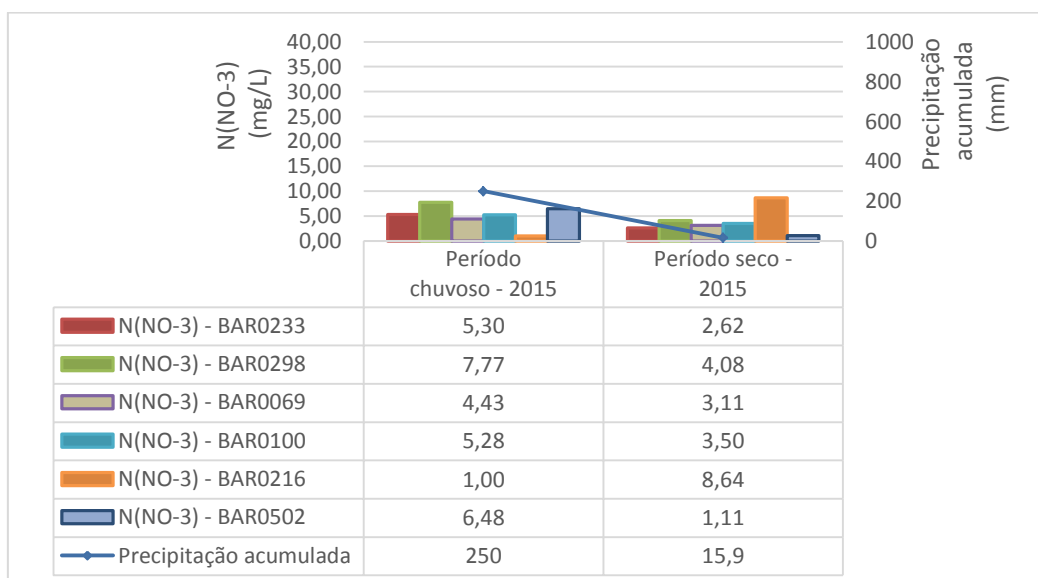


Figura 18: Valores de concentração de nitrato no período chuvoso e seco de 2015.

Fonte: Adaptado de IDEMA (2011, 2015) e EMPARN (2017).

A aplicação da ANOVA no conjunto de dados dos poços indicou que o nitrato se comportou de maneira diferenciada em pelo menos um dos períodos considerados, rejeitando-se a hipótese nula, conforme resumo da Tabela 5. O teste Tukey revelou, então, que houve alteração no comportamento do N (NO₃) entre o período chuvoso e seco em 2011. As variações das concentrações do N (NO₃) entre o período chuvoso e seco de 2015 podem não ter sido expressivas o suficiente para que o teste Tukey determinasse que o comportamento do parâmetro variasse conforme os períodos (Quadro 5).

Tabela 6: Resultado do teste F para os valores de N (NO₃) dos períodos chuvosos e secos de 2011 e 2015.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F calculado	F tabelado
Entre os tratamentos	3	2776,09	925,36	53,28	3,49
Dentro dos tratamentos (Resíduos)	12	208,40	17,37		
Total	15	2984,49			

Quadro 5: Matriz dos resultados do teste de Tukey para os valores de N (NO₃). Janelas em cinza indicam diferença estatística entre os dados dos períodos e janelas em branco indicam igualdade.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

	Período chuvoso/2011	Período seco/2011	Período chuvoso/2015	Período seco/2015
Período Chuvoso/2011				
Período seco/ 2011				
Período chuvoso/2015				
Período seco/2015				

Quanto aos parâmetros físico-químicos analisados, constatou-se que o nitrato (N-NO₃) é o que apresenta efeitos mais evidentes quanto a sua relação com a recarga do aquífero, se apresentando, sempre, com valores elevados no período chuvoso em quase todos os poços. Esse comportamento demonstra que sua elevada mobilidade nos solos, mencionado pelo Manual Internacional de Fertilidade do Solo (1998), ocorre no meio

cárstico da região de Baraúna, quando o N (NO₃), oriundo das áreas agricultáveis é lixiviado pelas águas de chuva, atingindo o aquífero Jandaíra.

É importante ressaltar que o ano de 2011 foi considerado atípico para região, no sentido de que o volume precipitado anual (1022,8 mm) é considerado acima do normal esperado. Diante disso, pode-se inferir que a diminuição dos valores de C.E. no período seco/2011 reflete um contínuo abastecimento do aquífero por meio da recarga por água de chuva, que possui pouca concentração de íons, ocorrida no período chuvoso/2011. Em contrapartida a elevação dos valores de C.E. no período seco/2015 pode ser explicado pela sucessão de anos de baixas precipitações que antecederam os anos de 2015, fazendo com que houvesse a concentração de íons que refletem o valor da C.E. O cloreto, em questão, assim como a C.E., apresentou elevação da sua concentração no período seco/2015. Pode-se deduzir que isso ocorra pelo aumento da recarga oriunda da irrigação existente na área, uma vez que em anos de pouca precipitação faz-se necessário o aumento da exploração das águas subterrâneas para a irrigação das culturas, resultando em um aumento de recargas pontuais provocada pela irrigação, que podem contribuir para a lixiviação do cloreto presente no solo, oriundo de fertilizantes aplicados nas culturas de irrigação da região, como o cloreto de potássio (KCl). Fernandes et al. (2005) elaboraram pesquisas na Chapada do Apodi sobre a interferência do excesso de KCl na qualidade das águas subterrâneas da Chapada do Apodi, demonstrando por intermédio da comparação das concentrações de cloreto obtidas em amostras coletadas em poços dentro e fora do perímetro de irrigação. Estes estudos demonstraram que no final do período de um ano, as concentrações de cloreto foram maiores do que no início, na maioria dos poços, o que caracterizou um indicativo de que o KCl usado como fertilizante estava deixando resíduo de cloreto na água. Nessa linha de raciocínio, a C.E. estaria refletindo a salinização da água, no período seco, provocada pela elevada concentração de cloreto.

No mesmo ano, a concentração de STD não apresentou o mesmo comportamento da C.E., tendo as suas concentrações diminuídas no período seco/2015. Essa reação, no entanto pode ser interpretada como o resultado das baixas precipitações ocorridas no período seco/2015, que não configuraram um cenário propício às recargas difusas, onde houvesse a lixiviação de outros sais, de modo que esse cenário não favoreceu a elevação da concentração de STD.

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que o aquífero Jandaíra no município de Baraúna é suscetível aos eventos chuvosos e secos na região, seja na recuperação rápida dos níveis estáticos dos poços, mediante aos eventos chuvosos intensos ou aos rebaixamentos durante os períodos secos. De forma que, os rebaixamentos intensivos dos níveis estáticos são reflexos de um conjunto de fatores, como: a saída de fluxo subterrâneo, através do próprio escoamento natural e da expressiva exploração de água, através de poços tubulares associada aos prolongados períodos de seca.

Em relação aos aspectos físico-químicos analisados, pode-se concluir que o nitrato é o parâmetro que mais apresenta um comportamento definido ao longo dos períodos chuvosos e secos: em épocas de elevadas precipitações, a sua concentração se eleva nas águas do aquífero devido a sua lixiviação e mobilidade no solo. Os demais parâmetros demonstraram não possuir um padrão de comportamento, como o do nitrato, sendo necessário a realização de estudos que contemplem uma maior quantidade de poços, abrangendo maiores períodos de tempo, de modo que se possa dar mais embasamento às deduções levantadas.

Diante de todos os levantamentos realizados, desde os primeiros estudos na região estudada até o presente momento, percebe-se que cada pesquisa realizada reitera o quanto os calcários da Formação Jandaíra, especialmente no município de Baraúna, têm se revelado como um bom condutor hidráulico, decorrente do elevado nível de carstificação e conseqüentemente atribuindo ao aquífero um elevado potencial e o desenvolvimento da fruticultura irrigada, na região.

Portanto, considerando o quanto esse aquífero é estratégico para o Estado do Rio Grande do Norte e diante de uma situação em que já existe uma expressiva exploração de água, associada ao regime pluviométrico que é irregular, na região, e a uma contínua elevação das concentrações de N(NO-3), oriundas das áreas irrigadas, constata-se a urgência da efetiva aplicação dos instrumentos de gestão, previstos na Lei Estadual nº 6.908/1996.

Nesse contexto, ressalta-se a importância e a necessidade da manutenção da atual rede de monitoramento quali-quantitativa, e a implantação de um sistema robusto

de suporte à decisão, que possibilite simulações do comportamento dos rebaixamentos dos níveis da água em relação aos volumes explorados. Um sistema desse porte contribuirá para o controle da abertura de novos poços tubulares na região subsidiando, assim, a rigorosidade em relação a aplicação do instrumento da outorga do direito de uso da água.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Avaliação dos Recursos Hídricos Subterrâneos e Proposição de Modelo de Gestão Compartilhada para os Aquíferos da Chapada do Apodi, entre os Estados do Rio Grande do Norte e Ceará.** Vol. IV – Hidrogeoquímica, Vulnerabilidade dos Aquíferos e Riscos de Contaminação. Brasília: ANA, SIP, 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Avaliação dos Recursos Hídricos Subterrâneos e Proposição de Modelo de Gestão Compartilhada para os Aquíferos da Chapada do Apodi, entre os Estados do Rio Grande do Norte e Ceará.** Vol. V – Modelo de Gestão. Brasília: ANA, SIP, 2010.

BRITO, S. S. B., CUNHA, A. P. M. A., CUNNINGHAM, C. C., ALVALÁ, R. C., MARENGO, J. A. and CARVALHO, M. A. (2017), Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. **Int. J. Climatol.** doi:10.1002/joc.5225.

CARRERA-HERNÁNDEZ, J. J.; SMERDONB, B. D.; MENDOZA, C. A. Estimating groundwater recharge through unsaturated flow modelling: Sensitivity to boundary conditions and vertical discretization. **Journal of Hydrology**, v. 452 – 453, p. 90 – 101, 2012.

CASTRO, V. L. L.; LIZÁRRAGA, G.J. ; CASTRO, M.F.C. **Ações e Procedimentos de Gestão adotados no aquífero Jandaíra- região de Baraúna/RN.** In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas -Cuiabá -MT, 8., 2004, Cuiabá, 2004.

CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). 2008 Resolução 396 de 03/04/2008, **Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências**, 11 p.

EMPARN. **Monitoramento Pluviométrico** – Ano: 2017. 2017. Disponível em: <<http://187.61.173.26/monitoramento/monitoramento.php>>. Acesso em: 02/06/2017

FEITOSA, E. C. **O Aquífero Jandaíra no município de Baraúnas/RN** – Atualização dos conhecimentos. ANA/PRÓÁGUA Semiárido/SERHID RN – FADE/LABHID/UFPE. Recife. Relatório inédito. Zoneamento dos calcários e

mapeamento das áreas de maior índice de carstificação, através do método geofísico de eletrorresistividade, (2004).

FERNANDES, M. A. B. ; SANTIAGO, M. M. F. ; GOMES, D. F. ; MENDES FILHO, J. ; FRISCHKORN, H. ; LIMA, J. O. G. . A origem dos cloretos nas águas subterrâneas na Chapada do Apodi - Ceará. **Águas Subterrâneas** (São Paulo) , Paraná, v. 19, n.1, p. 25-34, 2005.

GIULIETTI A. M., BOCAGE NETA A. L., CASTRO A. A. J. F., GAMARRA-ROJAS C. F. L., SAMPAIO E. V. S. B., VIRGÍNIO J. F., QUEIROZ L. P., FIGUEIREDO M. A., RODAL M. J. N., BARBOSA M. R. V., HARLEY R. M.. 2004a. **Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga**. Pp. 47-90. Brasília, Ministério do Meio Ambiente

IDEMA. Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. **Perfil do seu município: Baraúna**. 2008. Disponível em: <<http://www.idema.rn.gov.br>>. Acesso em: 02/06/2017

IDEMA. **Rede Compartilhada De Monitoramento Da Qualidade Da Água. Monitoramento Da Qualidade Das Águas Subterrâneas 5º Relatório Parcial**. Natal: IDEMA, 2012. 65 p.

IDEMA. **Rede Compartilhada De Monitoramento Da Qualidade Da Água. Monitoramento Da Qualidade Das Águas Subterrâneas 6º Relatório Parcial**. Natal: IDEMA, 2012. 65 p.

IDEMA. **Rede Compartilhada De Monitoramento Da Qualidade Da Água. Relatório Técnico Monitoramento da Qualidade das Águas Subterrâneas Primeira Campanha - 2015**. Natal: IDEMA, 2015. 70 p.

IDEMA. **Rede Compartilhada De Monitoramento Da Qualidade Da Água. Relatório Técnico Monitoramento da Qualidade das Águas Subterrâneas Segunda Campanha - 2015**. Natal: IDEMA, 2016. 63 p.

Instituto da Potassa & Fosfato. **Manual Internacional de Fertilidade do Solo**. Tradução e adaptação de Alfredo Scheid Lopes. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1998. 177 p.

LERNER, D.N., ISSAR, A.S., SIMMERS, I., 1990. **Groundwater Recharge. A guide to understanding and estimating natural recharge**, vol. 8. Heinz Heise. 145 p.

MOTA, J. C. A. **Caracterização Física, Química e Mineralógica, como Suporte para o Manejo, dos Principais Solos Explorados com a Cultura do Melão na Chapada do Apodi – Rn.** 2004. 96 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.

MIRANDA, T. S; MANOEL FILHO, J. ; NEVES, B. B. B. ; Barbosa, J. A. **Estudo do Comportamento Geológico-Estrutural Dos Depósitos Cretácicos Do Sistema Aquífero Apodi, Bacia Potiguar, Ne Do Brasil.** Estudos Geológicos (UFPE), v. 22, p. 3-19, 2012.

OLIVEIRA, R. C. **Avaliação do aquífero cárstico Jandaíra na região de Baraúna, Rio Grande do Norte.** Dissertação (mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica. Natal (RN) 2017.

OLIVEIRA, F.R.; CARDOSO, F.B.F.; MANOEL FILHO, J.; KIRCHHEIM, R.; FEITOSA, E.C.; TEIXEIRA, H.R.; VARELLA NETO, P.L.; GONÇALVES, M.V.C.; NASCIMENTO, F.S. **Gestão Compartilhada De Águas Subterrâneas Na Chapada Do Apodi, Entre Os Estados Do Ceará E Rio Grande Do Norte.** In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. 17., 2012.

SCANLON, B.R.; HEALY, R.W.; COOK, P.G. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. **Hydrogeology Journal**, v. 10, n. 1, p. 18 – 39, Jan. 2002. Disponível em: <http://www.beg.utexas.edu/staffinfo/Scanlon/pdf>. Acesso em: 25 de novembro de 2017.

UNITED STATES. Environmental Protection Agency - USEPA. Secondary maximum contaminant levels: a strategy for drinking water quality and consumer acceptability. 2015. Disponível em: <http://www.waterrf.org/PublicReportLibrary/4537.pdf>. Acesso em: set.