

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
ÁREA: ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E SANITÁRIA**

**INFLUÊNCIA DO LANÇAMENTO DE ESGOTOS NA QUALIDADE DAS ÁGUAS  
DO AQUÍFERO ALUVIAL DO RIO SUCURÚ, NO MUNICÍPIO DE SUMÉ – PB**

**JAQUELINE PEREIRA SALGADO**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2016**

**JAQUELINE PEREIRA SALGADO**

**INFLUÊNCIA DO LANÇAMENTO DE ESGOTOS NA QUALIDADE DAS ÁGUAS  
DO AQUÍFERO ALUVIAL DO RIO SUCURÚ, NO MUNICÍPIO DE SUMÉ – PB**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.**

**Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Mônica Amorim Coura**

**Co-orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dayse Luna Barbosa**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2016**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

S164i Salgado, Jaqueline Pereira.  
Influência do lançamento de esgotos na qualidade das águas do aquífero aluvial do Rio Sucurú, no município de Sumé-PB / Jaqueline Pereira Salgado. – Campina Grande, 2017.  
102 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2016.  
"Orientação: Profa. Dra. Mônica Amorim Coura, Profa. Dra. Dayse Luna Barbosa".  
Referências.

1. Poluição de Águas. 2. Águas Subterrâneas. 3. Aquíferos - Poluição. 4. Aquífero Aluvial – Rio Sucurú – Sumé - PB. I. Coura, Mônica Amorim. II. Barbosa, Dayse Luna. III. Título.

CDU 628.312.3(043)

**JAQUELINE PEREIRA SALGADO**

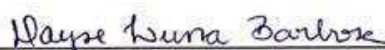
**INFLUÊNCIA DO LANÇAMENTO DE ESGOTOS NA QUALIDADE DAS ÁGUAS  
DO AQUÍFERO ALUVIAL DO RIO SUCURÚ, NO MUNICÍPIO DE SUMÉ – PB**

Dissertação aprovada em 02 de dezembro de 2016.



---

**Prof.<sup>a</sup> Mônica Amorim Coura**  
Universidade Federal de Campina Grande  
**Orientadora**



---

**Prof.<sup>a</sup> Dayse Luna Barbosa**  
Universidade Federal de Campina Grande  
**Co-orientadora**



---

**Prof. Rui de Oliveira**  
Universidade Federal de Campina Grande  
**Examinador Interno**



---

**Prof. Hugo Morais de Alcântara**  
Universidade Federal de Campina Grande (Campus Sumé)  
**Examinador Externa**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2016**

*Dedico este trabalho ao meu esposo Almir  
Alves e à minha filha Giovanna.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por mais uma conquista, e por colocar pessoas especiais na minha vida no decorrer dessa caminhada, e que foram essenciais para a concretização deste sonho.

Ao meu esposo, por todo apoio e incentivo para que eu pudesse continuar nessa caminhada.

Às minhas orientadoras, Profa. Monica Coura e Profa. Dayse Luna, pela competência, estímulo, paciência, orientação e confiança para realização deste trabalho, e também, pelo apoio e compreensão nos momentos difíceis dessa trajetória.

Aos membros da banca examinadora pela dedicação de seu tempo na contribuição deste trabalho.

Aos colegas de turma que se tornaram amigos, em especial Wanessa, pela parceria e cumplicidade.

A todos os professores, funcionários e colegas do Laboratório de Saneamento, em especial Tiquinho, Val, Cris, Savana e Toinho, por todo o apoio nas atividades realizadas.

Aos colegas do projeto BRAMAR, em especial Ismael, Barbara e Marcela, pela presteza em ajudar nas coletas e confecção de mapas.

Ao Projeto BRAMAR pela oportunidade de contribuir com os estudos desenvolvidos com este trabalho.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a elaboração deste estudo.

Muito Obrigada!

*“O tempo muito me ensinou: Ensinou a amar a vida, não desistir de lutar, renascer na derrota, renunciar às palavras e pensamentos negativos, acreditar nos valores humanos, e a ser otimista. Aprendi que mais vale tentar do que recuar. Antes acreditar do que duvidar, que o que vale na vida, não é o ponto de partida e sim a nossa caminhada.”*

*Cora Coralina*

## RESUMO

Na Paraíba a utilização das águas subterrâneas tem crescido consideravelmente, de forma que essas águas estão cada vez mais suscetíveis a contaminações, tanto pelo lançamento de esgotos sem tratamento quanto por outras ações antropogênicas, especialmente atividades agropastoris. Este trabalho tem por objetivo avaliar a influência causada pelo lançamento de esgotos na qualidade das águas subterrâneas e a viabilidade destas em usos diversos. Para realização desta pesquisa foram escolhidos 9 poços ao longo do aquífero aluvial do Rio Sucurú, no município de Sumé-PB. Os indicadores de qualidade selecionados foram: físico-químicos - alcalinidade bicarbonato, alcalinidade carbonato, cálcio, cloretos, condutividade elétrica, DBO, DQO, ferro, magnésio, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, OD, pH, potássio, salinidade, sódio, sólidos totais dissolvidos, temperatura, turbidez; e microbiológicos - coliformes termotolerantes e *E. coli*. Ao longo do aluvião foram identificadas diversas fontes de poluição antrópica, que exercem influência na qualidade da água do aquífero. Através da metodologia GOD, o aquífero foi classificado com nível de vulnerabilidade médio. Os indicadores relacionados à salinidade mostraram altos níveis de sais ao longo do aluvião, o que restringe o uso para irrigação. Os parâmetros mínimos para classificação das águas subterrâneas de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008, estiveram, na maioria dos poços, acima do VMP, exceto para nitrato, qualificando, dessa forma, as águas do aquífero como Classe 4. Assim foi concluído que as águas do aquífero aluvial do rio Sucurú somente podem ser utilizadas sem tratamento, para usos menos restritivos.

**Palavras-chave:** Água subterrânea; Aquífero aluvial; Poluição de aquíferos.



## ABSTRACT

In Paraíba, the usage of groundwater has increased considerably, therefore, these water resources are more susceptible to contamination, either by the discharge of untreated wastewater, or by other anthropogenic activities, above all, agropastoral activities. The main objective of this study is to evaluate the influence of the sewage discharge on the groundwater quality and the viability of these resources for various uses. For this research 9 wells along the alluvial aquifer of Sucuru River in Sumé-PB were chosen. The water quality indicators selected were: physico-chemical - bicarbonate and carbonate alkalinity, calcium, chloride, conductivity, BOD, COD, iron, magnesium, nitrate, nitrite, ammoniacal nitrogen, DO, pH, potassium, salinity, sodium, total dissolved solids, temperature, turbidity; microbiological - thermotolerant coliforms and E-Coli. Along the alluvium were identified various fonts of anthropogenic pollution, which have influence on the aquifer water quality. Through the GOD method, the aquifer was classified with medium vulnerability level. The indicators related to salinity presented high salt levels along the alluvion, which restricts the water use to irrigation. The minimal parameters for the classification of groundwater according to the CONAMA Resolution 396/2008, have been, on most the wells, above the MVA, except for nitrate, thus qualifying the aquifer water as Class 4. Therefore it was concluded that the water from the alluvial aquifer of the Sucuru River can only be used, untreated, for least restrictive uses.

Keywords: Groundwater; Alluvial aquifer; Aquifer pollution.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados dos poços de coleta ao longo do aluvião do Rio Sucurú.....	46
Tabela 2 – Classificação e intervalos dos coeficientes de variação. ....	53
Tabela 3 – Prováveis fontes de poluição.....	58
Tabela 4 - Classificação das águas conforme os Sólidos Totais Dissolvidos. ....	71
Tabela 5 – Resultado das análises de qualidade da água do poço 2. ....	80
Tabela 6 – Resultado das análises de qualidade da água dos poços 1, 3, 4 e 5.....	81
Tabela 7 – Resultado das análises de qualidade da água dos poços 6, 7, 8 e 9.....	82
Tabela 8 – Teste de Tukey para análise de sódio.....	84
Tabela 9 – Teste de Tukey para análise de salinidade e condutividade elétrica.....	85
Tabela 10 – Tabela com dados do GOD.....	86
Tabela 11 – Poços a jusante e montante de barragens subterrâneas .....	93

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Origem da contaminação das águas subterrâneas. ....	33
Quadro 2 – Parâmetros físico-químicos utilizados e metodologias de análises. ....	52
Quadro 3 – Categorias adotadas pelo USSL. ....	56
Quadro 4 – Variação espaço temporal da presença de E. coli nos poços do aquífero aluvial do Rio Sucurú. ....	67

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Classificação dos aquíferos, quanto aos tipos de espaços vazios. ....	25
Figura 2 – Classificação dos aquíferos, com respectivos níveis de pressão.....	27
Figura 3 – Representação de um aquífero aluvial.....	28
Figura 4 – Sistemas aquíferos brasileiros. ....	29
Figura 5 – Potencial hídrico subterrâneo.....	30
Figura 6 – Etapas metodológicas. ....	39
Figura 7 – Área de estudo – Aquífero aluvial do rio Sucurú. ....	40
Figura 8 – Município de Sumé - PB.....	41
Figura 9 – Localização de Sumé – PB na Bacia Hidrográfica do rio Paraíba.....	43
Figura 10 – Poços de coleta localizados ao longo do aluvião do Rio Sucurú.....	47
Figura 11 – Mapa da localização dos pontos de coleta de água no aquífero do Rio Sucurú.....	48
Figura 12 – Amostras acondicionadas em gelo.....	49
Figura 13 – Dispositivo de coleta. ....	50
Figura 14 – Procedimentos realizados em campo. ....	51
Figura 15 – Sistema GOD para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação. ....	55
Figura 16 – Mapa das fontes de poluição. ....	59
Figura 17 – Galeria de esgotos oriunda dos bairros Várzea Redonda e adjacentes.	60
Figura 18 – Drenos de esgoto doméstico que desembocam no riacho da Pedra Comprida.....	61
Figura 19 – Poço amazonas localizado a jusante dos lançamentos de esgoto.....	61
Figura 20 – Lançamento de resíduos líquidos do matadouro. ....	62
Figura 21 – Lançamento de esgoto industrial e resíduos sólidos no Rio Sucurú. ....	62
Figura 22 – Antigo lixão da cidade de Sumé.....	63
Figura 23 – Defensivos químicos utilizados. ....	64
Figura 24 – Variação espaço temporal do pH nos poços do aquífero aluvial do Rio Sucurú.....	65
Figura 25 – Variação espaço temporal da temperatura nos poços do aquífero aluvial do Rio Sucurú.....	66

Figura 26 – Variação espaço temporal dos coliformes termotolerantes nos poços do aquífero aluvial do Rio Sucurú. ....	67
Figura 27 – Variação espaço temporal da turbidez nos poços do aquífero aluvial do Rio Sucurú.....	69
Figura 28 – Variação espaço temporal da condutividade elétrica nos poços do aquífero aluvial do Rio Sucurú. ....	70
Figura 29 – Variação espaço temporal dos sólidos dissolvidos totais nos poços do aquífero aluvial do Rio Sucurú. ....	71
Figura 30 – Comparação entre os valores de SDT e os de salinidade do aquífero aluvial do rio Sucurú.....	72
Figura 31 – Variação espaço temporal de sódio nos poços do aquífero aluvial do Rio Sucurú.....	73
Figura 32 – Variação espaço temporal dos cloretos nos poços do aquífero aluvial do Rio Sucurú.....	74
Figura 33 – Variação espaço temporal de potássio nos poços do aquífero aluvial do Rio Sucurú.....	75
Figura 34 – Variação espaço temporal da dureza total nos poços do aquífero aluvial do Rio Sucurú.....	76
Figura 35 – Variação espaço temporal de oxigênio dissolvido nos poços do aquífero aluvial do Rio Sucurú. ....	77
Figura 36 – Variação espaço temporal da DBO nos poços do aquífero aluvial do Rio Sucurú.....	78
Figura 37 – Variação espaço temporal da DQO nos poços do aquífero aluvial do Rio Sucurú.....	78
Figura 38 – Mapas temáticos de cada plano de informação do método GOD. ....	88
Figura 39 – Mapa de vulnerabilidade do aquífero aluvial do rio Sucurú.....	89
Figura 40 – Classificação das águas dos poços para irrigação pelo método proposto pelo USSL. ....	90
Figura 41 – Diagrama de Piper dos poços ao longo do aluvião do rio Sucurú.....	91

## LISTA DE SIGLAS

ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA - Agência Nacional das Águas

ANOVA - Análise de Variância

AWWA - American Water Works Association

BRAMAR - Strategies and Technologies for Water Scarcity Mitigation in Northeast of **BRA**zil: Water Reuse, **M**anaged **A**quifer **R**echarge and Integrated Water Resources Management

CE – Condutividade Elétrica

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil

CTT - Coliformes Termotolerantes

CV - Coeficiente de Variação

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO - Demanda Química de Oxigênio

FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos

GOD - Groundwater occurrence, Overall lithology of aquifer and Depth of water

GPS - Sistema de Posicionamento Global

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LQP - Limite de Quantificação Praticável

MMA - Ministério do Meio Ambiente

MS – Ministério da Saúde

OD - Oxigênio Dissolvido

OMS - Organização Mundial de Saúde

PIB - Produto Interno Bruto

PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos

RAS - Razão de Absorção de Sódio

SDT - Sólidos Dissolvidos Totais

UFC - Unidade Formadora de Colônia

UNT - Unidade Nefelométrica de Turbidez

USSL - United States Salinity Laboratory

VMP - Valor Máximo Permitido

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	18
2. OBJETIVOS .....	21
2.1 Objetivo Geral.....	21
2.2 Objetivos Específicos.....	21
3. CONTEXTO DA PESQUISA.....	22
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
4.1 Águas Subterrâneas .....	23
4.1.1 <i>Tipos de aquíferos</i> .....	25
4.2 As águas subterrâneas brasileiras .....	28
4.2.1 <i>Águas subterrâneas no semiárido nordestino</i> .....	29
4.3 Contaminação das águas subterrâneas .....	31
4.4 Base legal das águas subterrâneas no Brasil .....	34
4.4.1 <i>Regulamentação da qualidade das águas subterrâneas brasileiras</i> ...	36
5. METODOLOGIA .....	39
5.1 Caracterização da área de estudo .....	40
5.1.1 <i>Características fisiográficas</i> .....	42
5.1.2 <i>Características hidrogeológicas</i> .....	43
5.1.3 <i>Caracterização socioeconômica</i> .....	44
5.1.4 <i>Uso e ocupação do solo</i> .....	45
5.2 Identificação dos pontos de coleta .....	45
5.3 Procedimento de coleta.....	49
5.4 Análises físico-químicas .....	51
5.5 Análises microbiológicas.....	52
5.6 Análises estatísticas.....	52
5.7 Caracterização da vulnerabilidade do aquífero à contaminação.....	53
5.8 Avaliação da salinização da água.....	55
5.8.1 <i>Critérios adotados pelo United States Salinity Laboratory (USSL)</i> .....	56
5.8.2 <i>Diagrama de Piper</i> .....	57



5.9 Classificação segundo a Resolução CONAMA nº 396/2008.....	57
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
6.1 Fontes de poluição .....	58
6.2 Variação qualitativa da água .....	65
6.2.1 pH.....	65
6.2.2 Temperatura .....	65
6.2.3 Coliformes termotolerantes e <i>Escherichia coli</i> .....	66
6.2.4 Turbidez.....	68
6.2.5 Condutividade elétrica .....	69
6.2.6 Sólidos dissolvidos totais.....	70
6.2.8 Sódio.....	72
6.2.9 Cloretos .....	73
6.2.10 Potássio.....	74
6.2.11 Cálcio e magnésio .....	75
6.2.12 Ferro, nitrato, nitrito, n-amoniacal.....	76
6.2.13 Oxigênio dissolvido.....	76
6.2.14 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO).....	77
6.2.15 Demanda química de oxigênio (DQO).....	78
6.3 Análises estatísticas.....	79
6.3.1 Análise de variância (ANOVA).....	83
6.4 Vulnerabilidade à contaminação .....	85
6.5 Avaliação da salinização da água.....	89
6.5.1 Classificação das águas para irrigação.....	89
6.5.2 Classificação iônica.....	91
6.6 Classificação segundo a Resolução CONAMA nº 396/2008.....	92
6.7 Influência das barragens subterrâneas na qualidade das águas do aquífero aluvial.....	92
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural renovável e limitado, imprescindível para a sobrevivência e desenvolvimento humano e essencial para a manutenção da vida no planeta Terra. O crescimento populacional, cada vez mais acelerado, aliado à intensificação do processo de industrialização e de produção de alimentos, tem exercido uma forte pressão sobre os recursos hídricos em todo o mundo, resultando em um aumento progressivo da demanda de água. Os problemas com os recursos hídricos ocorrem, até mesmo, em regiões com grande disponibilidade hídrica, onde, a água abundante não tem qualidade para ser consumida devido aos problemas de poluição dos corpos d'água.

Estima-se que do total de água doce, aproximadamente 30% correspondem às águas subterrâneas. Notadamente, as águas subterrâneas destacam-se pela sua importância na disponibilidade hídrica mundial, tendo em vista que representam aproximadamente, 96% do volume total de água doce no mundo, disponível para os seres humanos (SHIKLOMANOV & RODDA, 2003).

Devido à redução na qualidade das águas superficiais, a demanda por águas subterrâneas vem se tornando, ao longo dos anos, uma alternativa cada vez mais utilizada para atendimento da demanda de diversos usos - abastecimento público, industrial e irrigação.

Diversas características das águas subterrâneas tornam seu uso mais benéfico: são filtradas e purificadas naturalmente através da percolação, determinando excelente qualidade e dispensando tratamentos prévios; não ocupam espaço em superfície; sofrem menor influência das variações climáticas; são passíveis de extração perto do local de uso; possuem temperatura constante; têm maior quantidade de reservas; necessitam de custos menores nas obras de captação e tratamento, quando comparado com as obras necessárias para águas superficiais; as suas reservas e captações não ocupam área superficial; apresentam grande proteção contra agentes poluidores; o uso do recurso aumenta a reserva e melhora a qualidade; possibilitam a implantação de projetos de abastecimento à medida da necessidade. No entanto, deve-se atentar para a necessidade de proteção das áreas de recargas, evitando a superexploração dos mananciais

subterrâneos e contaminação por fossas e sumidouros (WREGGE,1997; SNIRH, 2013).

As águas subterrâneas apresentam crescente vulnerabilidade à poluição, em virtude da exposição ao processo de urbanização, ao desenvolvimento industrial, às atividades agrícolas e às empresas de mineração. A qualidade das águas subterrâneas, assim como das superficiais, depende das influências antrópicas, resultando da contaminação bacteriana e de toxinas de ambientes sem esgotamento sanitário, fertilizantes e lançamentos industriais, bem como, causas naturais de poluição química, devido à geologia, topografia, clima, etc.. Porém, uma vez poluída, o processo para despoluição é bem mais lento, além de exigir técnicas mais elaboradas e onerosas (FOSTER et al., 2006; MEDEIROS, 2012; SETH, TAGBOR & BERNARD, 2014).

Assim, se faz necessária a adoção de um conjunto de estratégias para proteger a qualidade natural da água subterrânea, mantendo a sua utilização viável dos pontos de vista econômico, social e ambiental (FOSTER et al., 2006).

A região semiárida do Nordeste do Brasil possui recursos hídricos superficiais escassos e mal distribuídos, espacial e temporalmente, somado com o uso indiscriminado da água e aumento da poluição, vem contribuindo de forma intensa para a degradação da qualidade da água e ampliando os problemas ambientais da região (SILVA, AZEVEDO & ALVES, 2014).

Diante dessa problemática, o número de perfurações de poços cresce consideravelmente nesta região. No estado da Paraíba, por exemplo, este número aumentou de 5.728 para 15.994, no período de 2008 á 2013, um crescimento de 179,2%, enquanto o crescimento nacional foi de 56,5% (SIAGAS, 2013). Considerando o número total de municípios, a Paraíba possui 76,23% de seus municípios inseridos na porção semiárida, terceiro estado com maior percentual de municípios na região semiárida no Brasil (INSA, 2016). Um desses municípios é Sumé, o qual possui uma estação seca que pode durar até onze meses, necessitando assim, de medidas alternativas para atendimento das demandas de água (FRANCISCO et al., 2012). Como resultado, a população (principalmente rural) recorre aos poços tubulares para manutenção de suas lavouras e, em alguns casos, para uso doméstico.

Assim, o uso excessivo das águas subterrâneas, aliado ao lançamento de esgotos a céu aberto e outras fontes de contaminação, pode acarretar em uma

maior probabilidade na contaminação das águas subterrâneas por microrganismos patogênicos e matéria orgânica. O sistema de esgotamento sanitário de Sumé cobre 66% da cidade, porém apenas 33% passam por tratamento.

Diante do exposto, este trabalho se justifica pela necessidade de avaliar a influência do uso excessivo da água subterrânea e da influência do lançamento de esgotos na qualidade das águas do aquífero aluvial do rio Sucurú, no município de Sumé – PB. Determinando assim, a viabilidade de uso dessas águas para múltiplos usos na região.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Caracterizar a qualidade das águas subterrâneas do aquífero aluvial do rio Sucurú, na cidade de Sumé – PB, com base na legislação brasileira, avaliando o efeito do lançamento de esgotos e a viabilidade da utilização desta água para múltiplos usos.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- ✓ Caracterizar a área de estudo;
- ✓ Identificar as fontes de poluição no entorno do aquífero aluvial do Rio Sucurú;
- ✓ Avaliar parâmetros de qualidade da água, físicos, químicos e microbiológicos, e comparar os resultados obtidos com os valores de referência da Resolução CONAMA nº 396/2008 e da Portaria MS nº 2914/2011;
- ✓ Avaliar a salinização da água, classificando a viabilidade de seu uso para a irrigação;
- ✓ Verificar a influência dos períodos de estiagem e/ou chuvoso na qualidade da água subterrânea;
- ✓ Caracterizar a vulnerabilidade do aquífero à poluição;
- ✓ Classificar as águas do aquífero aluvial, segundo os critérios da Resolução CONAMA nº 396/2008.

### 3. CONTEXTO DA PESQUISA

A presente pesquisa está inserida no projeto BRAMAR (Strategies and Technologies for Water Scarcity Mitigation in Northeast of **BRA**zil: Water Reuse, **M**anaged **A**quifer **R**echarge and Integrated Water Resources Management), o qual é desenvolvido com a cooperação de universidades e empresas alemãs e tem como objetivo contribuir para o aprimoramento das estratégias de planejamento e gestão de recursos hídricos no nordeste brasileiro, através do combate à escassez de água e da garantia do uso sustentável desse recurso. Mais especificamente, este trabalho contribuirá com parte dos resultados do Pacote de Trabalho 6 (WP6): Estudos de Caso - (CS1): Sumé.

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Águas Subterrâneas

As águas subterrâneas constituem uma parcela do ciclo hidrológico, onde as formações da crosta terrestre, que são portadoras de água, atuam como condutos para a transmissão e armazenamento, com baixa velocidade de movimentação e distâncias variáveis. O seu retorno à superfície acontece por ação de fluxo natural, das plantas ou do homem, processo esse, que pode levar dezenas, centenas ou milhares de anos para ocorrer (SEMA, 2010).

A água subterrânea ocorre e circula no subsolo, naturalmente ou artificialmente, preenchendo e saturando com água os espaços vazios existentes entre grãos e rochas, nas fraturas, falhas e fissuras abertas, ficando contida em formações geológicas, consolidadas ou não, denominadas aquíferos. Devido às forças de adesão e de gravidade às quais é submetida, a água subterrânea desempenha um papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos (ALBUQUERQUE, 2004; BORGHETTI, BORGHETTI & ROSA FILHO, 2004; CONAMA, 2008; FEITOSA, et. al., 2008). A disponibilidade de água, em termos qualitativos e quantitativos tem uma expressiva dependência da sua interação com o solo (SEMA, 2010).

Uma bacia hidrogeológica tem sua extensão definida a partir dos limites entre zonas de recarga e descarga do aquífero, podendo coincidir com diversas bacias hidrográficas superficiais, da mesma forma que uma bacia hidrográfica pode abrigar, em subsuperfície, diversas bacias hidrogeológicas. Deste modo, os limites da bacia hidrogeológica vão além dos limites físicos entre tipos de rochas e suas estruturas, bem como os fatores geomorfológicos da região, determinando uma assimetria entre os limites das bacias superficiais e as subterrâneas (SNIRH, 2013).

Os aquíferos são efetivamente reservatórios naturais subterrâneos, que compreendem formações geológicas ou camadas geológicas, constituídas por rochas capazes de armazenar e transmitir água em quantidade significativa e com extração economicamente viável. Deste modo, uma unidade geológica será considerada um aquífero quando, possuindo poros cheios de água, permitir que a

água se escoam pelos espaços intergranulares até poços ou fontes, com uma vazão suficiente (BARBOSA JÚNIOR, 2007; SOUZA, 2009b). Outras formações geológicas não aquíferas podem ser assim definidas: Aquitardo – armazena água, mas a transmite lentamente, tornando o seu aproveitamento não rentável; Aquicludo – armazena água, mas não a transmite; Aquífugo – formação impermeável que não armazene e nem transmite água (TUCCI, 1993).

Um aquífero é caracterizado em função dos parâmetros de porosidade, permeabilidade e coeficiente de armazenamento. Sua forma é tridimensional. A zona de recarga do aquífero é uma área de infiltração através da qual a água alcança o topo da zona saturada do aquífero, e os exutórios, ou zona de descarga, são áreas, pontos ou linhas por onde a água retorna à superfície (BNDES, 2002; SNIRH, 2013).

A recarga dos aquíferos ocorre, essencialmente, por meio da infiltração da precipitação e da transferência de aquíferos vizinhos e de cursos d'água. Além disso, podem ocorrer também recargas artificiais, tais como: águas oriundas de tubulações com vazamentos e excedentes de água da irrigação. As condições de recarga de um aquífero – se maiores ou menores – são resultantes da interação de diversos fatores hidrogeológicos, das condições climáticas, da existência, ou não, de áreas mais densamente povoadas e da forma de utilização e ocupação do solo (BNDES, 2002).

Segundo os autores Borghetti, Borghetti & Rosa Filho (2004) as zonas de recargas podem ser diretas ou indiretas:

Zona de recarga direta: é aquela onde as águas da chuva se infiltram diretamente no aquífero, através de suas áreas de afloramento e fissuras de rochas sobrejacentes. Sendo assim, a recarga sempre é direta nos aquíferos livres, ocorrendo em toda a superfície acima do lençol freático. Nos aquíferos confinados, o reabastecimento ocorre preferencialmente nos locais onde a formação portadora de água aflora à superfície.

Zona de recarga indireta: é aquela onde o reabastecimento do aquífero se dá a partir da drenagem (filtração vertical) superficial das águas e do fluxo subterrâneo indireto, ao longo do pacote confinante sobrejacente, nas áreas onde a carga potenciométrica favorece os fluxos descendentes.

As zonas de descarga, por sua vez, podem ocorrer através de captações artificiais, saídas subterrâneas para o mar, afloramentos (nascentes à superfície) ou transferência para os aquíferos mais próximos. São as áreas por onde as águas



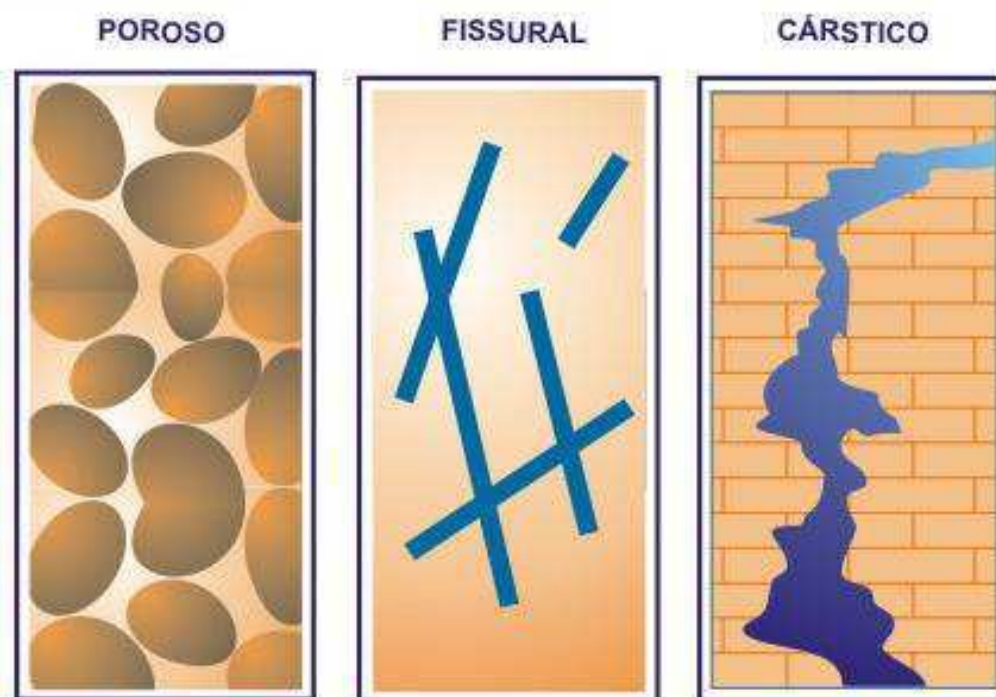
subterrâneas emergem do sistema, alimentando rios e jorrando com pressão por poços artesianos (BNDES, 2002; BORGHETTI, BORGHETTI & ROSA FILHO, 2004).

#### 4.1.1 Tipos de aquíferos

Segundo o Ministério do Meio Ambiente – MMA (2007) a classificação dos aquíferos pode ocorrer de duas formas - quanto aos tipos de espaços vazios e quanto à sua posição e estrutura.

A classificação dos aquíferos quanto aos tipos de espaços vazios é a seguinte: Aquífero Poroso; Aquífero Fissural e Aquífero Cárstico, conforme ilustrados na Figura 1.

**Figura 1** – Classificação dos aquíferos, quanto aos tipos de espaços vazios.



**Fonte:** Borghetti, Borghetti & Rosa Filho (2004).

Os aquíferos porosos são formados em rochas sedimentares consolidadas, sedimentos inconsolidados ou solos arenosos, e armazenam água nos espaços entre os grãos criados durante a formação da rocha, funcionando como esponjas onde a circulação da água se faz nos poros formados entre os grãos de areia, silte e argila de granulação variada. Constituem os mais importantes aquíferos, com alta capacidade de armazenamento e por sua maior expressão em termos de extensão,

profundidade e produtividade (BORGHETTI, BORGHETTI & ROSA FILHO, 2004; MMA, 2007).

Os aquíferos fissurais, ou fraturados, são formados em rochas relativamente impermeáveis (ígneas, metamórficas ou cristalinas), no qual a água circula pelas fissuras resultantes do fraturamento das rochas, formadas pelos esforços tectônicos. A capacidade de acumulação de água relaciona-se com a quantidade de fraturas, aberturas e intercomunicações que permitem a infiltração e o fluxo da água (BORGHETTI, BORGHETTI & ROSA FILHO, 2004; MMA, 2007). Pode ser incluído aqui o aquífero fraturado-vulcânico, que corresponde a uma subdivisão dos aquíferos fraturados, diferenciando dos demais, por ser mais favorável ao acúmulo de água subterrânea (ANA, 2010).

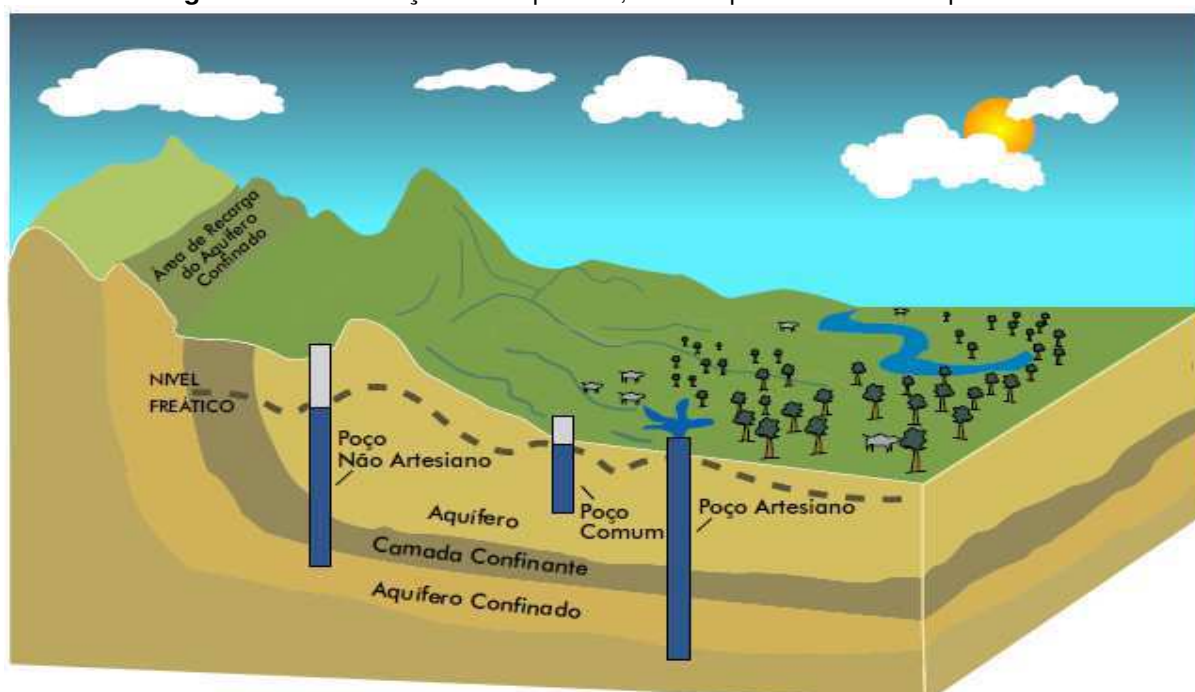
Por fim, os aquíferos cársticos são formados em rochas calcárias ou carbonáticas (calcários, dolomitos ou mármore), onde a circulação da água ocorre nas fraturas e descontinuidades que resultaram da dissolução do carbonato pela água. Essas aberturas podem atingir grandes dimensões, criando, nesse caso, verdadeiros rios subterrâneos. São aquíferos heterogêneos, descontínuos, com águas duras e fluxo em canais (BORGHETTI, BORGHETTI & ROSA FILHO, 2004; MMA, 2007).

A classificação dos aquíferos também pode ocorrer mediante critérios de posição e de estrutura: aquíferos livres e aquíferos confinados, conforme apresentados na Figura 2.

Nos aquíferos confinados, ou aquíferos sob pressão, a água é proveniente, geralmente, de infiltrações distantes, ocorridas em regiões de cotas mais elevadas. Esses aquíferos apresentam camadas com menor permeabilidade e pressão da água, no topo, maior do que a pressão atmosférica, o que causa o artesianismo nos poços que captam suas águas. Os aquíferos confinados podem ser divididos em drenantes (quando pelo menos uma das camadas limítrofes é semipermeável, o que permite a entrada ou a saída de fluxos pelo topo e/ou base, através de drenagem ascendente ou descendente) e não-drenantes (quando as camadas limítrofes são impermeáveis) (FEITOSA & MANOEL FILHO, 2000; BARBOSA JÚNIOR, 2007; CPRM, 2011).

Os aquíferos livres, também chamados de freáticos ou não confinados, originam-se das águas de chuva que se infiltram através das camadas permeáveis do terreno até encontrar uma camada impermeável, saturando as camadas porosas logo acima. Estão mais próximos à superfície e têm como limite superior a superfície de saturação ou freática, estando assim, em todos os pontos, submetido à pressão atmosférica. Podem ser igualmente divididos em drenante (com base semipermeável) e não-drenante (com base impermeável) (FEITOSA & MANOEL FILHO, 2000; BARBOSA JÚNIOR, 2007; CPRM, 2011).

**Figura 2** – Classificação dos aquíferos, com respectivos níveis de pressão.

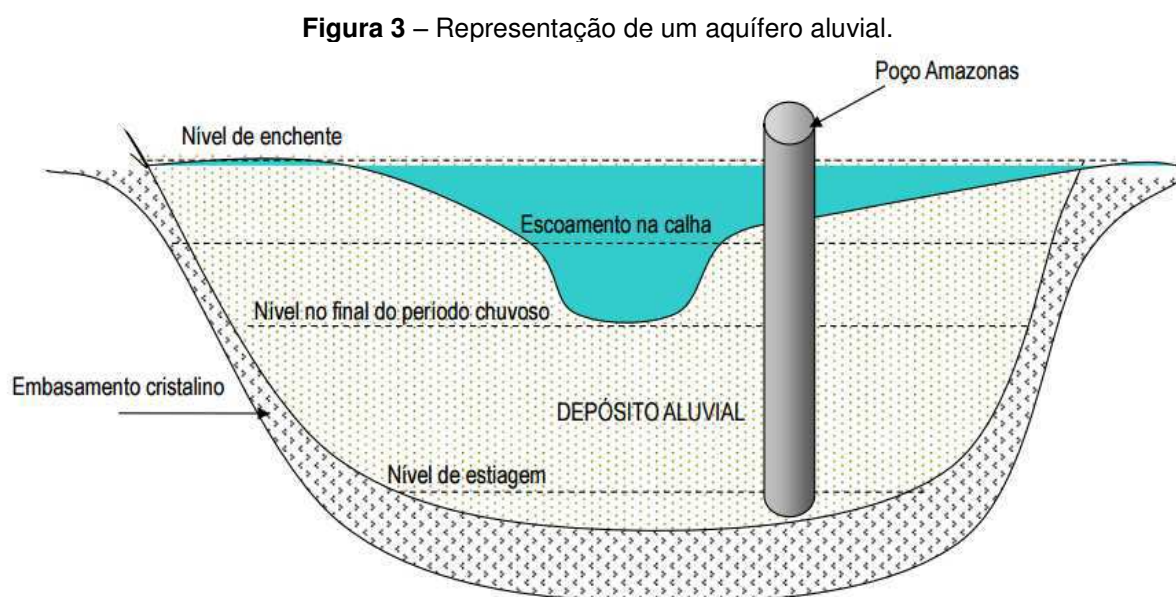


**Fonte:** MMA (2007).

Os aquíferos aluviais são formações geológicas com depósitos de origem recente (ou quaternária), originários dos processos de desenvolvimento de rios e riachos ocorridos na superfície de uma bacia hidrográfica, formando córregos e planícies de inundação. Definem-se como “pacotes” de sedimentos detríticos, formados de cascalho, areia, silte e argila, das mais variadas granulometrias, resultantes dos processos erosivos (SCHEIDEGGER, 1961; VIEIRA, 2002; TODD & MAYS, 2005).

Mediante a ação erosiva do solo e ao transporte aluvial, ocorre a formação de áreas com camadas sedimentares restritas aos leitos e margens de rios e riachos, que apresentam características peculiares: inexpressiva profundidade, alta capacidade de infiltração, baixo escoamento superficial e boa drenagem natural, o que possibilita a existência de um grande suprimento de água no lençol freático (SANTOS et al., 2009; ANA, 2015).

A recarga de um aquífero aluvial ocorre através da precipitação sobre o leito aluvial, bem como através do escoamento superficial da sua bacia de captação e da infiltração de rios e lagos (VIEIRA, 2002; MARTINEZ-SANTOS et al., 2010). A captação da água de aquíferos aluviais ocorre em poços escavados manualmente, que atravessam as variadas camadas arenosas e pedregulhosas, intercaladas por outras, menos espessas, argilosas ou arenoargilosas (ALVES, 2016). A Figura 3 apresenta a representação de um aquífero aluvial.



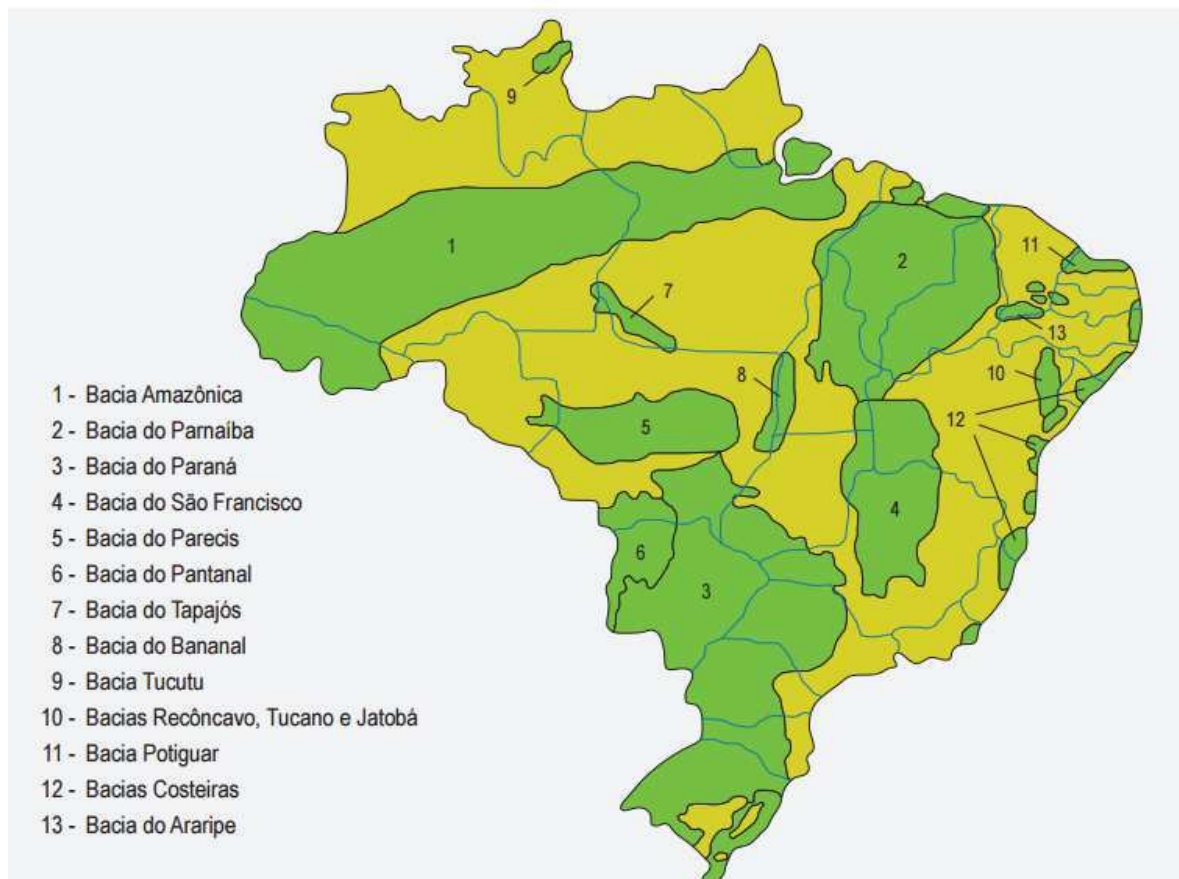
**Fonte:** ABAS (2015).

## 4.2 As águas subterrâneas brasileiras

O Brasil apresenta condições favoráveis ao ciclo de renovabilidade dos seus potenciais de água doce - superficial e subterrânea - mediante os altos índices pluviométricos (variando entre 1000 e 3000 mm/ano) sobre 90% do território. As

águas subterrâneas no Brasil ocupam zonas fraturadas do embasamento cristalino e bacias sedimentares (BNDES, 2002; BORGHETTI, BORGHETTI & ROSA FILHO, 2004). Os principais sistemas aquíferos brasileiros estão representados na Figura 4.

**Figura 4** – Sistemas aquíferos brasileiros.

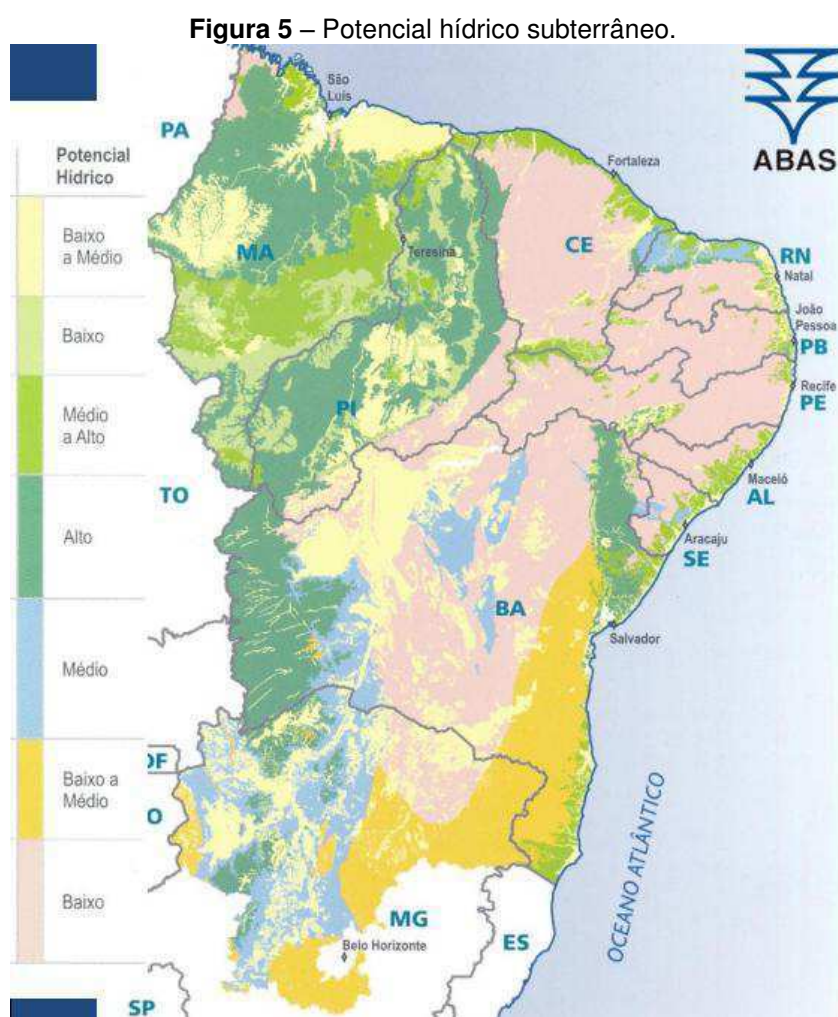


**Fonte:** ANA (2007).

As águas subterrâneas brasileiras são, geralmente, de boa qualidade para consumo e em quantidade abundante (estimativa de 5000 m<sup>3</sup> /habitante/ano). Embora os recursos hídricos subterrâneos se apresentem como uma alternativa viável, quantitativa e qualitativamente, sendo uma fonte atrativa para investimentos, o grande problema está na má distribuição desse recurso nas várias regiões, em relação à concentração da população (BNDES, 2002).

#### **4.2.1 Águas subterrâneas no semiárido nordestino**

Na região semiárida, a maioria das áreas apresenta fraco potencial hidrogeológico, com baixa capacidade de acumulação e circulação de água, em virtude da predominância do embasamento cristalino e dos baixos índices pluviométricos na região, aliados às altas taxas de evapotranspiração e à geologia desfavorável para a exploração aquífera. A distribuição do potencial hídrico subterrâneo na região semiárida pode ser observada na Figura 5.



Fonte: ABAS (2015).

Devido ao processo geológico de formação, os aquíferos aluviais do semiárido nordestino são rasos, estreitos e alongados, funcionando como condutos de água subterrânea, o que favorece a utilização de barragens subterrâneas. Por mais que se apresentem como uma alternativa para a irrigação e para o desenvolvimento da região semiárida em virtude do seu fácil aproveitamento, a produtividade dos poços

apresenta vazões muito baixas (inferiores a 3 m<sup>3</sup>/h) e alta susceptibilidade à salinidade e à contaminação, causando preocupações relacionadas à sustentabilidade desse recurso (BURTE et al., 2011; KIRBY et al., 2015; ALVES, 2016).

Para a região semiárida, muitas vezes os aquíferos aluviais são a única fonte de abastecimento disponível em muitas pequenas comunidades e se apresentam como uma real alternativa para a minimização dos efeitos da seca, sendo utilizados para múltiplos usos, que vão desde o abastecimento de pequenas comunidades ao uso extensivo na agricultura familiar. Saliendo, assim, a necessidade de estudos específicos para se avaliar o potencial de exploração desses aquíferos.

### **4.3 Contaminação das águas subterrâneas**

A interação da água subterrânea com o solo governa a maior parte dos processos de contaminação e de depuração da água, da recarga dos aquíferos e, por consequência, das nascentes, dos rios e dos lagos, bem como do fenômeno da erosão hídrica. A dissolução dos minerais presentes nas rochas que constituem os aquíferos e por onde a água percola contribui com a qualidade das águas subterrâneas, apresentando uma maior quantidade de sais minerais, menores teores de materiais em suspensão e de oxigênio dissolvido, quando comparada com as águas superficiais. Isso ocorre devido às condições de circulação, ao maior contato com materiais geológicos, à baixa velocidade de fluxo e às maiores pressões e temperaturas (SEMADS, 2001; SEMA, 2010).

Scopel, Teixeira & Binotto (2005) enfatizam ainda que “as características químicas das águas subterrâneas refletem os meios por onde percolam, guardando uma estreita relação com os tipos de rochas drenadas e com os produtos das atividades humanas adquiridos ao longo de seu trajeto”.

Essa interação que ocorre no sistema água-solo é influenciada pelas condições de superfície do solo, principalmente a cobertura vegetal e a capacidade de infiltração. No entanto, outros fatores podem interferir na qualidade das águas subterrâneas, tais como, clima, composição da água de recarga, tempo de contato

entre a água e o meio físico, litologias e contaminação antrópica (FEITOSA *et al.*, 2008; SEMA, 2010).

A depuração da água subterrânea ocorre durante o percurso no qual a água percola entre os poros do subsolo e das rochas, por meio de dois processos: físico-químicos (troca iônica, decaimento radioativo, remoção de sólidos em suspensão, neutralização de pH em meio poroso, entre outros) e bacteriológicos (eliminação de microrganismos devido à ausência de nutrientes e oxigênio). Esses processos modificam as características da água, tornando-a mais adequada ao consumo humano. Assim, a composição da água subterrânea é o resultado da composição da água que adentra no solo e da evolução adquirida no processo de depuração (SMA, 2003 *apud* BORGHETTI, BORGHETTI & ROSA FILHO, 2004; SILVA, 2003).

As águas subterrâneas profundas são mais puras e têm poucos nutrientes. Os lençóis mais rasos, por estarem mais próximos da superfície ou aflorados, são mais suscetíveis às contaminações e às variações climáticas. No entanto, as águas de poços rasos, assim como as de poços profundos, podem sofrer facilmente contaminações provenientes da superfície ou do solo, caso o poço não esteja bem protegido (SEMA, 2010). Os aquíferos livres são mais susceptíveis à contaminação, pelo fato de que não há camada confinante superior que aja como barreira natural de contenção da percolação de contaminantes através do solo. Essa susceptibilidade também está presente quando o subsolo é mais permeável ou muito fissurado (SOUZA, 2009b; BNDES, 2002).

A contaminação das águas subterrâneas pode ser classificada como superficial ou profunda - Superficial: vazamentos de fossas sépticas e fossas clandestinas, infiltração de chorume devido a disposições inadequadas de lixo, infiltração de esgotos domésticos ou industriais, recarga natural de cursos de água poluídos ligados ao aquífero, infiltração de fertilizantes e pesticidas devido ao uso agrícola, etc.; Profunda: poços mal construídos ou abandonados (sem tamponamento adequado) que se transformam em vias de contaminação entre diferentes aquíferos, transmissão de poluição de um aquífero para o outro, etc. (BNDES, 2002).

A origem da contaminação das águas subterrâneas pode se apresentar mediante distintos aspectos, podendo ocorrer tanto de forma natural (embora incomum e sem grandes proporções) como de forma antrópica (ocorrência mais comum e geralmente de grandes proporções), conforme demonstrado no Quadro 1,



juntamente com as causas adjacentes e os principais contaminantes relacionados com os tipos de contaminações.

**Quadro 1** – Origem da contaminação das águas subterrâneas.

<b>Tipo de problema</b>	<b>Causa adjacente</b>	<b>Principais contaminantes</b>
<i>Contaminação antrópica do aquífero</i>	Proteção inadequada contra emissões e lixiviados, provenientes de atividades urbanas e/ou industriais e da intensificação do cultivo agrícola.	Microrganismos patógenos, nitrato ou amônio, cloreto, sulfato, boro, arsênico, metais pesados, carbono orgânico dissolvido, hidrocarbonetos aromáticos, pesticidas.
<i>Contaminação natural do aquífero</i>	Resultante da evolução química da água subterrânea e da dissolução de minerais existentes no solo.	Fluoreto e ferro solúvel, sulfato de magnésio, arsênico, manganês, selênio, cromo e outras espécies Inorgânicas.
<i>Intrusão salina</i>	A extração exagerada de água subterrânea provoca o avanço da água salgada no interior de aquíferos próximos ao mar, provocando a salinização da água doce.	Cloreto de sódio e contaminantes persistentes.
<i>Contaminação no próprio poço ou na captação</i>	Construção de poços sem os critérios técnicos necessários e em locais inadequados: ausência de laje de proteção sanitária; altura inadequada da boca do poço; deficiência na desinfecção do poço após a construção; inexistência de cimentação do espaço anelar entre o furo e o poço, dentre outros.	Principalmente microrganismos patógenos.

**Fonte:** Adaptado de Foster *et al.* (2006); ANA (2007); Medeiros (2012).

A contaminação das águas subterrâneas se concentra em áreas próximas a núcleos urbanos e em áreas com intensa atividade agrícola e pecuária, devido à existência de um maior número de fontes de poluição. Um exemplo disto está na Região Metropolitana de Natal, estado do Rio Grande do Norte, cujo sistema de abastecimento público é constituído de aproximadamente 70% de água subterrânea. Em estudos realizados no ano de 2001, dos 159 poços cadastrados, 15 já não eram explorados por causa da ruptura do revestimento e pela presença de nitrato em nível superior ao permitido pela Organização Mundial de Saúde – OMS (BNDES, 2002).

Na maioria dos casos, a contaminação dos aquíferos ocorre de forma lenta e contínua, sendo necessária, assim, a identificação da vulnerabilidade do aquífero à

contaminação, ou seja, a sensibilidade de um aquífero aos efeitos adversos de uma carga contaminante a ele imposta (BNDES, 2002; FOSTER *et al.*, 2002). Medeiros (2012) relaciona conceito de vulnerabilidade ao perigo de contaminação e o define como a “probabilidade de que a água subterrânea na parte superior de um aquífero atinja níveis inaceitáveis de contaminação, em decorrência das atividades que se realizam na cobertura imediata da superfície do solo”.

No Brasil, a Agência Nacional das Águas (ANA), identificou a contaminação por excesso de nitrato do aquífero freático que abastece aproximadamente 70% da população da Região Metropolitana de Natal, bem como na área de ocorrência do sistema aquífero Barreiras, na cidade de Fortaleza e Missão Velha, na região do Cariri, no Ceará, e relacionou a ocorrência à proteção inadequada das captações subterrâneas e à carência dos sistemas de saneamento com o uso de fossas negras. Na Região Hidrográfica Atlântico Sul, detectou-se também os efluentes de suinocultura como importantes fontes de contaminação das águas superficiais e subterrâneas, no vale do Itajaí e nos rios Pardo e Taquari, devido à produção de cargas tão significativas que chegam a superar, em alguns casos, aquelas produzidas pelas populações humanas (ANA, 2015).

#### **4.4 Base legal das águas subterrâneas no Brasil**

De acordo com a Constituição Federal de 1988, os recursos ambientais são bens de uso comum do povo. No caso dos recursos hídricos, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, estabelece, em seu primeiro fundamento, a água como um bem público. A dominialidade das águas brasileiras cabe à União, aos Estados e ao Distrito Federal: são bens da União os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham; são bens dos estados ou do Distrito Federal as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, na forma da lei, as decorrentes de obras da União (BRASIL, 1988; BRASIL, 1997).

Os bens públicos podem ser conceituados como todos os bens que pertencem às pessoas jurídicas de Direito Público, ou seja, à União, aos Estados, ao Distrito Federal, aos Municípios, às respectivas autarquias e às fundações de Direito Público. O fato de que esteja previsto, na Constituição Federal, que os recursos hídricos sejam bens da União ou do Estado e do Distrito Federal, não transforma o Poder Público Federal em “proprietário” da água, mas sim em gestor desse bem, em benefício e interesse de todos. A Constituição Federal, ao estabelecer o meio ambiente como bem jurídico tutelado, deixa expresso que é bem de uso comum do povo e que não pertence a entidades privadas ou públicas, mas sim a toda uma coletividade indeterminada. Portanto, a água, como sendo elemento que compõe o meio ambiente, é bem de uso comum do povo (MELLO, 2002; SOUZA, 2009a).

A PNRH também determina que a unidade territorial de gestão dos recursos hídricos seja a bacia hidrográfica. Tendo em vista que, nas águas subterrâneas, o domínio é de responsabilidade dos Estados e do Distrito Federal, a utilização da bacia hidrográfica como unidade territorial não coincide com a divisão político-administrativa das unidades federadas e nem com os limites dos aquíferos, fazendo com que haja um obstáculo administrativo, mediante a dificuldade na dissociação da gestão das águas superficiais das subterrâneas e no planejamento da gestão dos recursos hídricos de forma integrada (ANA, 2013). Para Hager & D’Almeida (2008) “a desculpa da dominialidade associada ao desconhecimento do tema afetou seriamente a normatização e a gestão das águas subterrâneas no país”.

As águas subterrâneas pode apresentar zonas de descarga e de recarga pertencentes a uma ou mais bacias hidrográficas, ultrapassando assim, as áreas de atuação de mais de um Comitê. Isso, impõe barreiras na espacialização para definição dos territórios de planejamento e de gestão dessas águas, o que explica a dificuldade enfrentada pelo gestor público para conciliar os interesses conflitantes de diferentes esferas de poder. São necessários outros arranjos de gestão para abranger tais complexidades: a identificação de novas tendências de gestão – mudança constitucional e gestão compartilhada das bacias hidrográficas e hidrogeológicas, por exemplo – apresenta-se mais condizente com a realidade (ALVES JÚNIOR, 2010; ANA, 2013).

É necessário haver uma gestão integrada entre os dois principais tipos de mananciais de água: superficial e subterrâneo. Assim como a unidade de gestão dos recursos hídricos superficiais é a bacia hidrográfica, para a água

subterrânea a unidade é a bacia hidrogeológica. Os critérios para delimitação da bacia hidrográfica já estão bem definidos, fundamentados e encontram respaldo na topografia, já quanto às bacias hidrogeológicas os estudos são escassos e deficientes e são necessários diversos métodos para se conhecer sua real extensão (SNIRH, 2013).

Conhecer a assimetria entre essas bacias é essencial para a gestão integrada de recursos hídricos, uma vez que se trata do mesmo objeto de gestão – a água – em ambientes físicos diferentes. O aquífero e o respectivo curso d'água devem estar, idealmente, sob uma mesma unidade de gestão de recursos hídricos (SNIRH, 2013).

A Lei nº 9.433/1997 norteia o processo de gestão dos recursos hídricos brasileiros, tanto superficiais como subterrâneos, que deve ocorrer no âmbito da bacia hidrográfica, com um enfoque descentralizado e participativo. Os instrumentos de gestão instituídos – a saber: Planos de recursos hídricos; enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; cobrança pelo uso de recursos hídricos; e, Sistema de Informações sobre recursos hídricos – devem promover ações e diretrizes capazes de integrar as ações de planejamento e gestão das águas superficiais e subterrâneas como um todo.

Esta mesma lei prevê, ainda, a integração da gestão dos recursos hídricos com a gestão ambiental e a articulação da gestão dos recursos hídricos com a do uso do solo (art. 3º, incisos III e V). E, embora não esteja explícito como isso deve ocorrer, podemos salientar que os instrumentos das políticas ambiental, urbana e agrícola são complementares aos instrumentos de recursos hídricos, podendo auxiliar com a proteção das áreas de recargas das águas subterrâneas (VILLAR, 2008).

#### ***4.4.1 Regulamentação da qualidade das águas subterrâneas brasileiras***

A base legal que regulamenta a qualidade das águas subterrâneas segue padrões estabelecidos, exigidos, adotados ou recomendados por diferentes órgãos relacionados à saúde pública ou ao meio ambiente, em diversos níveis organizacionais, a saber: Governo Federal (Poder público, através dos Ministérios da Saúde ou do Meio Ambiente); Governos Estaduais ou Municipais (Secretarias de

Saúde, de Obras e de Meio Ambiente); Órgãos internacionais (Organização Mundial da Saúde); Associações técnicas (Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT; American Water Works Association – AWWA) (KREBS, 2004).

No Brasil, a regulamentação da qualidade de águas subterrâneas ocorre, principalmente, mediante a Resolução CONAMA nº 396/2008 e a Portaria MS nº 2914/2011.

A Resolução CONAMA nº 396/2008 dispõe sobre a classificação das águas subterrâneas, ou seja, a “qualificação das águas subterrâneas em função de padrões de qualidade que possibilitem o seu enquadramento”, mediante a quantificação de diversos parâmetros orgânicos e inorgânicos, de agrotóxicos e de microrganismos e comparação com os valores máximos permitidos para cada um dos usos preponderantes da água – consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação.

As classes das águas subterrâneas são dispostas no Art. 3º, desta resolução, a saber:

I - Classe Especial: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial;

II - Classe 1: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

III - Classe 2: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

IV - Classe 3: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

V - Classe 4: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo; e,

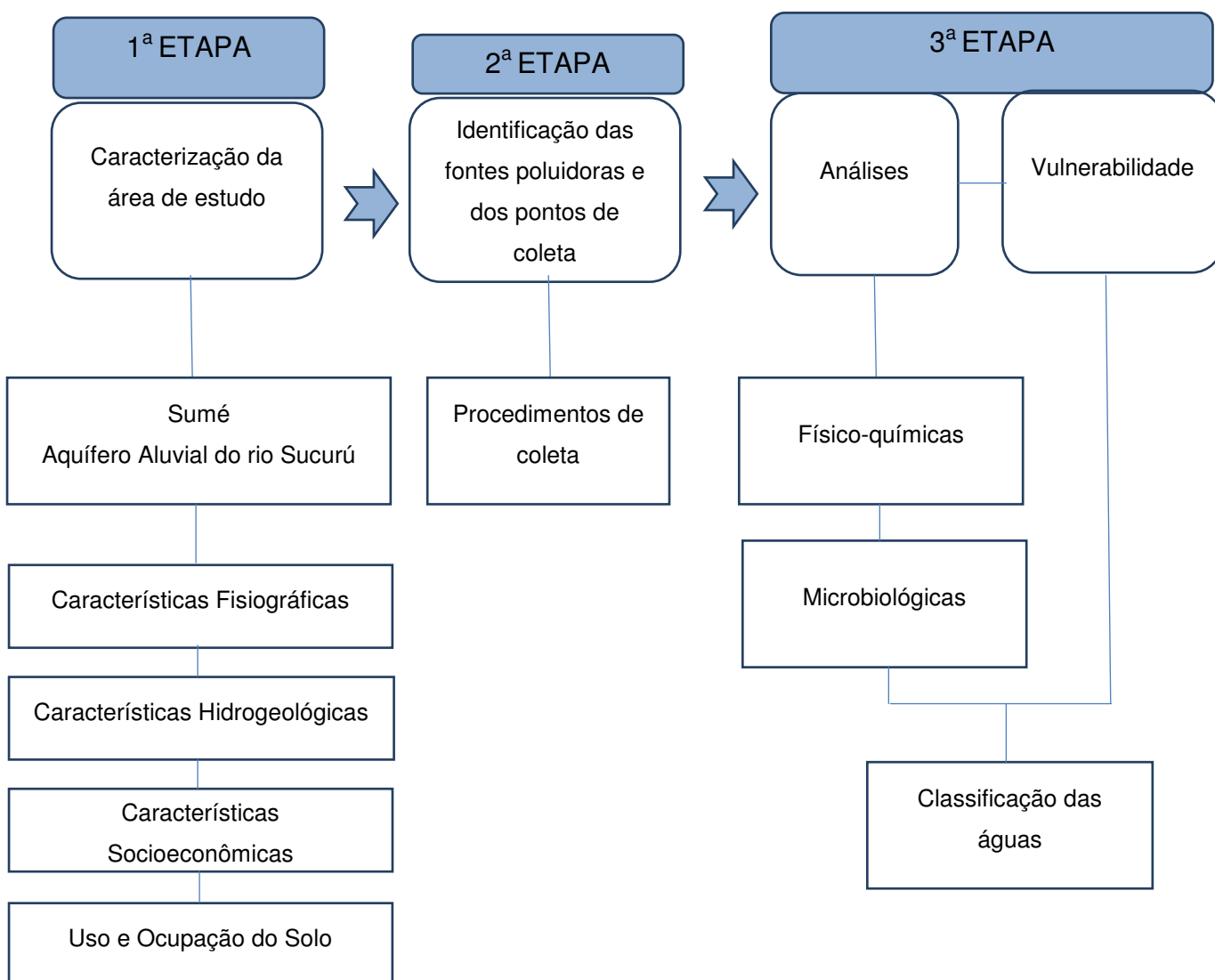
VI - Classe 5: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso.

A Portaria MS nº 2914/2011 dispõe sobre o padrão de potabilidade da água destinada para consumo humano, que consiste em um conjunto de valores máximos permitidos para diversos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos (orgânicos, inorgânicos, agrotóxicos e desinfetantes e produtos secundários da desinfecção), radioativos, de cianotoxinas e organolépticos, para tornar a água potável, ou seja, que não ofereça riscos à saúde, que não possua organismos patogênicos e substâncias tóxicas ao homem, e que seja agradável aos sentidos do olfato e paladar.

## 5. METODOLOGIA

Para desenvolvimento do trabalho foram realizadas 3 etapas metodológicas, conforme apresentadas no fluxograma da Figura 6 e discutidas nas seções seguintes.

**Figura 6** – Etapas metodológicas.

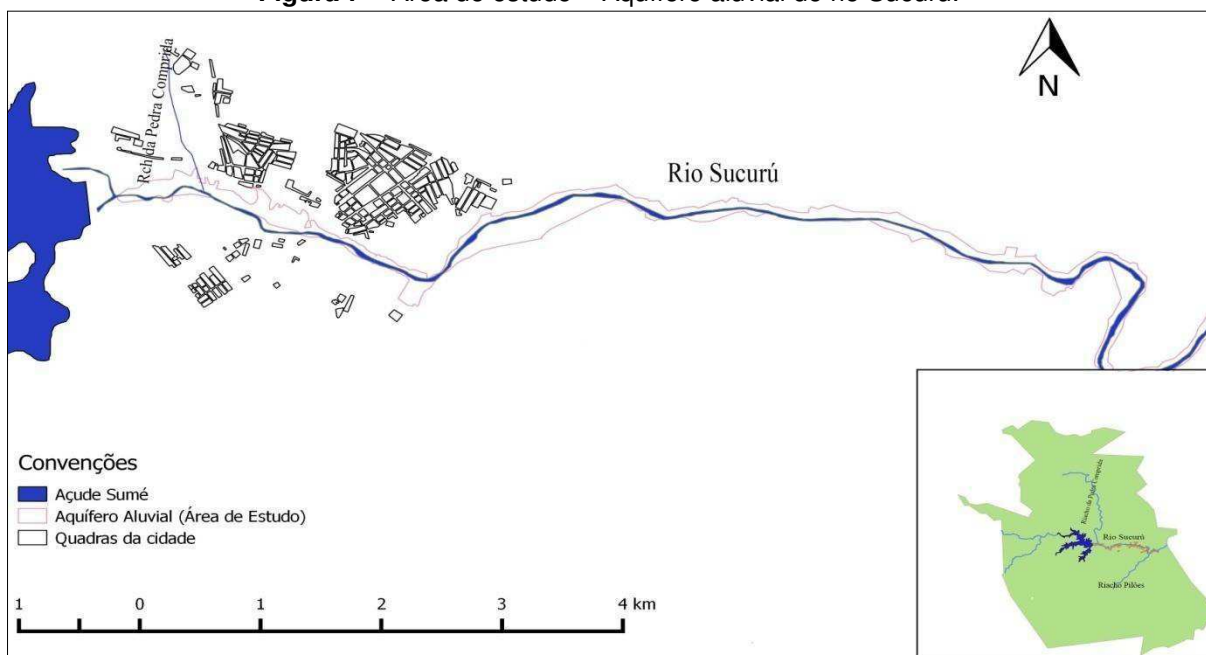


## 5.1 Caracterização da área de estudo

A investigação experimental foi realizada no aquífero aluvial do rio Sucurú (Figura 7), afluente do Rio Paraíba, que nasce na serra dos Cariris Velhos, divisa entre os estados de Pernambuco e Paraíba, a 5 km de distância da cidade de Ouro Velho. Seu curso corre oeste/leste, sendo interrompido no seu curso pelo Açude Sumé a 2 km da cidade aproximadamente. A área da bacia hidrográfica do Rio Sucurú abrange os municípios de Amparo, Prata, Ouro Velho, Sumé, Serra Branca, Congo, Coxixola e Caraúbas. Seus principais afluentes são o riacho da Prata, Olho d'Água dos Caboclos, Barriguda e do Algodão, totalizando 41 km de comprimento dos canais, em uma área de 1600 km<sup>2</sup>, aproximadamente (MOURA *et al.*, 2010; MARCUZZO *et al.*, 2012).

A área de estudo está localizada no município de Sumé (Figura 8), no estado da Paraíba, que, de acordo com IBGE (2014), possui uma população estimada de 16.691 habitantes. Em termos geográficos, o município está situado na região do Cariri - Paraibano, inserida no Polígono das Secas (CPRM, 2000; FRANCISCO *et al.*, 2012).

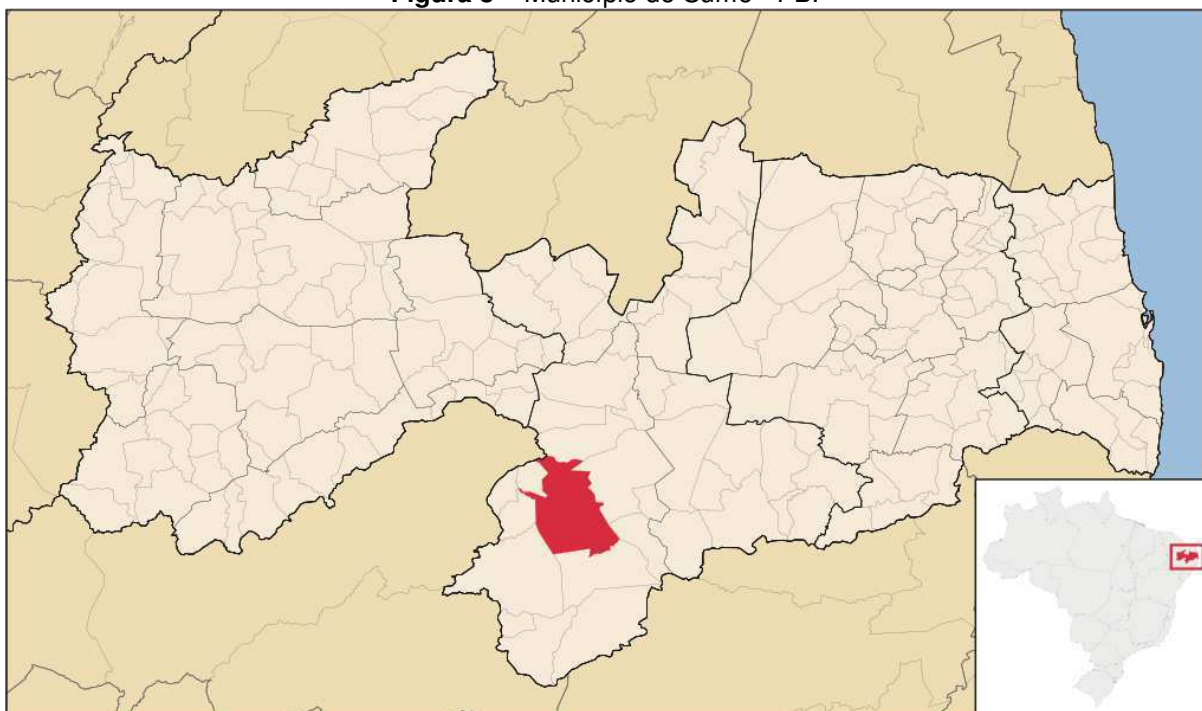
**Figura 7** – Área de estudo – Aquífero aluvial do rio Sucurú.





Devido ao regime pluviométrico e as condições geológicas regionais, os rios que compõem a sub-bacia do rio Sucurú apresentam caráter intermitente, com curtos períodos de escoamentos significativos e longos períodos de vazão nula. Como a maior parte do ano o rio encontra-se seco, a maior contribuição para recarga do aquífero são dos esgotos domésticos lançados diretamente no rio ou no riacho da Pedra Comprida (MOURA *et al.*, 2010).

**Figura 8** – Município de Sumé - PB.



**Fonte:** Abreu (2016).

No entorno do rio Sucurú reside uma população de 1051 habitantes, sendo 943 na zona rural e 108 na zona urbana. O município conta com um sistema de abastecimento de água, mas existem áreas que ainda não possuem rede de distribuição e outras áreas que sofrem racionamento permanente, necessitando de um reforço da tubulação principal do sistema. O sistema de esgotamento sanitário cobre 66% da cidade, mas, desse total, apenas 33% passam por tratamento em um sistema composto por duas lagoas de estabilização anaeróbias, seguidas por uma lagoa facultativa (IBGE, 2010; PMS, 2015).

### **5.1.1 Características fisiográficas**

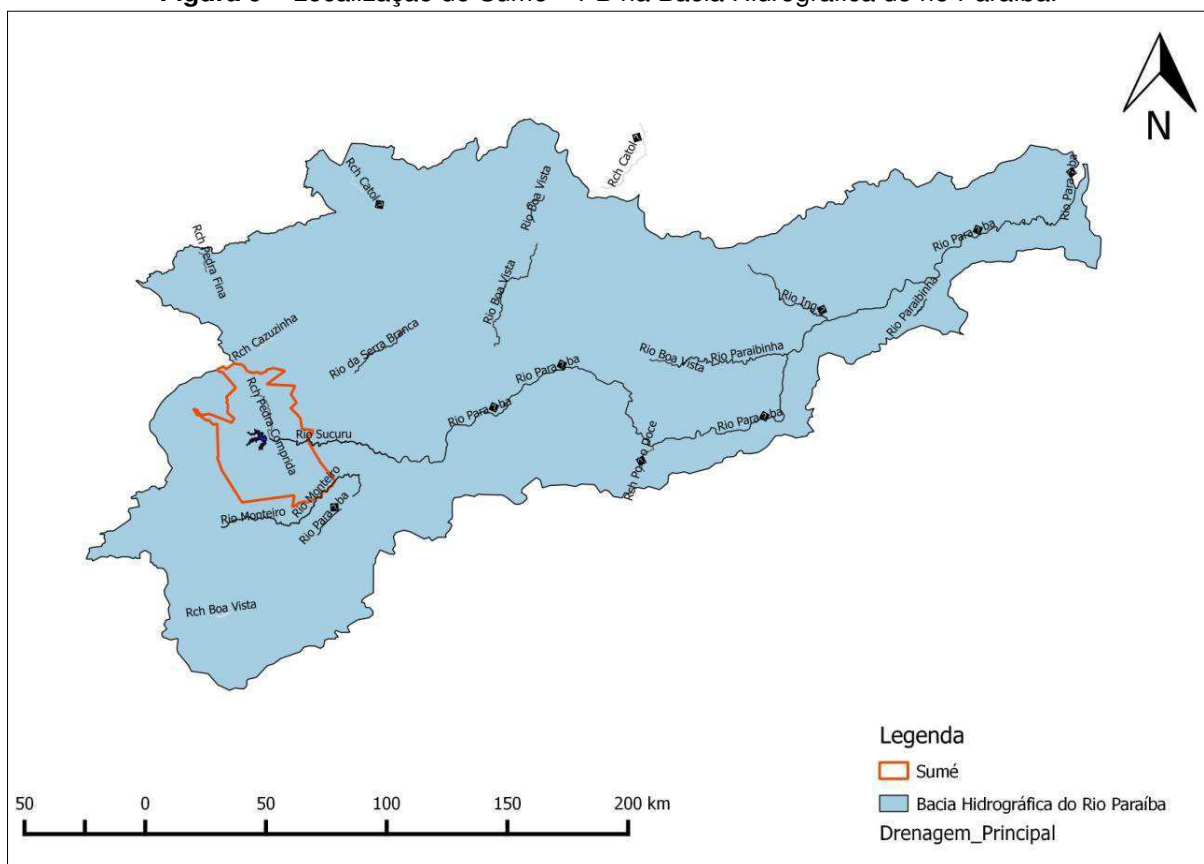
O município de Sumé – PB possui uma área de 838 km<sup>2</sup>, com altitudes variando entre 300 e 600 m, temperatura média anual entre 21 e 32°C e precipitação média anual de 400 a 600 mm, caracterizando uma área com clima do tipo semiárido quente (BShw), segundo a classificação de Köppen com alternância de duas estações bem definidas, chuvosa (chuvas escassas e irregulares, temperatura elevada e umidade baixa) e seca que pode se prolongar por até onze meses. A umidade relativa do ar varia conforme as estações, atingindo valores maiores na estação chuvosa e valores menores na estação seca (CPRM, 2000; FRANCISCO *et al.*, 2012).

A vegetação existente é típica da caatinga xerófila, sendo representada por macambira, marmeleiro, umburana, catingueiro, xique-xique, facheiro, jurema, etc., que refletem o rigor do clima semiárido, e árvores de médio porte encontradas ao longo dos riachos e rios, devido à maior umidade destes locais. No entanto, na estação seca, em virtude da diminuição dos índices pluviométricos, a vegetação apresenta-se menos densa e com um maior número de espécies caducifólias, características de uma máxima adaptação dos vegetais à carência hídrica (CPRM, 2000).

Quatro diferentes tipos de solos são encontrados na região: bruno não-cálcico, litólicos eutrópicos, predominantes, solonets solodizado e regossolo eutrópico que ocorrem esporadicamente (PRATES, GATTO & COSTA, 1981; CPRM, 2000; FRANCISCO *et al.*, 2012).

A rede hidrográfica é constituída pela bacia do rio Paraíba e seus afluentes, os quais caracterizam-se por serem intermitentes e, em sua maioria, têm seus leitos comandados pela rede de fraturamento da área. As principais fontes de água para o município de Sumé (Figura 9) são o rio Sucuru e o açude Sumé, com capacidade de armazenar cerca de 44.846.100 m<sup>3</sup>, e que estão classificados segundo a AESA (2013) na Classe 2 (CPRM, 2000; FRANCISCO *et al.*, 2012).

**Figura 9** – Localização de Sumé – PB na Bacia Hidrográfica do rio Paraíba.



### 5.1.2 Características hidrogeológicas

O município de Sumé está inserido na Folha Sumé (SB.24-Z-D-V), que compreende uma área de aproximadamente 3.000 km<sup>2</sup>, nos estados da Paraíba e Pernambuco, localizada entre os paralelos 07°30' e 08°00'S e meridianos 36°30' a 37°00'W. A região está inserida no Sistema de Dobramentos Pajeú-Paraíba, sendo identificados os complexos Gnáissico-Aluminoso/Sertânia, Sumé e Surubim-Carolina, provavelmente de idades do final do Mesoproterozóico, trabalhados por tectônicas tangenciais e transcorrentes. Além destes, foram reconhecidos vários corpos de rochas magmáticas (CPRM,2000).

Por predominarem rochas cristalinas na Folha Sumé, os aquíferos fraturados ocupam 99,5% do seu total e apresentam uma produtividade média de 0,425m<sup>3</sup>/h/m, e o restante (0,5%) corresponde aos aluvionares (aquíferos granulares), com reservas explotáveis da ordem de 0,06 a 0,9 m<sup>3</sup>/h/m. É encontrados um grande número de poços profundos que, na maioria dos casos, se caracterizam por uma

vazão baixa e por uma água cuja qualidade não é, geralmente, recomendada para consumo humano, sendo indicada apenas para uso agropecuário ou outros usos menos exigentes (SILVA NETO, 1993; CPRM, 2000).

Na área de estudo predominam os depósitos aluviais, aquífero livre, poroso e permeável, que possuem largura variando entre 100 e 350m. De acordo com as sondagens realizadas por Vieira (2002) as espessuras do aquífero do rio Sucurú estão entre 0,45 e 9,30m, com predominância de solos arenosos, pouca ocorrência de cascalho na base do perfil litológico e argila em pequena proporção.

No entanto, o maior consumo de água subterrânea é feito nos períodos de seca, na irrigação de culturas. Neste período, as possibilidades naturais de acesso à água ocorrem através das fissuras ou fraturas existentes nas rochas cristalinas, cujas águas são poucas e invariavelmente salinas, e nos aluviões sobre o embasamento cristalino, com restrições também na quantidade e qualidade (SILVA NETO, 1993; CPRM, 2000).

As margens e leitos do rio Sucurú formam um aquífero aluvial de pequenas dimensões, que se estende por mais de 10 km ao longo do rio principal.

### ***5.1.3 Caracterização socioeconômica***

As atividades econômicas compreendem essencialmente a agropecuária, principalmente a bovinocultura, seguidas pela caprinocultura e suinocultura bem como a extração vegetal. A produção do algodão arbóreo e de culturas temporárias representadas por milho, feijão, mandioca, frutas, legumes e verduras também representam um constituinte representativo na economia da região (CPRM, 2000).

A produção agrícola vem sendo prejudicada, nas últimas décadas, em decorrência das baixas precipitações pluviométricas. A agricultura, bem como a extração vegetal, baixaram seu nível de rendimento, deixando, ao longo desses anos, saldos irrisórios. Na pecuária, a bovinocultura vem sendo substituída, devido à baixa produtividade, diante das prolongadas estiagens, pela criação de ovinos e caprinos. Hoje, os setores terciários e o secundário são os que absorvem maior contingente de mão-de-obra, principalmente pessoas ligadas ao setor público. Esses setores da economia vêm mantendo suas atividades contribuindo com a economia

local, porém, não conseguindo desenvolvê-la. O total de pessoas empregadas representa 11,1 % da população do município (IBGE, 2010; PMS, 2015).

O Produto Interno Bruto – PIB *per capita*, no ano de 2013, foi de 7.161,47 reais. O valor do rendimento nominal mediano mensal per capita dos domicílios particulares permanentes é de 295 reais na zona urbana e de 200 reais na zona rural (IBGE, 2010; 2013).

#### **5.1.4 Uso e ocupação do solo**

Na região de estudo predominam as atividades agropecuárias, com destaque para a pecuária, a qual ocupa uma grande extensão de terra para plantio de capineiras (capim búfel, algaroba, palma, etc), para servir de alimento aos rebanhos. Assim, o solo em sua maioria, é ocupado por propriedades de porte médio, com áreas variando entre 30 e 300ha, destinadas especificamente, a tais atividades. Devido a técnicas inapropriadas de manejo, ao longo dos anos, o solo vem apresentando perda gradativa de fertilidade. Dessa forma, sérios impactos ambientais vem se desenvolvendo na região. Entre estes está a perda de 52% da biomassa (SANTOS, 2015; FRANCISCO, 2012).

#### **5.2 Identificação dos pontos de coleta**

Os pontos de coleta foram identificados e localizados com auxílio de um sistema de posicionamento global (GPS) e software ArcGis 9.2. A fim de avaliar a qualidade da água do aquífero aluvial do rio Sucurú foram escolhidos nove poços para coleta e conseqüente análise de amostras da água. A Tabela 1 e a Figura 10 mostram, respectivamente as localizações, dimensões e imagens dos referidos poços.

Os critérios para escolha dos nove poços, entre os 32 existentes, abrangem fatores como tamanho longitudinal do aquífero, condição física dos poços, facilidade de acesso para coleta, uso do poço pela população, atividades antropogênicas no entorno (uso de agrotóxicos, fertilizantes, e fontes poluidoras diversas), barragens

subterrâneas, entre outros. Esses critérios foram utilizados por caracterizarem, em princípio, possíveis influências na qualidade da água do aquífero aluvial do rio Sucurú.

**Tabela 1** – Dados dos poços de coleta ao longo do aluvião do Rio Sucurú.

Poço	Data da perfuração	Margem do rio	Nível d'água estático (m)	Profundidade fundo do poço (m)	Diâmetro externo (m)	Coordenadas geográficas	
						Latitude	Longitude
1	1997	Esquerda	1,02	3,44	3,00	- 7° 40' 17.2"	- 36° 53'40.4"
2	1995	Esquerda	3,00	4,40	3,00	- 07°40'23.1"	- 36°53' 03.0"
3	1997	Direita	5,20	9,50	2,00	-07°40'21.8"	- 36°50'55.6"
4	2011	Esquerda	1.10	2,40	3,00	- 07°40'40.0"	- 36°52'25.3"
5	1994	Centro	2,18	5,10	2,00	- 07°40'40.2"	- 36°52'35.3"
6	2001	Direita	2.32	4,00	4,50	- 07°40' 27	- 36°50'14.5"
7	1996	Esquerda	3,55	3,92	3,00	- 07°40'32.1"	- 36°50'06.3"
8	1998	Centro	2,32	3,10	2,00	- 07°40'34.4"	- 36°49'26.9"
9	1997	Esquerda	4,70	8,20	2,00	- 07°40'54.9"	- 36°48'57.6"

Os poços são do tipo amazonas, de atendimento privado, e estão em uso pela população, exceto o poço P01, que se encontra abandonado, e o P02, que passou por uma reforma e ainda não está sendo utilizado.

Os poços P01 e P02 estão localizados no centro urbano de Sumé. Os poços P03, localizado a aproximadamente 1 km do centro urbano, e P04 são utilizados para irrigação de capim e dessedentação de animais.

Os poços P05, P06 e P07 foram construídos para irrigação de cultivos de milho e dessedentação de animais. As águas do poço P08 são utilizadas exclusivamente para irrigação de lavouras de tomate. O último poço (P09) tem suas águas utilizadas para irrigação de capim e dessedentação de um rebanho de caprinos.

Entre os pontos P04 e P05, P06 e P07 e P08 e P09 existem barragens subterrâneas (Figura 11), todas do tipo submersa com 33m de comprimento, ocupando toda a espessura aluvial; atingem o embasamento cristalino, e foram construídas com pedras revestidas de lona.

**Figura 10** – Poços de coleta localizados ao longo do aluvião do Rio Sucurú.



a) Poço P01



b) Poço P02



c) Poço P03



d) Poço P04



e) Poço P05



f) Poço P06



g) Poço P07

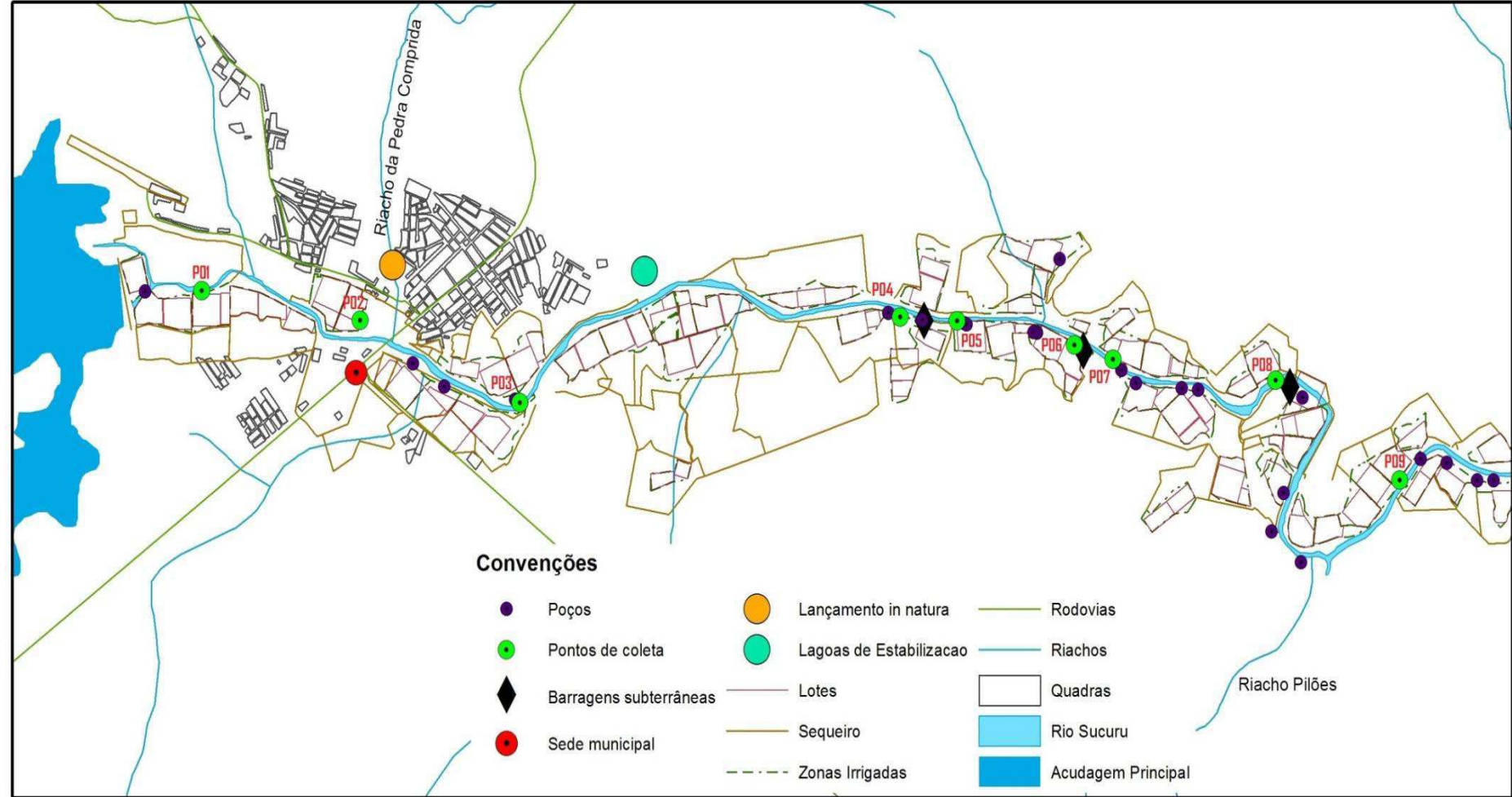


h) Poço P08



i) Poço P09

Figura 11 – Mapa da localização dos pontos de coleta de água no aquífero do Rio Sucuru.





### 5.3 Procedimento de coleta

A campanha de coleta de água para realização das análises ocorreu no período de maio a novembro de 2015. Em geral, foram realizadas duas análises mensais, com algumas exceções devidas a ocorrências não programadas. Também é importante enfatizar que o objetivo inicial desta pesquisa era a de obtenção de dados para caracterizar períodos de chuva e seca. No entanto, não ocorreram chuvas significativas na região no ano de 2015.

As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Saneamento da UFCG, *campus* de Campina Grande, distante 134 km do município de Sumé. O material de coleta era preparado um dia antes e acondicionado em caixas térmicas separadas, uma para as análises físico-químicas e outra para as análises microbiológicas, ambas devidamente identificadas. As coletas eram iniciadas às 7h e finalizadas às 12h, percorrendo, 10 km, e os volumes coletados eram acondicionados imediatamente nas caixas térmicas com gelo para manutenção da temperatura em torno de 4° C (Figura 12). Dessa forma, as análises propriamente ditas iniciavam às 14h.

**Figura 12** – Amostras acondicionadas em gelo.



O dispositivo de coleta (Figura 13) foi fabricado em aço galvanizado, esterilizável e permitia a retirada da amostra a diversas profundidades dos poços, e era submerso na água a uma profundidade de 20 cm para a coleta da água.

**Figura 13 – Dispositivo de coleta.**

As amostras para análises físico-químicas eram colocadas em recipientes de polipropileno de 1000 mL, com exceção das amostras para oxigênio dissolvido, que eram coletadas em frascos de DBO, e das amostras para análise de turbidez e ferro, que eram dispostas em recipientes âmbar de 170 mL (Figura 14a). Também é importante enfatizar que, devido ao método utilizado para determinação do oxigênio dissolvido ser o método de Winkler, com modificação azida, era necessário a fixação do OD em campo (Figura 14b), a qual era realizada com adição de 1 mL do sulfato manganoso e posteriormente 1 mL de álcali-ioeto-azida, com homogeneização imediata. A temperatura também era verificada em campo (Figura 14c). Para as análises microbiológicas a água era coletada e acondicionada à parte, em seguida colocada em recipientes autoclaváveis (Figura 14d), esterilizados em autoclave a uma pressão de 1 atm e 121°C, durante 15 minutos.

**Figura 14** – Procedimentos realizados em campo.

#### 5.4 Análises físico-químicas

Os indicadores selecionados foram turbidez, pH, condutividade elétrica, salinidade, sólidos dissolvidos totais, alcalinidade, dureza, cálcio, sódio, potássio, cloreto, ferro, magnésio, nitrato, nitrito, N-amoniacal, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO). As técnicas laboratoriais utilizadas (Quadro 2) seguiram as indicações do Standard methods for the examination of water and wastewater (APHA, 2012).

**Quadro 2** – Parâmetros físico-químicos utilizados e metodologias de análises.

<b>Análise</b>	<b>Metodologia</b>
<b>Alcalinidade bicarbonato</b>	Titulação de neutralização ácido/base
<b>Alcalinidade carbonato</b>	Titulação de neutralização ácido/base
<b>Alcalinidade total</b>	Titulação de neutralização ácido/base
<b>Cálcio</b>	Método titulométrico do EDTA
<b>Cloretos</b>	Método argentométrico (Método de Mohr)
<b>Condutividade elétrica</b>	Método instrumental- condutivímetro
<b>DBO</b>	Método dos frascos padrões de DBO
<b>DQO</b>	Método da refluxação fechada
<b>Ferro</b>	Método colorimétrico da fenantrolina
<b>Magnésio</b>	Método titulométrico do EDTA
<b>Nitrato</b>	Método da coluna de redução de cádmio
<b>Nitrito</b>	Método colorimétrico da diazotização
<b>Nitrogênio amoniacal</b>	Método titulométrico
<b>OD</b>	Método de Winkler modificação da azida
<b>pH</b>	Determinação por pHmetro
<b>Potássio</b>	Fotometria de chama
<b>Salinidade</b>	Método instrumental- condutivímetro
<b>Sódio</b>	Fotometria de chama
<b>Sólidos totais dissolvidos</b>	Determinação de STD a 180°C
<b>Temperatura</b>	Determinação por termômetro
<b>Turbidez</b>	Turbidímetro

### 5.5 Análises microbiológicas

Para determinação da contaminação fecal nos poços foram utilizados como indicadores os coliformes termotolerantes e a *E. coli*. Na quantificação dos coliformes termotolerantes e confirmação da *E. coli* foram utilizadas as técnicas de membrana filtrante e substrato enzimático, respectivamente, de acordo com APHA, AWWA, WEF (2012).

### 5.6 Análises estatísticas

A tabulação dos dados foi realizada com a utilização de planilhas Excel do Pacote Microsoft Office 2013 for Windows. Para testes de normalidade, estatística

descritiva, análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey, foi utilizado o software Action 2.7, o qual é gratuito, podendo ser baixado do Portal Action, e funciona no ambiente excel como um plugin.

Inicialmente foi testada a normalidade dos dados pelo método Shapiro – Wilk. Com os dados normalizados foi aplicada a estatística descritiva para cada grupo de poços, utilizando-se a média, valores mínimos e máximos dos dados. Para avaliar a precisão experimental dos dados, dos diferentes parâmetros, foi utilizado o coeficiente de variação (CV). A classificação dos coeficientes de variação foi determinada conforme os propostos por Pimentel-Gomes (1985), como mostra a Tabela 2.

A ANOVA foi aplicada para alguns parâmetros relacionados à salinidade, como sódio, salinidade e condutividade elétrica; em seguida, foi utilizado o teste Tukey para identificação das diferenças significativas entre as médias, dividindo, dessa forma, o aquífero em três grupos, de acordo com os resultados que eram estatisticamente iguais, com 95% de confiança.

**Tabela 2** – Classificação e intervalos dos coeficientes de variação.

<b>Classificação dos CV</b>	<b>Intervalos dos CV</b>
Baixo	$CV \leq 10\%$
Médio	$10\% < CV \leq 20\%$
Alto	$20\% < CV \leq 30\%$
Muito alto	$CV > 30\%$

**Fonte:** Pimentel-Gomes (1985).

### **5.7 Caracterização da vulnerabilidade do aquífero à contaminação**

O método de avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação amplamente utilizado é o GOD (*Groundwater occurrence, Overall litology of aquifer and Deph of water*), que além de ser de fácil aplicação é de interpretação simples. Essa caracterização é baseada nos seguintes parâmetros (geralmente disponíveis

ou de fácil determinação) (FOSTER, 1987; FOSTER & HIRATA, 1988; FOSTER *et al.*, 2002):

**G** - grau de confinamento hidráulico da água subterrânea no aquífero em questão;

**O** - ocorrência dos estratos de cobertura (zona vadosa ou camada confinante), em termos da característica hidrogeológica e do grau de consolidação que determinam sua capacidade de atenuação do contaminante;

**D** - a profundidade até o lençol freático ou até o teto do aquífero confinado.

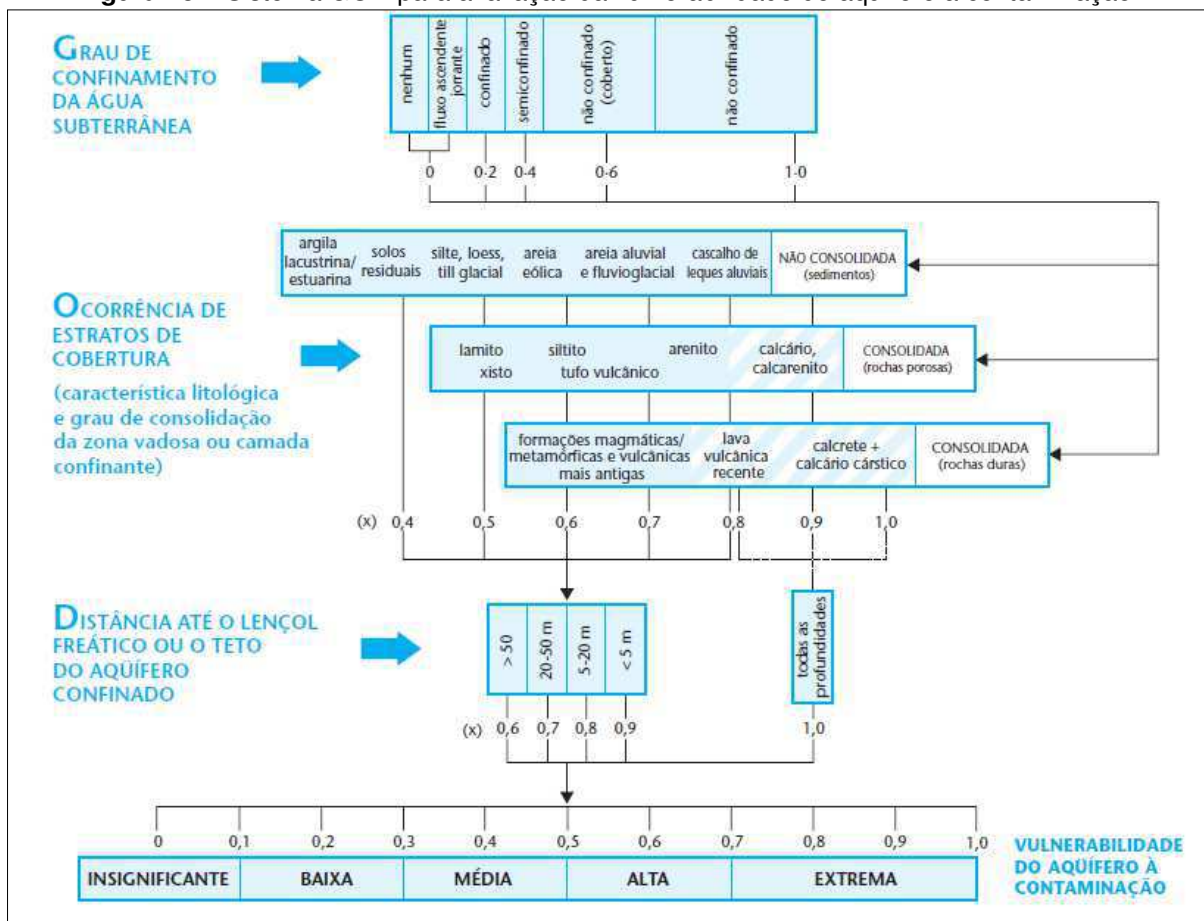
A vulnerabilidade do aquífero é o produto dos três índices desses parâmetros (Figura 15), para os quais são definidas escalas, divididas em três estágios distintos: primeiro - identificação do tipo de confinamento de água subterrânea, com a posterior indexação desse parâmetro na escala de 0,0–1,0; segundo - especificação dos estratos de cobertura da zona saturada do aquífero em termos de grau de consolidação e tipo de litologia, isto leva a uma segunda pontuação, numa escala de 0,4–1,0; terceiro - estimativa da profundidade até o lençol freático (de aquíferos não confinados) ou da profundidade do primeiro nível principal de água subterrânea (para aquíferos confinados), com posterior classificação na escala de 0,6–1,0 (FOSTER & HIRATA, 1988).

Para a obtenção dos mapas foi utilizada a extensão Spatial Analyst Tool do ArcGIS 9.2®, neste software foram feitas as interpolações dos parâmetros de acordo com os valores atribuídos às características, como descrito na metodologia GOD. O método de interpolação utilizado foi o IDW (Interpolação pela Ponderação do Inverso da Distância), o qual é indicado para valores próximos na área de toda a extensão geográfica. Como todos os parâmetros do método variam de 0 a 1, este procedimento é o mais indicado.

O mapa de grau de confinamento da água subterrânea (G) foi elaborado a partir das unidades geológicas de cada poço, apresentadas por Vieira (2002). Utilizando-se também os dados dos perfis litológicos, disponíveis nas fichas de sondagem deste mesmo pesquisador, foi construído o mapa de ocorrência dos estratos de cobertura. E para criar o mapa de distância até o lençol freático (D)

utilizou-se as informações de profundidade do nível estático de cada poço cadastrado durante a pesquisa.

**Figura 15 – Sistema GOD para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação.**



Fonte: Foster et al (2002).

## 5.8 Avaliação da salinização da água

Para avaliação da salinização da água, foram utilizados dois métodos de classificação das águas: os critérios adotados pelo United States Salinity Laboratory (USSL) e o diagrama de Piper. Ambos foram executados através do software QualiGraf, desenvolvido pela FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, concebido para dar apoio na parte gráfica das análises mais usuais de qualidade d'água (FUNCEME, 2014).

### 5.8.1 Critérios adotados pelo United States Salinity Laboratory (USSL)

O primeiro método de avaliação da salinidade da água considera os critérios adotados pelo USSL, para a classificação da água para irrigação, um dos mais aceitos atualmente. Quando se trata de classificação para irrigação, deve-se considerar que água afeta tanto o solo como as plantas, de tal modo que, dificilmente um sistema de classificação será apropriado para todas as condições (FUNCEME, 2014).

A classificação das águas para irrigação é determinada pela concentração de íons (sódio, potássio, cloreto, sulfato e borato – por exemplo), e parâmetros físico-químicos (sais dissolvidos, condutividade elétrica e a concentração total de cátions – por exemplo), que influenciam de maneira diferenciada no crescimento de cada espécie vegetal (FUNCEME, 2014).

Os critérios do USSL se baseiam na Razão de Absorção de Sódio (RAS) (Equação 1), que indica o perigo de sodificação do solo, juntamente com a condutividade elétrica da água, que indica o perigo de salinização do solo.

$$RAS = \frac{Na}{\frac{\sqrt{Ca+Mg}}{2}} \quad (1)$$

**Quadro 3** – Categorias adotadas pelo USSL.

Categoria de risco de salinidade	Salinidade da água	Categoria de risco de sódio	Presença de sódio
C0	Fraquíssima	S1	Fraca
C1	Fraca	S2	Mediana
C2	Média	S3	Alta
C3	Alta	S4	Extremamente alta
C4	Muito Alta		
C5	Extremamente Alta		

**Fonte:** Adaptado de FUNCEME (2014).



Após o cálculo do RAS e com os dados da condutividade elétrica, o QualiGraf mostra a categoria de risco de salinidade e de sódio para cada amostra inserida na classificação do USSL.

As categorias de água para irrigação, de acordo com o USSL, estão apresentadas no Quadro 3.

### **5.8.2 Diagrama de Piper**

O segundo método utilizado foi o diagrama de Piper, que é utilizado com frequência na literatura para classificar as águas de acordo com os íons dominantes, este também conhecido como diagrama trilinear (PIPER, 1944; BACK, 1966). Os diagramas são extraídos plotando-se as proporções dos cátions principais ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ) e dos ânions principais ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ) em dois diagramas triangulares respectivos, e com as informações desses forma-se um losango situado entre os mesmos (LUCENA *et al.*, 2004).

## **5.9 Classificação segundo a Resolução CONAMA nº 396/2008**

A classificação de acordo com a Resolução CONAMA 396/08 é definida como a qualificação das águas subterrâneas em função de padrões de qualidade que possibilite o seu enquadramento. As águas subterrâneas são classificadas em seis classes (especial, um, dois, três, quatro e cinco) de acordo com o padrão de qualidade requerido pelos usos preponderantes.

Para a classificação das águas do aquífero aluvial do rio Sucurú, foram utilizados os parâmetros de acordo com os usos preponderantes, com as características hidrogeológicas, hidrogeoquímicas, as fontes de poluição, além dos parâmetros mínimos exigidos pela Resolução.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo inicialmente, serão apresentadas e discutidas as possíveis fontes de poluição e a variação qualitativa da água em relação aos indicadores avaliados, ao longo do aluvião do rio Sucurú considerando os fatores interferentes. Em seguida será realizada uma abordagem sobre a classificação da água para irrigação e classificação quanto aos iões, segundo os critérios do United States Salinity Laboratory (USSL) e diagrama de Piper, respectivamente. Finalmente a água do aluvião do Rio Sucurú será classificada segundo os critérios da Resolução CONAMA nº 396/2008.

### 6.1 Fontes de poluição

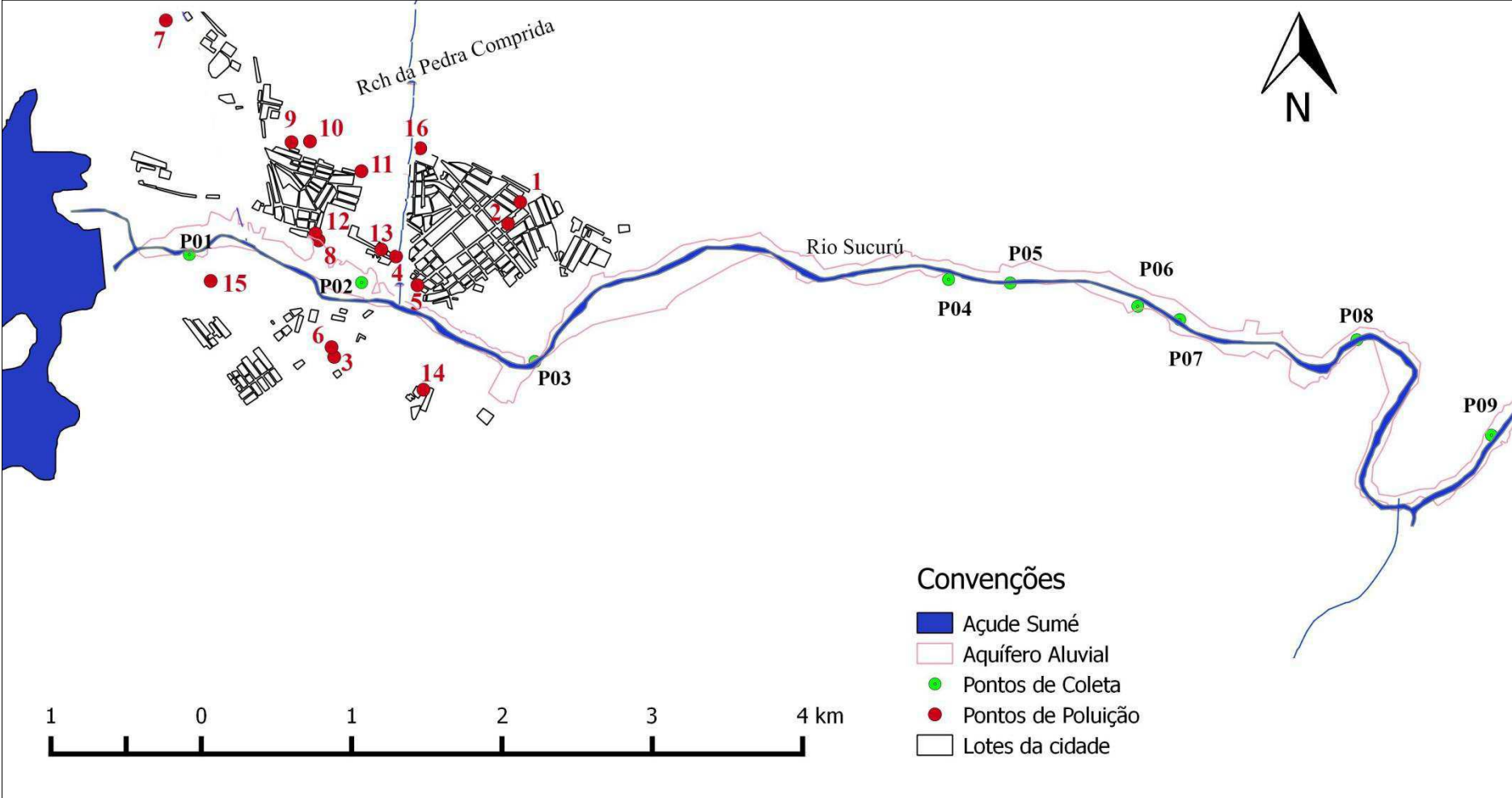
As possíveis fontes de poluição foram identificadas e localizados com auxílio de um sistema de posicionamento global (GPS) e software ArcGis 9.2. Numa pesquisa exploratória de possíveis fontes de poluição do aquífero aluvial do rio Sucurú foram encontrados 17 pontos (Tabela 3) decorrentes de atividades antropogênicas na zona urbana (Figura 16), delimitadas do poço P01 ao P04.

Os pontos 3, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14 e 15 lançam os resíduos diretamente no rio Sucurú, e os demais no riacho da Pedra Comprida, que é o principal contribuinte deste rio. Dessa forma, constituintes químicos, orgânicos e inorgânicos dessas fontes podem estar presentes nas águas do aquífero aluvial, o qual é abastecido pela infiltração de água no rio em estudo.

**Tabela 3** – Prováveis fontes de poluição.

Fonte de Poluição	Quantidade	Pontos
Cemitério	1	16
Indústria	1	15
Lançamento de esgoto sem tratamento	4	8, 9, 10 e 11
Lava-jatos	4	5,6, 12 e 13
Lixão	1	7
Matadouro	1	14
Posto de gasolina	4	1, 2, 3 e 4
<b>Total</b>	<b>16</b>	

Figura 16 – Mapa das fontes de poluição.



Os pontos de 1 a 4 são postos de gasolina e apresentam riscos potenciais de poluição devido aos reservatórios de combustíveis enterrados que podem contaminar as águas subterrâneas com constituintes do grupo dos hidrocarbonetos (BTEX) (ERTEL, 2012).

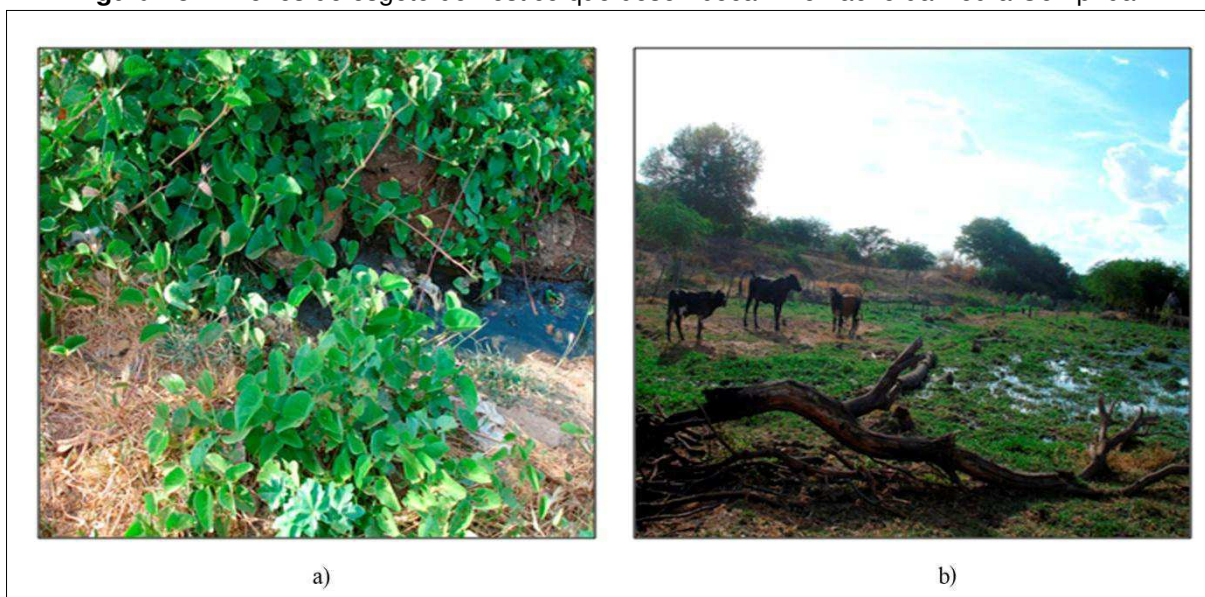
Os pontos 5, 6, 12 e 13 são lava jatos. Com relação aos resíduos líquidos o lava-jato localizado no ponto 5 é o único que faz tratamento antes do lançamento no riacho da Pedra Comprida. O ponto 6, 12 e 13 lançam os efluentes oriundos das lavagens dos veículos diretamente no rio Sucurú, sem nenhum tipo de tratamento, apesar de ser um condicionante para o descarte desse tipo de resíduo, pois nas águas de lavagem de automóveis podem existir surfactantes de vários tipos, biodegradáveis ou não, restos de poeira, fuligem, graxa, gasolina e todo tipo de resíduo produzido pelos automotores (ASEVEDO & JERÔNIMO, 2012).

No bairro da Várzea Redonda estão localizados os pontos de lançamento de esgoto doméstico sem tratamento (pontos 8, 9, 10 e 11). Uma parte desses esgotos é descarregada diretamente no rio Sucurú (Figura 17) e a outra parte é lançada em pequenos drenos que desembocam no riacho da Pedra Comprida (Figura 18).

**Figura 17** – Galeria de esgotos oriunda dos bairros Várzea Redonda e adjacentes.



**Figura 18** – Drenos de esgoto doméstico que desembocam no riacho da Pedra Comprida.



Ao longo dos drenos foram perfurados poços, cujas águas são destinadas para irrigação de gramíneas, árvores frutíferas e para a dessedentação de animais (Figura 19).

**Figura 19** – Poço amazonas localizado a jusante dos lançamentos de esgoto.



O ponto 14 é referente ao matadouro público de Sumé, que abate semanalmente, em média, 35 bovinos, 50 suínos e 60 caprinos. No processo de

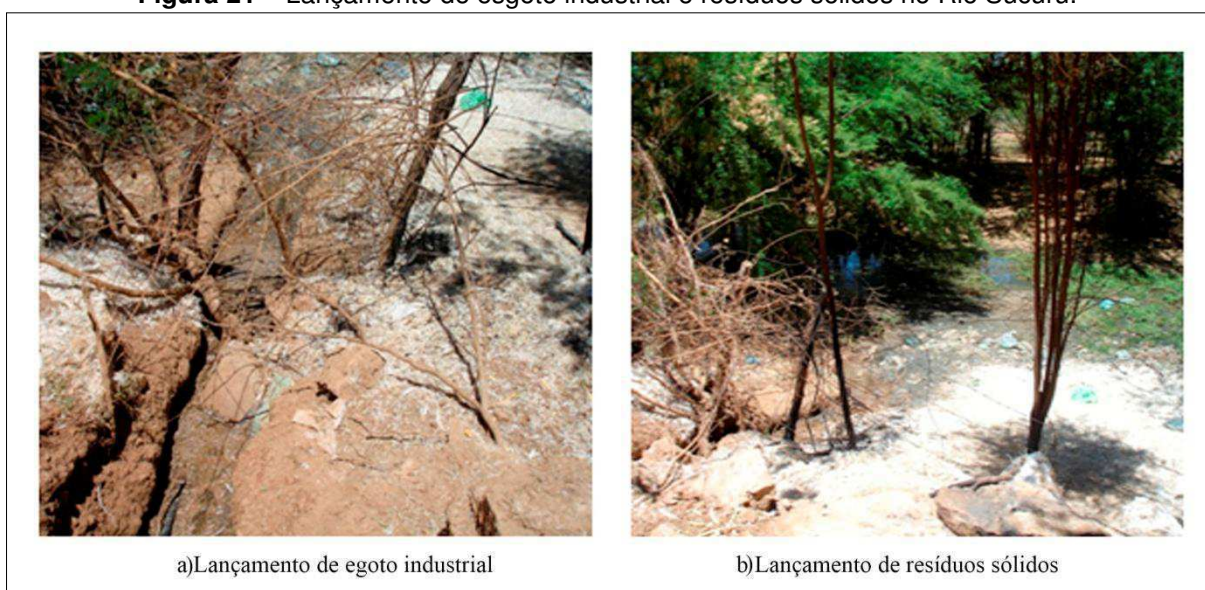
abate são utilizados detergentes e ácido muriático, para assepsia do local. Dessa forma, resíduos de matéria orgânica e substâncias químicas constituem os efluentes do matadouro que são armazenados em caixas coletoras (Figura 20a) e descarregados em um dreno que tem como destino final o rio Sucurú (Figura 20b).

**Figura 20** – Lançamento de resíduos líquidos do matadouro.



O ponto 15 é uma indústria de ração de animais, que possui em sua estrutura uma pocilga e um sistema de criação de aves. Todos os resíduos líquidos e sólidos são lançados no rio Sucurú (Figura 21), poluindo-o com substâncias químicas e matéria orgânica.

**Figura 21** – Lançamento de esgoto industrial e resíduos sólidos no Rio Sucurú.



O ponto 7 corresponde ao antigo lixão de Sumé. O lixão (Figura 22) foi desativado, mas a área não passou por nenhum tipo de remediação, havendo assim, lixo em decomposição e lixiviado sendo percolado sem tratamento. Esse chorume resultante da decomposição dos detritos pode conter metais pesados, substâncias tóxicas, além de ser abundante em matéria orgânica.

**Figura 22** – Antigo lixão da cidade de Sumé.



Os cemitérios são caracterizados como fontes potenciais de poluição das águas subterrâneas, devido à percolação do necrochorume, resíduo que contém grande quantidade de matéria orgânica, substâncias e microrganismos nocivos a saúde. Assim o cemitério de Sumé foi incluído como uma fonte de poluição, o qual está localizado no ponto 16 do mapa (Figura 16).

Além destes pontos de poluição, os poços sofrem impactos causados por atividades pontuais nos seus entorno. Os poços P01, P02 e P03 são poluídos diretamente pelas atividades da zona urbana, devido sua localização. Além disso, no entorno do P03 existe criação de equinos e bovinos.

A partir do poço P04 tem início a zona rural e a utilização dos poços na agropecuária, atividade mal executada que pode causar danos aos recursos hídricos em geral. Este poço e o poço P05 possuem proteção superficial com tampa de concreto, para evitar a entrada de contaminantes. Atualmente, não se utiliza agroquímicos na região desses dois poços, apesar de longos anos de uso, anteriormente.

O P06 está localizado próximo às plantações de milho e sorgo, nas quais são utilizados agrotóxicos. Também se encontra na área deste poço um rebanho de aproximadamente 300 ovinos que pode influenciar a qualidade da água do poço através de contaminação fecal. A jusante deste está o P07, cuja propriedade onde está localizado lança seus esgotos em fossa negra, cujos resíduos infiltram no solo e podem poluir as águas do poço.

A água do poço P08 tem uma grande possibilidade de ser contaminada com agrotóxicos (Figura 23) considerando o extensivo uso destes defensivos em uma plantação de tomates no seu entorno. Outra possível fonte de poluição para este poço são os esgotos gerados nos povoados Seis Casas e Nove Casas, que estão a montante deste poço e são lançados em fossas negras.

**Figura 23** – Defensivos químicos utilizados.



O poço P09 possui em sua área um rebanho de ovinos, que tem livre acesso à área no entorno do poço, podendo influenciar na qualidade microbiológica da água, devido a contaminação fecal.

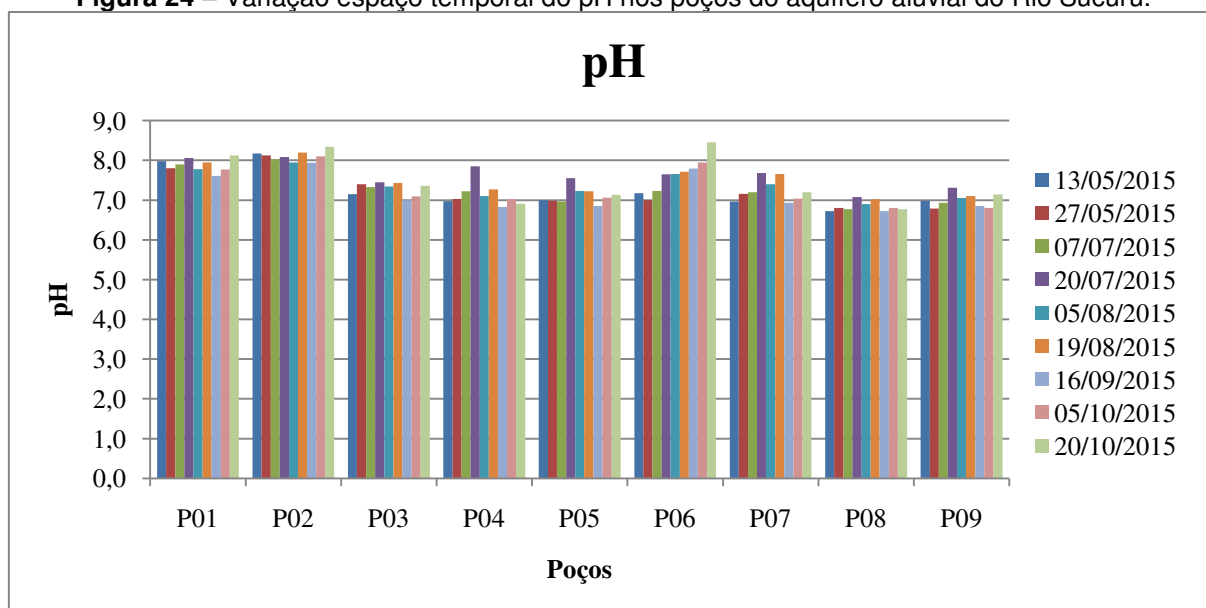


## 6.2 Variação qualitativa da água

### 6.2.1 pH

Na variação do pH, ilustrada na Figura 24, pode ser observado que o pH predominante esteve próximo à neutralidade, exceto nos pontos P01 e P02 e alguns picos maiores nos pontos P04 e P06 em alguns dias, que apresentam valores mais básicos. Esta faixa de variação de pH está em consonância com Nakamura et al. (2014) que apresentam a faixa de variação entre 5,5 e 8,5 para águas subterrâneas e nascentes.

**Figura 24** – Variação espaço temporal do pH nos poços do aquífero aluvial do Rio Sucurú.

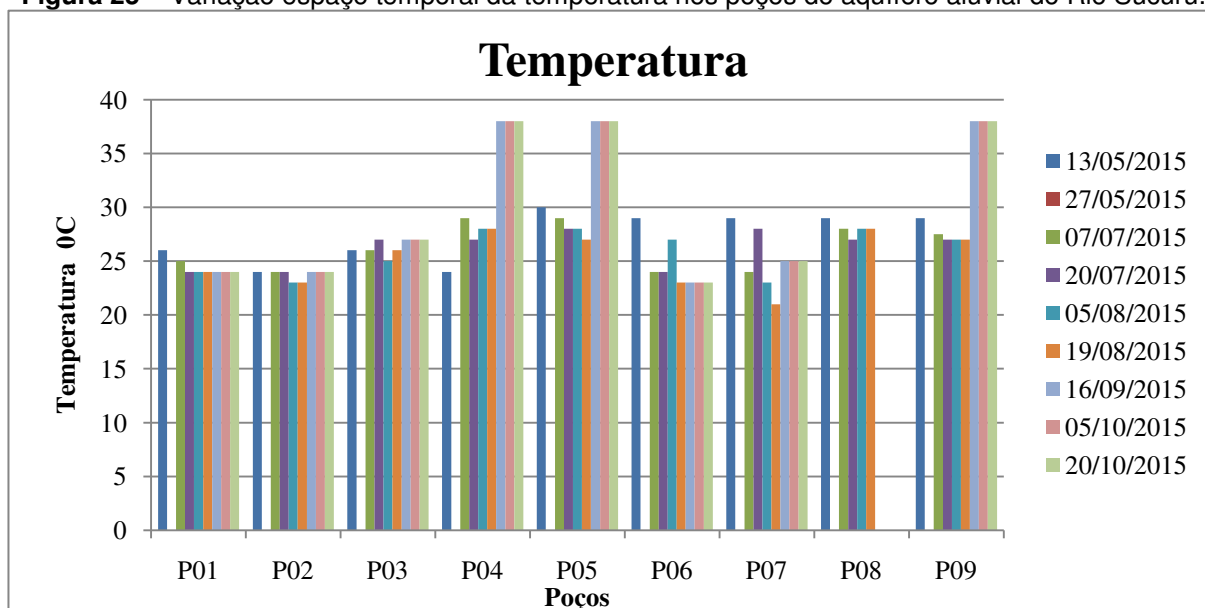


### 6.2.2 Temperatura

A temperatura da água (Figura 25) variou na faixa entre 24 e 38°C, que foi apenas um pouco superior à faixa de variação da temperatura ambiente na região.

Os poços P04, P05 e P09 apresentaram as temperaturas mais elevadas nas últimas coletas da campanha, em torno de 38°, podendo essa alteração ser atribuída aos dias estarem mais ensolarados e com uma temperatura ambiente maior, e estes poços serem os últimos no processo de coleta de amostras. De acordo com MARQUES *et al.* (2014) as temperaturas em águas de aquíferos freáticos rasos se apresentam um pouco superiores às da superfície.

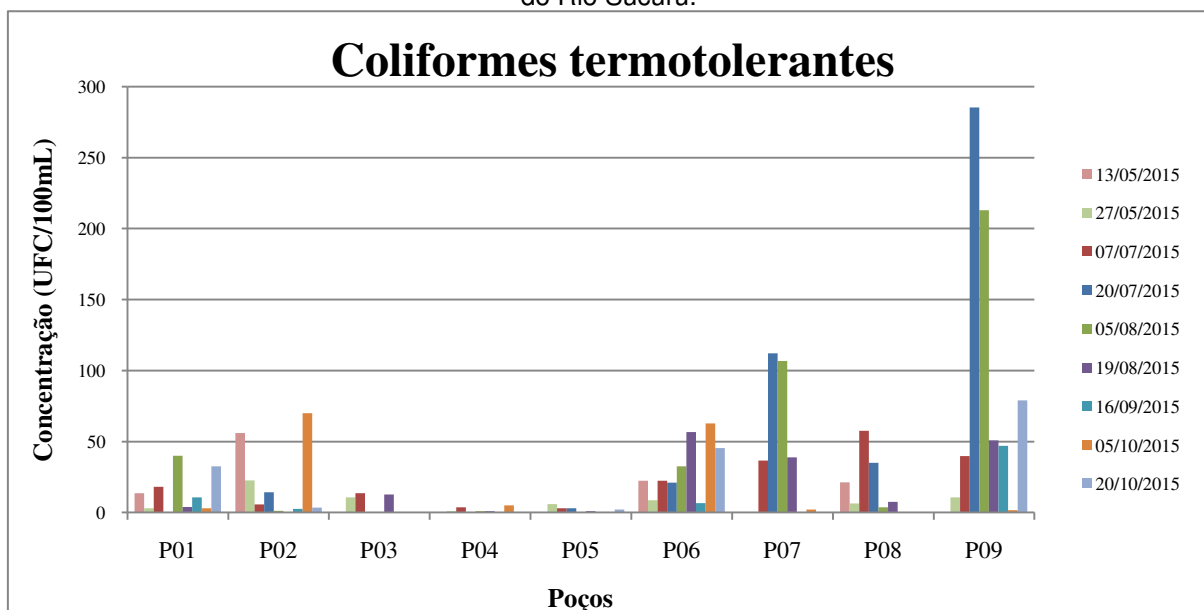
**Figura 25** – Variação espaço temporal da temperatura nos poços do aquífero aluvial do Rio Sucurú.



### 6.2.3 Coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*

Os resultados quantitativos (Figura 26) para coliformes termotolerantes e qualitativos para *E. coli* (Quadro 4) mostram a contaminação fecal nas águas de todos os poços avaliados. Essa contaminação, muito provavelmente, pode ser decorrente dos esgotos domésticos e fezes de animais de sangue quente, lançados no aquífero e no entorno dos poços, respectivamente.

**Figura 26** – Variação espaço temporal dos coliformes termotolerantes nos poços do aquífero aluvial do Rio Sucurú.



**Quadro 4** – Variação espaço temporal da presença de E. coli nos poços do aquífero aluvial do Rio Sucurú.

Coletas	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09
13/05/2015	*	*	*			*		*	
27/05/2015	*	*	*	*		*	*	*	*
07/07/2015	*	*	*	*		*	*	*	*
20/07/2015		*			*	*	*	*	*
05/08/2015	*	*		*		*	*	*	*
19/08/2015	*			*		*	*	*	*
16/09/2015	*	*				*			*
05/10/2015	*	*		*		*			*
20/10/2015	*	*			*	*			*

\*Resultados positivos para presença de E.coli na água analisada.

A presença desses microrganismos nos poços P01, P02 e P03, pode ser associada à proximidade de infiltração de esgotos da zona urbana no aquífero, e ainda no P03 tem-se a presença de bovinos e equinos em seu entorno. Nos demais poços foi verificada a existência de animais nas suas adjacências. Nos poços P04 e P05 há um decaimento nos coliformes termotolerantes, o que corrobora com o decaimento natural desses microrganismos ao longo do espaço e tempo em águas

subterrâneas. Também é importante enfatizar que nestes poços há proteção sanitária na superfície evitando contaminação pontual. Nos poços P06, P07, P08 e P09 há novo aumento, o que pode ser atribuído aos seguintes fatores: construção sem os critérios técnicos necessários e em locais inadequados; ausência de laje de proteção sanitária; altura inadequada da boca do poço; deficiência na desinfecção do poço após a construção, entre outros fatores. A maior incidência dessas bactérias no P09 deve-se a presença de uma fossa a montante, que recebe esgoto de um pequeno povoado, além de uma grande presença de ovinos próximos ao poço, que foi intensificada a partir do mês de julho de 2015.

Para coliformes termotolerantes e *E. coli*, todos os poços ficaram acima do VMP para consumo humano na maioria das coletas, de acordo com a Resolução CONAMA nº 396/2008. Para irrigação e dessedentação de animais, os VMP ficaram abaixo dos limites estabelecidos para estes usos, 200/100ml e 1000/100ml, respectivamente. O P04 e o P05 foram os poços que apresentaram valores mais baixos para estes indicadores, com valor máximo de 6 UFC/100mL, em apenas uma coleta, indicando que houve contaminação acidental.

Considerando que os valores de referência para potabilidade estabelecidos pela Portaria MS nº 2914/2012 são os mesmos da Resolução CONAMA nº 396/2008 para os usos avaliados (consumo humano, dessedentação de animais e irrigação), as considerações acima são válidas também para os padrões de potabilidade.

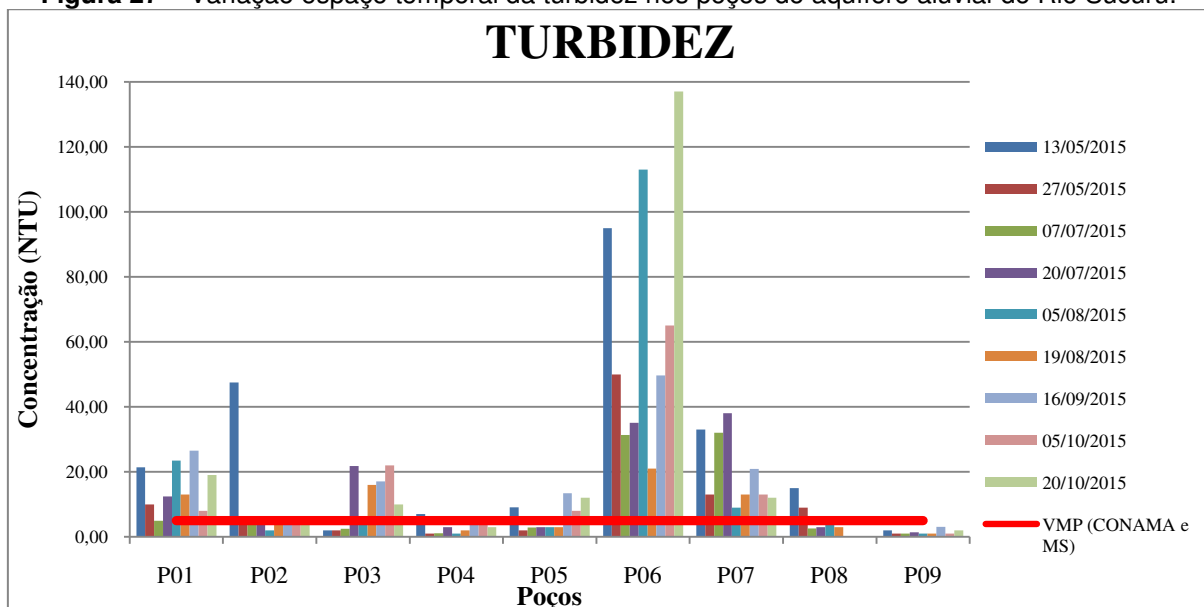
#### **6.2.4 Turbidez**

Os resultados de turbidez, obtidos na campanha de coleta, apresentando variação espacial e temporal, são representados na Figura 27, variando as concentrações variaram entre 1 e 137 UNT. Com relação à variação temporal os dados com maior diferença entre si foram os do poço P06, este fato pode ser explicado devido à variedade de modificações no poço, com conseqüente revolvimento de terra no seu entorno.

Os poços P04 e P09 foram os únicos com valores médios abaixo do VMP para consumo humano de acordo com a Portaria MS nº 2914/2011, pois são utilizados com bastante frequência, fazendo com que a água seja renovada continuamente. A

Resolução CONAMA nº 396/2008 não adota um valor de referência para este parâmetro, porém é recomendado seu monitoramento.

**Figura 27** – Variação espaço temporal da turbidez nos poços do aquífero aluvial do Rio Sucurú.



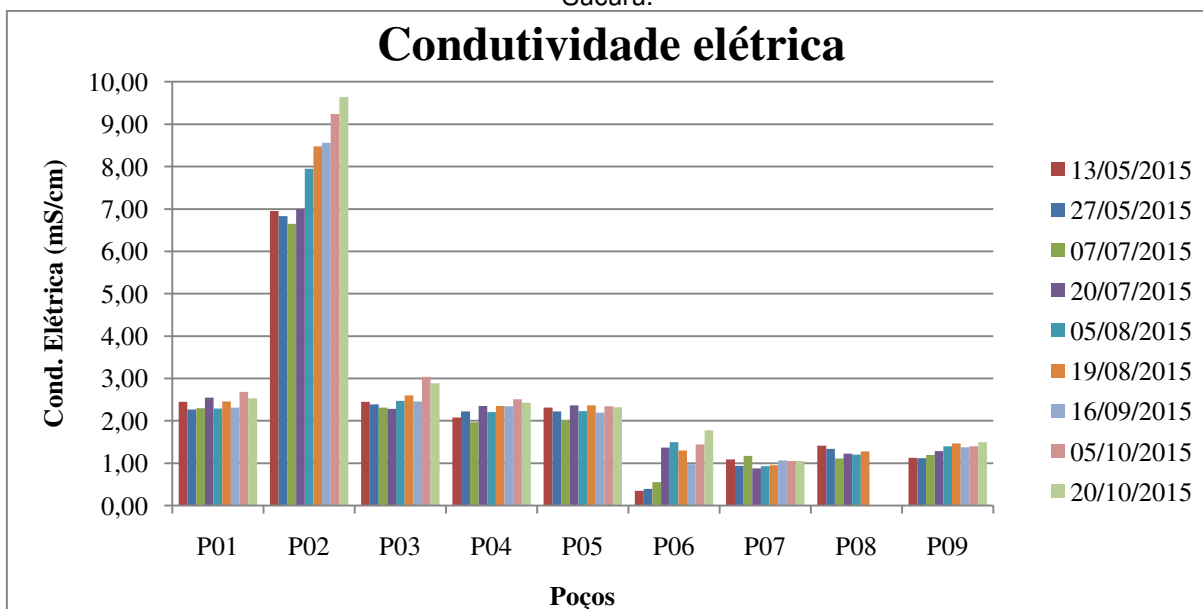
### 6.2.5 Condutividade elétrica

Os valores de CE nos poços do município de Sumé variaram de 0,8 a 9,6 mS/cm (Figura 28). Estes resultados são coerentes com os resultados dos sólidos dissolvidos e de salinidade, com valores mais altos no centro urbano, representado pelo P02, e reduzindo ao longo do aluvião. Os altos valores da CE no P02 podem estar associados à dissolução natural de íons, advindos do próprio solo local ou devido à percolação do esgoto, carreando-os e fazendo com que esses atinjam o lençol freático.

As águas dos poços P01, P02, P03, P04 e P05 apresentam valores de CE variando entre 2,0 e 9,6 mS/cm. Em geral, essas águas não são indicadas para irrigação por terem salinidade elevada. No entanto, podem ser utilizadas para irrigação de plantas de tolerância salina muito alta (algodoeiro, azevém, beterraba açucareira, capim bermuda, cártamo, cevada, trigo, etc), em solo bem cuidado (LIMA, FRANÇA E LOIOLA, 2014). Os demais poços possuem salinidade

considerada média, suas águas podem ser utilizadas na irrigação, porém com algumas precauções.

**Figura 28** – Variação espaço temporal da condutividade elétrica nos poços do aquífero aluvial do Rio Sucurú.

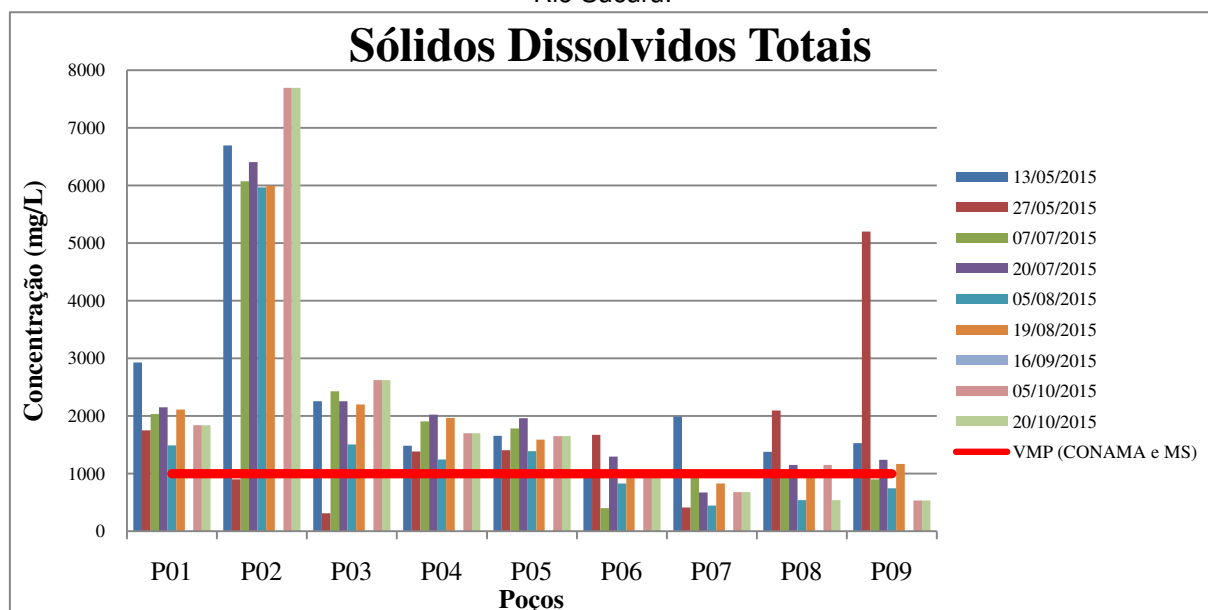


### 6.2.6 Sólidos dissolvidos totais

Os sólidos dissolvidos totais (SDT) são considerados bons indicadores o nível de salinidade das águas, pois têm relação com a condutividade elétrica da água que é uma medida de sua habilidade em conduzir uma corrente elétrica. Segundo Standard methods (2012), a condutividade elétrica pode ser utilizada para estimar a concentração de sólidos totais dissolvidos de uma amostra de água. Nesta pesquisa foi observada coerência dos dados de condutividade elétrica com os dados de SDT.

Os valores médios de sólidos dissolvidos totais variaram de 843 a 5930 mg/L (Figura 29). Apenas o poço P07 apresentou concentração abaixo do VMP de 1000mg/L (valor para consumo humano segundo a Resolução Conama 396/2008 e Portaria MS 2914/2011). Todos os outros poços foram considerados impróprios para consumo humano de acordo com os valores máximos permitidos.

**Figura 29** – Variação espaço temporal dos sólidos dissolvidos totais nos poços do aquífero aluvial do Rio Sucurú.



A Tabela 4 apresenta a classificação das águas de acordo com a concentração de SDT, classificação segundo McNeely. Conforme esta tabela as águas do aluvião do rio Sucurú são classificadas de doce a moderadamente salobras.

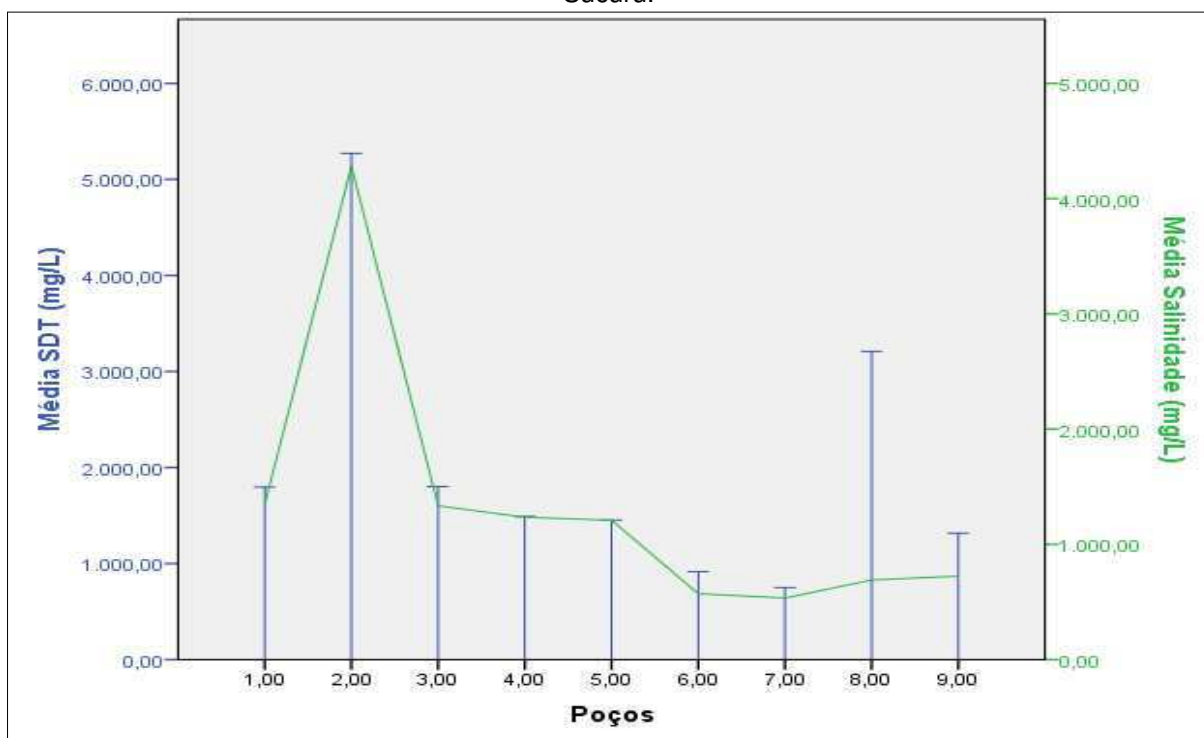
**Tabela 4** - Classificação das águas conforme os Sólidos Totais Dissolvidos.

Tipo	STD (mg/L)
Doces	< 1000
Ligeiramente Salobras	1000 – 3000
Moderadamente Salobras	3000 – 10000
Salgadas	10000 - 100000
Salmouras	> 100000

Fonte: McNeely *et al.* (1979).

Na análise da Figura 30 pode-se observar também que os valores de SDT são coerentes com os resultados obtidos para salinidade, ratificando a ligação direta entre SDT e a salinidade da água do aquífero aluvial do rio Sucurú.

**Figura 30** – Comparação entre os valores de SDT e os de salinidade do aquífero aluvial do rio Sucurú.

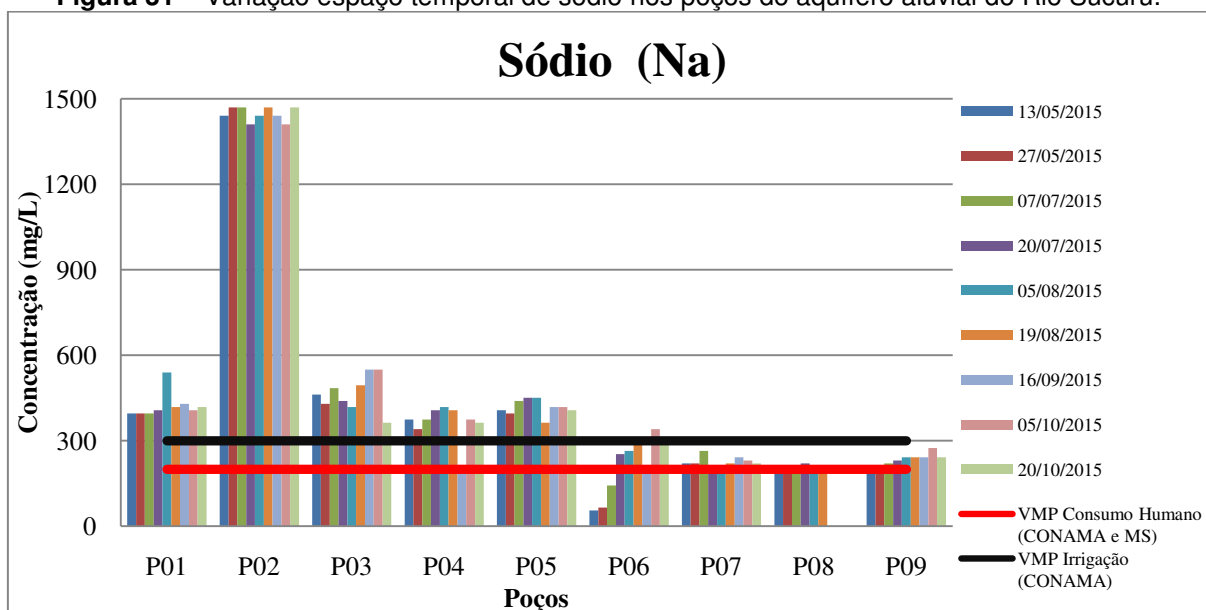


### 6.2.8 Sódio

O sódio está sempre presente nas águas subterrâneas devido ao seu elevado grau de solubilidade (HEM, 1985). A variação espaço temporal nas águas em estudo se manteve na faixa de 55 mg/L a 1470 mg/L (Figura 31). Segundo a Resolução CONAMA nº 396/2008 o VMP para água de consumo humano é de 200 mg/L, o qual não foi atendido pelos poços analisados, pois os valores médios foram acima desse valor.

Embora o sódio seja um parâmetro relevante no processo de salinização do solo não existe limite de VMP de sódio para a água de irrigação.



**Figura 31** – Variação espaço temporal de sódio nos poços do aquífero aluvial do Rio Sucurú.

### 6.2.9 Cloretos

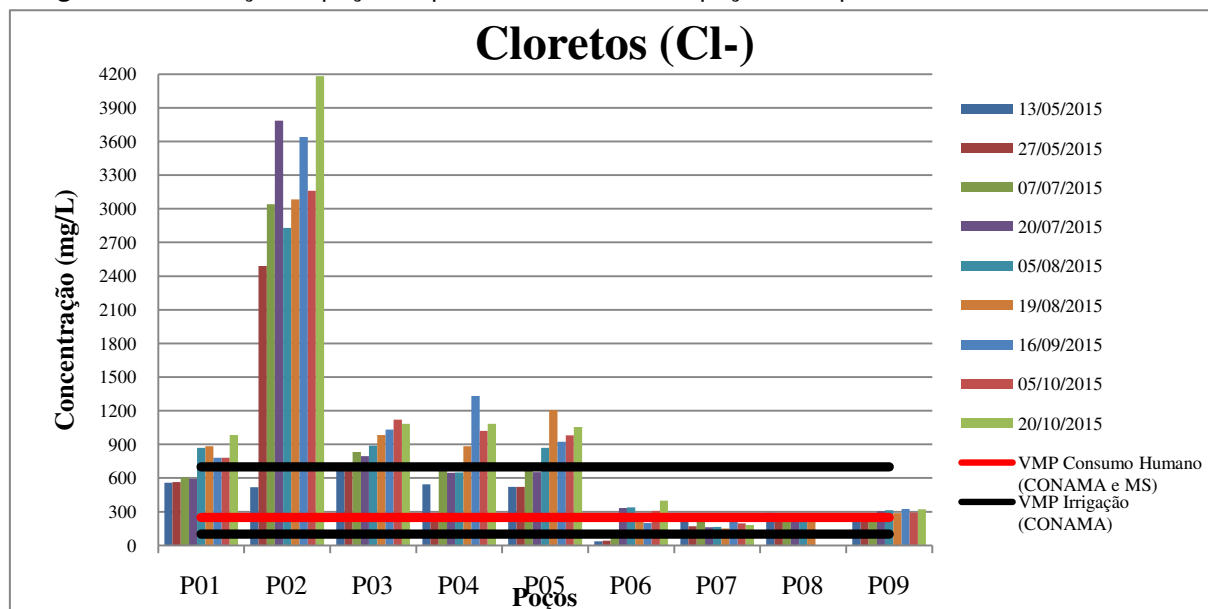
O íon cloreto é extremamente solúvel, estando sempre presente nas águas subterrâneas em concentrações inferiores a 100 mg/L (LIMA, FRANÇA E LOIOLA, 2014). Elevadas concentrações de cloretos nessas águas podem refletir poluição por águas residuárias, especialmente domésticas.

Nas amostras analisadas ao longo do aluvião a concentração de cloretos variou de 35 a 1200 mg/L, com exceção do poço P02 que apresentou valores muito acima (Figura 32). Comparando esses resultados à legislação (CONAMA 396/2008 e Portaria MS 2914/2011), percebe-se que 78% dos poços analisados apresentaram valores acima de 250 mg/L valor máximo permitido para consumo humano. Para irrigação, segundo critérios da CONAMA 396/2008, este valor varia de 100 a 700 mg/L. Nos poços P01, P02, P03, P04 e P05 os valores obtidos ultrapassam o VMP para esta finalidade.

No município de Baraúna, com condições climáticas semelhantes à área de estudo, Stein *et al.* (2014) obtiveram uma variação de 38,60 a 1697,10 mg/L, assim, os valores encontrados no aquífero aluvial de Sumé estão em consonância com os encontrados em Baraúna, com ressalva para os valores no poço P02 que recebe influência direta do lançamento de esgoto sanitário oriundos do centro urbano. De

acordo com os mesmos autores, teores elevados de cloretos são comuns em águas subterrâneas de ambientes semiáridos.

**Figura 32** – Variação espaço temporal dos cloretos nos poços do aquífero aluvial do Rio Sucurú



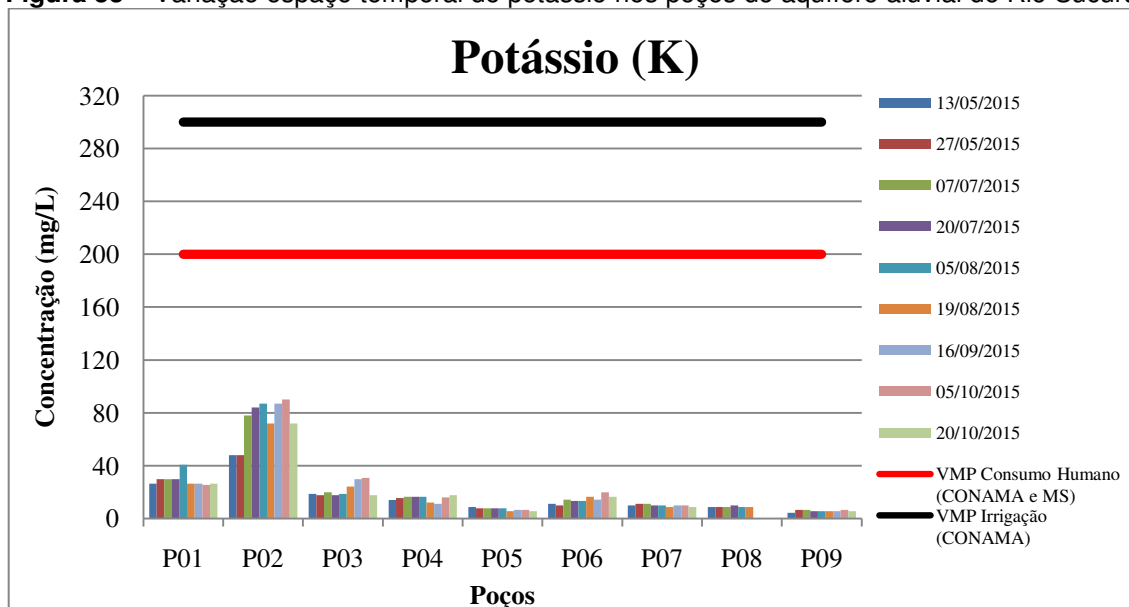
Vale destacar que as concentrações de cloretos no poço P02 foram mais elevadas que as demais, porque, além das características do solo, esse poço é objeto de maior influência de esgotos sanitários, devido a sua localização. Os poços P01, P03, P04 e P05 ainda sofrem influência da poluição da zona urbana, porém há uma redução na concentração de cloretos. Nos poços mais afastados do centro urbano (P06, P07, P08 e P09) há uma redução drástica nas concentrações de cloretos, o que pode estar associada à menor incidência de lançamento de esgoto e à retenção do cloreto nas camadas do solo.

### 6.2.10 Potássio

O potássio é um elemento químico abundante na crosta terrestre, mas ocorre em pequena quantidade nas águas subterrâneas devido à sua capacidade de retenção nos solos (DOMENICO & SCHWARTZ, 1990).

Nas análises deste parâmetro os valores encontrados variaram entre 4 e 90 mg/L (Figura 33), faixa que se manteve abaixo do VMP para consumo humano, 200 mg/L, e para irrigação, 300 mg/L.

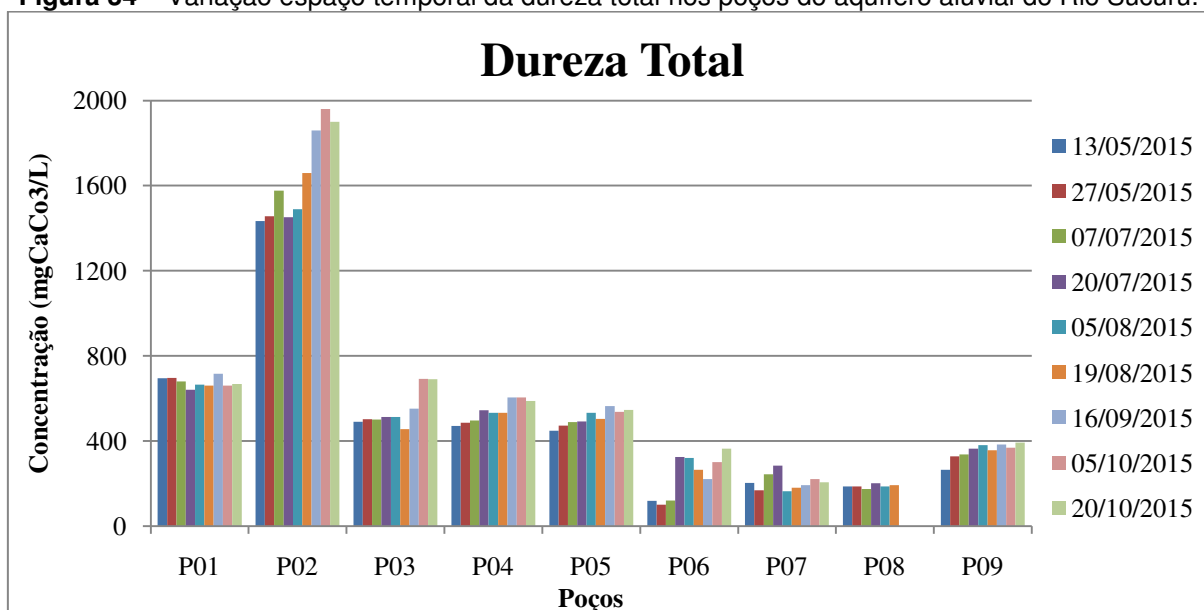
**Figura 33** – Variação espaço temporal de potássio nos poços do aquífero aluvial do Rio Sucurú.



### 6.2.11 Cálcio e magnésio

As concentrações de cálcio no aluvião variaram entre 11 e 256 mg/L, e de magnésio entre 10 e 398 mg/L. Porém não existem restrições quanto as concentrações desses íons, o VMP definido pelo Portaria MS nº 2914/2011 é relacionado à dureza total.

No período de coleta, a concentração de dureza total da água do aluvião variou entre 100 e 1960 mgCaCO<sub>3</sub>/L. A Portaria supracitada define como limite para consumo humano o valor de 500 mgCaCO<sub>3</sub>/L, o qual é excedido ao longo do aluvião entre os poços P01 e P05 (Figura 34), com destaque para o P02, onde as concentrações são mais elevadas, e que podem ser justificadas pela influência dos esgotos urbanos.

**Figura 34** – Variação espaço temporal da dureza total nos poços do aquífero aluvial do Rio Sucurú.

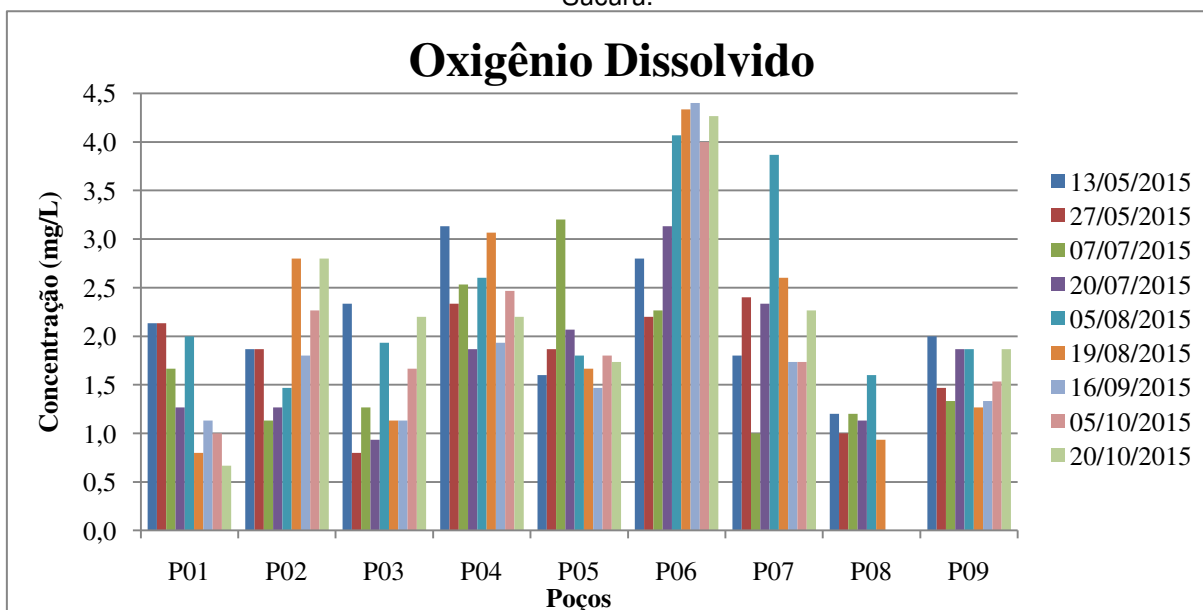
### 6.2.12 Ferro, nitrato, nitrito, n-amoniacoal

As concentrações de ferro, nitrato, nitrito e n-amoniacoal durante o período da pesquisa estiveram abaixo dos limites de quantificação praticáveis (LQP) de acordo com a Portaria MS nº 2914/2011 e Resolução CONAMA nº 396/2008, e por isso foram considerados ausentes.

### 6.2.13 Oxigênio dissolvido

Os valores de OD dos poços do aluvião do Rio Sucurú foram todos baixos, com valores médios variando entre 1,2 a 3,5mg/L (Figura 35), o que é comum em águas subterrâneas, devido à maior parte do oxigênio ser consumido na oxidação da matéria orgânica durante a percolação da água na zona de aeração (BAHIA *et al.*, 2011).

**Figura 35** – Variação espaço temporal de oxigênio dissolvido nos poços do aquífero aluvial do Rio Sucurú.

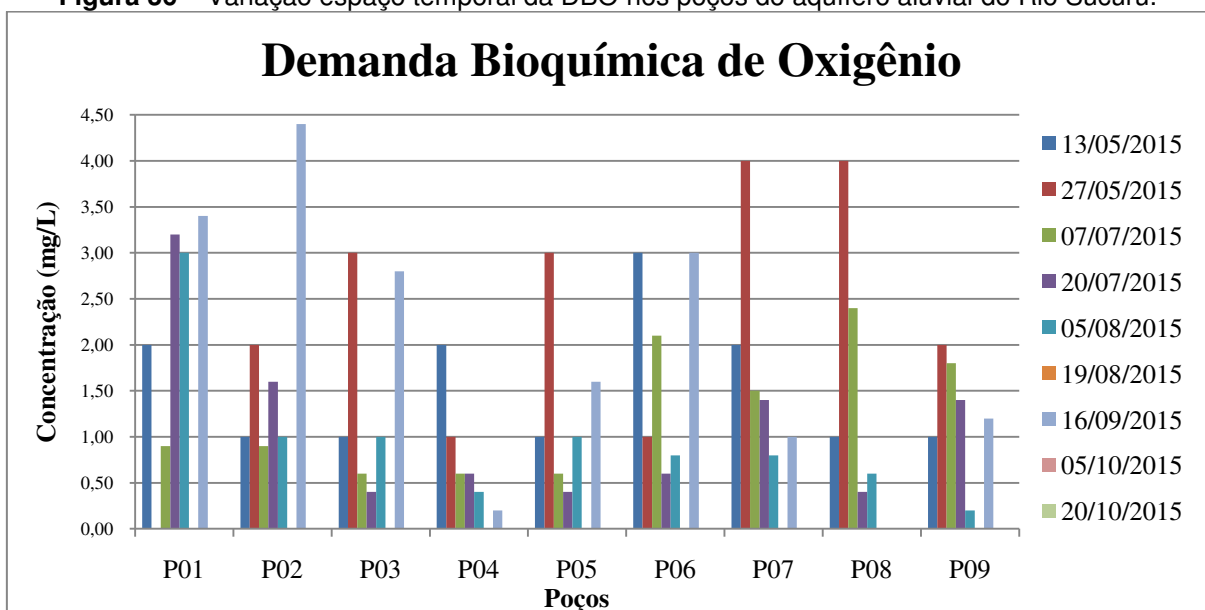


Os valores mais elevados no P06 podem ser explicados pelo fato de que este possui um maior diâmetro externo do poço em relação aos outros.

#### **6.2.14 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)**

Na Figura 36 estão representados os resultados de DBO obtidos no monitoramento do aluvião. Diante dos valores, é possível perceber as baixas concentrações de compostos orgânicos biodegradáveis, o que pode ser atribuída ao processo de biodegradação natural e adsorção da matéria orgânica nas partículas de solo.

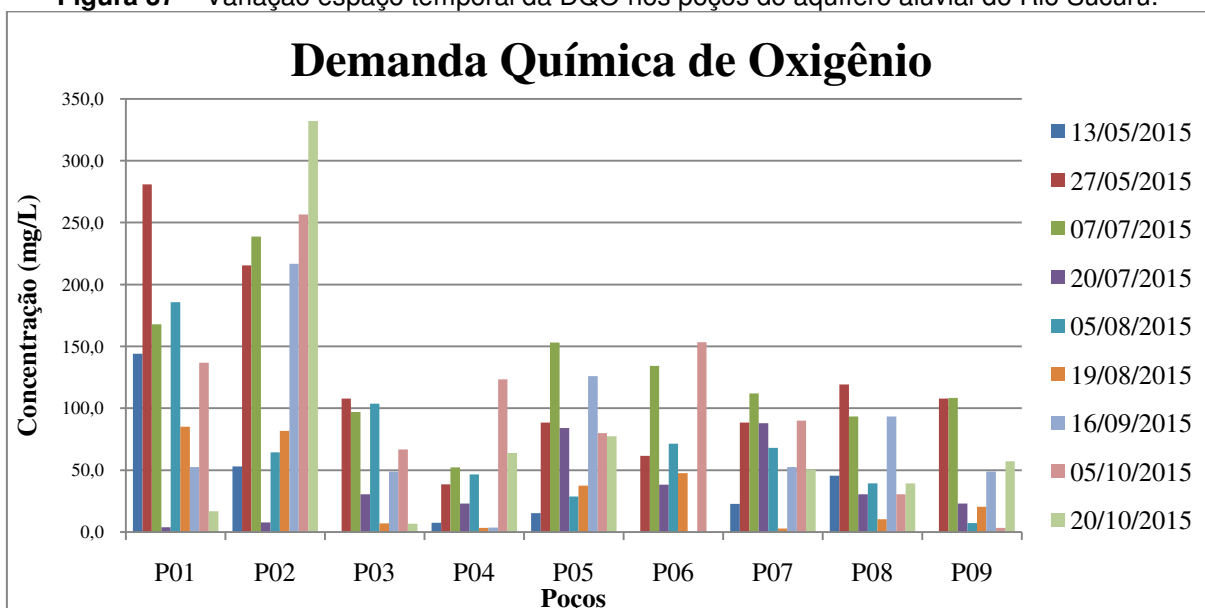
**Figura 36** – Variação espaço temporal da DBO nos poços do aquífero aluvial do Rio Sucurú.



### 6.2.15 Demanda química de oxigênio (DQO)

Analisando os resultados obtidos para o parâmetro DQO, ilustrados na Figura 37, constata-se que os valores não são proporcionais aos resultados obtidos para DBO, mas seguem o mesmo princípio das demais análises estudadas, com valores mais elevados no início do aluvião e mais baixos ao longo deste.

**Figura 37** – Variação espaço temporal da DQO nos poços do aquífero aluvial do Rio Sucurú.



Os valores elevados na zona urbana, provavelmente podem ser atribuídos ao lançamento de esgotos industriais juntamente com os esgotos domésticos. No caso da DQO como não há biodegradação, a diminuição ao longo do aluvião pode ser atribuída ao processo de adsorção no solo. Também quando comparamos os elevados valores de DQO em relação à DBO devemos considerar a presença significativa de matéria orgânica não biodegradável nos esgotos da região.

### **6.3 Análises estatísticas**

Os dados obtidos nesta pesquisa foram submetidos a testes de normalidade segundo os critérios de Shapiro- Wilk, conforme abordado no capítulo 5. O conjunto de dados apresentou distribuição normal.

As Tabela 5, Tabela 6 e Tabela 7 apresentam a estatística descritiva dos resultados obtidos para os indicadores avaliados no aquífero aluvial e também mostram os valores de referência das legislações do Ministério da Saúde (Portaria 2914/2011) e CONAMA (Resolução 396/2008) para consumo humano, dessedentação de animais e irrigação.

Nas tabelas os dados estão agrupados de acordo com a proximidade dos poços ao centro urbano: poço P02 - localizado no centro da cidade (Tabela 5); poços P01, P03, P04 e P05 - com distâncias variando entre 1 e 5km (Tabela 6); e poços P06, P07, P08 e P09 – com distância do centro urbano variando de 6 a 10km (Tabela 7).

Tabela 5 – Resultado das análises de qualidade da água do poço 2.

Parâmetro	Poço 2				Valores de Referência MS CONAMA (396/2008) (2914/11)		
	Média	Mínimo	Máximo	Coefficiente de Variação (%)	Consumo Humano	Dessedentação de animais	Irrigação
<b>Alcalinidade Bicarbonato</b> (mgHCO <sub>3</sub> /L)	465,92	247,97	673,34	26,53	*	*	*
<b>Alcalinidade Carbonato</b> (mgCO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> /L)	<u>80,64</u>	<u>0,00</u>	<u>181,44</u>	<u>62,10</u>	*	*	*
<b>Alcalinidade Total</b> (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	546,56	296,35	673,34	21,97	*	*	*
<b>Ca</b> (mg/L)	<u>141,42</u>	<u>38,40</u>	<u>256,00</u>	<u>66,73</u>	*	*	*
<b>Cl-</b> (mg/L)	3487,42	2489,23	5173,40	23,43	250		100-700
<b>Condutividade Elétrica</b> (mS/cm)	7,92	6,65	9,64	14,12	*	*	*
<b>CTT</b> (UFC/100mL)	<u>21,95</u>	<u>1,25</u>	<u>70,00</u>	<u>121,11</u>	Ausentes	200/100	
<b>DBO</b> (mg/L)	<u>1,82</u>	<u>0,90</u>	<u>4,40</u>	<u>73,56</u>	*	*	*
<b>DQO</b> (mg/L)	<u>162,94</u>	<u>7,63</u>	<u>332,21</u>	<u>69,09</u>	*	*	*
<b>Dureza</b> (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	1644,22	1434,00	1960,00	12,84	500		
<b>Ferro Total</b> (mg/L)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,3		
<b>K</b> (mg/L)	74,00	48,00	90,00	21,74	*	*	*
<b>Mg</b> (mg/L)	309,76	201,60	398,40	21,04	*	*	*
<b>Na</b> (mg/L)	1446,67	1410,00	1470,00	1,73	200		
<b>N-amoniacal</b> (mg/L)	<u>0,81</u>	<u>0,00</u>	<u>3,92</u>	<u>170,85</u>	*	*	*
<b>Nitrato</b> (mgNo <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)	<u>0,04</u>	<u>0,01</u>	<u>0,10</u>	<u>87,50</u>	10	90	
<b>Nitrito</b> (mgNO <sub>2</sub> /L)	0,00	0,00	0,00	0,00	1	10	1
<b>OD</b> (mg/L)	<u>1,92</u>	<u>1,13</u>	<u>2,80</u>	<u>31,57</u>	*	*	*
<b>pH</b>	8,10	7,94	8,34	1,55	6,0-9,5		
<b>Salinidade</b> (mg/L)	4281,11	3340,00	5080,00	14,98	*	*	*
<b>SDT</b> (mg/L)	<u>5929,88</u>	<u>900,00</u>	<u>7699,00</u>	<u>36,28</u>	1000		
<b>Turbidez</b> (NTU)	<u>9,46</u>	<u>2,00</u>	<u>47,50</u>	<u>151,40</u>	5		

\*Parâmetro não contemplado na legislação de referência.

Os valores sublinhados são os que mais variaram na época da campanha.



Tabela 6 – Resultado das análises de qualidade da água dos poços 1, 3, 4 e 5.

Parâmetro	Poços 1, 3, 4 e 5				Valores de Referência MS CONAMA (396/2008) (2014/11)		
	Média	Mínimo	Máximo	Coefficiente de Variação (%)	Consumo Humano	Dessedentação de animais	Irrigação
<b>Alcalinidade Bicarbonato</b> (mgHCO <sub>3</sub> /L)	<u>389,93</u>	<u>254,02</u>	<u>1588,61</u>	<u>56,50</u>	*	*	*
<b>Alcalinidade Carbonato</b> (mgCO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> /L)	<u>11,87</u>	<u>0,00</u>	<u>72,58</u>	<u>209,51</u>	*	*	*
<b>Alcalinidade Total</b> (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	375,78	254,00	604,80	26,55	*	*	*
<b>Ca</b> (mg/L)	<u>70,31</u>	<u>25,60</u>	<u>119,20</u>	<u>40,79</u>	*	*	*
<b>Cl-</b> (mg/L)	804,71	266,00	1332,00	28,55	250		100-700
<b>Condutividade Elétrica</b> (mS/cm)	2,38	1,97	3,04	8,89	*	*	*
<b>CTT</b> (UFC/100mL)	<u>6,11</u>	<u>0,00</u>	<u>40,00</u>	<u>160,28</u>	Ausentes	200/100	
<b>DBO</b> (mg/L)	<u>1,65</u>	<u>0,00</u>	<u>6,00</u>	<u>79,97</u>	*	*	*
<b>DQO</b> (mg/L)	<u>71,87</u>	<u>0,00</u>	<u>280,80</u>	<u>89,06</u>	*	*	*
<b>Dureza</b> (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	567,89	448,00	716,00	14,87	500		
<b>Ferro Total</b> (mg/L)	0,01	0,01	0,01	0,12	0,3		
<b>K</b> (mg/L)	<u>26,49</u>	<u>5,50</u>	<u>165,00</u>	<u>125,08</u>	*	*	*
<b>Mg</b> (mg/L)	93,41	58,10	142,10	26,01	*	*	*
<b>Na</b> (mg/L)	417,37	209,00	550,00	14,94	200		
<b>N-amoniacal</b> (mg/L)	<u>0,20</u>	<u>0,00</u>	<u>2,24</u>	<u>264,51</u>	*	*	*
<b>Nitrato</b> (mgNo <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)	<u>0,20</u>	<u>0,00</u>	<u>1,63</u>	<u>145,52</u>	10	90	
<b>Nitrito</b> (mgNO <sub>2</sub> /L)	0,00	0,00	0,00	0,00	1	10	1
<b>OD</b> (mg/L)	<u>1,88</u>	<u>0,67</u>	<u>4,13</u>	<u>40,86</u>	*	*	*
<b>pH</b>	7,37	6,80	8,10	5,29	6,0-9,5		
<b>Salinidade</b> (mg/L)	1283,57	1053,00	1775,00	10,28	*	*	*
<b>SDT</b> (mg/L)	6679,89	5969,00	7699,00	10,65	1000		
<b>Turbidez</b> (NTU)	<u>8,78</u>	<u>1,00</u>	<u>26,50</u>	<u>87,40</u>	5		

\*Parâmetro não contemplado na legislação de referência.

Os valores sublinhados são os que mais variaram na época da campanha.

Tabela 7 – Resultado das análises de qualidade da água dos poços 6, 7, 8 e 9.

Parâmetro	Poços 6, 7, 8 e 9				Valores de Referência		
	Média	Mínimo	Máximo	Coefficiente de Variação (%)	MS (2914/11)	CONAMA (396/2008)	
					Consumo Humano	Dessedentação de animais	Irrigação
<b>Alcalinidade Bicarbonato</b> (mgHCO <sub>3</sub> /L)	216,26	133,06	330,62	19,59	*	*	*
<b>Alcalinidade Carbonato</b> (mgCO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> /L)	0,00	0,00	0,00	0,00	*	*	*
<b>Alcalinidade Total</b> (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	216,26	133,06	330,62	19,59	*	*	*
<b>Ca</b> (mg/L)	<u>41,72</u>	<u>11,20</u>	<u>84,80</u>	<u>43,45</u>	*	*	*
<b>Cl-</b> (mg/L)	239,90	34,99	399,88	35,16	250		100-700
<b>Condutividade Elétrica</b> (mS/cm)	1,16	0,35	1,78	26,60	*	*	*
<b>CTT</b> (UFC/100mL)	<u>47,78</u>	<u>0,00</u>	<u>285,42</u>	<u>131,70</u>	Ausentes	200/100	
<b>DBO</b> (mg/L)	<u>1,62</u>	<u>0,20</u>	<u>4,00</u>	<u>65,98</u>	*	*	*
<b>DQO</b> (mg/L)	<u>54,37</u>	<u>0,00</u>	<u>153,33</u>	<u>80,10</u>	*	*	*
<b>Dureza</b> (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	<u>269,88</u>	<u>100,00</u>	<u>392,00</u>	<u>30,58</u>	500		
<b>Ferro Total</b> (mg/L)	0,01	0,01	0,01	0,30	0,3		
<b>K</b> (mg/L)	<u>9,80</u>	<u>4,40</u>	<u>19,80</u>	<u>36,84</u>	*	*	*
<b>Mg</b> (mg/L)	<u>42,193</u>	<u>9,6000</u>	<u>88,28</u>	<u>46,6969</u>	*	*	*
<b>Na</b> (mg/L)	219,67	55,00	341,00	24,77	200		
<b>N-amoniaco</b> (mg/L)	<u>0,17</u>	<u>0,00</u>	<u>1,68</u>	<u>267,14</u>	*	*	*
<b>Nitrato</b> (mgNO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)	<u>0,20</u>	<u>0,00</u>	<u>0,67</u>	<u>96,35</u>	10	90	
<b>Nitrito</b> (mgNO <sub>2</sub> /L)	0,00	0,00	0,00	0,00	1	10	1
<b>OD</b> (mg/L)	<u>2,21</u>	<u>0,93</u>	<u>4,40</u>	<u>48,67</u>	*	*	*
<b>pH</b>	7,21	6,72	8,45	5,56	6,0-9,5		
<b>Salinidade</b> (mg/L)	625,91	181,00	937,00	27,77	*	*	*
<b>SDT</b> (mg/L)	<u>1765,20</u>	<u>399,00</u>	<u>20961,00</u>	<u>211,11</u>	1000		
<b>Turbidez</b> (UNT)	<u>28,24</u>	<u>2,60</u>	<u>137,00</u>	<u>120,12</u>	5		

\*Parâmetro não contemplado na legislação de referência.

Os valores sublinhados são os que mais variaram na época da campanha.

Os coeficientes de variação dos dados obtidos, de forma geral, foram elevados conforme abordados na literatura por Pimentel-Gomes (1985), com valores acima de 30%, mostrando a variabilidade dos resultados obtidos nos poços ao longo do aluvião. No poço P02 a variabilidade dos resultados pode estar relacionada às condições variáveis de lançamento de esgotos ocorridas durante a campanha de coleta. Nos poços P03, P04, P05, P06, P07, P08 e P09 os altos valores dos CV podem estar associados à variabilidade nas condições de coleta, como poços com nível de água baixo, ou seja, com ocorrência recente de bombeamento, variação na presença de animais no entorno dos poços.

Os poços ao longo do aluvião apresentaram valores de parâmetros qualitativos em concentrações acima do VMP, com destaque para cloretos, coliformes termotolerantes, dureza, sódio, sólidos dissolvidos totais e turbidez. Comparando se os três grupos de poços, o que possui pior qualidade é o que está localizado no centro urbano, devido aos impactos antropogênicos.

### **6.3.1 Análise de variância (ANOVA)**

Segundo os critérios de Shapiro- Wilk todos os dados obtidos nesta pesquisa apresentaram distribuição normal, o que possibilitou a aplicação da ANOVA, fator único, para comparação de médias. Para a ANOVA foram selecionados os dados de sódio, salinidade e condutividade elétrica. A partir da referida análise foram observadas diferenças significativas entre as médias dos referidos indicadores, ou seja, o valor da estatística F foi maior que o Fcrítico. Em seguida à ANOVA foi aplicado o teste de Tukey para identificar onde ocorreram as diferenças significativas.

Assim podemos observar que para o sódio existem quatro grupos de médias estatisticamente diferentes (Tabela 8). No grupo 1 às águas dos poços P06, P07, P08 e P09 são estatisticamente iguais (médias entre 209 e 232,22 mg/L). No grupo 2 as médias estaticamente iguais ocorreram nos poços P01, P04 e P05 e variaram entre 363,00 e 422,89 mg/L. No grupo 3, foram iguais as médias dos poços P01, P03 e P05 com variação entre 422,89 e 465,67mg/L. O poço P02 apresentou média estatisticamente diferente dos outros 3 grupos com média de concentração de sódio

muito superior às apresentadas, 1446,67 mg/L, comprovando a forte influência de sódio dos esgotos sanitários lançados no aquífero. Ainda com relação às concentrações de sódio é interessante observar uma redução ao longo do aquífero sendo verificado que os poços P06, P07, P08 e P09 (Grupo 1) apresentaram as menores concentrações.

Com relação à salinidade e condutividade elétrica (Tabela 9) foram encontrados, para ambos, três grupos de médias estatisticamente diferentes. As águas do aluvião se mostraram estatisticamente iguais para os mesmos poços P06, P07, P08 e P09 com relação a esses indicadores, com médias variando de 534,11 a 724,11 mg/L e 1,01 a 1,32mS/cm, respectivamente. O mesmo aconteceu com os grupos 2 e 3, que apresentaram médias estatisticamente iguais para ambos os indicadores nos poços P01, P03, P04 e P05, como observado na Tabela 9. O grupo 3, poço P02, apresentou valores bastante elevados e diferenciado dos outros poços tanto para salinidade, 4281,11 mg/L, quanto para condutividade elétrica, 7,92mS/cm.

Assim podemos concluir que, ao longo do aluvião, há realmente uma melhora da qualidade da água para os parâmetros sódio, salinidade e condutividade elétrica. Também fica muito clara a forte influência do lançamento dos esgotos domésticos na qualidade da água, especialmente no poço mais próximo do centro urbano, P02.

**Tabela 8 – Teste de Tukey para análise de sódio.**

Poços	Média Na (mg/L)	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
1	422,89		****	****	
2	1446,67				****
3	465,67			****	
4	363,00		****		
5	416,78		****	****	
6	209,00	****			
7	224,89	****			
8	209,00	****			
9	232,22	****			

**Tabela 9** – Teste de Tukey para análise de salinidade e condutividade elétrica.

Poços	Média Salinidade (mg/L)	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Média CE (mS/cm)	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
1	1345,89		****		2,43		****	
2	4281,11			****	7,92			****
3	1334,89		****		2,54		****	
4	1234,89		****		2,27		****	
5	1209,11		****		2,26		****	
6	572,44	****			1,08	****		
7	534,11	****			1,01	****		
8	696,50	****			1,26	****		
9	724,11	****			1,32	****		

#### 6.4 Vulnerabilidade à contaminação

Um passo importante para uma boa gestão dos recursos hídricos subterrâneos é avaliar a vulnerabilidade de um aquífero. Uma vez contaminado, a recuperação do aquífero é extremamente difícil e dispendiosa. Neste estudo, a vulnerabilidade avaliada para o aquífero aluvial é a hidrogeológica, definida de acordo com o conjunto de características essenciais dos estratos que separam a camada saturada do aquífero saturado, determinando sua sensibilidade a sofrer os efeitos adversos de uma carga contaminante aplicada na superfície (FOSTER et al., 2002). Desta forma, a vulnerabilidade é função da facilidade de acesso do contaminante a zona saturada e da capacidade das camadas situada acima dessa zona, de filtrar contaminantes, atenuando os seus efeitos (MEDEIROS et al., 2011).

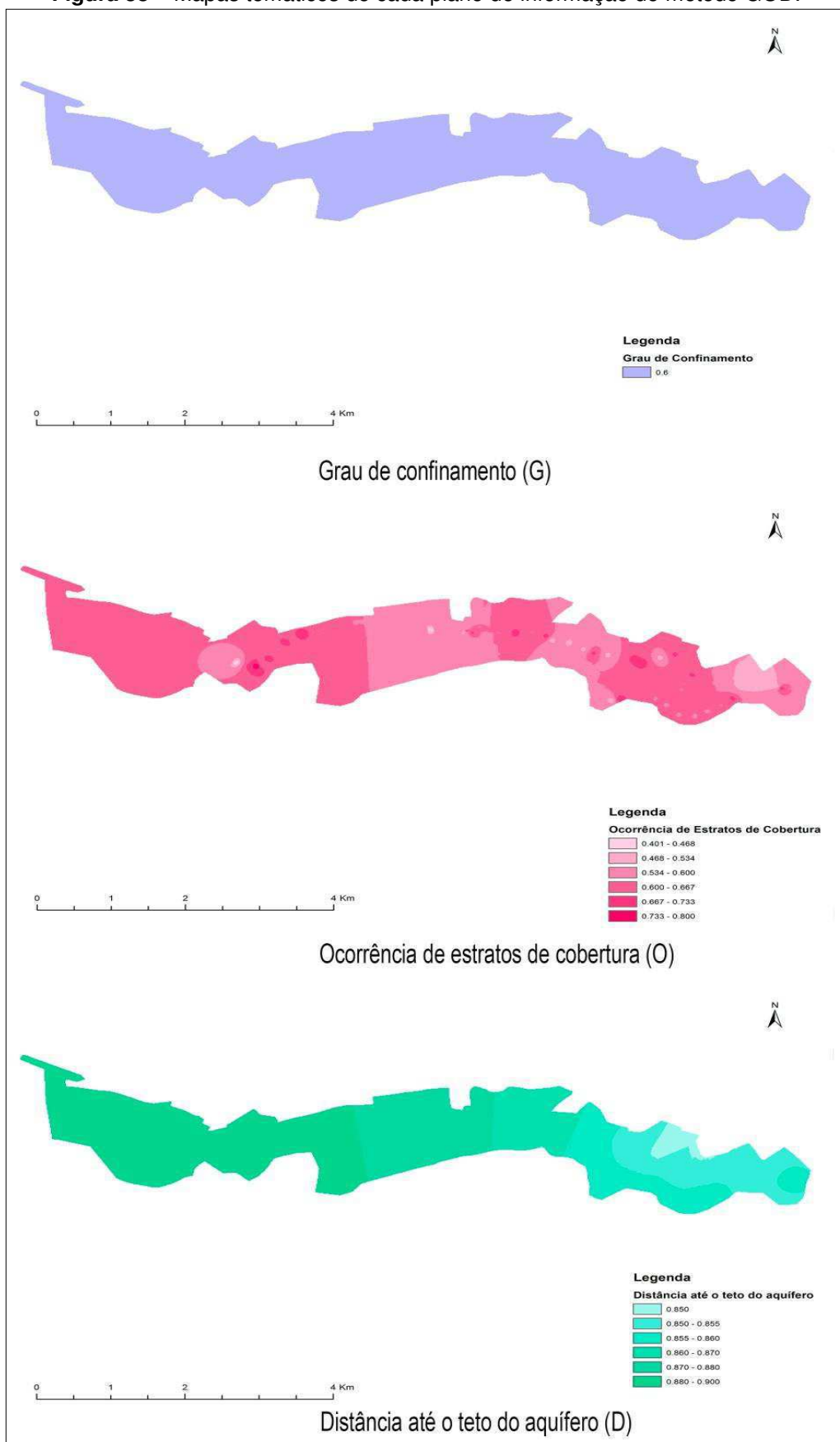
Para obtenção do mapa final da vulnerabilidade foram elaborados três mapas temáticos (Figura 38), com base nos dados da Tabela 10, obtidos em sondagens ao longo do aluvião. Com a sobreposição destes três mapas, obteve-se o mapa da vulnerabilidade do aquífero aluvial para área de estudo, como mostra a Figura 39. O índice de vulnerabilidade variou de 0,2 a 0,45, apresentando predominância na faixa de 0,35 a 0,40, caracterizando o grau de vulnerabilidade média. Como na região a

ocorrência de estrados de cobertura predominantemente é a areia, um tipo de solo altamente poroso e permeável, facilitando assim a percolação do contaminante.

**Tabela 10** – Tabela com dados do GOD.

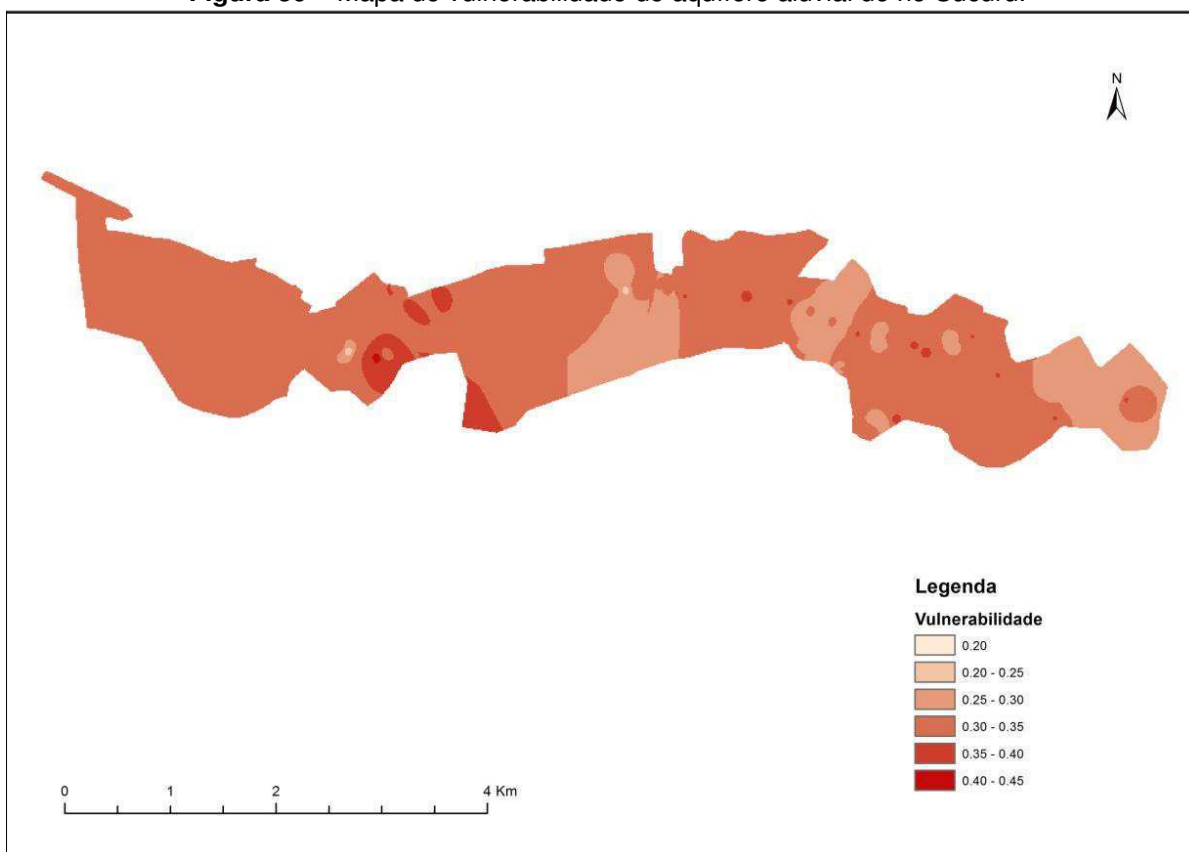
SONDAGEM	LAT	LONG	DISTÂNCIA ATÉ O TETO DO AQUÍFERO	GRAU DE CONFINAMENTO	OCORRÊNCIA DE ESTRATOS	VULNERABILIDADE
103	-7,68	-36,878	0,9	0,6	0,6	0,324
102	-7,68	-36,877	0,9	0,6	0,4	0,216
101	-7,68	-36,876	0,9	0,6	0,6	0,324
100	-7,68	-36,875	0,9	0,6	0,7	0,378
99	-7,68	-36,874	0,9	0,6	0,8	0,432
98	-7,68	-36,874	0,9	0,6	0,6	0,324
97	-7,68	-36,873	0,9	0,6	0,7	0,378
96	-7,68	-36,872	0,9	0,6	0,6	0,324
95	-7,68	-36,872	0,9	0,6	0,6	0,324
94	-7,67	-36,871	0,9	0,6	0,7	0,378
93	-7,67	-36,87	0,88	0,6	0,6	0,3168
92	-7,67	-36,869	0,88	0,6	0,7	0,3696
91	-7,67	-36,868	0,88	0,6	0,7	0,3696
90	-7,67	-36,867	0,88	0,6	0,6	0,3168
89	-7,67	-36,867	0,88	0,6	0,6	0,3168
88	-7,67	-36,862	0,88	0,6	0,6	0,3168
87	-7,67	-36,857	0,88	0,6	0,6	0,3168
86	-7,67	-36,855	0,87	0,6	0,6	0,3132
85	-7,67	-36,854	0,87	0,6	0,6	0,3132
84	-7,67	-36,853	0,87	0,6	0,4	0,2088
63	-7,67	-36,849	0,87	0,6	0,6	0,3132
53	-7,67	-36,849	0,87	0,6	0,5	0,261
62	-7,67	-36,849	0,87	0,6	0,6	0,3132
73	-7,67	-36,849	0,87	0,6	0,7	0,3654
74	-7,67	-36,849	0,87	0,6	0,6	0,3132
52	-7,67	-36,848	0,87	0,6	0,7	0,3654
67	-7,67	-36,849	0,87	0,6	0,6	0,3132
61	-7,67	-36,849	0,87	0,6	0,6	0,3132
66	-7,67	-36,849	0,87	0,6	0,5	0,261
65	-7,67	-36,849	0,87	0,6	0,5	0,261
59	-7,67	-36,849	0,87	0,6	0,6	0,3132
60	-7,67	-36,849	0,87	0,6	0,6	0,3132
64	-7,67	-36,849	0,87	0,6	0,6	0,3132
51	-7,67	-36,847	0,87	0,6	0,6	0,3132
50	-7,67	-36,845	0,87	0,6	0,6	0,3132
48	-7,67	-36,842	0,86	0,6	0,6	0,3096
49	-7,67	-36,843	0,87	0,6	0,7	0,3654
47	-7,67	-36,841	0,86	0,6	0,6	0,3096
46	-7,67	-36,84	0,86	0,6	0,6	0,3096
45	-7,67	-36,839	0,86	0,6	0,7	0,3612
44	-7,67	-36,838	0,86	0,6	0,5	0,258
43	-7,67	-36,837	0,86	0,6	0,6	0,3096
42	-7,67	-36,836	0,86	0,6	0,5	0,258
41	-7,67	-36,835	0,86	0,6	0,6	0,3096

SONDAGEM	LAT	LONG	DISTÂNCIA ATÉ O TETO DO AQÍFERO	GRAU DE CONFINAMENTO	OCORRÊNCIA DE ESTRATOS	VULNERABILIDADE
40	-7,68	-36,834	0,86	0,6	0,5	0,258
39	-7,68	-36,834	0,86	0,6	0,6	0,3096
38	-7,68	-36,833	0,86	0,6	0,7	0,3612
37	-7,68	-36,832	0,86	0,6	0,6	0,3096
36	-7,68	-36,831	0,86	0,6	0,5	0,258
35	-7,68	-36,831	0,85	0,6	0,6	0,306
34	-7,68	-36,829	0,85	0,6	0,6	0,306
33	-7,68	-36,828	0,85	0,6	0,7	0,357
29	-7,68	-36,827	0,85	0,6	0,7	0,357
28	-7,68	-36,825	0,85	0,6	0,5	0,255
27	-7,68	-36,824	0,85	0,6	0,6	0,306
26	-7,68	-36,824	0,85	0,6	0,6	0,306
25	-7,68	-36,823	0,85	0,6	0,7	0,357
21	-7,68	-36,822	0,85	0,6	0,6	0,306
22	-7,68	-36,822	0,85	0,6	0,6	0,306
23	-7,68	-36,821	0,85	0,6	0,7	0,357
24	-7,68	-36,821	0,85	0,6	0,6	0,306
20	-7,68	-36,822	0,85	0,6	0,6	0,306
16	-7,69	-36,823	0,86	0,6	0,6	0,3096
17	-7,68	-36,824	0,86	0,6	0,6	0,3096
15	-7,69	-36,821	0,86	0,6	0,6	0,3096
18	-7,68	-36,826	0,86	0,6	0,6	0,3096
32	-7,68	-36,83	0,86	0,6	0,7	0,3612
31	-7,68	-36,831	0,86	0,6	0,5	0,258
30	-7,68	-36,832	0,86	0,6	0,6	0,3096
14	-7,69	-36,819	0,86	0,6	0,6	0,3096
13	-7,68	-36,818	0,86	0,6	0,6	0,3096
12	-7,68	-36,817	0,86	0,6	0,6	0,3096
11	-7,68	-36,816	0,85	0,6	0,7	0,357
10	-7,68	-36,816	0,85	0,6	0,6	0,306
09	-7,68	-36,815	0,85	0,6	0,5	0,255
08	-7,68	-36,815	0,85	0,6	0,5	0,255
07	-7,68	-36,814	0,85	0,6	0,5	0,255
06	-7,68	-36,814	0,85	0,6	0,5	0,255
05	-7,68	-36,812	0,85	0,6	0,5	0,255
04	-7,68	-36,811	0,85	0,6	0,5	0,255
03	-7,68	-36,811	0,85	0,6	0,5	0,255
02	-7,68	-36,81	0,86	0,6	0,7	0,3612
01	-7,68	-36,809	0,86	0,6	0,6	0,3096
58	-7,67	-36,849	0,87	0,6	0,6	0,3132
71	-7,67	-36,849	0,87	0,6	0,6	0,3132
72	-7,67	-36,849	0,87	0,6	0,4	0,2088

**Figura 38** – Mapas temáticos de cada plano de informação do método GOD.



**Figura 39** – Mapa de vulnerabilidade do aquífero aluvial do rio Sucurú.



## 6.5 Avaliação da salinização da água

### 6.5.1 Classificação das águas para irrigação

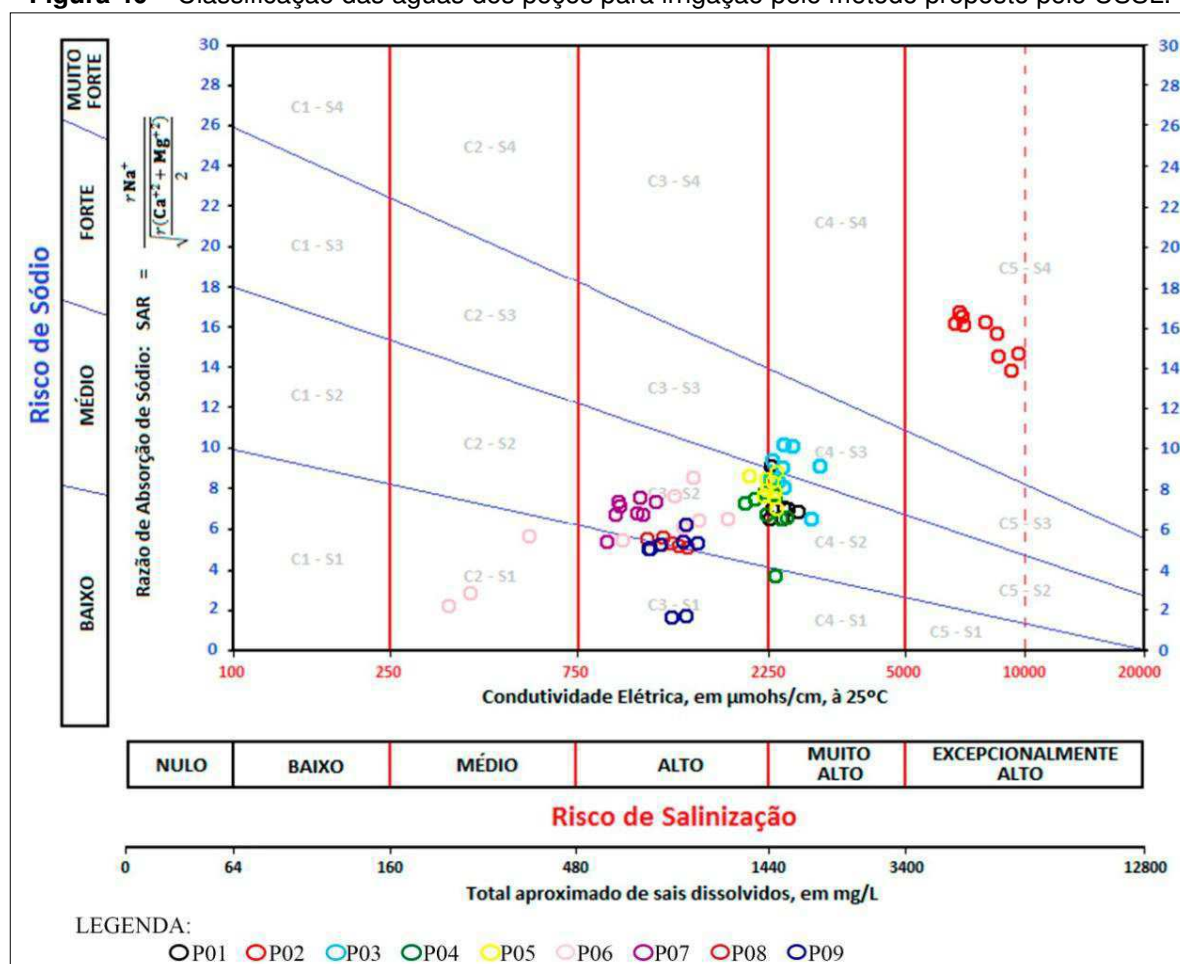
Na região aluvial do rio Sucurú há uso intensivo das águas dos poços monitorados nas culturas de capim, milho, sorgo, tomate, entre outros. Isso ocorre devido à falta de disponibilidade de recursos hídricos superficiais na região.

A classificação para irrigação proposto pelo United States Salinity Laboratory (USSL) foi utilizada para categorizar as águas dos poços de acordo com os riscos decorrentes da presença de sais.

A Figura 40 mostra que o risco de salinização do solo ao longo do aluvião predomina de alto para muito alto e apenas o poço P02 está na categoria de risco de salinização extremamente alta, devido à sua localização no centro urbano. Com relação ao risco de sódio há uma maior variação, está entre baixo e muito forte, com

a maioria dos poços na faixa de risco médio, e com destaque para o poço P02 que está na maior categoria de risco de sodificação.

**Figura 40** – Classificação das águas dos poços para irrigação pelo método proposto pelo USSL.



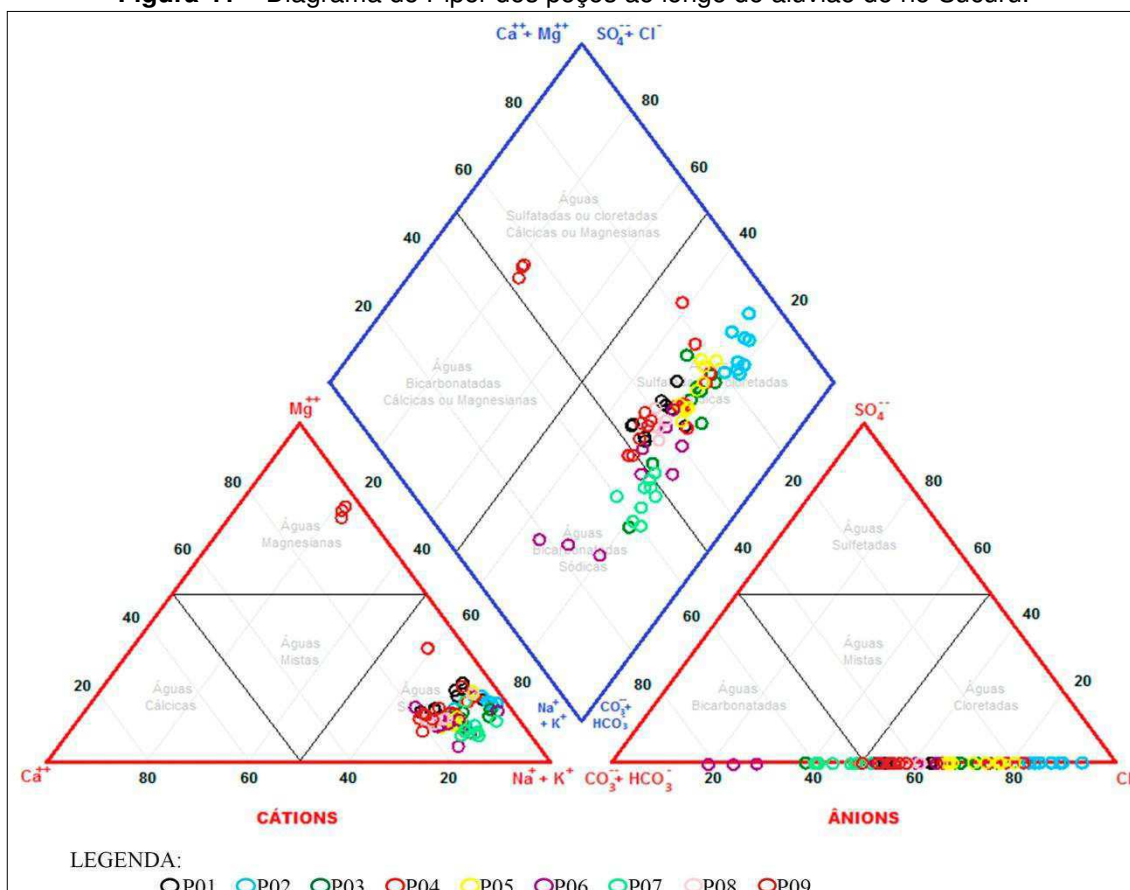
A utilização dessas águas para irrigação fica condicionada ao cultivo de espécies tolerantes à salinidade e que possuam uma boa absorção desses sais, de modo a reduzir os riscos de salinização e sodificação do solo. Oliveira *et al.* (2013) também encontraram níveis elevados de sais nas águas dos poços do assentamento da Chapada do Apodi-RN, caracterizada como uma região semiárida.

É importante destacar que os valores podem apresentar resultados diferentes das concentrações de sais entre os períodos de chuva e de seca, decorrente da diminuição do volume de água dos mananciais na estação seca e aumento na estação chuvosa (OLIVEIRA *et al.*, 2013), tornando-se indispensável a realização de novas coletas no período de chuva.

### 6.5.2 Classificação iônica

O Diagrama de Piper, obtido a partir dos parâmetros avaliados no presente trabalho é apresentado na Figura 41. Observa-se que água apresentou predominância da classe sódica cloretada (91%), havendo ocorrência em pequena proporção de água magnesiana cloretada (4%), sódica bicarbonatada (4%) e cloretada mista (1%). No entanto, quando se consideram os cátions e os ânions separadamente, 95% das amostras se apresentaram como sódicas com relação aos cátions e 96% como cloretadas quanto aos ânions.

**Figura 41** – Diagrama de Piper dos poços ao longo do aluvião do rio Sucurú.



## **6.6 Classificação segundo a Resolução CONAMA nº 396/2008**

Na região de estudo há predominância no uso das águas do aquífero aluvial para irrigação, diante disso os parâmetros escolhidos para classificação foram cloreto, sódio, além dos mínimos exigidos pela resolução, sólidos dissolvidos totais, nitrato, coliformes termotolerantes e *E. coli*. Dentre estes indicadores os que, em maior número de amostras, não atenderam os padrões de qualidade foram SDT, coliformes termotolerantes e *E. coli*.

Considerando a presença de coliformes e as altas concentrações de cloretos como indicadores de impactos antrópicos, pode-se concluir que as águas subterrâneas da área de estudo possuem suas características naturais alteradas pela ação das atividades humanas. Assim, essas águas não podem estar nas classes especial, 1 e 2, pois nessas classes elas não podem receber interferências externas que comprometam sua qualidade natural.

Confrontando os resultados dos indicadores qualitativos das águas dos poços com os valores estabelecidos na Resolução Conama nº 396/2008 e na Portaria MS nº 2.914/2011, fica evidente a necessidade de tratamento nas águas de todos os poços quando for considerado o consumo humano. Todavia a água do aluvião pode ser utilizada para a irrigação considerando os riscos de salinização do solo.

Contudo, o aquífero aluvial do Rio Sucurú pode ser qualificado na Classe 4, pois as águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas somente podem ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo (CONAMA, 2008).

## **6.7 Influência das barragens subterrâneas na qualidade das águas do aquífero aluvial**

Analisando os resultados de coliformes termotolerantes e condutividade elétrica a montante (poço P04) e jusante (poço P05) da primeira barragem subterrânea, a montante (poço P06) e a jusante (poço P07) da segunda barragem e a montante (poço P08) e jusante (poço P09) da terceira barragem, observamos na

Tabela 11 – Poços a jusante e montante de barragens subterrâneas que não houve influência das barragens com relação aos microrganismos, em todos os casos ocorreram aumento nas concentrações, devido às fontes pontuais de poluição. Para condutividade elétrica entre os poços P04 e P05, P06 e P07 houve uma redução muito pequena, de 2,27 para 2,26 mS/cm, e 1,08 para 1,01 mS/cm, respectivamente, e do poço P08 para o P09 ocorreu um acréscimo na concentração da CE de 1,26 para 1,32 mS/cm. Logo, a influência das barragens subterrâneas foi insignificante.

**Tabela 11 – Poços a jusante e montante de barragens subterrâneas**

Poços	Valores Médios CTT	Valores Médios CE
P04	1,29	2,27
P05	1,66	2,26
P06	30,90	1,08
P07	42,35	1,01
P08	21,93	1,26
P09	90,89	1,32

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são apresentadas as considerações finais em relação aos objetivos da pesquisa, destacando que essas conclusões são restritas a esse estudo e ao período de monitoramento considerado neste trabalho.

- O aquífero aluvial, que faz parte da área de estudo, abastece a agricultura e pecuária, suprimindo a escassez de água dessa região;
- Foram identificadas fontes de poluição do aquífero aluvial do rio Sucurú, por atividades antropogênicas na zona urbana. A maior parte das fontes poluidoras observadas refere-se ao lançamento de esgoto sem tratamento, lava-jatos e postos de combustível;
- Ao comparar os resultados dos indicadores de qualidade avaliados com os valores de referência da Resolução Conama 396/2008 e Portaria do MS 2914/2011 foram observadas violações do VMP, na maioria dos poços, para coliformes termotolerantes, E. coli, turbidez, sólidos dissolvidos totais, sódio, cloretos e dureza;
- O aquífero apresenta níveis elevados de sais os quais restringem o uso das águas na irrigação, a qual fica condicionada ao cultivo de espécies tolerantes à salinidade e com cuidados especiais no manejo do solo;
- Na campanha de coleta não foi possível observar a influência das chuvas nos parâmetros analisados, pois o ano foi atípico e não houve chuvas significativas;
- A região de estudo foi caracterizada com grau de vulnerabilidade média, de acordo com o grau de confinamento, ocorrência de estratos de cobertura e distância até o teto do aquífero;
- Relacionando os resultados obtidos com o valor máximo permitido da Resolução Conama 396/2008, o aquífero aluvial do Rio Sucurú foi qualificado na Classe 4 podendo suas águas serem utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo ou em atividades que não exijam requisitos de qualidade para uso;
- As barragens subterrâneas não influenciaram significativamente nas concentrações dos indicadores avaliados, condutividade elétrica e bactérias termotolerantes;

- A ausência de proteção dos recursos subterrâneos na área em estudo é evidenciada pelo comprometimento da qualidade das águas, pela quantidade de poços perfurados sem os critérios técnicos necessários e em locais inadequados, ausência de laje de proteção sanitária, altura inadequada da boca do poço e ainda pela elevada quantidade de atividades locais potencialmente poluidoras;
- As águas subterrâneas do aquífero aluvial do Rio Sucurú apresentam características de contaminação por esgoto sanitário, de acordo com os indicadores analisados. Dessa forma, a utilização desta água para múltiplos usos, sem tratamento, torna-se restrito.
- O presente trabalho servirá de subsídio para tomada de decisão no âmbito do projeto BRAMAR, para avaliação da capacidade de filtração do solo na região do aquífero do rio Sucurú.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. **Águas Subterrâneas: Suporte para uma revolução agrícola no Nordeste**. II Fórum NORDESTE 2030, 2015.

ABREU, R. L. **Localização de Sumé**. Imagem (.svg). Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Sum%C3%A9\\_\(Para%C3%ADba\)#/media/File:Paraiba\\_Municip\\_Sume.svg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Sum%C3%A9_(Para%C3%ADba)#/media/File:Paraiba_Municip_Sume.svg)>. Acesso em julho/2016. 2016.

ALBUQUERQUE, J. P. T. **Sustentabilidade de aquíferos**. Mesa redonda. Tema: Sustentabilidade de aquíferos. Anais em CD-ROM. In: VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, São Luís-MA, 2004.

ALVES, E. J. C. **Potencialidade e manejo dos recursos hídricos do Aquífero Aluvial em Sumé – PB**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB, 2016.

ALVES JÚNIOR, W. J. F. A água e seus diferentes domínios: Gestão dos recursos hídricos no Brasil exigem mudanças fundamentais. **Scientific American Brasil**. Ed. 97. 2010.

ANA – Agência Nacional das Águas. **Atlas do Brasil: abastecimento urbano da água – panorama nacional**. Brasília – DF: ANA, 2010.

ANA – Agência Nacional das Águas. **Alternativas organizacionais para gestão de recursos hídricos**. Brasília – DF: ANA, 2013.

ANA – Agência Nacional das Águas. **Conjuntura dos Recursos Hídricos: Edição Especial**. Brasília – DF: ANA, 2015.

APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22 th ed. Washington, D.C. 2012.

ASEVEDO, K. C. S.; JERÔNIMO, C. E. M. **Diagnóstico ambiental de postos de lavagem de veículos (lava-jatos) em Natal-RN**. Revista Scientia Plena, v. 8, n. 11, 2012.



BAHIA, V. E.; FENZI, N.; LEAL, L. R. B.; MORALES, G. P.; LUÍZ, J. G. Caracterização hidrogeoquímica das águas subterrâneas na área de abrangência do reservatório de abastecimento público do Utinga – Belém (PA). **Águas Subterrâneas**, v.25, n.1, p.43-56, 2011.

BARBOSA JÚNIOR, A. R. **Elementos de Hidrologia Aplicada: Água Subterrânea - Hidráulica de Poços**. São Paulo: USP, 2007.

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Águas Subterrâneas**. Informe Infra-Estrutura. 2002.

BORGUETTI, N. R. B.; BORGUETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. **Aqüífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul**. Curitiba: Imprensa Oficial, 2004.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília - DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. **Lei Federal nº. 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos hídricos. Brasília – DF: D.O.U. de 09/01/1997. 1997.

BURTE, J. D. P.; COUDRAIN, A.; MARLET, S. Use of Water from Small Alluvial Aquifers for Irrigation in Semi-arid Regions. **Revista Ciência Agronômica**. V. 42. N. 3. P. 635-643. 2011.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil. **SUMÉ – FOLHA SB.24-Z-D-V**. Brasília – DF: CPRM, 2000.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil. **Teoria dos aquíferos**. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1377&sid=129#PTSEC-RHI>>. Acesso em janeiro de 2016. 2011.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº. 396, de 03 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Brasília – DF: CONAMA, 2008.

ERTEL, T.; LÖBLER, C. A.; SILVA, J. L. S. **Índice de vulnerabilidade das águas subterrâneas no município de Rosário do Sul, Rio Grande do Sul**. Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. 7(7), 1400-1408, 2012.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. In: Feitosa, F. A. C. et al. (2ª Ed.). Rio de Janeiro: CPRM – LABHID, 2000.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMÉTRIO, J. G. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. CPRM, 3. ed., Fortaleza, 812 pp, 2008.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Protección de la Calidad del Agua Subterránea guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales**. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial. Washington, USA, 2002

FOSTER, S.; HIRATA, R.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. Brasília – DF: Groundwater Management Advisory Team, 2006.

FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. B.; CHAVES, L. H. G.; LIMA, E. R. V. Detecção de mudança da vegetação de caatinga. **Revista Brasileira de Geografia Física**. 5(6), 1473-1487, 2012.

HAGER, F. P. V.; D'ALMEIDA, M. L. **Águas subterrâneas e o Direito Constitucional**. In: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Natal – RN: Anais, 2008.

HEM, J. D. **Study and Interpretation of the Characteristics of Natural Waters**, Geological Survey Water-Supply Paper, 3. ed, Washington, 265p, 1985.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010**. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br>>. Acesso em Dezembro/2015. 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produto Interno Bruto dos Municípios: período de 2010 a 2013 (série revisada)**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pibmunicipios/2010/>>. Acesso em agosto / 2016. 2013.

INSA. Instituto Nacional do Semiárido. **Sinopse do Censo Demográfico para o Semiárido Brasileiro**. Disponível em: [http://www.insa.gov.br/censosab/index.php?option=com\\_content&view=article&id=95&Itemid=94](http://www.insa.gov.br/censosab/index.php?option=com_content&view=article&id=95&Itemid=94). Acesso em: 25 de outubro de 2016.2010.

KIRBY, J. M.; AHMAD, M. D.; MAINUDDIN, M.; PALASH, W.; QUADIR, M. E.; SHAH-NEWAZ, S. M.; HOSSAIN, M.M. The Impact of Irrigation Development on

Regional Groundwater Resources in Bangladesh. **Agricultural Water Management**. v. 159, p. 264-276, 2015.

KREBS, A. S. J. **Contribuição ao Conhecimento dos Recursos Hídricos Subterrâneos da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá, SC**. Tese de Doutorado. Departamento de Geociências. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC, 2004.

LIMA, J. O. G.; FRANÇA, A. M. M.; LOIOLA, H. G. Implicações Hidroquímicas da Condutividade Elétrica e do Íon Cloreto na Qualidade das Águas Subterrâneas do Semiárido Cearense. **Rev. Virtual Quim.**, 6 (2), 279-292. 2014.

MCNEELY, R. N.; NEIMANIS, V. P.; DWYER, L. **Water quality sourcebook: a guide to water quality parameters**. Ottawa, Canadá. 1979. 89 p.

MARCUZZO, F. F. N.; OLIVEIRA, N. L.; CARDOSO, M. R. D.; TSCHIEDEL, A. F. **Detalhamento hidromorfológico da Bacia do rio Paraíba**. In: XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. João Pessoa – PB: Anais, 2012.

MARTINEZ-SANTOS, P.; MARTÍNEZ-ALFARO, P. E.; SANZ, E.; GALINDO, A. Daily Scale Modelling of Aquifer-River Connectivity in the Urban Alluvial Aquifer in Langreo, Spain. **Hydrogeology Journal**. Volume 18. P. 1525-1537. 2010.

MEDEIROS, C. M.; **Proposta de enquadramento das águas subterrâneas na bacia sedimentar do baixo curso do rio Paraíba**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande. 2012.

MEDEIROS, C. M.; BARBOSA, D. L.; RIBEIRO, M. A. F. M.; SANTOS, A. F. D.; ALBUQUERQUE, J. P. T. A.; RÊGO, J. C. **Comparação dos métodos de vulnerabilidade na região do baixo curso do rio Paraíba, Brasil**. In: XIVth World Water Congress. Porto de Galinhas – PE. Anais: 2011.

MELLO, C. A. B. **Curso de Direito Administrativo**. Editora Malheiros: São Paulo, 2002.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Águas Subterrâneas: Um recurso a ser conhecido e protegido**. Brasília – DF: MMA, 2007.

MOURA, G. S. S.; BARBOSA, M. P.; MOURA, C. S.; SOUZA, M. M. P. S.; MOURA, A. E. S. S. **Uso do sensoriamento remoto na análise espaço temporal dos açudes Prata II e São Paulo, frente aos efeitos climáticos, município de Prata-PB.** In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife – PE: Anais, 2010.

MS – MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria MS nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011.** Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília – DF: MS, 2011.

NAKAMURA, C. Y.; MARQUES, E.; VILELA, P.; ODA, T; LIMA, L.; COSTA, R.; AZEVEDO, I. C. Avaliação da qualidade da água subterrânea no entorno de um aterro sanitário. **Águas Subterrâneas.** Ed. 28. Nº 2. P. 28-40. 2014.

NUNES, L.; FERNANDES, J.; CARDOSO, J.; PARENTE, J.; ALMEIDA, P.; BETTENCOUT, T. **Disponibilidade de água doce no planeta:** Existe água doce suficiente para satisfazer as necessidades do planeta? Lisboa, Portugal: Universidade do Porto, 2009.

OLIVEIRA, H. A.; BEZERRA, H. N.; ARAÚJO, J. M. S.; TAVARES, L. A. F. Qualidade de águas de poços dos assentamentos da Chapada do Apodi-RN para o uso na agricultura. **HOLOS**, ano 29, v. 1, 2013.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental.** 12. ed. Piracicaba: Livraria Nobel, 1985.

PMS – Prefeitura Municipal de Sumé. **Informações do município.** Disponível em: <[www.sume.pb.gov.br/](http://www.sume.pb.gov.br/)>. Acesso em abril/2016. 2015.

PRATES, M.; GATTO, L.L.S.; COSTA, M.L.P. **Geomorfologia.** In: Projeto RADAM BRASIL. Folha SB. 24/25 Jaguaribe/Natal: Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso da terra. Rio de Janeiro, 1981.

SCHEIDEGGER, A. E. Theoretical Geomorphology. **Springer-Verlag.** Berlin, Göttingen. Heidelberg, 1961.

SCOPEL, R. M.; TEIXEIRA, E. C.; BINOTTO, R. B. Caracterização hidroquímica de água subterrânea em área de influência de futuras instalações de usinas hidrelétricas – Bacia hidrográfica do Rio Taquarintas/RS, Brasil. **Revista Química.** São Paulo: Nova. v. 28, n. 3, p. 383-392, 2005.

SETH, O. N.; TAGBOR, T. A.; BERNARD, O. Assessment of chemical quality of groundwater over some rock types in Ashanti Region, Ghana. **American Journal of Scientific and Industrial Research**, 5(1): 1-6, 2014.

SEMA – SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Nascentes protegidas e recuperadas**. Curitiba – PA: SEMA, 2010.

SEMADS – Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Bacias Hidrográficas e Recursos Hídricos da Macrorregião: Bacia da Baía de Sepetiba**. Cooperação Técnica Brasil-Alemanha. Projeto PLANÁGUA-SEMADS-GTZ. Rio de Janeiro, 2001.

SIAGAS - **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. Banco de dados 2013**. Disponível em: <[http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa\\_coordenada.php](http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_coordenada.php)>. Acesso em abr. 2015, 2013.

SILVA NETO, A. F. **Avaliação dos Recursos Hídricos e Uso da Terra na Bacia do alto Rio Sucuru, com base em Imagens TM/LANDSAT-5**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande – PB, 1993.

SILVA, M. B. R.; AZEVEDO, P. V.; ALVES, T. L. B. Análise da degradação ambiental do alto curso da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba. **Bol. Goia. Geogr.** (Online). Goiânia, v. 34, n. 1, p. 35-53, jan./abr. 2014.

SHIKLOMANOV, I. A.; RODDA, J. C. **World water resources at the beginning of the 21<sup>st</sup> century**. Cambridge, UK: UNESCO International Hydrology Series, 2003.

SNIRH - Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. **Sistemas Aquíferos**. Disponível em: <[www2.snirh.gov.br/arquivos/salvkw354dae/4-TEXTO.pdf](http://www2.snirh.gov.br/arquivos/salvkw354dae/4-TEXTO.pdf)> Acesso em março/2016. 2013.

SILVA, L. B. P. **Disponibilidade de água para as plantas e evapotranspiração em um cerrado denso, um cerrado *strictu sensu* e uma pastagem plantada**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ecologia. Universidade de Brasília. Brasília – DF, 2003.

SOUZA, M. M. S. **A dominialidade das águas e a questão das fontes situadas em propriedade privada**. In: **Âmbito Jurídico**, Rio Grande, XII, n. 63, abr 2009. Disponível em: <[http://www.ambito-juridico.com.br/site/index.php?n\\_link=revista\\_artigos\\_leitura&artigo\\_id=5926](http://www.ambito-juridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=5926)>. Acesso em agosto/ 2016. 2009a.

SOUZA, N. M. **Vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas – Um estudo do aquífero Bauru na zona urbana de Araguari, MG.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia – MG, 2009b.

SOUSA, R. P.; SILVA, G. O.; PIRES, M. A.; MARINHO, A.; BARBOSA, D. L. **Diagnóstico do risco de sódio e salinização causados pela irrigação com água de poços no aluvião do rio Sucurú, no município de Sumé – PB.** In: II Workshop Internacional sobre água no semiárido brasileiro. Campina Grande – PB: Anais, 2015.

TODD, D. K.; MAYS, L. W. **Grondwater Hydrology.** 3ª Ed. Califórnia e Arizona. Wiley, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação/** Organizado por Carlos E. M. Tucci. Porto Alegre. Ed. da Universidade: ABRH. EDUSP, 1993.

VIEIRA, L. J. dos S. **Emprego de um Modelo Matemático de Simulação do Fluxo Subterrâneo para Definição de Alternativas de Exploração de um Aquífero Aluvial.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande – PB , 2002.

VILLAR, P. C. **Gestão das áreas de recarga do Aquífero Guarani: o caso do município de Ribeirão Preto.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental. Universidade de São Paulo. São Paulo – SP, 2008.

WREGGE, M. **Termos Hidrogeológicos Básicos.** São Paulo: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 1997.