



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS – CTRN  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL - UAEC

DÉBORA LAÍS RODRIGUES DE MEDEIROS

AVALIAÇÃO DO USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM DUAS MICROBACIAS  
URBANAS NO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE - PB

Campina Grande – PB

2017

DÉBORA LAÍS RODRIGUES DE MEDEIROS

AVALIAÇÃO DO USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM DUAS MICROBACIAS  
URBANAS NO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE - PB

Monografia de Graduação apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador (a): Prof. (a). Dra. Patrícia Hermínio Cunha Feitosa

Ma. Rayssa de Lourdes Carvalho Marinho do Rêgo

Campina Grande – PB

Setembro de 2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS – CTRN  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL - UAEC

FOLHA DE APROVAÇÃO

Débora Laís Rodrigues de Medeiros

AValiação DO USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM DUAS MICROBACIAS  
URBANAS NO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE - PB

Trabalho apresentado como avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso como um dos pré-requisitos para a obtenção do grau de Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

---

Prof. (a). Dra. Patrícia Hermínio Cunha Feitosa  
(Orientadora – Universidade Federal de Campina Grande)

---

Ma. Rayssa de Lourdes Carvalho Marinho do Rêgo  
(Coorientadora – Universidade Estadual da Paraíba)

---

Prof. (a). Dra. Andréa Carla Lima Rodrigues  
(Examinador interno – Universidade Federal de Campina Grande)

---

Me. Whelton Brito dos Santos  
(Examinador externo – Universidade Federal de Campina Grande)

Campina Grande – PB

Setembro de 2017

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me dar forças para iniciar essa jornada e iluminar meus caminhos.

Aos meus avós, minhas tias, Valquíria e Cesária, e meus pais, Ana Maria e José Robério, por sempre me apoiarem e incentivarem em todas as minhas decisões e, me ajudarem a chegar nesta etapa da vida.

Aos meus irmãos, Érica e Artur, pelo enorme incentivo e por sempre estarem ao meu lado.

Aos meus professores, por me passarem todo o conhecimento que hoje obtenho.

Aos Engenheiros Civis, José Batista e Antônio Leomar por toda paciência e dedicação que tiveram durante meu estágio.

A minha amiga Rosilania Fernandes, por me acompanhar durante a graduação, me apoiar em todas as minhas decisões e proporcionar vários momentos de alegria.

A meu noivo Fábio Eric por me ajudar nesta jornada, me mostrar que a vida pode ser bela e tornar os meus dias mais felizes.

A Maria Teresa e a Gustavo Viana, os melhores colegas de laboratório. Por toda paciência e dedicação.

A minha coorientadora Rayssa de Lourdes Carvalho Marinho do Rêgo, que me aceitou para orientar e juntas enfrentar uma longa jornada e dias no laboratório, compartilhamos frustrações, mas também vários momentos de conquistas, sem você esse trabalho não seria possível.

A professora e minha orientadora Patrícia Hermínio Cunha Feitosa, que aceitou prontamente o convite de orientação. Agradeço por me ajudar a enfrentar os desafios da vida acadêmica

## RESUMO

A região Nordeste do Brasil vem enfrentando uma seca severa desde 2012. O açude Epitácio Pessoa, que abastece trinta municípios, entre eles Campina Grande, chegou a 2,9% do seu volume total em abril de 2017. Em dezembro de 2014 as cidades abastecidas pelo açude entraram no regime de racionamento de água, como consequência houve um acréscimo da procura por novas fontes de abastecimento, como a água de chuva, de caminhão pipa e água subterrânea. Dentro do contexto, da importância das águas subterrâneas como fonte alternativa para o abastecimento urbano, realizou-se a avaliação do uso das águas subterrâneas em duas microbacias urbanas na cidade de Campina Grande – PB. A metodologia abrange elaboração e aplicação de questionário com o objetivo de caracterizar o uso da água na área de estudo. Além de coleta e análise de água subterrânea de cinco pontos amostrais para relacionar a qualidade da água subterrânea e seus múltiplos usos ao que está estabelecido na Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e na Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde (MS).

**Palavras-Chave:** Microbacia, Água Subterrânea, Qualidade da Água, Usos Múltiplos.

## ABSTRACT

Brazil's northeast region has been facing a severe drought since 2012. Epitácio Pessoa water reservoir, which supplies thirty counties, Campina Grande city among them, reached 2,9% of its capacity in April 2017. In December 2014 a watering schedule was established for those counties, as a consequence, there was an increase on the search for alternative water sources such as rain water, groundwater and tank trucks. In this scenario, the importance of groundwater as an alternative font for urban supply, it is intended to do an evaluation on the groundwater uses in two urban micro-drainage basins at Campina Grande city. The methodology covers a survey's elaboration and application with the objective of describing the water uses in the study field. Besides the collection and analysis of groundwater in five sampling points, because it is intended to relate the groundwater quality and its multiple uses according to what is established by the Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) Resolution nº 396, from April 3, 2008 and by Ministério da Saúde (MS) ordinance nº 2.914, from December 12, 2011.

**Keywords:** Micro-watershed, Groundwater, Water Quality, Multiple uses.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - NOVA DELIMITAÇÃO DO SEMIÁRIDO NORDESTINO .....	15
FIGURA 2 - VARIAÇÃO DO VOLUME DO AÇUDE EPITÁCIO PESSOA NOS ÚLTIMOS ANOS .....	18
FIGURA 3 - FLUXOGRAMA DE ATIVIDADES PARA ELABORAÇÃO DA MONOGRAFIA .....	28
FIGURA 4 - ÁREA DE ESTUDO .....	29
FIGURA 5 - PORÇÕES DOS BAIRROS NAS MICROBACIAS .....	31
FIGURA 6 - PONTOS DE APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO .....	33
FIGURA 7 - PONTOS DE COLETA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA ÁREA DE ESTUDO .....	34
FIGURA 8 - PHMETRO .....	36
FIGURA 9 - CONDUTIVÍMETRO .....	36
FIGURA 10 - TURBIDÍMETRO .....	36
FIGURA 11 - TIPO DE EDIFICAÇÃO NAS MICROBACIAS .....	37
FIGURA 12 - ARMAZENAMENTO DE ÁGUA ANTES E DURANTE O RACIONAMENTO .....	38
FIGURA 13 - CENÁRIOS DA UTILIZAÇÃO DE FONTES ALTERNATIVAS NAS EDIFICAÇÕES ENTREVISTADAS .....	39
FIGURA 14 - USOS DA ÁGUA FORNECIDA PELA CAGEPA .....	39
FIGURA 15 - QUANTIDADE DE ENTREVISTADOS QUE PERCEBERAM ALTERAÇÃO NA ÁGUA FORNECIDA PELA CAGEPA POR TIPO DE ALTERAÇÃO .....	40
FIGURA 16 - QUANTIDADE DE EDIFICAÇÕES POR TIPO DE MUDANÇA DAS ATIVIDADES DIÁRIAS ..	41
FIGURA 17 - RESUMO ESTATÍSTICO DOS VALORES DE PH .....	41
FIGURA 18 - RESUMO ESTATÍSTICO DOS VALORES DE TURBIDEZ (UT) .....	42
FIGURA 19 - RESUMO ESTATÍSTICO DOS VALORES DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA A 25°C (MS/CM) .....	43
FIGURA 20 - RESUMO ESTATÍSTICO DOS VALORES DE DUREZA TOTAL (MGCACO <sub>3</sub> /L) .....	44
FIGURA 21 - RESUMO ESTATÍSTICO VALORES DOS DE SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDO (MG/L) .....	45
FIGURA 22 - RESUMO ESTATÍSTICO VALORES DE TEMPERATURA (°C) .....	46
FIGURA 23 - USOS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA ÁREA DE ESTUDO .....	47
FIGURA 24 – CARACTERÍSTICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA ÁREA DE ESTUDO SEGUNDO A PERCEPÇÃO DOS USUÁRIOS .....	47

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - NÚMERO DE DOMICÍLIOS INSERIDOS NAS PORÇÕES DOS BAIRROS NAS MICROBACIAS A MONTANTE E A JUSANTE DO AÇUDE VELHO .....	31
TABELA 2 - AMOSTRA ESTRATIFICADA .....	32
TABELA 3 - PARÂMETROS ANALISADOS E METODOLOGIA UTILIZADA .....	35

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
ANA	Agência Nacional de Águas
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
CE	Condutividade Elétrica
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
FNE	Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LQP	Limites de Quantificação Praticáveis
MI	Ministério da Integração Nacional
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MS	Ministério da Saúde
PNDR	Política Nacional de Desenvolvimento Regional
pH	Potencial Hidrogeniônico
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SDT	Sólidos Totais Dissolvidos
SPI	Standardized Precipitation Index
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
VMP	Valores Máximos Permitidos

## LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Graus Celsius
μS/cm	Micro Siemens por centímetro
Ba	Bário
CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de Cálcio
Cu	Cobre
ε	Erro amostral
Fe	Ferro
mg/L	Miligrama por litro
Mn	Manganês
mS/cm	Mili Siemens por centímetro
N	Nº de elementos da amostra
S	Siemens
Uh	Unidade Hazen
uT	Unidade de Turbidez
Z <sub>r</sub>	Variável aleatória correspondente ao valor da probabilidade Y

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	13
1.1 OBJETIVOS .....	14
1.1.1 OBJETIVO GERAL .....	14
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	15
2.1 O SEMIÁRIDO BRASILEIRO .....	15
2.2 ASPECTOS GEOAMBIENTAIS DO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE .....	16
2.3 CENÁRIO HÍDRICO DO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE .....	17
2.4 O USO DO GEOPROCESSAMENTO NA CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	19
2.5 HIDROGEOLOGIA DOS AQUÍFEROS .....	20
2.5.1 AQUÍFEROS .....	20
2.5.2 AQUÍFEROS FISSURAIS .....	21
2.5.3 QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS .....	22
3. METODOLOGIA .....	28
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	29
3.2 DETERMINAÇÃO E ESPACIALIZAÇÃO DA AMOSTRA .....	31
3.3 ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO .....	33
3.4 COLETA DAS AMOSTRAS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA .....	34
3.5 ANÁLISE DE PARÂMETROS .....	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	37
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO USO DA ÁGUA NA ÁREA DE ESTUDO .....	37
4.2 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA ÁREA DE ESTUDO .....	41
4.2.1 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO .....	41
4.2.2 TURBIDEZ .....	42

4.2.3 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA .....	43
4.2.4 DUREZA TOTAL .....	44
4.2.5 SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS .....	44
4.2.6 TEMPERATURA .....	45
4.3 AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE A QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA E SEUS MÚLTIPLOS USOS IDENTIFICADOS NA ÁREA DE ESTUDO .....	46
5. CONCLUSÕES.....	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	49
APÊNDICE .....	55

## 1. INTRODUÇÃO

O acesso à água potável e ao saneamento é um direito humano essencial, e está intrinsecamente ligado aos direitos à vida, à saúde, à alimentação e à habitação (DEL GRANDE et al., 2016).

No Brasil, o abastecimento de água é vivenciado de modo diferente em algumas regiões. Desde 2012 a região do Semiárido vem enfrentando uma seca severa que comprometeu o fornecimento de água em muitas cidades. Vários sistemas de abastecimento entraram em colapso ou foram submetidos ao racionamento.

Segundo a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA) dos 124 açudes monitorados, 1 reservatório está sangrando, 37 se encontram com capacidade armazenada superior a 20% do seu volume total, 44 estão em situação crítica (volume menor que 5% do seu volume total) e 42 estão em observação (volume menor que 20% do seu volume total), entre eles o açude Epitácio Pessoa que se encontra com 6,5% de seu volume (última medição em junho de 2017).

Em dezembro de 2014, Campina Grande e demais cidades e distritos abastecidos pelo açude Epitácio Pessoa entraram no regime de racionamento de água (DEL GRANDE et al., 2016). Como consequência houve um acréscimo na procura por novas fontes de abastecimento, o uso de água subterrânea como alternativa de garantia de abastecimento, além de outras práticas como aproveitamento de água de chuva, compra de carro pipa, aquisição de novas caixas d'água e construção de cisternas para ampliação da capacidade de armazenamento.

A água subterrânea vem sendo utilizada como alternativa para abastecimento. Para poder usá-la é necessário possuir outorga conforme Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, porém vários poços são perfurados ilegalmente e a qualidade de sua água é duvidosa, pois, muitas vezes, não há seu monitoramento.

Por isso a importância de investigar as diferentes fontes de água utilizadas pela população da área de estudo, as formas de armazenamento, tratamento e seus usos múltiplos. Neste trabalho serão tomadas como base para estudo duas microbacias hidrográficas, situadas na região central da cidade de Campina Grande para caracterizar o uso da água em edificações residenciais, comerciais e instituições públicas. Também pretende-se relacionar a qualidade da água subterrânea e seus múltiplos usos identificados ao que está estabelecido na Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e na Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde (MS).

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 *Objetivo geral***

Avaliar o uso da água subterrânea em duas microbacias urbanas no município de Campina Grande – PB.

### **1.1.2 *Objetivos específicos***

- Caracterizar o uso da água em duas microbacias urbanas, por meio da aplicação de questionário na área em estudo.
- Caracterizar a qualidade de água subterrânea em cinco pontos amostrais, por meio de análises de parâmetros físico-químicos.
- Estudar a possibilidade de uso da água subterrânea na área de estudo, relacionando sua qualidade e seus múltiplos usos ao que está estabelecido na Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008 e na Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 O semiárido brasileiro

Para a delimitação das áreas de ocorrência de seca no Brasil, o Ministério da Integração Nacional (MI) e o Ministério do Meio Ambiente (MMA) definiram os limites da nova região semiárida do Brasil (Figura 1), que atendem aos seguintes critérios: Índice de Aridez de Thornthwaite, de 1941; Precipitação/Isoieta de 800mm; Percentual Diário de Déficit Hídrico (CGEE, 2012).

Figura 1 - Nova delimitação do Semiárido Nordestino



Fonte: Ministério da Integração Nacional (2017)

A Nova Região Semiárida do Nordeste foi fundada no âmbito das premissas e dos objetivos da Política Nacional de Desenvolvimento Regional (PNDR), posta em prática sob o comando do MI. A nova região semiárida possui área total de 982.563,3m<sup>2</sup> totalizando um

acréscimo de 9,08% em relação a antiga região. É composta por 1.133 municípios pertencentes aos Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe Bahia e Minas Gerais (BRASIL, 2005).

“A região semiárida, além dos baixos índices pluviométricos, se caracteriza por apresentar temperaturas elevadas durante todo ano, baixas amplitudes térmicas, forte insolação e altas taxas de evapotranspiração.” (ANA, 2015, p. 54). Ademais a região é acometida pela seca, um período cíclico e longo de estiagem. O déficit pluviométrico combinado as elevadas temperaturas e altas taxas de evapotranspiração geram um balanço hídrico negativo.

## **2.2 Aspectos geoambientais do município de Campina Grande**

No interior do Semiárido brasileiro encontra-se o Planalto da Borborema, onde Campina Grande está inserida. O Planalto da Borborema é um grande núcleo cristalino isolado, com formação geológica de idade pré-cambriana aplainada pela erosão que atinge altitudes da ordem de 1.000 m (CGEE, 2012).

Corrêa et al. (2010), descreve o Planalto da Borborema como sendo todo o setor de terras altas, acima de 200 metros, situado a norte do rio São Francisco, estruturado de diversas rochas cristalinas, sistemas de dobramentos brasileiros e intrusões ígneas.

Segundo Macedo et al. (2011) a cidade de Campina Grande possui temperaturas amenas durante todo o ano, entre 16 a 32 °C, com umidade relativa do ar de 80% e precipitação média anual de 804,9 mm. Ainda em seu estudo pôde, através do Índice Padronizado de Precipitação (Standardized Precipitation Index - SPI), monitorar as secas e chuvas no município usando apenas os dados mensais de precipitação. Dessa forma, constatou que Campina Grande possui precipitações normais e que as chuvas anuais sempre ocorrem em torno do valor esperado.

No estudo de classificação dos solos da Paraíba realizado pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), encontrou-se quatro diferentes tipos de solo no município (EMBRAPA, 2006 apud TSUYUGUCHI, 2015):

- REGOSOL DISTRÓFICO em fase floresta caducifólia relevo suave ondulado;
- Associação de SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS em fase pedregosa e rochosa floresta caducifólia relevo forte ondulado e montanhoso substrato gnaisse e granito e AFLORAMENTO DE ROCHA E BRUNO NÃO CÁLCICO planossólico em fase floresta caducifólia relevo ondulado e forte ondulado;

- VERTISOL em fase floresta caducifolia relevo ondulado;
- E associação de SOLONETS SOLODIZADO em fase caatinga hipoxerófila relevo plano e suave ondulado e SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS em fase pedregosa caatinga hipoxerófila relevo suave ondulado substrato gnaisse e granito e PLANOSOL SOLÓDICO em fase caatinga hipoxerófila relevo suave ondulado.

### **2.3 Cenário hídrico do município de Campina Grande**

No semiárido brasileiro, a maioria dos municípios são abastecidos por mananciais superficiais, cuja oferta de água depende quase que exclusivamente da reposição dos estoques hídricos por rios intermitentes, que apresentam escoamento superficial durante a estação chuvosa, porém no período de estiagem desaparecem temporariamente comprometendo o abastecimento de água (BRITO, 2008).

O município de Campina Grande é abastecido pelo açude Epitácio Pessoa, popularmente conhecido por açude de Boqueirão, distante aproximadamente 40 km do município e inserido na bacia hidrográfica do rio Paraíba, o manancial foi construído pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), entre 1952 a 1956, e foi inaugurado em janeiro de 1957 pelo presidente Juscelino Kubtscheck (XAVIER; ANDRADE; NETO, 2013).

O açude Epitácio Pessoa possui capacidade máxima de 411.686.287 m<sup>3</sup> e, em 18 de abril de 2017 detinha 2,9% de seu volume, na mesma data começou a receber as águas da transposição do rio São Francisco, no dia 20 de junho de 2017 o açude detinha 6,5% de seu volume, recuperando 3,6% em 62 dias, segundo dados da Agência Executiva de Gestão de Águas da Paraíba (AESPA). O açude supre cerca de 30 municípios da região, entre eles Campina Grande, Barra de Santana, Queimadas, Caturité, Pocinhos, Lagoa Seca, Matinhas e Alagoa Nova, além dos distritos de Galante e São José da Mata. Seus principais usos são abastecimento humano, dessedentação de animais, irrigação e industrial, exercendo uma importante função no desenvolvimento socioeconômico da Paraíba (LIMA et al., 2014).

Entre os anos de 1979 a 1983 e 1998 a 1999, o sistema de abastecimento de água do município de Campina Grande, quase entrou em colapso, devido a eventos de seca na região. (MACEDO; GUEDES; SOUSA, 2011). Brito (2008) destaca que as cidades abastecidas pelo açude Epitácio Pessoa entre os anos de 1998 a 1999 enfrentaram a pior crise hídrica da sua história até aquela data, gerando problemas sociais e econômicos para a região.

O manancial enfrenta outra seca prolongada que se iniciou em 2011, desde esse ano o esvaziamento foi contínuo até o dia da chegada da transposição, como se observa na Figura 2.

Figura 2 - Variação do volume do açude Epitácio Pessoa nos últimos anos



Fonte: AESA (2017)

O Nordeste Brasileiro vem enfrentando uma seca severa desde o ano de 2012, que além de impactar a zona rural, atingiu também o abastecimento de muitas sedes urbanas. (ANA, 2015). Em dezembro de 2014, Campina Grande e demais cidades e distritos abastecidos pelo açude Boqueirão entraram no regime de racionamento de água. O abastecimento passou a ser suspenso por 36 horas semanais, começando nos sábados e terminando nas segundas-feiras. Em junho de 2015, o racionamento foi aumentado para 60 horas semanais, a partir dos sábados até às terças-feiras. (DEL GRANDE et al., 2016).

Estudos, sobre a qualidade da água do sistema de distribuição, realizados durante o racionamento revelaram que a qualidade da água piorou ao longo dos anos devido ao decréscimo do volume do açude Epitácio Pessoa e as interrupções semanais no abastecimento.

Santos (2017) observou as concentrações de cloro residual no reservatório R5, que compõe o sistema de abastecimento da cidade de Campina Grande, e em pontos da rede de distribuição. O monitoramento demonstrou não conformidade com o estabelecido pela Portaria MS nº 2.914/2011. O pesquisador considera que a variação da qualidade pode ser atribuída ao período de crise hídrica enfrentado.

Januário (2013) analisou o sistema de abastecimento da cidade de Campina Grande, compreendendo a água tratada e a rede de distribuição, através dos indicadores cloro residual

livre, turbidez e pH. Concluiu que o sistema de abastecimento do município, embora empregue a supercloração na estação de tratamento, apresenta pontos na rede de distribuição com concentrações de cloro residual inferiores ao permitido pela Portaria MS nº 2.914/2011, o que aponta a vulnerabilidade sanitária da água servida.

Para enfrentar os períodos de escassez a população buscou novas fontes de recursos hídricos para suprir a demanda, entre elas, a água de caminhão pipa, poço, além da água da chuva armazenada em cisternas (TAVARES et al; 2007).

A água da chuva deve ser vista como uma solução para o abastecimento, tendo em vista o aumento populacional ao longo dos anos e conseqüentemente da demanda de água. No estudo, sobre o uso da água pluvial em áreas urbanas, realizado em alguns municípios do estado da Bahia, entre eles Juazeiro, que possui clima semelhante a Campina Grande, constatou a viabilidade do uso da água de chuva para abastecimento. Além disso, se verificou que a utilização de reservatórios de captação com volume de 500 litros reduz o consumo total de água do sistema público em 10%. (COHIM; GARCIA; KIPERSTOK, 2008).

O caminhão pipa, outra alternativa para captação de água, transformou-se em um sistema não convencional de abastecimento de água em muitas áreas do semiárido (CGEE, 2012). O uso da água do caminhão pipa ocorre quando a água armazenada não foi suficiente para satisfazer a demanda, ou o local/edificação possui cota topográfica elevada que impede que a água distribuída pela rede geral de abastecimento chegue a residência.

A água subterrânea é paulatinamente reconhecida como alternativa viável. Essas águas, que estão armazenadas nos poros e fraturas de formações rochosas profundas, são extraídas através de poços bem locados e construídos (SOUZA, 2009).

#### **2.4 O uso do geoprocessamento na caracterização das bacias hidrográficas**

O termo Geoprocessamento indica o conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional. As ferramentas computacionais para Geoprocessamento são os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que realizam o tratamento computacional de dados geográficos oferecendo ao administrador as informações

disponíveis, sobre um determinado assunto, inter-relacionadas com base na localização geográfica (CÂMARA; DAVIS e MONTEIRO, 2001).

O SIG permite realizar análises complexas de dados temáticos, como recursos hídricos e uso do solo (FERNANDES NETO, 2009). É um sistema computacional que contém ambiente, estrutura e ferramentas que facilitam a extração, armazenamento, processamento e visualização de dados, proporcionando agilidade e precisão na coleta de informações (TSUYUGUCHI, 2015).

## **2.5 Hidrogeologia dos aquíferos**

### **2.5.1 *Aquíferos***

Segundo Gonzaga (2011), do ponto de vista da água subterrânea nas formações geológicas, o termo aquífero se designa a um reservatório subterrâneo capaz de armazenar e transmitir água, independente das suas dimensões, porosidade e/ou continuidade.

Guerra (1993, p. 30) define como “aquífera a rocha cuja permeabilidade permite a retenção de água dando origem a águas interiores ou freáticas. ”

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), em sua Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008, define aquífero como corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes de dissolução e carreamento de materiais rochosos (CONAMA, 2008).

Gonzaga (2011) classifica os aquíferos em dois grandes domínios em relação aos mananciais subterrâneos, são eles os meios isotrópicos (porosos) e os meios anisotrópicos (cársticos e fissurais).

Aquíferos porosos - São formações geológicas, constituídas por rochas sedimentares clásticas, consolidadas ou não, sendo que a água fica retida nos espaços intergranulares (poros);

Aquíferos cársticos - Correspondem às rochas sedimentares e metamórficas carbonáticas, onde a atuação dos processos de dissolução gera feições propícias ao armazenamento de grandes quantidades de água (cavernas, dolinas...). Esses processos podem ter origem por meio de pequenas fissuras, que evoluindo com a dissolução poderá formar cavernas exíguas ou bastante grandes à dependendo do tempo em que a água estiver em contato com a rocha;

Aquíferos fissurais - É típico de rochas cristalinas (rochas magmáticas e metamórficas) onde a água se localiza em meio às descontinuidades pertinentes (fraturas, juntas, falhas, vesículas, aberturas de dissolução e foliação). (GONZAGA, 2011, p. 6)

As águas subterrâneas encontradas em aquíferos são águas que se acumularam ao longo de milhares de anos, não estão diretamente expostas às influências climáticas e o seu movimento é muito lento, implicando em tempo de trânsito muito longo (MANOEL FILHO, 2000).

### **2.5.2 Aquíferos fissurais**

A hidrogeologia dos aquíferos fraturados tem sua principal aplicação no domínio das rochas ígneas e metamórficas, denominadas como cristalinas. Nesse domínio, a matriz do maciço rochoso é caracterizada pela presença muito reduzida de espaços intergranulares na rocha, nela a água encontra-se em espaços representados por fraturas, juntas ou ainda em falhas (COSTA e SILVA, 2000).

Manoel Filho (2000) analisou a condição da água subterrânea em relação a permeabilidade primária e secundária. As rochas ígneas e metamórficas possuem porosidade praticamente nula, pois os vazios intercrystalinos condicionantes da porosidade são mínimos e não interconectados. Por isso a permeabilidade primária dessas rochas, expressa como condutividade hidráulica, propriedade que expressa a facilidade com que a água se movimenta na rocha, são extremamente pequenas. Em geral se observa, a nível mesoscópico, significativa ocorrência de fraturas que criam uma porosidade secundária, responsável pelo armazenamento e uma permeabilidade, que também se expressa como uma condutividade hidráulica, responsável pela circulação da água.

No Nordeste brasileiro, o aproveitamento de água subterrânea tornou-se uma alternativa devido ao déficit hídrico e os períodos de estiagem na região, mesmo com grande parte do seu território ocupado pelo embasamento cristalino. Nesses locais, a produtividade dos poços apresenta vazões muito baixas (inferiores a 3 m<sup>3</sup>/h) e a água possui elevada salinidade (ANA, 2015).

Com relação à hidráulica de poços, Gonzaga (2011) identifica pelo menos três tipos de reservatórios subterrâneos:

Primário – com porosidade primária, devido aos interstícios intergranulares criados durante o processo que originou a própria rocha e no qual é sempre possível admitir, na matriz, que forma o esqueleto sólido da rocha, uma velocidade macroscópica média representativa de um meio poroso contínuo.

Secundário – com porosidade exclusivamente secundária, produzida por fraturas ou por processos de dissolução em rochas com porosidade primária desprezível. Neste caso, o meio poroso (criado depois da origem da rocha) é marcado por forte

descontinuidade hidráulica e nele não se pode definir uma velocidade macroscópica média, representativa de um meio fraturado contínuo.

Misto – com dupla porosidade, ou seja, com porosidade primária e secundária, constituindo dois meios contínuos superpostos, em cada um dos quais é possível definir uma velocidade média macroscópica. Neste caso, estudam-se dois sistemas de fluxos fictícios, um no domínio dos poros e outros no domínio das fraturas. (GONZAGA, 2011, p. 10)

Costa (1999) identificou e analisou, em relação a disponibilidade hídrica, as fraturas nas rochas cristalinas em uma área de aproximadamente 25Km de raio e como ponto principal a cidade de Campina Grande. Para o estudo utilizou imagens de satélite da região em Escala 1:2.500.00 e várias técnicas de identificação das estruturas tectônicas da região como tonalidade, forma, densidade, declividade, textura, tamanho, sombra entre outras. Como resultado obteve que na região norte encontra-se uma falha transcorrente e vários poços artesianos, pois possui microáreas propícias ao armazenamento de água devido as fraturas existentes.

Na região sul de Campina Grande há a ocorrência de duas grandes falhas transcorrentes e fraturas transversais a falha, caracterizadas como fraturas de escoamento, e várias microáreas propícias ao armazenamento de água subterrânea.

Na região oeste existe uma falha regional que corta a região no sentido Leste-oeste, fraturas frequentes e vários poços ao longo destas, caracteriza-se uma área de condutividade de água devido ao alto grau de faturamento em várias direções e interseções.

E na região leste ocorrem três grandes falhas transcorrentes, além de fraturas frequentes com interseções entre elas, oferecendo condições para o armazenamento de água.

### ***2.5.3 Qualidade das águas subterrâneas***

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), em sua Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008, define as águas subterrâneas como as águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo (CONAMA, 2008).

As águas subterrâneas apresentam elevado padrão de qualidade físico-química e microbiológica em geral. Por serem naturalmente protegidas, mas não imunes, dos agentes de poluição e contaminação, essas águas dispensam, geralmente, um tratamento físico-químico para consumo humano (MMA, 2007). Exceto em casos de estarem em regiões semiáridas, zonas costeiras e em aquíferos rasos nas áreas urbanizadas (COSTA, 2000).

A forma como as rochas armazenam e transmitem a água subterrânea influencia diretamente na sua qualidade (ZOBY, 2008). A água é uma substância quimicamente muito ativa, que tem grande facilidade de dissolver e reagir com outras substâncias orgânicas e inorgânicas. A água subterrânea, ao lixiviar os solos e as rochas, ficam mais ricas em sais minerais, provenientes da dissolução dos seus minerais, por isso as águas subterrâneas têm concentrações de sais superiores às águas superficiais em geral (SANTOS, 2000).

As águas subterrâneas podem conter, localmente, quantidades de íons salinos superiores aos estabelecidos pelos padrões de potabilidade e, em casos mais extremos, apresentarem concentrações anormais de substâncias, decorrentes de despejos industriais e domésticos (SOUZA, 2009). Em aquíferos fissurais, nos quais há baixa circulação da água nas fraturas, associado a áreas com índice elevado de evaporação, as atividades antrópicas podem provocar a salinização do aquífero (MMA, 2007).

Cada vez mais os aquíferos estão em perigo de contaminação em decorrência da urbanização, do desenvolvimento industrial, das atividades agrícolas e das empresas de mineração (AMARAL; BAYER, 2015).

A qualidade da água subterrânea vem declinando muito lentamente, principalmente nas proximidades das zonas urbanas e industriais das cidades. A maioria dos poluentes é proveniente dos usos urbanos, industriais e da agricultura (SOUZA, 2009).

No Brasil, os problemas mais comuns nas águas subterrâneas estão relacionados com a superexploração, impermeabilização do solo e com a poluição. A superexploração pode afetar o escoamento básico dos rios, secar nascentes, influenciar os níveis mínimos dos reservatórios, induzir o deslocamento de água contaminada e salinizar as águas subterrâneas (MMA, 2007).

No meio urbano as águas subterrâneas estão suscetíveis a contaminação pela deposição inapropriada de resíduos sólidos a céu aberto. Nessas áreas, a chuva e o líquido resultante da degradação dos resíduos orgânicos infiltram no solo, carreando substâncias potencialmente poluidoras, metais pesados e organismos patogênicos. Além de contaminantes advindos da ineficiência no gerenciamento dos resíduos sólidos, a poluição gerada pelo lançamento de esgotos diretamente sobre o solo ou água, vazamento da rede coletora de esgoto e construção de fossa séptica de forma inadequada, também podem comprometer a qualidade das águas subterrâneas. (MMA, 2007).

Os fatores climáticos influenciam consideravelmente no quimismo das águas subterrâneas interferindo nos processos de diluição, concentração ou aumento da solubilidade (GOMES; CAVALCANTE, 2015)

A elevada salinidade das águas subterrâneas do cristalino semiárido nordestino está relacionada à baixa pluviometria, que faz com que os sais transportados pela chuva, acumulados no solo e fraturas não sejam lixiviados. A alta evaporação favorece a concentração dos sais (ZOBY, 2008).

No cristalino os problemas de qualidade das águas subterrâneas estão concentrados no semiárido do Nordeste. Os poços na região exploram fraturas isoladas, muitas vezes com grandes diferenças de salinidade de uma fratura para a outra vizinha. Assim como a falta de critérios de locação de poços, de programas de manutenção das obras de captação e os tornam muito elevada a quantidade de poços abandonados e desativados nas áreas do cristalino nordestino. (ZOBY, 2008) Poços construídos sem critério técnico, com revestimento corroído, abandonados sem o fechamento adequado, podem constituir vias importantes de contaminação. (MMA, 2007).

Nascimento e Barbosa (2005) analisaram a qualidade da água do aquífero no alto cristalino de Salvador, incluída em uma região urbana. Para o estudo determinaram o pH, temperatura, cor, turbidez, condutividade elétrica específica, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos, alcalinidade, dureza total, Ca, Mg, Na, K, bicarbonatos, cloretos, sulfatos, amônia, nitritos, nitratos e fosfatos. Concluíram que as águas subterrâneas dessa área são, em geral, de natureza cloretada sódica, a cor e a turbidez apresentaram alterações em poços abandonados. Os parâmetros nitrato, amônia e fosfatos estavam fora dos padrões devido a contaminação com esgotos domésticos e prováveis fossas sépticas.

#### 2.5.3.1 *Potabilidade das águas subterrâneas*

As características que delimitam o modelo de água destinada ao abastecimento doméstico, denomina-se padrões de potabilidade. Estes padrões compreendem critérios essenciais e critérios complementares. Os essenciais dizem respeito, principalmente, à proteção contra a contaminação por microrganismos patogênicos e contra a poluição por substâncias tóxicas ou venenosas. Os complementares visam o controle da qualidade no que diz respeito ao aperfeiçoamento da água em aspectos estéticos, organolépticos, econômicos, entre outros, que embora desejáveis, não são essenciais à proteção da saúde pública (SANTOS, 2000).

O CONAMA apresenta uma lista de parâmetros com maior probabilidade de ocorrência em águas subterrâneas, seus respectivos Valores Máximos Permitidos (VMP) para cada um dos usos considerados como preponderantes como consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação, e os Limites de Quantificação Praticáveis (LQP), considerados como aceitáveis para aplicação desta Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008.

Os VMPs são os limites máximos permitidos de um dado parâmetro, específico para cada uso da água subterrânea. E os LQPs, são definidos como a menor concentração de uma substância que pode ser determinada quantitativamente com precisão e exatidão, pelo método utilizado.

A Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde (MS), estabelece os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade à água destinada ao consumo humano proveniente de sistema e solução alternativa de abastecimento de água. Define solução alternativa de abastecimento como a modalidade de abastecimento individual ou coletivo destinada a fornecer água potável, com captação subterrânea ou superficial, com ou sem canalização e sem rede de distribuição.

#### *2.5.3.2 Parâmetros para características físico-químicas das águas subterrâneas*

As propriedades físicas são características de ordem estética e valores elevados de algumas delas podem causar certa repugnância aos consumidores. As características físicas da água como a temperatura, cor, odor e sabor, turbidez, condutividade elétrica e sólidos totais, Santos (2000) define como:

**Temperatura:** a amplitude térmica anual das águas subterrâneas em geral é baixa (de 1 a 2°C) e independente da temperatura atmosférica, a não ser nos aquíferos pouco profundos, onde a temperatura é um pouco superior à da superfície.

**Cor:** a cor é o resultado das substâncias dissolvidas na água, provenientes principalmente da lixiviação da matéria orgânica. Geralmente as águas subterrâneas apresentam valores de coloração inferiores a 5uH, mas de forma anômala podem atingir até 100uH. A Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, do MS, estabelece que para a potabilidade das águas subterrâneas a cor não deve ultrapassar o valor de 15uH.

**Odor e sabor:** o odor e sabor estão intimamente relacionados e, frequentemente, o que se chama de gosto é realmente percebido como odor. O sabor depende do teor e do tipo de sais e

gases dissolvidos além de outras substâncias em solução ou suspensão. Segundo o MS o valor máximo permitido é de 6 na escala de intensidade máxima de percepção.

Turbidez: é a medição da resistência da água à passagem de luz. É provocada pela presença de partículas em suspensão na água. O MS determina o valor máximo permitido de 5,0 uT.

Condutividade elétrica: é a medida de facilidade de uma água conduzir a corrente elétrica, estando diretamente ligada com o teor de sais dissolvidos sob a forma de íons. Até algum tempo atrás, a unidade mais usual para expressão da resistência elétrica da água era o mho (inverso de ohm), mas atualmente é recomendável a utilização da unidade S (Siemens). Enquanto que as águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar a 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (FUNASA, 2014).

Sólidos Totais Dissolvidos: é o peso total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume. Representa a concentração de todo o material dissolvido na água, seja ou não volátil. MS o valor máximo permitido é de 1.000mg/L.

As propriedades químicas são características de ordem molecular, das substâncias encontradas na água que influenciaram nas propriedades organolépticas, entre as principais características químicas estão a dureza e o pH.

Dureza: é definida como a concentração de cátions metálicos em solução, em geral usa-se o teor de cálcio e magnésio de uma água, expresso em teores de carbonato de cálcio, para definir a dureza.

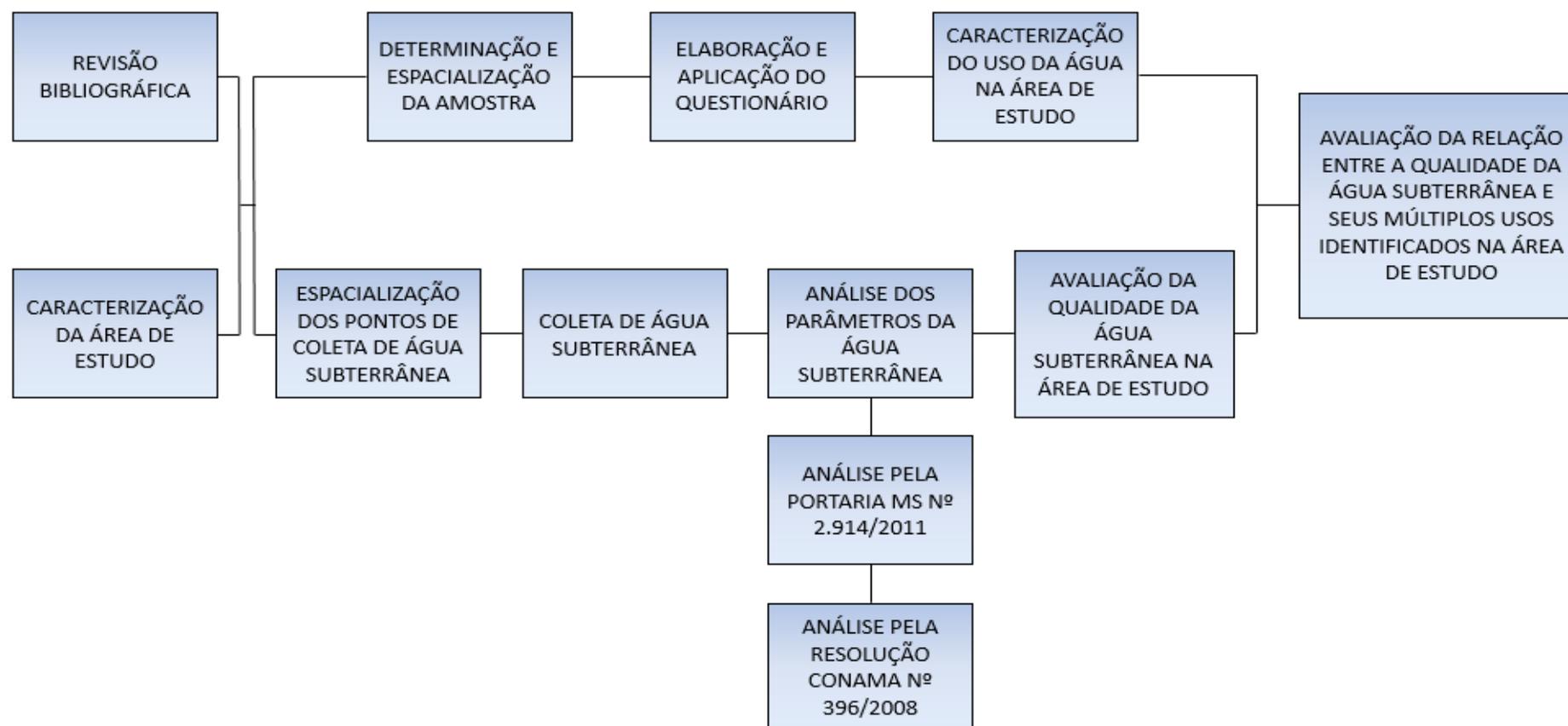
A dureza temporária ou dureza de carbonatos é causada pelos íons de cálcio e de magnésio que se combinam com o bicarbonato e o carbonato, podendo ser eliminada com a ebulição da água. A dureza permanente ou dureza não-carbonato da água é produzida pelos íons de cálcio e de magnésio que se combinam com os íons de sulfato, cloreto, nitrato e outros. A dureza total é a soma da dureza temporária com a dureza permanente. A dureza da água é expressa em mg/L de equivalente em carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e pode ser classificada em mole ou branda: < 50 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ; dureza moderada: entre 50 mg/L e 150 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ; dura: entre 150 mg/L e 300 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ; e muito dura: >300 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  (FUNASA, 2014). A dureza elevada pode trazer limitações para o uso da água, como em atividades domésticas e industriais, e alguns autores falam até em aumento de ocorrência de cálculos renais.

pH: é a medida de concentração hidrogeniônica da água ou solução, sendo controlado pelas reações químicas e pelo equilíbrio entre os íons presentes. Varia de 1 a 14, sendo neutro com o valor de 7, ácido com valores inferiores a 7 e alcalino ou básico com valores superiores a 7. O Ministério da Saúde (MS) recomenda que o pH da água seja mantido entre 6,0 a 9,5.

### 3. METODOLOGIA

A Figura 3 apresenta uma síntese das atividades que foram realizadas neste trabalho.

Figura 3 - Fluxograma de atividades para elaboração da monografia



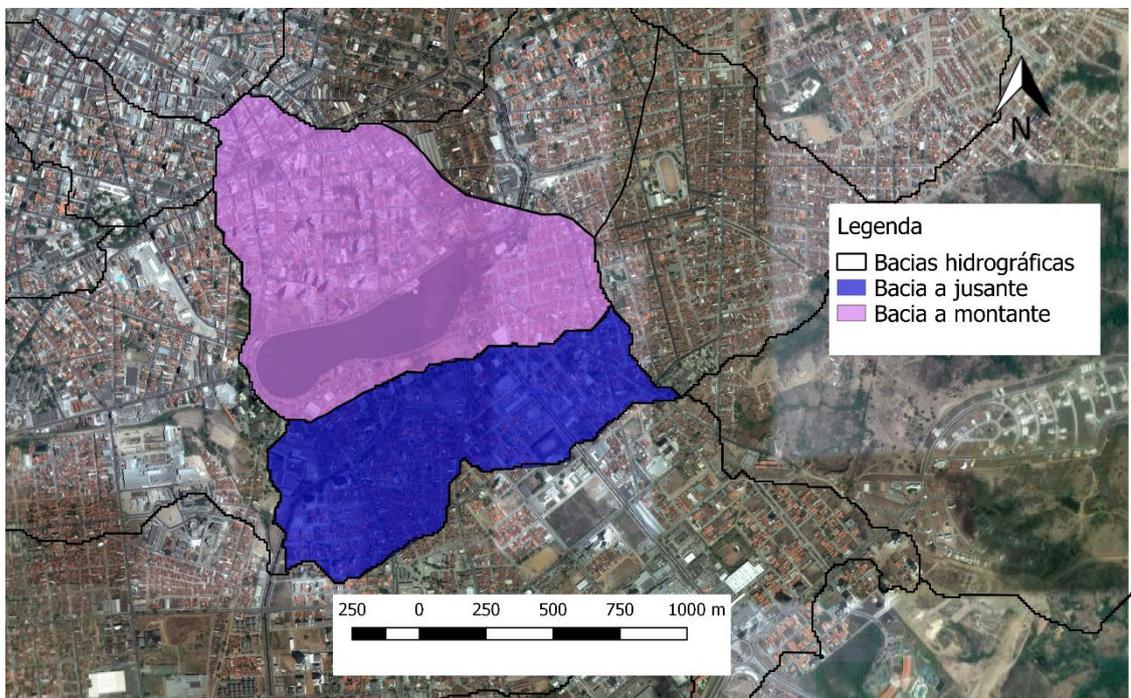
Fonte: Próprio autor

### 3.1 Caracterização da área de estudo

O município de Campina Grande, no qual a área de estudo está inserida, encontra-se no agreste paraibano, a  $7^{\circ}13'32''$  de latitude Sul e a  $35^{\circ}52'38''$  de longitude oeste segundo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a cidade ocupa a área de 593.026 Km<sup>2</sup>, limita-se ao norte pelas cidades de Lagoa Seca, Massaranduba, Pocinhos e Puxinanã, ao sul por Boqueirão, Caturité, Fagundes e Queimadas, ao leste pela cidade de Riachão do Bacamarte e a oeste por Boa Vista. Apresenta população de 385.213 habitantes segundo o Censo 2010, a segunda maior população do Estado e sua densidade demográfica é de 648,31 hab/km<sup>2</sup>. Da sua população total, 95% correspondem a moradores da zona urbana e apenas 5% da zona rural. (IBGE, 2010).

A área de estudo (Figura 4) compreende duas microbacias hidrográficas localizadas na cidade de Campina Grande, Paraíba. Uma das microbacias está a montante do Açude Velho, a  $7^{\circ}13'20''$  de latitude Sul e a  $35^{\circ}52'53''$  de longitude oeste, enquanto a microbacia a jusante encontra-se a  $7^{\circ}13'11''$  de latitude Sul e a  $35^{\circ}52'52''$  de longitude oeste.

Figura 4 - Área de estudo



Fonte: Próprio autor

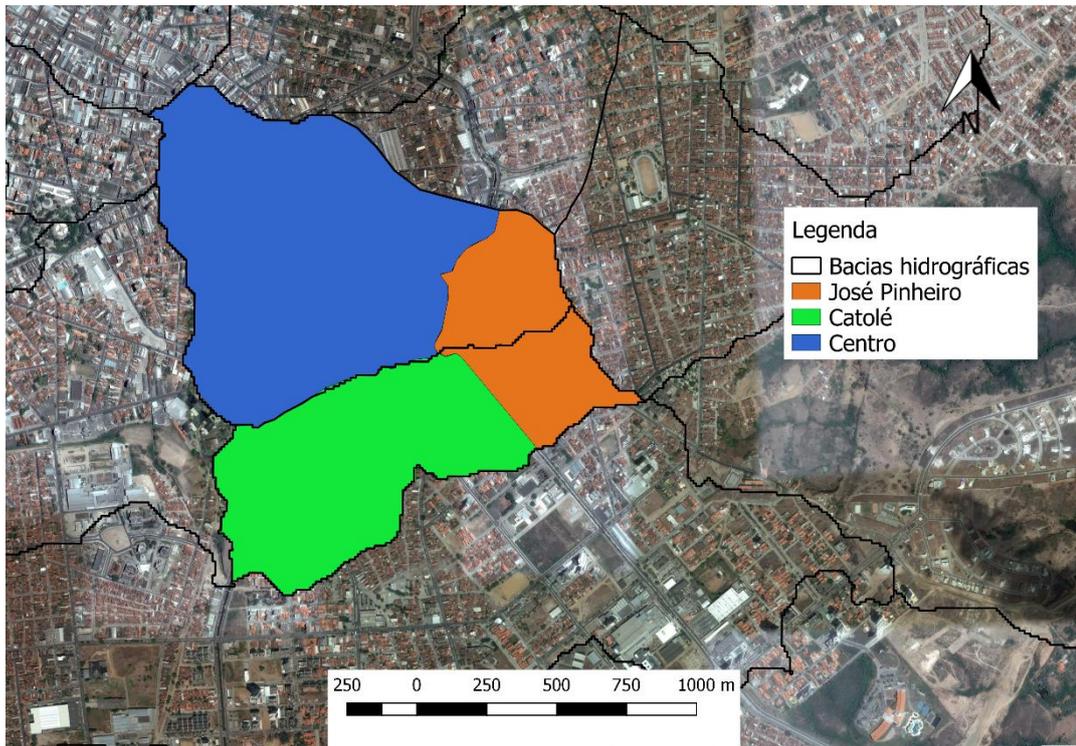
O Açude Velho foi o primeiro reservatório a atender o município de Campina Grande. Construído onde antes havia o “Riacho das Piabas”. As obras iniciaram em 1828, e sua

inauguração em 1830, porém foi concluído em 1844, tornando-se naquele momento o maior reservatório público do Compartimento da Borborema (BRITO, 2008).

Atualmente as águas do Açude Velho encontram-se impróprias para consumo, pois está poluído por esgoto doméstico. No estudo realizado por Gomes et al. (2013), analisou-se a qualidade das águas nos trechos do Riacho das Piabas situado em Campina Grande. As águas são drenadas para o Açude Velho, utilizado como agente de depuração. No trabalho foram realizadas análises físico-químicas e avaliação pelos valores máximos permitidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) para qualidade de corpos hídricos. As águas do açude possuem duas características físico-químicas acima do tolerado, são elas: o Nitrogênio Amoniacal que está relacionado a poluição orgânica por despejos domésticos, e a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) que indica a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar a matéria orgânica, ou seja, a carga poluidora deste corpo d'água para o meio.

A área de estudo está inserida na região urbana do município, e ocupa porções dos bairros Centro, José Pinheiro e Catolé (Figura 5). Os usos e ocupação do solo predominantes nesta região são residencial, comercial/serviços e institucional. Segundo Tsuyuguchi (2015), a impermeabilização dessas microbacias é de 77% e o solo é caracterizado por ter alto potencial de escoamento superficial, e taxas de infiltração muito baixas (0 - 1,27 mm / h) quando são completamente molhados. Portanto, como o solo possui elevada impermeabilização e baixas taxas de infiltração, a área de estudo é altamente urbanizada com poucas áreas verdes e suscetível a alagamentos e inundações.

Figura 5 - Porções dos bairros nas microbacias



Fonte: Próprio autor

### 3.2 Determinação e espacialização da amostra

Com a base de faces de logradouros do Censo 2010 realizou-se a contagem do número de lotes inseridos nas ruas das porções dos bairros em cada microbacia, como pode ser visto da Tabela 1 (IBGE, 2017).

Tabela 1 - Número de domicílios inseridos nas porções dos bairros nas microbacias a montante e a jusante do Açude Velho

Microbacia	Bairro	Nº de Lotes
Montante	Centro	2.383
	José Pinheiro	623
Jusante	Católé	761
	José Pinheiro	435
<b>Total</b>		<b>4.202</b>

Fonte: IBGE, 2017

A partir da Equação 1 calculou-se o número de elementos da amostra considerando um intervalo de confiança de  $\gamma = 0,95$ ,  $Z_\gamma = 1,96$  e  $\varepsilon = 0,095$  (BUSSAB; MORETTIN, 2004):

$$n = \frac{Z_\gamma^2}{4 \cdot \varepsilon^2} \quad (1)$$

Em que:

- $n$  – n° de elementos da amostra
- $\varepsilon$  – erro amostral
- $Z_\gamma$  – variável aleatória correspondente ao intervalo de confiança  $\gamma$

Obteve-se  $n$  igual a 96,04, para simplificar adotou-se  $n$  igual a 100. Em seguida calculou-se as proporções amostrais dividindo-se o total da população pelo número de lotes encontrados na Tabela 1, posteriormente estratificou-se o número de elementos da amostra para cada porção de bairro das microbacias multiplicando o valor total da amostral pelas proporções amostrais, como mostra a Tabela 2.

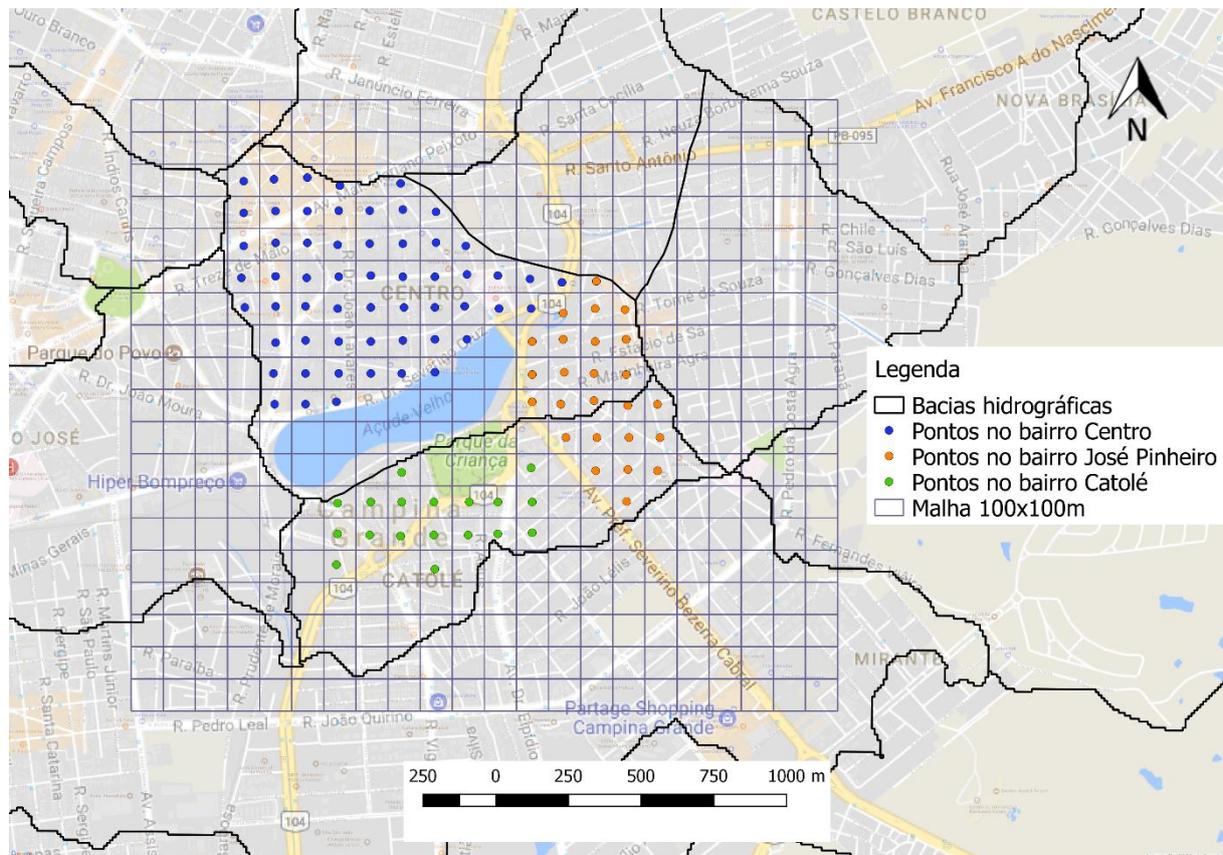
Tabela 2 - Amostra estratificada

Microbacia	Bairro	População	Proporção Amostral	Amostra (n° de lotes)
Montante	Centro	2.383	57%	57
	José Pinheiro	623	15%	15
Jusante	Católé	761	18%	18
	José Pinheiro	435	10%	10
Total		4.202	100%	100

Fonte: Próprio autor

Para a aplicação do questionário, aplicou-se sobre as microbacias uma malha com quadrantes de 100 por 100m. Nos quadrantes inseriu-se a quantidade de pontos correspondente a número de elementos amostrais das porções dos bairros nas microbacias, conforme a Tabela 2, dessa forma a distribuição tornou-se homogênea e aleatória, como se observa na Figura 6.

Figura 6 - Pontos de aplicação do questionário



Fonte: Próprio autor

### 3.3 Elaboração e aplicação do questionário

Para obtenção dos dados, sobre o uso da água nas microbacias estudadas, aplicou-se um questionário entre os meses de maio a agosto de 2017, Apêndice A. Escolheu-se esse método pois fornece informações mais detalhadas e com maior grau de subjetividade.

O questionário foi elaborado em sete partes:

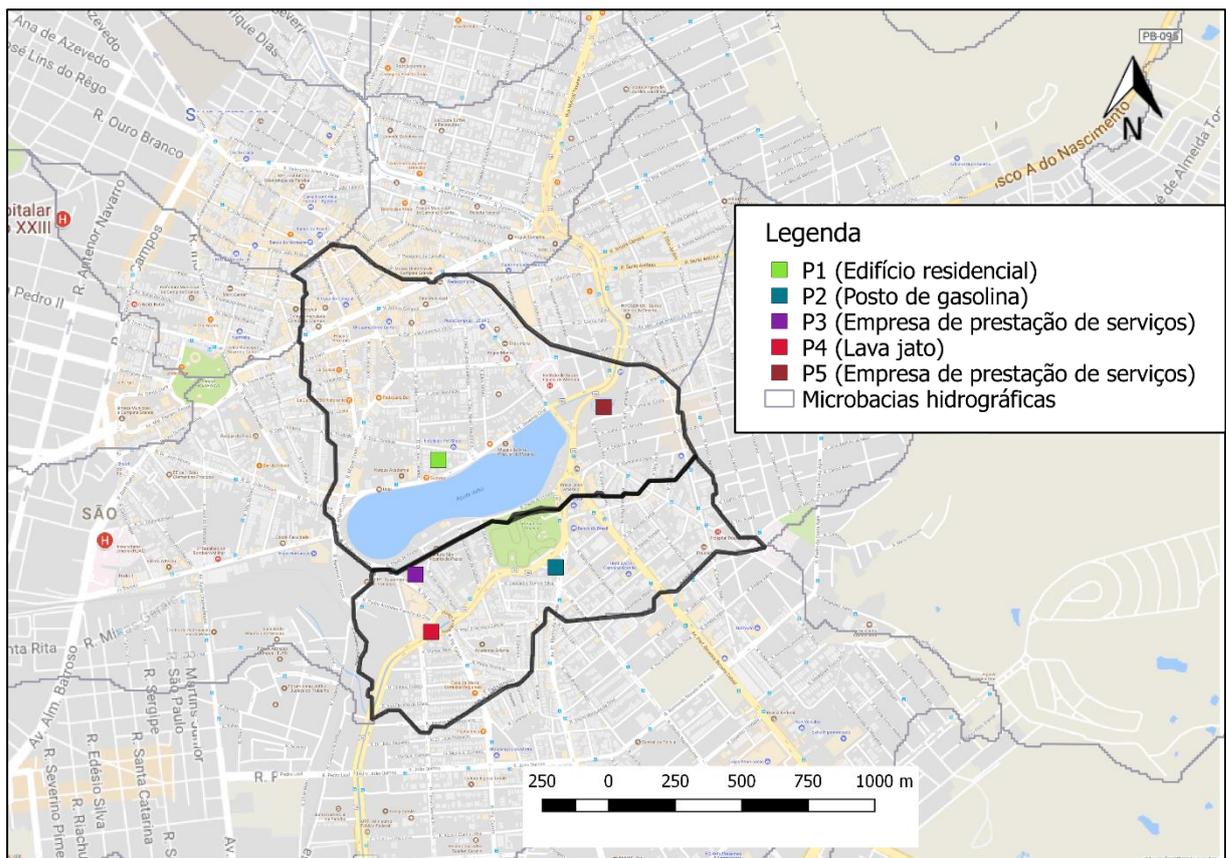
1. Refere-se à identificação do local, sua utilização, endereço e número de usuários.
2. Perguntas atribuídas aos hábitos de consumo de água, formas de armazenamento e fontes de abastecimento antes do racionamento.
3. Abrange questões sobre alterações no imóvel para o racionamento, novos hábitos de consumo de água, formas de armazenamento e novas fontes de abastecimento, com isso pode-se analisar alguma mudança no padrão de consumo ou adaptações para enfrentar o racionamento.
4. Questões sobre o armazenamento pela caixa d'água e a qualidade dessa água.
5. Questões sobre o uso de cisterna e a qualidade da água nela armazenada.

6. Questões relativas ao uso de poço, tempo de perfuração e a qualidade da água subterrânea.
7. Por último, questões sobre o uso da água de caminhão pipa, a procedência dessa água e a qualidade da mesma.

### 3.4 Coleta das amostras de água subterrânea

As coletas foram realizadas no intervalo de 8 de fevereiro de 2017 à 25 de abril de 2017, totalizando dez coletas, em cinco pontos nas microbacias (Figura 7), que foram escolhidos devido a facilidade de acesso e por estarem a montante e a jusante do açude Velho. A análise de temperatura foi realizada *in loco*, com um termômetro de filamento de mercúrio. Enquanto as análises físico-químicas (pH, condutividade elétrica, turbidez, dureza e sólidos totais dissolvidos) foram realizadas no Laboratório de Saneamento da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Figura 7 - Pontos de coleta da água subterrânea na área de estudo



Fonte: Próprio autor

### 3.5 Análise de parâmetros

A metodologia utilizada para as análises laboratoriais segue as recomendações descritas do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA e WEF, 2012).

Os parâmetros cor, sabor e odor serão analisados comparando-se as respostas ao questionário, pois são características organolépticas reconhecidas pelos sentidos. Os outros parâmetros, pH, condutividade elétrica, turbidez, dureza, temperatura e sólidos totais dissolvidos serão obtidos pelos métodos descritos na Tabela 3 e analisados pela Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e pela Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde (MS).

Tabela 3 - Parâmetros analisados e metodologia utilizada

PARÂMETROS	MÉTODOS
pH	Potenciômetros
Condutividade Elétrica	Condutivímetro
Turbidez	Nefelométrico
Dureza	Titulométrico do EDTA
Temperatura	Termômetro de filamento de mercúrio
Sólidos Totais	Gravimétrico

Fonte: APHA, AWWA e WEF (2012)

Para os ensaios de pH, condutividade elétrica, turbidez, utilizou-se o pHmetro (Figura 8), condutivímetro (Figura 9) e o turbidímetro (Figura 10), respectivamente.

Figura 8 - pHmetro



Fonte: Próprio autor

Figura 9 - Condutivímetro



Fonte: Próprio autor

Figura 10 - Turbidímetro



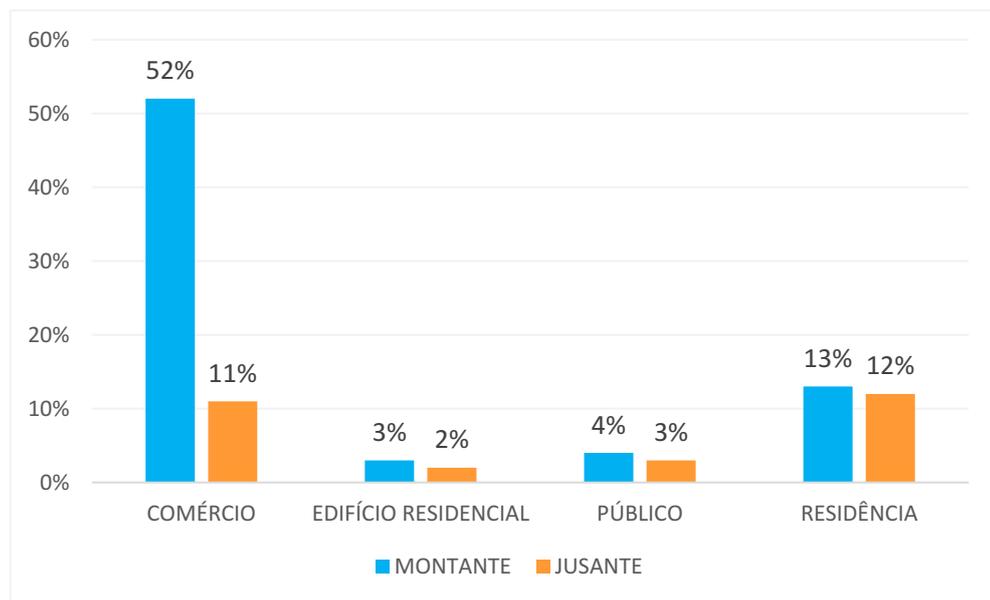
Fonte: Próprio autor

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Caracterização do uso da água na área de estudo

Seguindo-se a malha estabelecida no delineamento estatístico, foram realizadas com entrevistas a usuários, escolhidos de forma aleatória, dentro do quadrante previamente estabelecido. A bacia a montante se mostrou mais comercial, por conter o centro da cidade de Campina Grande (Figura 11).

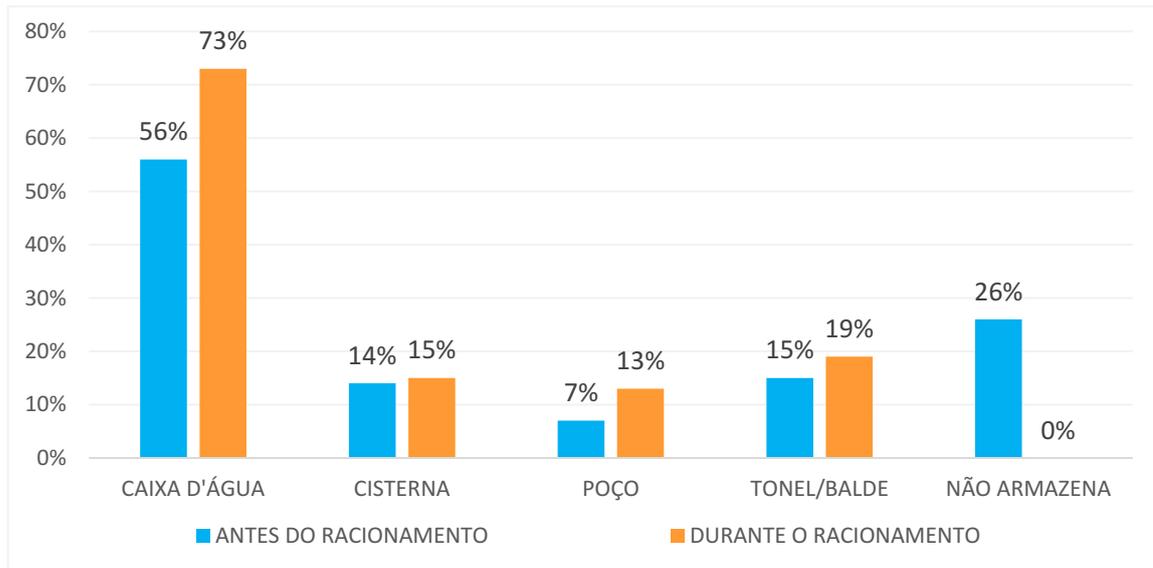
Figura 11 - Tipo de edificação nas microbacias



Fonte: Próprio autor

Antes do racionamento, 74% das edificações avaliadas dispunham de fonte de armazenamento de água, principalmente caixa d'água. Com o início do racionamento houve a tendência de adquirir ou ampliar a capacidade da reserva hídrica, de forma que 100% dos entrevistados dispõem de armazenamento de água (Figura 12).

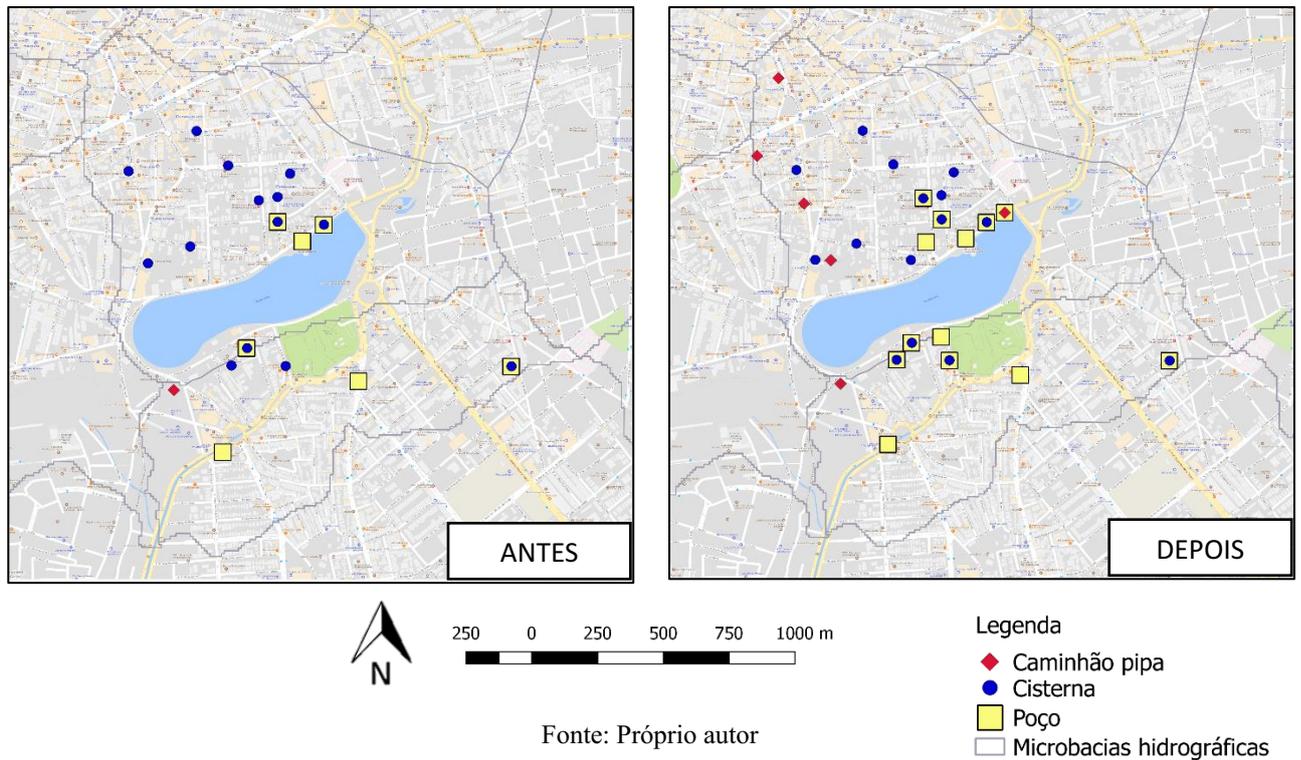
Figura 12 - Armazenamento de água antes e durante o racionamento



Fonte: Próprio autor

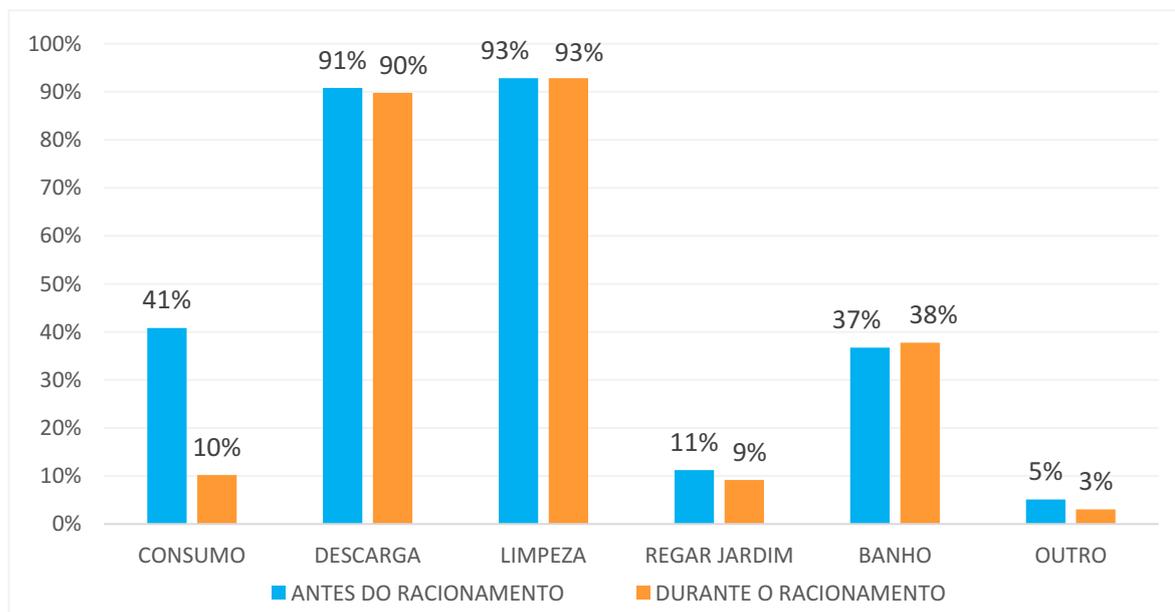
Em relação ao abastecimento, percebe-se uma busca por fontes alternativas para complementar a oferta de água, tal como armazenamento de água da chuva, caminhão pipa e água subterrânea. Através dos mapas da Figura 13 pode-se comparar o número de edificações que perfuraram poços, utilizaram água de caminhão pipa e construíram cisternas. O número de poços aumentou 85,7% após o racionamento entre as edificações entrevistadas. Destas perfurações, 66,67% foram em edifícios residenciais. Além disso, a compra de água de caminhão aumentou 500% neste período e os mais interessados foram escolas particulares e restaurantes, escolheram essa fonte para complementar a oferta de água durante o período do racionamento.

Figura 13 - Cenários da utilização de fontes alternativas nas edificações entrevistadas



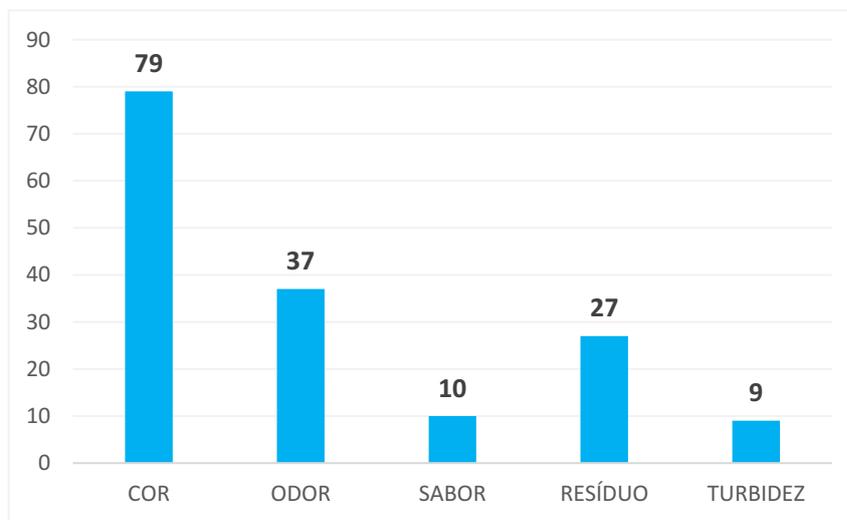
Do total de entrevistados, 96% utilizam a água fornecida pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA). Com o racionamento, os usuários começaram a rejeitar a essa água, de forma que 31% desses usuários revelaram que suspenderam o consumo da água da rede de distribuição de abastecimento, pararam de beber devido à perda de qualidade, a Figura 14 apresenta as mudanças dos usos da água fornecida pela CAGEPA no período do racionamento.

Figura 14 - Usos da água fornecida pela CAGEPA



Do total dos usuários da água da CAGEPA, 92% relataram que a água possui alguma alteração (Figura 15), entre elas, cor (amarelada, marrom e branca), odor (cheiro de esgoto), sabor (salgada e “pesada”), turbidez (esbranquiçada) e resíduo (lama, barro, ferrugem e lodo). Possivelmente pela perda de qualidade da água devido a diminuição do nível da água do açude Epitácio Pessoa, as interrupções no abastecimento e vazamentos da rede de distribuição de água.

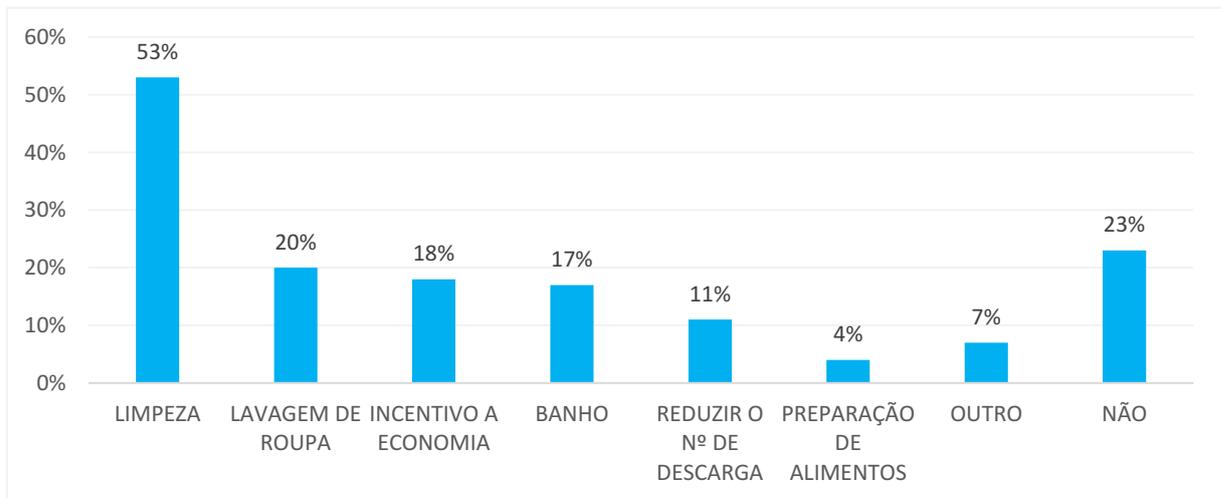
Figura 15 - Quantidade de entrevistados que perceberam alteração na água fornecida pela CAGEPA por tipo de alteração



Fonte: Próprio autor

Sobre as atividades diárias afetadas pelo racionamento, apenas 23% das edificações não tiveram adaptações em suas tarefas. Quanto as mudanças, o que se destaca é na limpeza (Figura 16). A pesquisa revelou que os entrevistados começaram a utilizar água de sabão e água do banho para limpar as edificações, além disso, diminuíram o tempo do banho, reduziram a quantidade de descargas diárias e incentivaram a economia em casa e no trabalho. Essas mudanças indicam a preocupação dos entrevistados para economizar água em vista do racionamento. Das edificações que tiveram alterações na preparação de alimentos, 50% são restaurantes.

Figura 16 - Quantidade de edificações por tipo de mudança das atividades diárias



Fonte: Próprio autor

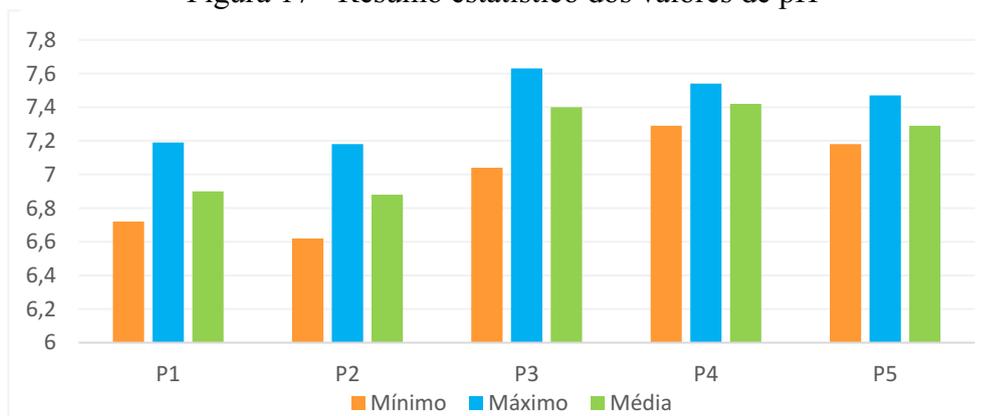
## 4.2 Avaliação da qualidade da água subterrânea na área de estudo

### 4.2.1 Potencial hidrogeniônico

O pH é um indicador fundamental de controle de desinfecção, pois influencia diretamente na velocidade de reação do cloro na água, por exemplo em pH elevado a cloração perde eficiência (GOMES, 2014).

Os valores de pH encontrados em todos os pontos analisados estão de acordo com o estabelecido pela Portaria MS 2.914/2011, ou seja, entre 6,5 e 9 (Figura 17).

Figura 17 - Resumo estatístico dos valores de pH



Fonte: Próprio autor

Em aquíferos fraturados, em que a recarga se promove pelo acúmulo da água da chuva, o valor do pH pode variar em função da mesma. Em áreas urbanas, o pH das águas pluviais é na

faixa de 3 a 4, por isso as águas subterrâneas com valores de pH entre 5 a 6 são provenientes de recarga recente. (GOMES; CAVALCANTE, 2015)

Gomes e Cavalcante (2015) realizaram a análise geoquímica das águas subterrâneas da cidade de Fortaleza, que possui uma área de cristalino de 55,45Km<sup>2</sup>, o estudo revelou que a água dos poços é predominantemente ácida.

Linhares (2009) analisou a qualidade da água subterrânea do município de Brejo do Cruz no estado da Paraíba e encontrou valores de pH entre 5,98 a 7,69, os valores encontrados pelo autor são semelhantes aos encontrados nesta pesquisa.

Guedes et al. (2013) estudaram a qualidade da água subterrânea no município de Cedro no estado do Ceará, a faixa de valores encontrados foi entre 7,10 a 7,35.

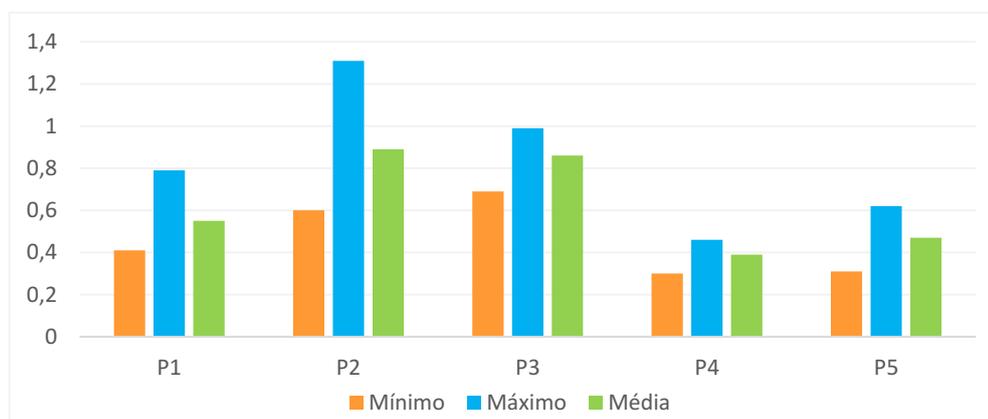
Melo et al. (2005) avaliaram as águas subterrâneas e superficiais da bacia do Rio Boqueirão no estado do Rio Grande do Norte, a água dos 20 poços tem valores de pH entre 5,3 a 8,0.

#### 4.2.2 Turbidez

A turbidez está relacionada a presença de material em suspensão na água, também é um indicador de qualidade da água considerado sentinela pela facilidade e agilidade de diagnosticar a situação da água, uma vez que os usos e as fontes de poluição podem causar alterações (GOMES, 2014).

As amostras analisadas apresentaram valores de turbidez em conformidade (Figura 18), inferiores ao valor máximo 5 UT, determinado pela Portaria MS 2.914/2011. Em dias de estiagem as amostras coletadas se mostraram visualmente translúcidas, porém em dias chuvosos a amostra P2 se mostrou levemente esverdeada.

Figura 18 - Resumo estatístico dos valores de Turbidez (UT)



Fonte: Próprio autor

Linhares (2009) encontrou valores semelhantes, em torno de 0,32 a 1,32UT, para as águas subterrâneas do município de Brejo do Cruz no estado da Paraíba.

O município de Cedro/Ceará, obtiveram valores de turbidez para as águas subterrâneas entre 0,62 a 4,87 UT (GUEDES et al., 2013).

#### 4.2.3 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica (CE) é associada a concentração de sais, valores baixos de CE devem-se às pequenas concentrações dos constituintes em solução, enquanto que os valores mais elevados podem estar associados a maiores concentrações de íons. (GOMES; CAVALCANTE, 2015).

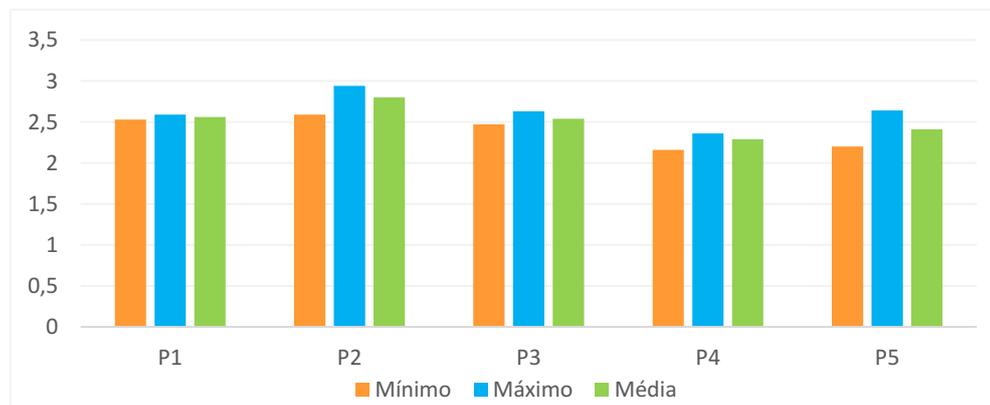
Conforme Jesus (2005), valores superiores a 1mS/cm proporcionam um sabor exagerado na água, que a torna “pesada”, segundo a definição popular, no intervalo de 1,5 a 2mS/cm a água pode ser classificada como salobra. Apesar de a Portaria MS nº 2.914/2011 não limitar o valor de CE para o consumo humano, este parâmetro é importante, pois relaciona-se a presença de íons, como o cloreto, que é nocivo a saúde humana.

Todas as amostras possuem valor acima de 2mS/cm (Figura 19), portanto podem ser classificadas como salobra segundo Jesus (2005), o que se confirma pelo questionário, 67% dos usuários de poços afirmaram que a água é salobra.

No município de Brejo do Cruz no estado da Paraíba, os valores de condutividade elétrica foram entre de 0,06 a 0,96mS/cm (LINHARES, 2009).

Na avaliação das águas subterrâneas e superficiais da bacia do Rio Boqueirão no estado do Rio Grande do Norte, encontrou-se valores de CE entre 0,046 a 1,6mS/cm (MELO ET AL; 2005).

Figura 19 - Resumo estatístico dos valores de Condutividade Elétrica a 25°C (mS/cm)



Fonte: Próprio autor

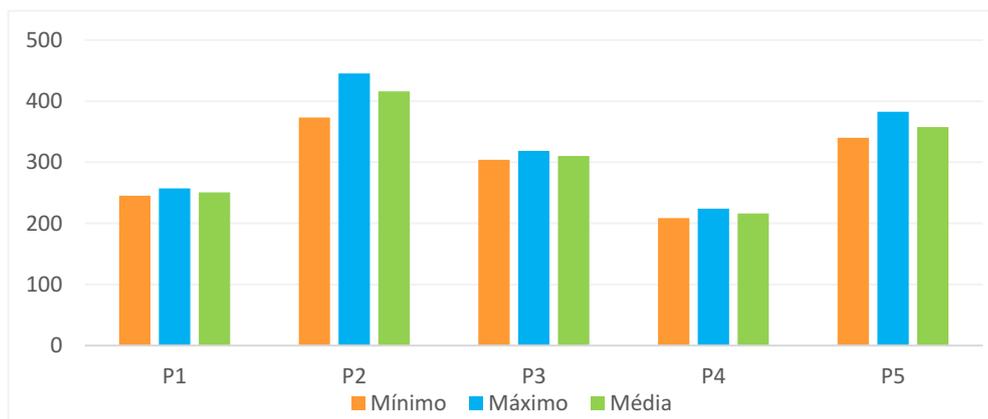
#### 4.2.4 Dureza total

A dureza afeta consideravelmente os usos doméstico, uma vez que as águas duras consomem grande quantidade de sabão e detergentes, dificultam o cozimento dos alimentos e o uso industrial, originando incrustações nas caldeiras, tubagens e radiadores. Em determinadas circunstâncias, a água dura pode afetar o organismo causando problemas de saúde como cálculos renais (JESUS, 2005).

A Portaria MS nº 2.914/2011 define como limite para a concentração de dureza total o valor de 500 mgCaCO<sub>3</sub>/L para consumo humano, o qual não foi excedido. Os valores variaram entre 208 e 445 mgCaCO<sub>3</sub>/L (Figura 20).

Em Brejo do Cruz no estado da Paraíba, os valores encontrados estão entre de 32 a 133 mgCaCO<sub>3</sub>/L, dentro da normalidade (LINHARES, 2009).

Figura 20 - Resumo estatístico dos valores de Dureza total (mgCaCO<sub>3</sub>/L)



Fonte: Próprio autor

#### 4.2.5 Sólidos totais dissolvidos

Os sólidos totais dissolvidos (SDT) são considerados bons indicadores do nível de salinidade das águas. O aumento dos valores de STD depende das condições climáticas, observando-se o aparecimento de maiores concentrações de sais no período de estiagem (GOMES; CAVALCANTE, 2015).

A Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, define as águas conforme o parâmetro de SDT como:

- Águas doces: águas com salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰ (500 mg/L);

- Águas salobras: águas com salinidade superior a 0,5 ‰ (500 mg/L) e inferior a 30 ‰ (3.000 mg/L);
- Águas salinas: águas com salinidade igual ou superior a 30 ‰ (3.000 mg/L).

Na região do cristalino nordestino, as águas subterrâneas são normalmente salina e apresentam valores de sólidos totais dissolvidos superiores a 2.000mg/L em 75% dos casos (REBOUÇAS, 2006).

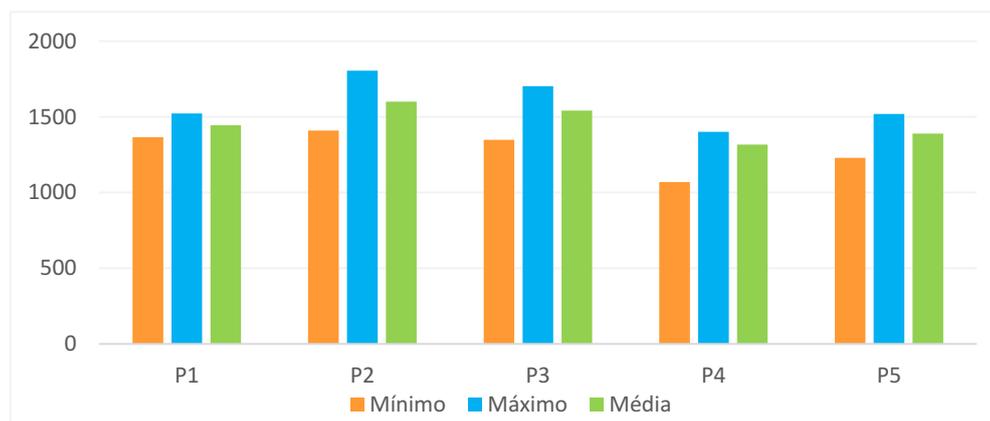
Apesar de ser considerada água salobra, a água com SDT entre 500 mg/L e 1.000 mg/L é considerada potável, de acordo com Portaria MS nº 2.914/2011. Mas o teor de sais acima do limite de 500 mg/L pode levar a população a rejeitar o consumo devido a seu sabor, e buscar outras fontes de abastecimento, muitas vezes, poluídas ou contaminadas (ROSA; ZILLES; FEDRIZZI, 2013).

Todas as amostras analisadas estão acima do valor máximo permitido de 1000mg/L segundo a Resolução Conama nº 396/2008 e Portaria MS nº 2.914/2011, o que torna a água dos poços imprópria para o consumo humano (Figura 21).

Em Brejo do Cruz no estado da Paraíba, os valores de SDT encontradas foram entre de 56 a 958mg/L, dentro dos padrões de normalidade (LINHARES, 2009).

Na bacia do Rio Boqueirão no estado do Rio Grande do Norte, encontrou-se valores de SDT entre 31,76 a 1052 (MELO et al., 2005).

Figura 21 - Resumo estatístico valores dos de sólidos totais dissolvido (mg/L)



Fonte: Próprio autor

#### 4.2.6 Temperatura

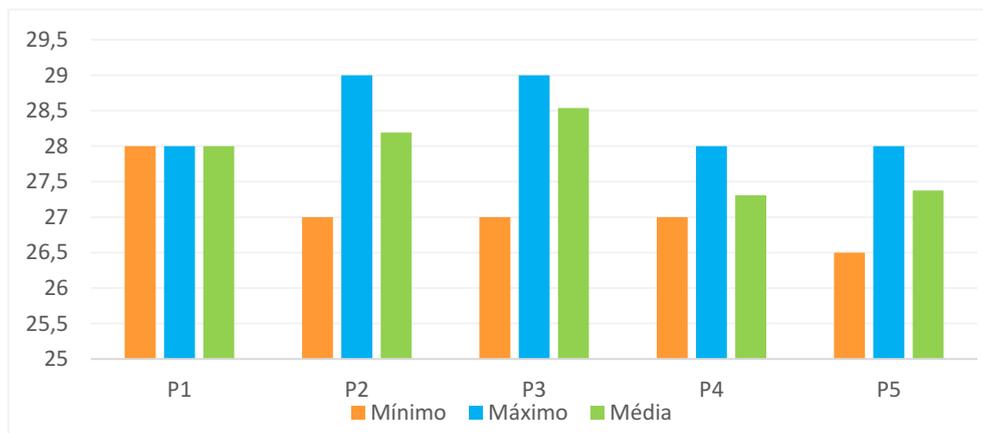
A temperatura é uma característica física da água que está diretamente relacionada com a velocidade das reações químicas e a solubilidade das substâncias. Influencia consideravelmente

nas características químicas das águas subterrâneas, interferindo nos processos de diluição, concentração ou aumento da solubilidade. (GOMES; CAVALCANTE, 2015)

As águas subterrâneas possuem temperatura pouco variável e semelhante à média anual das temperaturas atmosféricas do lugar, em função da profundidade do em que se encontra (JESUS, 2005).

Quanto ao consumo humano, a Portaria MS nº 2.914/2011, não define temperatura máxima, porém é recomendado observar o comportamento de outros parâmetros desses associados à temperatura. As águas dos poços encontram-se com temperatura entre 26,5 a 29°C (Figura 22).

Figura 22 - Resumo estatístico valores de temperatura (°C)

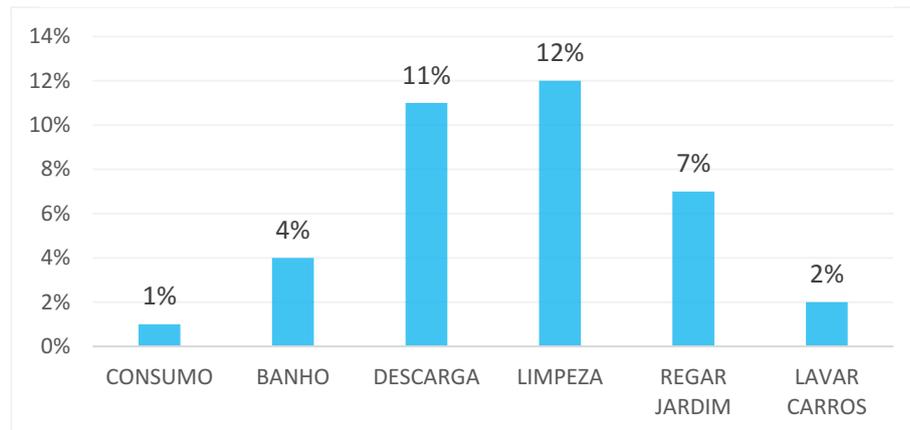


Fonte: Próprio autor

### 4.3 Avaliação da relação entre a qualidade da água subterrânea e seus múltiplos usos identificados na área de estudo

Do total de entrevistados, 13% usam água de poço, cujos usos das águas subterrâneas identificados na área de estudo foram consumo, banho, descarga, limpeza, rega de jardim e lavagem de carros (Figura 23). Pode-se analisar que os usos prioritários são descarga e limpeza. Como existe o consumo dessa água torna-se relevante a avaliação de sua qualidade pelos padrões de potabilidade da Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde e Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008.

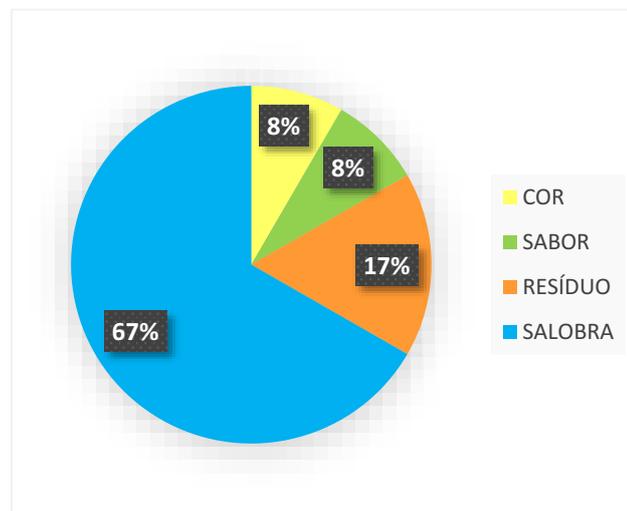
Figura 23 - Usos das águas subterrâneas na área de estudo



Fonte: Próprio autor

Dos usuários da água dos poços na área de estudo, 67% revelaram que a água dos poços é salobra, além de possuir partículas em suspensão e alterações na cor e sabor (Figura 24). Resultados que condizem com as análises de condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos. Apesar de julgarem que a água dos poços apresenta características restritivas a determinados usos, apenas 38,5% fazem algum tratamento na mesma, dos quais 20% usam dessalinizador.

Figura 24 – Característica das águas subterrâneas na área de estudo segundo a percepção dos usuários



Fonte: Próprio autor

Nos resultados das análises físico-química os parâmetros pH, turbidez, condutividade elétrica, dureza total, temperatura estão de acordo com o estabelecido pela Resolução CONAMA n° 396/2008 e Portaria MS 2.914/2011.

Entretanto, os resultados do parâmetro sólidos totais dissolvidos apresentam que todas as amostras analisadas estão acima do valor máximo permitido de 1000mg/L, segundo a Resolução Conama n° 396/2008 e Portaria MS n° 2.914/2011. Portanto a água dos poços pode

ser considerada imprópria para o consumo humano, o que mostra que seus múltiplos usos não estão de acordo com sua qualidade.

No entanto, a análise apenas desses parâmetros se mostra sucinta para avaliar a qualidade das águas subterrâneas na área de estudo aos seus múltiplos usos, visto que na Resolução Conama nº 396/2008 são estabelecidos vários parâmetros para sua avaliação completa.

## **5. CONCLUSÕES**

A aplicação do questionário foi satisfatória de forma que se pode identificar os usos da água nas duas microbacias urbanas na cidade de Campina Grande.

Com base nas respostas foi possível perceber tendências associadas ao racionamento. Como a construção para armazenar/aumentar o volume da reserva hídrica por 100% da população pesquisada; a busca por outras fontes de abastecimento, como a água da chuva que aumentou 7,14%, caminhão pipa com um acréscimo de 500% e água subterrânea com um aumento de 85,7%; além da rejeição do consumo da água fornecida pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA).

Do mesmo modo identificou-se os múltiplos usos das águas subterrâneas na área em estudo, correspondendo ao consumo, banho, descarga, limpeza, rega de jardim e lavagem de carro. Também há rejeição do consumo para beber, devido a água ser salobra.

A avaliação dos parâmetros obtidos das águas subterrâneas em estudo, revelaram que possuem qualidade imprópria para o consumo humano, de acordo com limites estabelecidos pela Portaria MS nº 2.914 e pela Resolução Conama nº 396/2008.

De acordo com a Resolução Conama nº 396/2008, a relação entre os múltiplos usos e a qualidade das águas subterrâneas da área em estudo não é adequado, em razão da água estar em não conformidade com os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria MS nº 2.914 e necessitar de tratamento de dessalinização para sua utilização.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AESA — Agência Executiva de Gestão de Águas da Paraíba. **Volumes do açude Epitácio Pessoa.** Disponível em: <  
<http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/volumesAcudes.do?metodo=preparaGraficos&codAcude=531>  
 >. Acesso em: 25 jun. 2017.

AMARAL, A. K. N; BAYER, M. **Vulnerabilidade dos aquíferos da sub-bacia do Rio Vermelho: Aplicação do método GOD.** In: Anais do Simpósio de Sensoriamento Remoto. 2015. João Pessoa. Anais do XVII Simpósio de Sensoriamento Remoto. São Paulo: INPE, p. 7405, 2015. Disponível em: <  
<http://urlib.net/rep/sid.inpe.br/marte2/2015/05.31.21.54/capa.htm> >. Acesso em jun. 2017.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras.** ed. Especial. Brasília: ANA, 2015.

APHA - American Public Health Association; AWWA - American Water Works Association; WEF - Water Environment Federation. **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 21th ed., Washington, D.C: American Public Health Association/ American Water Works Association/Water Environment Federation, 2012.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Relatório final do grupo de trabalho interministerial para redelimitação do semiárido nordestino e do polígono das secas.** Brasília, DF, jan. 2005.

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. **Portaria N° 2.914, de 12 de dezembro de 2011.** Dispõe sobre procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF, dez. 2011.

BRITO, F. B. de. **O conflito pelo uso da água do açude Epitácio Pessoa (Boqueirão) – PB.** 2008. 208 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Exatas e da Natureza. João Pessoa, 2008.

BUSSAB, W. de O; MORETTIN, P. A. **Estatística Básica.** 5 ed. São Paulo: Saraiva, 2004. 508 p.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação.** São José dos Campos: INPE. 2001.

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Agência Nacional de Águas. **A questão da água no Nordeste**. Brasília, DF: CGEE, 2012.

COHIM, E; GARCIA, A. P; KIPERSTOK, A. **Captação e aproveitamento de água de chuva: dimensionamento de reservatórios**. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 9, 2008, Salvador. Anais do IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2008.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Diário Oficial da União nº 66, 7 abr. 2008, Seção 1, p. 64-68.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº. 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 18 mar. 2005. nº 053, p. 58 – 63. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acessado em ago. 2017.

CORRÊA, A. C. B. et al. **Megageomorfologia e morfoestrutura do Planalto da Borborema**. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, v. 31, n. 1-2, 2010.

COSTA, C. R. da S. **Hidrodinâmica e análise quantitativa das fraturas nas rochas cristalinas da região de Campina Grande – PB**. 1999. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Minas) Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba. 1999.

COSTA, W. D. **Uso e gestão de água subterrânea**. In: FERNANDO, A. C. F.; FILHO, J. E. (Org). Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações. 2 ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID – UFPE, 2000. p. 341 - 366.

COSTA, W. D.; SILVA, A. B. **Hidrogeologia dos meios anisotrópicos**. In: FERNANDO, A. C. F.; FILHO, J. E. (Org). Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações. 2 ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID – UFPE, 2000. p. 133 – 173.

DEL GRANDE, M. H. et al. **A percepção de usuários sobre os impactos do racionamento de água em suas rotinas domiciliares**. Ambiente & Sociedade, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 165 – 184, jan. /mar. 2016.

FERNANDES NETO, S. **Planejamento do uso dos recursos naturais da microbacia hidrográfica do Riacho Val Paraíso – PB**. 2009. 106 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais) Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 2009.

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. Brasília, DF: Funasa, 2014.

GOMES, A. H. S. et al. **Qualidade do Riacho das Piabas no município de Campina Grande-PB**. In: Anais do Congresso Nacional de Educação Ambiental e do Encontro Nordestino de Biogeografia: Educação e cooperação pela água para a conservação da biodiversidade. 2013. João Pessoa. Anais do III Encontro Nacional de Educação Ambiental e V Encontro Nordestino de Biogeografia. João Pessoa: Editora da UFPB, v. 3. p. 801, 2013.

GOMES, E. C. A. **Avaliação da qualidade da água em edificações multifamiliares na cidade de Campina Grande – PB**. 2014. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande. 2014.

GOMES, M. da C. R; CAVALCANTE, I. N. **Análise geoquímica das águas subterrâneas de Fortaleza, Ceará – Brasil**. Águas Subterrâneas, São Paulo, v. 29, n. 1, jan/fev. 2015. Disponível em: < <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28522>>. Acessado em jun. 2017.

GONZAGA, F. de A. da S. **Uma metodologia para determinação da vazão de exploração em poços do sistema aquífero cristalino no Cariri paraibano**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Campina Grande, Paraíba. 2011.

GONZAGA, F. de A. da S. **Uma metodologia para determinação da vazão de exploração em poços do sistema aquífero cristalino no Cariri paraibano**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Campina Grande, Paraíba. 2011. p. 6 - 10.

GUEDES, L. F. et al. **Qualidade da água subterrânea distribuída em pequenas comunidades rurais do município de Cedro – Ceará**. In: Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo. 2013. São Paulo. Disponível em: < <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27836/18058> >. Acesso em 22 jul. 2017.

GUERRA, A. T. **Dicionário geológico-geomorfológico**. 8. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993.

IBGE - Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. **Base Cartográfica Contínua do Brasil**. 2017. Disponível em: < <ftp://geofp.ibge.gov.br>>. Acesso em jan. 2017.

IBGE - Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. **Censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

JANUÁRIO, P. de B. **Análise de conformidade de indicadores sentinelas da qualidade da água de abastecimento de Campina Grande – PB**. 2013. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande. 2013.

JESUS, I. P. S. de. **Caracterização dos aquíferos em meio cristalino da porção oeste da Bacia do Alto Tietê**. 2005. 224 f. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotecnia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2005.

LIMA, R. C. S. A. et al. **Abastecimento de água em Campina Grande (PB): um panorama histórico**. In: JUNIOR, A. G. R; SOUSA, C. M. de. (Org.). 2 ed. Campina Grande hoje e amanhã. Campina Grande: EDUEPB, 2014. p. 17 – 29.

LINHARES, F. M. **Potencial hidrogeológico e a qualidade da água subterrânea do município de Brejo do Cruz – PB**. 2009. Monografia (Graduação em Geografia) – Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 2009.

MACEDO, M. J. H.; GUEDES, R. V. de S.; SOUSA, F. de A. S. **Monitoramento e intensidade das secas e chuvas na cidade de Campina Grande/PB**. Revista Brasileira de Climatologia, v. 8, ano 7, jan. /jun. 2011. Disponível em: < <http://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25797/17217>>. Acesso em 27 jun. 2017.

MANOEL FILHO, J. **Contaminação das águas subterrâneas**. In: FERNANDO, A. C. F.; FILHO, J. E. (Org). Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações. 2 ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID – UFPE, 2000. p. 109 - 131.

MELO, J. G. et al. **Avaliação integrada dos recursos de água subterrânea e superficiais da bacia do rio Boqueirão, a oeste de Touros, RN**. Águas Subterrâneas, São Paulo, v.19, n. 2, p. 121 – 136, 2005. Disponível em: < <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/8232/5759>>. Acesso em 22 jul. 2017.

MI — Ministério da Integração Nacional. **Nova delimitação do semiárido brasileiro**. Disponível em: < [http://www.mi.gov.br/c/document\\_library/get\\_file?uuid=0aa2b9b5-aa4d-4b55-a6e1-82faf0762763&groupId=24915](http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=0aa2b9b5-aa4d-4b55-a6e1-82faf0762763&groupId=24915) >. Acesso em 07 de jul. 2017.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Águas Subterrâneas, um recurso conhecido a ser protegido**. Brasília, 2007.

NASCIMENTO, S. A. de M; BARBOSA, J. S. F. **Qualidade da água do aquífero freático no alto cristalino de Salvador, Bacia do Rio Lucaia, Salvador, Bahia.** Revista Brasileira de Geociências, v. 35, n. 4, p. 543 – 550, 2005.

REBOUÇAS, A. da C. (2006). **Águas Subterrâneas.** In: Águas Doces no Brasil, 3ª ed. São Paulo-SP, Escrituras Editora, pp 111-144.

ROSA, D. J. de M; ZILLES, R; FEDRIZZI, M. C. **Sistemas fotovoltaicos de dessalinização de água salobra para uso domiciliar na região rural do semiárido brasileiro.** Avances em Energias Renovables y Medio Ambiente, Argentina, vol. 17, p. 04.11 – 04.18, 2013. Disponível em: < <http://www.asades.org.ar>>. Acessado em ago. 2017.

SANTOS, A. C. **Noções de hidroquímica.** In: FERNANDO, A. C. F.; FILHO, J. E. (Org). Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações. 2 ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID – UFPE, 2000. p. 81 – 107.

SANTOS, W. B. dos. **Modelagem da degradação de cloro residual livre na rede de distribuição de água da cidade de Campina Grande – PB.** 2017. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande. 2017.

SOUZA, N. A. de. **Vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas – um estudo do aquífero Bauru na zona urbana de Araguari, MG.** 2009. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2009.

TAVARES, A. C. **Uso de cisternas no semiárido paraibano: estado de conservação e técnicas de manejo.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24, 2007, Belo Horizonte. Disponível em < <http://www.hidro.ufcg.edu.br/cisternas/publicacoes/Uso%20de%20cisternas%20no%20semi-arido%20paraibano.%20Estado%20de%20conservacao%20e%20tecnicas%20de%20manejo.%20.pdf>>. Acesso em 06 jun. 2017.

TSUYUGUCHI. B. B. **Macrodrenagem e ocupação do solo no município de Campina Grande: caracterização, simulação e análises sistêmicas.** 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) Universidade Federal de Campina Grande, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Campina Grande, Paraíba. 2015.

XAVIER, J. M. de V; ANDRADE, T. de S; NETO, F. M. **A gestão da água através da medição e uso racional: o caso do açude de Boqueirão – PB.** In: Anais do Congresso Nacional de Educação Ambiental e do Encontro Nordeste de Biogeografia: Educação e cooperação pela água para a conservação da biodiversidade. 2013. João Pessoa. Anais do III Encontro Nacional de Educação Ambiental e V Encontro Nordeste de Biogeografia. João Pessoa: Editora da UFPB, v. 3. p. 313, 2013.

ZOBY, J. L. G. **Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 15, 2008, Natal. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/23802/15867>>. Acessado em jun. 2016.

## APÊNDICE

## APÊNDICE A – Questionário de uso da água em Campina Grande

QUESTIONÁRIO SOBRE O USO DA ÁGUA EM CG - PB	
Identificação do local: Residência ( )                      Comércio ( ) Público ( )                      Edifício Residencial ( )	Nº de Usuários
Rua:	Nº
Complemento:	

**ANTES DO RACIONAMENTO**

A edificação dispunha de fonte de armazenamento? Sim ( ) Não ( )

Caixa d'água ( ) Cisterna ( ) Poço ( ) Outras ( ) Quais? \_\_\_\_\_

Qual era a capacidade de armazenamento? 1000L ( ) 1500L ( ) 2000L ( ) 3000L ( ) Outro: \_\_\_\_\_

Quais eram as fontes de abastecimento? CAGEPA ( ) Caminhão pipa ( ) Poço ( )  
 Água da chuva ( ) Outras ( ) Quais? \_\_\_\_\_

Esta água era utilizada para: Consumo ( ) Tomar banho ( ) Descarga ( )  
 Atividades domésticas ( ) Regar jardim ( ) Outros ( )

**DURANTE O RACIONAMENTO**

Houve modificações após o racionamento? Sim ( ) Não ( )

Adição de caixa d'água ( ) Construção de cisterna ( ) Perfuração de poço ( )

Compra de água de caminhão pipa ( ) Outras ( ) Quais? \_\_\_\_\_

Houve adaptações nas atividades diárias após o racionamento? Sim ( ) Não ( )

No banho ( ) Na lavagem de roupa ( ) Na preparação de alimentos ( )

Na limpeza da casa ( ) Outros ( ) Quais? \_\_\_\_\_

Durante o racionamento há falta de água? Sim ( ) Não ( )

Com que frequência? Uma vez por semana ( ) Duas vezes por semana ( ) Acima duas vezes por semana ( )

**CAIXA D'ÁGUA**

Qual é capacidade de armazenamento? 1000L ( ) 1500L ( ) 2000L ( ) 3000L ( ) Outro: \_\_\_\_\_

Qual a frequência de utilização? Todos os dias ( ) Uma vez por semana ( )  
Uma vez por mês ( ) Raramente ( )

Esta água é utilizada para: Beber ( ) Tomar banho ( ) Descarga ( ) Regar jardim ( )  
Atividades domésticas ( ) Limpeza da área externa ( ) Outros ( ) O quê? \_\_\_\_\_

Há alguma alteração nesta água? Odor ( ) Sabor ( ) Resíduo ( ) Turbidez ( )  
Cor ( ) Outros ( ) Quais? \_\_\_\_\_

É utilizado algum tratamento com esta água? Sim ( ) Não ( )

Qual? Adição de cloro ( ) Filtragem ( ) Outro: \_\_\_\_\_

Em caso de ingestão houve algum problema de saúde? Sim ( ) Não ( )

Qual? \_\_\_\_\_

**CISTERNA**

Qual é capacidade de armazenamento? 1000L ( ) 1500L ( ) 2000L ( ) 3000L ( ) Outro: \_\_\_\_\_

Qual a frequência de utilização? Todos os dias ( ) Uma vez por semana ( )  
Uma vez por mês ( ) Raramente ( )

Esta água é utilizada para: Beber ( ) Tomar banho ( ) Descarga ( ) Regar jardim ( )  
Atividades domésticas ( ) Limpeza da área externa ( ) Outros ( ) O quê? \_\_\_\_\_

Há alguma alteração nesta água? Odor ( ) Sabor ( ) Resíduo ( ) Turbidez ( )  
Cor ( ) Outros ( ) Quais? \_\_\_\_\_

É utilizado algum tratamento com esta água? Sim ( ) Não ( )

Qual? Adição de cloro ( ) Filtragem ( ) Outro: \_\_\_\_\_

Em caso de ingestão houve algum problema de saúde? Sim ( ) Não ( )

Qual? \_\_\_\_\_

**POÇO**

Há quanto tempo foi perfurado? \_\_\_\_\_ Não sei ( )

Qual a frequência de utilização? Todos os dias ( ) Uma vez por semana ( )  
Uma vez por mês ( ) Raramente ( )

Esta água é utilizada para: Beber ( ) Tomar banho ( ) Descarga ( ) Regar jardim ( )  
Atividades domésticas ( ) Limpeza da área externa ( ) Outros ( ) O quê? \_\_\_\_\_

Há alguma alteração nesta água? Odor ( ) Sabor ( ) Resíduo ( ) Turbidez ( )  
Cor ( ) Outros ( ) Quais? \_\_\_\_\_

É utilizado algum tratamento com esta água? Sim ( ) Não ( )

Qual? Adição de cloro ( ) Filtragem ( ) Outro: \_\_\_\_\_

Em caso de ingestão houve algum problema de saúde? Sim ( ) Não ( )

Qual? \_\_\_\_\_

**CAMINHÃO PIPA**

Qual a empresa contratada? \_\_\_\_\_

Qual a procedência desta água? Local: \_\_\_\_\_ Não sei ( )

Com que frequência compra esta água? Uma vez por semana ( ) Duas vezes por mês ( ) Uma vez por mês ( )

Esta água é utilizada para: Beber ( ) Tomar banho ( ) Descarga ( ) Regar jardim ( )

Atividades domésticas ( ) Limpeza da área externa ( ) Outros ( ) O quê? \_\_\_\_\_

Há alguma alteração nesta água? Odor ( ) Sabor ( ) Resíduo ( ) Turbidez ( )

Cor ( ) Outros ( ) Quais? \_\_\_\_\_

É utilizado algum tratamento com esta água? Sim ( ) Não ( )

Qual? Adição de cloro ( ) Filtragem ( ) Outro: \_\_\_\_\_

Em caso de ingestão houve algum problema de saúde? Sim ( ) Não ( )

Qual? \_\_\_\_\_