

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE –  
PRODEMA

TAYSA TAMARA VIANA MACHADO

**QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADA EM CISTERNAS  
DE PLACAS E DE POLIETILENO NO SEMIÁRIDO DO ESTADO DA  
PARAÍBA**

JOÃO PESSOA – PB  
2017

TAYSA TAMARA VIANA MACHADO

**QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADA EM CISTERNAS  
DE PLACAS E DE POLIETILENO NO SEMIÁRIDO DO ESTADO DA  
PARAÍBA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, como requisito para obtenção do grau de doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Tarciso Cabral da Silva

JOÃO PESSOA – PB  
2017

Catálogo na publicação  
Seção de Catalogação e Classificação

M553q Machado, Taysa Tamara Viana.  
Qualidade da água de chuva armazenada em cisternas de placas e de polietileno no semiárido do estado da Paraíba / Taysa Tamara Viana Machado. - João Pessoa, 2017.  
124 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Tarcísio Cabral da Silva.  
Tese (Doutorado) - UFPB/CCEN/PRODEMA

1. Águas da chuva - Armazenamento. 2. Cisternas domiciliares. 3. Água - Parâmetros de qualidade. I. Título.

UFPB/BC

CDU - 628.13(043)

TAYSA TAMARA VIANA MACHADO

**QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADA EM  
CISTERNAS DE PLACAS E DE POLIETILENO NO SEMIÁRIDO  
DO ESTADO DA PARAÍBA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, como requisito para obtenção do grau de doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Data da defesa: 26 de julho de 2017

Resultado: Aprovada

Banca examinadora:



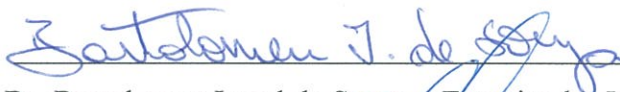
Prof. Dr. Tarciso Cabral da Silva – Orientador – PRODEMA/UFPB



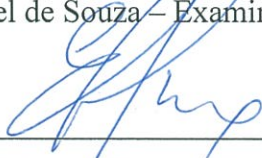
Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Carmem Lucia Moreira Gadelha – Examinadora Externa – UFPB/CT



Prof. Dr. Fernando Moreira da Silva – Examinador Externo – PRODEMA/UFRN



Prof. Dr. Bartolomeu Israel de Souza – Examinador Interno – PRODEMA/UFPB



Prof. Dr. Eduardo Rodrigues Viana de Lima – Examinador Interno – PRODEMA/UFPB

Dedicatória

À minha família.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Pai Criador, pelo dom da vida, pela saúde física e mental, e pela oportunidade de realizar esse trabalho. À Nossa Senhora, minha Mãe Santíssima, pela proteção.

Ao meu orientador Prof. Dr. Tarciso Cabral da Silva, pela dedicação, perseverança, paciência e apoio incondicional. Além do exemplo como profissional e ser humano.

Ao Prof. Dr. Azamor Cirne, do Departamento de Finanças e Contabilidade da UFPB, pela valiosa contribuição para definição e realização dos testes estatísticos.

Aos professores, Profa. Dra. Carmem Gadelha e Prof. Dr. Hamilcar Filgueira, pelo apoio e exemplo.

À todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, que disseminaram seus conhecimentos com propriedade. Especialmente e com muito carinho ao Prof. Dr. Bartolomeu Israel, Prof. Dr. Eduardo Vianna, Profa. Dra. Alícia, Prof. Dr. Reinaldo Lucena, Prof. Dr. Milton Ferreira, Prof. Ms. José (professor convidado para a disciplina de sociologia), Prof. Dr. Chico Pegado, Profa. Dra. Fátima Camarotti e Profa. Dra. Maristela.

Aos coordenadores do PRODEMA, Prof. Dr. Reinaldo Lucena, pela dedicação e presteza e Profa. Dra. Cristina Crispim, pelo carisma.

Aos professores que participaram das bancas dos Seminários Integrador I, II, III e Qualificação, especialmente Prof. Dr. Eduardo Vianna, Prof. Dr. Bartolomeu Israel, Profa. Dra. Raquel Frazão, Prof. Dr. Ethan Barbosa e Profa. Dra. Carmem Gadelha pelas excelentes contribuições.

Aos professores que participaram da banca da defesa da tese, Prof. Dr. Tarciso Cabral da Silva (orientador) e Profa. Dra. Carmem Gadelha, Prof. Dr. Fernando Moreira da Silva, Prof. Dr. Eduardo Vianna e Prof. Dr. Bartolomeu Israel (avaliadores) pelas formidáveis discussões e contribuições.

Aos meus pais, Ana Neide Viana Machado e Walter Serrano Machado (*in memoriam*), pelo exemplo, dedicação, e amor que me fizeram ser quem eu sou. Ela, uma fortaleza, sempre acreditou em mim; e ele, se nesse plano estivesse, estaria com um sorriso aberto e cheio de orgulho.

Ao meu filho Duran Machado Fontes, a quem eu quero deixar um bom exemplo de responsabilidade e perseverança, agradeço pelo amor incondicional mútuo.

À minha irmã, Ana Cláudia Viana Machado (Aninha), pela amizade e companheirismo.

À minha Mãe-Ina (minha mãe de criação), doutora na escola da vida, a quem tiro o chapéu, eu agradeço por todos os ensinamentos e dedicação constantes.

Aos meus tios Ana Cleide Viana de Figueiredo e Antônio Figueiredo, pelo incentivo e por estarem disponíveis sempre que precisei. A minha prima Sarah Viana de Figueiredo, pela ajuda na elaboração do *abstract*. Aos meus tios Ana Maria Machado e Irenaldo de Souza pelo estímulo dado a todo momento.

Enfim a toda a minha família, irmão, avó, tios, sobrinhos, primos, cunhadas que direta ou indiretamente participaram desse processo com respeito e incentivo, todos são importantes na minha vida.

Aos meus amigos da primeira turma do doutorado do PRODEMA (Alineaura Silva, André Queiroga, Lucas Silva e Marcio Albuquerque) foi muito bom conviver com vocês. Aos amigos da salinha de estudo do LARHENA, agradeço com muito carinho a Mirella Motta (pela sabedoria), a Marie Eugenie (pela disponibilidade), a Raissa Borges (pela alegria), a Thiago Pires (pelo bom humor), a Eliamin Rosendo (pela tranquilidade), a Aline Sousa (pela simplicidade), a Cindy (pela meiguice), a Fábio Maia (por chegar bem depois e se tornar tão amigo) e por último, mas não menos importante, a Jobson Targino Dias, meu “grande” amigo (pelo companheirismo), obrigada por todos os bons momentos vividos juntos. Aos meus amigos de todas as horas, algumas desde a infância (Cláudia Trajano, Patrícia Granville, Moema Araruna e Christine Werba), outras chegaram mais tarde, mas são deveras importante (Gracilete Nunes (Leta), Orfelina Ricardo (Neneca), Jaqueline Pequeno, Glauca Nunes, Hermes Moreno e Louran Fontes), aos que moram um pouco distantes...no Rio de Janeiro, todos, amigos de longas datas e de muitas farras também, cada um de vocês, a seu modo, me fizeram chegar onde cheguei.

Agradeço de forma particular e muito especialmente a Graça Nassau, amiga que reencontrei no meio acadêmico, para se tornar amiga na vida, e que só me trouxe conhecimento e exemplo de dedicação, obrigada por acreditar em mim e me estimular a cada dia, obrigada também pelas leituras e críticas, e pela ajuda incondicional, sem a sua amizade, tudo seria muito mais difícil.

À Ilka Cristina, minha amiga de longas datas, *expert* em *design* gráfico, que elaborou a configuração final da minha apresentação.

À todas as meninas que cuidam de nós e de nossa casa (Eliane, Nena e Val).

Aos usuários das cisternas de Cabaceiras e São Sebastião de Lagoa de Roça, por abrirem suas casas de forma tão acolhedora, obrigada pela alegria, sorrisos e almoços compartilhados, especialmente a Madalena e Felipe Farias que me acolheram com muita grandeza e bom humor, e dona Rita, por ceder sua cisterna para instalação de equipamentos do projeto do CNPq. Agradeço também ao Sindicato Rural de São Sebastião de Lagoa de Roça, em nome de Ailton, que nos levou a todas as comunidades. Vocês foram fundamentais nesse processo.

Também quero agradecer a Pousada Banabuiê, em nome de Lirian, por sempre nos receber com atenção e alegria.

Aos funcionários da UFPB, que direta ou indiretamente cruzaram meu caminho. Especialmente aos funcionários do PRODEMA, Saulo e Radmilla.

Ao Laboratório de Saneamento Ambiental do Centro de Tecnologia da UFPB, coordenado pela Profa. Dra. Carmem Gadelha, nas pessoas de Elson, Fabiana, Romildo e Dorivaldo, pelo empenho e disponibilidade.

Ao Laboratório de Tecnologia de Alimentos (LTA) do Centro de Tecnologia da UFPB, nas pessoas de Candido e Isabel, pela presteza nas análises microbiológicas.

À Associação para o Desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia (Scientec) e ao Centro de Tecnologia da UFPB pelo apoio nas diversas fases da pesquisa.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), pelo afastamento concedido para participar do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da UFPB. Quero agradecer também a todos os professores de IFPB campus Guarabira, pelo apoio, especialmente ao Prof. Cristiano Lourenço (Diretor Geral), Erick Melo (Diretor de Ensino), Tatiana Losano (ex-coordenadora do curso de Gestão Comercial), Kyara Nóbrega (por ter se disponibilizado a ministrar a disciplina de Responsabilidade Socioambiental), a Sabrina Costa e Cícero Marciano (pela disponibilidade em lecionar Metodologia da Pesquisa Científica) e novamente a Sabrina, pela elaboração do *abstract* final, enfim, a todos os outros pela força, amizade e carinho para com a minha pessoa. Bem como à todos do campus Sousa, onde tudo começou, e pelo apoio durante todo o processo, enquanto lá estive.

À família EaD do IFPB, a quem agradeço em nome de Marcos Vinicius Canditiano de Andrade, por compreender os momentos de ausência, bem como a todos os tutores, presenciais e à distância, do Polo Guarabira, pela dedicação, disponibilidade e carinho para comigo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento da pesquisa.

Ao Professor Dr. Cícero Onofre de Andrade Neto (*in Memoriam*), que partiu prematuramente em maio desse ano, pela sua grande contribuição ao estudo das águas nas cisternas, dos quais essa autora se beneficiou.

A todos que direta ou indiretamente, ao passar pela minha caminhada na terra, contribuíram com meu crescimento e, conseqüentemente na minha vida acadêmica.

Enfim, à vida, à Gaia, ao Cosmos, meu muito, muito obrigada!

**PRECEITOS ecológicos de Padre Cícero (1844-1934).**

“...Faça uma *cisterna* no oitão de sua casa para guardar água de chuva...”

Padre Cícero, pioneiro da educação ambiental no Cariri

(Vasconcelos Sobrinho, Rubens Ricupero).

## RESUMO

As águas de chuva têm sido cada vez mais utilizadas para reduzir o número de pessoas sem acesso à água para o consumo. Os programas governamentais, visando a instalação de cisternas para o armazenamento e uso de águas de chuva pelos moradores da zona rural do semiárido brasileiro, têm obtido bons resultados desde a sua instituição no início desse século. No entanto, não são disponibilizados, na literatura especializada, estudos em quantidade suficiente sobre a garantia da qualidade adequada para o consumo humano. Assim, o objetivo da pesquisa relatada nesta tese é analisar as águas de chuva armazenadas em cisternas de placas e de polietileno, que são destinadas ao suprimento de populações difusas do semiárido do estado do Paraíba, Brasil. Os destaques deste trabalho são feitos nos problemas de qualidade da água traduzidos pelas diferentes pluviosidades nas regiões de captação, pelo atendimento aos padrões de qualidade conforme a normativa, e pelas diferenças entre as águas armazenadas em cisternas de placas e de polietileno, como consequência do tipo do seu material constituinte. A metodologia utilizada abrangeu a coleta de amostras de água nos municípios de Cabaceiras e São Sebastião de Lagoa de Roça. As informações concernentes aos parâmetros tradutores da qualidade da água foram obtidas por meio de medições com uso de sonda multiparamétrica e de análises em laboratório. Os resultados obtidos foram submetidos à análise estatística, utilizando-se testes para a comparação de médias dos parâmetros físicos e químicos da água, rejeitando ou não a hipótese das amostras serem provenientes de uma mesma população, segundo os objetivos, e à verificação da conformidade dos resultados dos parâmetros de qualidade da água com a Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/2011 para águas destinadas ao abastecimento humano. Os resultados indicaram a rejeição das duas hipóteses formuladas, traduzidas na ausência de diferenças entre os parâmetros representativos da qualidade das águas nos dois tipos de cisternas, e também entre as cisternas com áreas de captação em regiões de diferentes pluviosidades. Quanto a verificação da conformidade, concluiu-se que ocorreu na grande maioria dos parâmetros físicos e químicos do rol analisado. Nas análises microbiológicas realizadas, o *Escherichia coli* foi ausente e os coliformes totais compareceram em todas as amostras de água, concluindo-se, então, pelo não atendimento à Portaria quanto aos parâmetros microbiológicos; houve, portanto, concordância com os resultados de outros pesquisadores, indicando a necessidade de tratamento simples antes do consumo humano.

**Palavras-chave:** águas de chuva; cisternas domiciliares; parâmetros de qualidade da água.

## ABSTRACT

Rainwater has been increasingly used to reduce the number of people without access to water for consumption. Government programs for the installation of cisterns for the storage and use of rainwater by rural zone residents of the Brazilian semiarid region have been successful since its inception at the beginning of this century. However, there are not enough amounts of studies on quality assurance for human consumption available in the specialized literature. Thus, the objective of the research reported in this thesis is to analyze the rainwater stored in concrete and polyethylene cisterns which are intended to the supply of diffuse populations of the semiarid state of Paraíba - Brazil. The highlights of this work are the problems of water quality reflected by the different rainfall in the catchment areas, the quality standards meeting according to the regulations, and the differences between the water stored in concrete and polyethylene cisterns, as a consequence of the type of its constituent material. The methodology used included the collection of water samples in the municipalities of Cabaceiras and São Sebastião de Lagoa de Roça. The data concerning the parameters of the water quality were obtained through measurements using multiparameter probe and laboratory analysis. The results were submitted to statistical analysis, using tests to compare the physical and chemical parameters of the water, rejecting or not the hypothesis of the samples coming from the same population, according to the objectives, and the verification of result conformity of the parameters of water quality with the Ministry of Health Ordinance No. 2.914/2011 for water intended for human supply. The results indicated the rejection of the two formulated hypotheses, translated in the absence of differences between the representative parameters of the water quality in the two types of cisterns, and also between the cisterns with catchment areas in regions of different rainfalls. As for the verification of conformity, it was concluded that it occurred in the great majority of the physical and chemical parameters of the analyzed list. In the microbiological analyzes performed, *Escherichia coli* was absent and the total coliforms were present in all water samples, then it was concluded that there was not a compliance with the Ordinance regarding the microbiological parameters; therefore, there was an agreement with the results of other researchers, indicating the need for simple water treatment before human consumption.

**Keywords:** rainwater; household cisterns; water quality parameters.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas (drylands) do mundo.....	25
Figura 2 – Delimitação do SAB de 2005.....	27
Figura 3 – Percentual do território das unidades da Federação e das grandes regiões cujos espaços geográficos estão inseridos ou não no SAB.....	29
Figura 4 – Climatologia da precipitação mensal da região Nordeste do Brasil.....	30
Figura 5 – Climatologia da precipitação anual da região nordeste do Brasil.....	31
Figura 6 – Província Geológica do Semiárido Brasileiro.....	33
Figura 7 – Cobertura Vegetal do Semiárido Brasileiro.....	35
Figura 8 – Vazão do córrego Teixeira no semiárido de Minas Gerais.....	36
Figura 9 – Percentual da população total residente das unidades da Federação e grandes regiões que residem nos espaços geográficos, dentro e fora da porção semiárida.....	37
Figura 10 – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – IDH-M do SAB.....	38
Figura 11 – Número de dias com déficit hídrico para os anos hidrológicos 2011-2012 (a), 2012-2013 (b), 2013-2014 (c), 2014-2015 (d) e 2015-2016 (e).....	43
Figura 12 – Processo de construção da cisterna: (a) escavação e execução da laje de fundo; (b) montagem das placas; (c) montagem da cobertura; (d) cisterna pronta.....	51
Figura 13 – Cisterna de polietileno.....	53
Figura 14 – Qualidade da água na cisterna em função de cada evento de escoamento.....	55
Figura 15 – Localização dos Municípios selecionados.....	61
Figura 16 – Fluxograma das fases do trabalho.....	64
Figura 17 – Cisterna de placas em Cabaceiras (a) Cisterna de polietileno em SSLR (b).....	65
Figura 18 – Recipientes para coleta (a) e transporte das amostras de água (b).....	65
Figura 19 – Bolsa para coleta de amostra de água THIO BAG (a), e caixa de isopor com gelo (b).....	66
Figura 20 – Utensílios para retiradas da água das cisternas (a) plástico; (b) flandres.....	67
Figura 21 – (a) Bomba de PVC e (b) Bomba de ferro.....	67
Figura 22 – Caixa de desvio (a); (b) Cano desconectado.....	68
Figura 23 – Tipos de tampas nas cisternas (a) alvenaria; (b) zinco; (c) madeira; (d) plástico.....	68
Figura 24 – Sonda Hanna modelo HI 9829 utilizada na pesquisa.....	72
Figura 25 – Leitura de parâmetros de qualidade da água diretamente nas cisternas de placas.....	72
Figura 26 – Leitura de parâmetros de qualidade de água diretamente nas cisternas de polietileno.....	73
Figura 27 – Coleta da amostra para a realização das análises físico-químicas no laboratório.....	73
Figura 28 – Preparação das amostras para análise no LABSAM.....	74
Figura 29 – Realização de análise de cloretos e dureza por Método Titulométrico.....	74
Figura 30 – Coleta das amostras para análise microbiológicas.....	75
Figura 31 – Laboratório em Tecnologia de Alimentos da UFPB.....	75
Figura 32 – Gráfico <i>Boxplot</i> e definições.....	76
Figura 33 – Curva de distribuição normal.....	78
Figura 34 – Alcalinidade das CPLAs e CPOLs.....	84
Figura 35 – Amônia das CPLAs e CPOLs.....	84

Figura 36 – CE das CPLAs e CPOLs.....	84
Figura 37 – Cloretos das CPLAs e CPOLs.....	84
Figura 38 – Cor das CPLAs e CPOLs.....	85
Figura 39 – Dureza das CPLAs e CPOLs.....	85
Figura 40 – Nitrato das CPLAs e CPOLs.....	85
Figura 41 – OD das CPLAs e CPOLs.....	85
Figura 42 – pH das CPLAs e CPOLs.....	85
Figura 43 – Salinidade das CPLAs e CPOLs.....	85
Figura 44 – ST das CPLAs e CPOLs.....	86
Figura 45 – STF das CPLAs e CPOLs.....	86
Figura 46 – STV das CPLAs e CPOLs.....	86
Figura 47 – Sulfato das CPLAs e CPOLs.....	86
Figura 48 – TDS das CPLAs e CPOLs.....	86
Figura 49 – Temperatura das CPLAs e CPOLs.....	86
Figura 49 – Temperatura das CPLAs e CPOLs.....	87
Figura 51 – Alcalinidade de Cabaceiras e SSLR.....	88
Figura 52 – Amônia de Cabaceiras e SSLR.....	88
Figura 53 – CE de Cabaceiras e SSLR.....	88
Figura 54 – Cloreto de Cabaceiras e SSLR.....	88
Figura 55 – Cor de Cabaceiras e SSLR.....	89
Figura 56 – Dureza de Cabaceiras e SSLR.....	89
Figura 57 – Nitrato de Cabaceiras e SSLR.....	89
Figura 58 – OD de Cabaceiras e SSLR.....	89
Figura 59 – pH de Cabaceiras e SSLR.....	90
Figura 60 – Salinidade de Cabaceiras e SSLR.....	90
Figura 61 – ST de Cabaceiras e SSLR.....	90
Figura 62 – STF de Cabaceiras e SSLR.....	90
Figura 63 – STV de Cabaceiras e SSLR.....	91
Figura 64 – Sulfato de Cabaceiras e SSLR.....	91
Figura 65 – TDS de Cabaceiras e SSLR.....	91
Figura 66 – Temperatura de Cabaceiras e SSLR.....	91
Figura 67 – Turbidez de Cabaceiras e SSLR.....	91

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 – Histórico de ocorrências de secas no SAB sequenciado por século, por período e por ano .....	41
Quadro 2 – Evolução de medidas para combate e convivência com a seca no semiárido .....	44
Quadro 3 – Especificações das cisternas de placa .....	50
Quadro 4 – Especificações técnicas da cisterna de polietileno .....	53
Quadro 5 – Relação das cisternas estudadas e sua caracterização quanto ao material construtivo, localidades onde estão instaladas, compreendendo dezessete de CPLAs e seis de CPOLs .....	69
Quadro 6 – Data das medições e coletas realizadas .....	70
Quadro 7 – Ensaio e métodos utilizados para obtenção dos parâmetros analisados.....	71
Tabela 1 – Extensão territorial segundo as unidades da Federação e as grandes regiões em 2010 .....	28
Tabela 2 – População total residente segundo as unidades da Federação e grandes regiões - 2010 .....	37
Tabela 3 – Parâmetros de qualidade da água e estatísticas nas CPLAs em São Sebastião de Lagoa de Roça .....	81
Tabela 4 – Parâmetros de qualidade da água e estatísticas nas CPOLs em São Sebastião de Lagoa de Roça .....	82
Tabela 5 – Parâmetros de qualidade da água e estatísticas nas CPLAs em Cabaceiras .....	83
Tabela 6 – Estatísticas dos testes de hipóteses para os parâmetros das águas das CPLAs e CPOLs .....	92
Tabela 7 – Estatísticas dos testes de hipóteses para os parâmetros das águas das CPLAs....	94
Tabela 8 – Valores de parâmetros para verificação da conformidade de CPLAS em Cabaceiras .....	97
Tabela 9 – Valores de parâmetros para verificação da conformidade de CPLAS em SSLR ...	98
Tabela 10 – Valores de parâmetros para verificação da conformidade de CPOLs em SSLR..	99

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
ASA	Articulação no Semiárido Brasileiro
BNB	Banco do Nordeste do Brasil
Bsh	Semiárido Quente
CE	Condutividade Elétrica
CODEVASF	Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba
COLPOS	Colégio de Pós- Graduação de Texcoco
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COP	Conferência das Partes da Convenção de Combate à Desertificação e à Seca
CPLAs	Cisternas de Placas
CPOLs	Cisternas de Polietileno
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FBB	Fundação Banco do Brasil
FEBRABAN	Federação Brasileira de Bancos
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
FNE	Fundo Constitucional do Nordeste
GTI	Grupo de Trabalho Interministerial
HT1	Hipótese da Tese 1
HT2	Hipótese da Tese 2
HT3	Hipótese da Tese 3
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH- M	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
INSA	Instituto Nacional do Semiárido
LABSAM	Laboratório de Saneamento Ambiental
LTA	Laboratório em Tecnologia de Alimentos
MDSA	Ministério do Desenvolvimento Social e Agrário
MS	Ministério da Saúde
NDMC	Nacional Drought Mitigation Center
NE	Região Nordeste

OD	Oxigênio Dissolvido
OMS	Organização Mundial de Saúde
P1MC	Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semiárido – Um Milhão de Cisternas Rurais
PAE/PB	Programa de ação estadual de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca no estado da Paraíba
PETROBRÁS	Petróleo Brasileiro S.A
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PQRS	Probabilities, Quantiles and Random Samples
PURAE	Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações
SAB	Semiárido Brasileiro
SCAAC	Sistemas de Captação e Armazenamento de Água de Chuva
SSLR	São Sebastião de Lagoa de Roça
ST	Sólidos Totais
STF	Sólidos Totais Fixos
STV	Sólidos Totais Voláteis
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
SW	Shapiro – Wilk
TDS	Sólidos Dissolvidos Totais
TSH	Tecnologias Sociais Hídricas
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
UNDDD	United Nations Decade for Deserts and the Fight against Desertification
UNT	Unidades Nefelométrica de Turbidez
VMP	Valor Máximo Permitido

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>24</b>
2.1 O SEMIÁRIDO E AS SECAS .....	24
2.1.1 O semiárido .....	24
2.1.2 As secas .....	39
2.2 SISTEMAS DE CAPTAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA.....	45
2.2.1O uso de cisternas para armazenamento de água de chuva .....	45
2.2.2 Programas de Convivência com o SAB.....	47
2.2.2.1 O Programa Um Milhão de Cisternas Rurais .....	48
2.2.2.2 Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Água - Água para Todos.....	51
2.3 QUALIDADE DA ÁGUA EM CISTERNAS .....	53
2.4 ASPECTOS LEGAIS E NORMATIVOS DAS ÁGUAS DE CHUVA .....	56
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>60</b>
3.1 ÁREAS DE ESTUDO.....	62
3.1.1 Caracterização do Município de Cabaceiras - PB .....	62
3.1.2 Caracterização do município de São Sebastião de Lagoa de Roça – PB.....	62
3.2 FASES DA PESQUISA.....	63
3.2.2 Fase das análises para determinação dos parâmetros nos laboratórios .....	70
3.2.3 Metodologia para realização das análises.....	71
3.3 FASE DE TESTES ESTATÍSTICOS PARA COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS .....	76
3.4 FASE DE COMPARAÇÃO COM AS NORMAS DE CONFORMIDADE... ..	79
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>80</b>
4.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS .....	80
<b>4.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>100</b>
4.2.1 Avaliações comparativas entre águas das CPLAS e CPOLS .....	100
4.2.2 Avaliação comparativa das CPLAs dos municípios de Cabaceiras e São Sebastião de Lagoa de Roça .....	102
4.2.3 Avaliação da conformidade da qualidade água das cisternas.....	105
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>108</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>112</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A escassez de água devido à influência de vários fatores, com destaque para o aumento da demanda decorrente do crescimento demográfico e econômico, as mudanças climáticas, o uso descontrolado dos recursos hídricos, entre outros, tem se tornado um problema de relevância mundial. Essa problemática se agrava ainda mais, quando se trata das regiões áridas e semiáridas, evidenciando assim a necessidade de se encontrar alternativas efetivas para se obter de qualidade água em condições para o consumo humano e para as atividades econômicas.

As regiões semiáridas ocorrem em diversas áreas do planeta, abrangendo países de quase todos os continentes, a exemplo do Brasil, México, Iran, China, Argentina, Estados Unidos, Austrália e Espanha (GARDUÑO, 1997). Entre as regiões submetidas a cenários de escassez de água se destacam as zonas semiáridas, que são muito mais habitadas do que as de maior aridez, sujeitas as chuvas de distribuição irregular, no tempo e no espaço, produzindo períodos de estiagem aguda, e ao mesmo tempo, concorrendo para eventos de enchentes. É no semiárido que ocorrem elevada evapotranspiração, acentuando o déficit hídrico nos períodos sem chuvas (MONTENEGRO e MONTENEGRO, 2012).

No Semiárido Brasileiro (SAB) o destaque é dado pelo alto grau de povoamento, sendo considerada a mais povoada entre as terras secas do mundo, com aproximadamente 23 milhões de pessoas (NASCIMENTO, 2015; MARENGO, CUNHA e ALVES, 2016).

Ainda sobre as populações que habitam as regiões semiáridas deve-se ressaltar que, grande parte delas sobrevive em condições adversas na zona rural, onde não há sistema de abastecimento de água, o que suscita a busca por opções que venham atender à demanda por água.

As secas são um fenômeno natural, derivadas de alterações do regime hidrometeorológico. No semiárido brasileiro elas afetam os habitantes, principalmente os que vivem em condições de maior vulnerabilidade, criando situações de deficiência hídrica e riscos para a segurança alimentar, energética e hídrica (EAKIN, LEMOS e NELSON, 2014).

Para Marengo, Cunha e Alves (2016), as secas fazem parte da variabilidade natural do clima na região, e ocorreram no passado, estando presentes agora e, de acordo com as projeções de mudanças climáticas, é provável que continuem a ocorrer e se intensifiquem no futuro.

Diversas tentativas para amenizar a problemática associada às secas foram encetadas por meio de ações baseadas em políticas públicas lastreadas em estudos. Outras ações, de caráter emergencial, algumas vezes, foram decididas sem um planejamento prévio quando da ocorrência do problema (MACHADO, DIAS e SILVA, 2017). Assim, os governos das regiões semiáridas do mundo, inclusive o brasileiro, vêm atuando com o objetivo de implantar infraestruturas capazes de disponibilizar água em quantidade e qualidade suficiente para garantir melhores condições de vida dos habitantes, principalmente os da zona rural (CIRILO, 2008).

A Comissão Científica de Exploração do governo imperial do Brasil, instalada em 1856, foi a pioneira nos estudos de proposição de ações para possibilitar a amenização dos problemas da seca. As recomendações da Comissão tratavam da construção de açudes, instalação de estações meteorológicas, melhoria dos sistemas de transporte e a transposição das águas do rio São Francisco para a bacia do rio Jaguaribe, no Ceará (COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS, 2011). Essas ações referiam-se ao combate à seca, implantadas a partir do início do século XX. Em uma visão tecnicista, o combate à seca consistia essencialmente no armazenamento de água, traduzido pela política de açudagem.

Diante do descrédito nas ações de combate à seca, a partir da segunda metade do século XX, programas governamentais passaram também a reproduzir o discurso da sustentabilidade. Efetivamente, na fase de estudos denominada Desenvolvimento Planejado, iniciada na década de 1950, os programas foram intensificados e as instituições destinadas à atenuação da problemática das secas e do desenvolvimento da região, como estratégia sinérgica, foram diversificadas (PASSADOR E PASSADOR, 2010).

A convivência com o semiárido foi conceituada na primeira década do século atual por organizações da sociedade civil e algumas instituições públicas de pesquisa e extensão, que passaram a formular propostas e realizar projetos com base na ideia de que é possível e necessário conviver com o semiárido. O semiárido passa a ser concebido como um espaço no qual é possível construir ou resgatar relações de convivência entre os seres humanos e a natureza, com base na sustentabilidade ambiental, combinando a qualidade de vida das famílias residentes com o incentivo às atividades produtivas econômicas apropriadas (SILVA, 2007).

As políticas de enfrentamento aos efeitos da seca evoluíram, passando pela sua efetivação por meio de medidas simplesmente emergenciais ou paliativas, para o combate à seca e para a convivência com o semiárido. No entanto, há o entendimento que as três abordagens (medidas de combate, emergenciais e convivência) não são excludentes, haja vista

a imprevisibilidade do fenômeno das secas. Como exemplo tem-se as cisternas (utilizadas para a convivência com o semiárido e as secas), que deveriam armazenar somente as águas de chuva, estão sendo utilizadas para o armazenamento de águas oriundas de açudes (das políticas de combate às secas) por meio de transporte em carros pipa (medidas emergenciais). Entendem-se os programas de convivência como transversais às políticas de combate à seca, haja vista o caráter de complementariedade e os efeitos sinérgicos que podem ser observados (MACHADO, DIAS E SILVA, 2017).

As inúmeras ações emergenciais, de combate e de convivência com a seca surgiram ao longo dos séculos. No entanto, os efeitos danosos desse flagelo continuaram, haja vista a seca que se iniciou em 2012. Porém as indicações são de que, como resultado desse conjunto de iniciativas, desde 1970 não há mais registro de mortes devido à seca, embora o êxodo do semiárido durante as ocorrências continue ainda que em grau bastante inferior em relação às secas anteriores (MARENGO, CUNHA e ALVES, 2016). Em resumo, o que tem sido adotado para o suprimento hídrico das populações do semiárido são a implantação de açudes, a perfuração de poços, o transporte de águas a grandes distâncias, as barragens subterrâneas e a captação e armazenamento de água de chuva em cisternas (CIRILO, 2008; ANDRADE NETO, 2013; CAMPOS, 2014).

Um problema de relevância que ocorre no período de secas prolongadas, como a iniciada em 2012, é que uma grande parcela das cisternas implantadas no SAB tem sido abastecida com águas oriundas de outras fontes, a exemplo de barreiros e açudes, nos quais a qualidade da água para consumo humano é duvidosa (ANDRADE *et al.*, 2015; SANTOS, CEBALLOS e SOUSA, 2013; MACHADO, DIAS, SILVA, 2017). Essas águas são transportadas por meio de carros pipa, e essa tem sido a solução adotada haja vista a ausência de chuvas.

Os Sistemas de Captação e Armazenamento de Água de Chuva (SCAAC) são bem difundidos também em outros países, a exemplo da Alemanha, Japão e Austrália (JAQUES, RIBEIRO e LAPOLLI, 2005). Segundo Kwaadsteniet *et al.* (2013), milhões de pessoas usam a água de chuva para o consumo humano, tendo sido observado um aumento de duas vezes mais, no período de 1990 a 2010, no campo e nas cidades.

Os SCAAC constituem uma das formas mais simples, viável e barata de disponibilização de água. Trata-se de uma das Tecnologias Sociais Hídricas (TSH), entendidas como soluções desenvolvidas e/ou aplicadas em interação com a população local e apropriada por ela (RTS, 2010), como uma das componentes da nova política de enfrentamento da problemática da seca, a convivência com o semiárido.

Nesse sentido, o Programa de Formação e Mobilização Social para Convivência com o Semiárido: Um Milhão de Cisternas Rurais (PIMC) surgiu pela iniciativa da Articulação Semiárido (ASA) em 1999, tendo sido incluído no programa Fome Zero do Governo Federal em 2003. O programa objetivava atender, por meio de instalação de cisternas de placas de concreto, às populações difusas residentes nas áreas rurais do semiárido brasileiro (NÓBREGA *et al.*, 2012). Com objetivos semelhantes, o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Água – Água para Todos, foi instituído em 2011. Para acelerar a instalação das SCAAC foram introduzidas nesse programa as cisternas de polietileno.

O uso em larga escala das cisternas de polietileno é recente, e gerou críticas e reações em diversas entidades no Nordeste ao alegarem que esse modelo vai de encontro à “lógica da mobilização das comunidades na construção, no manejo e na manutenção dos reservatórios” (NOGUEIRA, 2015). Nesse contexto, apesar dos questionamentos, ainda não há muitas discussões quanto ao desempenho em relação a sua função de armazenamento e garantia de água de boa qualidade para o consumo humano (MOURA, *et al.*, 2016). De fato, quase não existem estudos científicos disponíveis sobre a potabilidade da água armazenada nas cisternas de polietileno.

A técnica de SCAAC se caracteriza como um sistema alternativo e individual para abastecimento de água para consumo humano. Nesses sistemas, a qualidade da água, no que se refere aos padrões de potabilidade, e aos riscos à saúde humana, está diretamente relacionada com os materiais utilizados na construção das estruturas, com o desenho físico e os componentes das mesmas e com as práticas de operação e manutenção utilizadas pelos usuários dos sistemas (GOMES *et al.*, 2014).

Deve ser ressaltado que as águas coletas e armazenadas em cisternas não possuem, de uma maneira geral, um controle sistemático, nem garantia de que recebam tratamento regular que assegure sua qualidade para o consumo humano, podendo haver ocorrências de ambientes favoráveis ao surgimento de doenças de veiculação hídrica.

Outra questão pertinente, referente à relação entre a quantidade e a qualidade da água dos SCAAC, é relatada por Martinson e Thomas (2003) que verificaram que a qualidade da água armazenada em cisternas pode ser alterada com a ocorrência de uma maior quantidade de chuvas captadas nesses sistemas. Daí a importância do monitoramento das águas de chuvas captadas e armazenadas em cisternas instaladas na região do semiárido com diferentes índices de pluviosidade.

Apesar das questões ainda em investigação relatadas em parágrafos anteriores, relativamente ao uso das cisternas, diversos autores relatam os SCAAC como a tecnologia social mais viável e que obteve mais sucesso no SAB (PASSADOR & PASSADOR, 2010; SILVA et. al., 2016), na difícil tarefa de suprir com água as populações difusas.

Assim, à luz da problemática da escassez hídrica e do uso intensivo das cisternas no SAB, esta pesquisa põe em evidência os questionamentos relativos às cisternas de polietileno, a influência da pluviosidade na qualidade da água, e conformidade com os padrões de qualidade.

Por conseguinte, foram formuladas três hipóteses (HT1, HT2 e HT3) que, em seu conjunto, procuram responder aos questionamentos colocados nesta tese:

HT1: Há diferenças significativas entre a qualidade das águas de chuva armazenadas em cisternas de placas e de polietileno.

HT2: Há diferenças significativas na qualidade das águas armazenadas nas cisternas de placas, em função de diferentes pluviosidades.

HT3: Há conformidade dos padrões de qualidade da água para abastecimento com uso desses mananciais, segundo reza a legislação.

O objetivo geral desta tese foi analisar a qualidade das águas de chuva armazenadas em cisternas de placas e de polietileno que são destinadas ao suprimento às populações difusas do semiárido de estado do Paraíba, relativamente a diferentes pluviosidades das regiões de captação, aos padrões de qualidade conforme a normativa, e verificar se há diferenças entre as águas nos dois tipos de cisternas.

Os objetivos específicos foram:

- Avaliar se há diferenças significativas entre a qualidade das águas de chuva armazenadas nas cisternas, com relação ao tipo de material, placas e polietileno;
- Avaliar se há diferenças significativas entre a qualidade das águas dos SCAAC oriundas de municípios com diferentes pluviosidades;
- Verificar se há conformidade da qualidade da água das cisternas de placas e de polietileno, em relação aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria Ministério da Saúde nº 2.914/2011.

Vale ressaltar que a captação de água de chuva refere-se a uma temática que está na fronteira de áreas transdisciplinares como o saneamento básico, na área das engenharias, e as ciências sociais aplicadas, no campo das políticas públicas. Nesse contexto, a interpretação e

explicação dos fenômenos e processos observados envolve a articulação de campos teóricos de distintas disciplinas (GOMES *et al.*, 2014). Também para estes autores, são grandes as lacunas referentes às demandas por estudos na área de captação e armazenamento de água de chuva no Brasil.

No entanto, deve ficar claro que os objetivos da tese são relativos à busca do entendimento de importantes questões relacionadas às disciplinas recursos hídricos e saneamento básico, sem perder a visão do eixo que visa o atendimento de populações que vivem em condições desfavoráveis na região semiárida.

A tese foi organizada em cinco capítulos. O primeiro refere-se a introdução, apresentando a contextualização relativa à problemática da escassez hídrica, enfocando o Semiárido Brasileiro (SAB) e as diversas tentativas de amenizar essa conjuntura complexa, perpassando pelas políticas públicas dedicadas à problemática do semiárido, até a fase atual na qual a convivência abrange as políticas de implantação dos Sistemas de Captação e Armazenamento de Água de Chuva. Nesse capítulo foram também formuladas as hipóteses e os objetivos da tese, bem como a justificativa do estudo.

O capítulo dois apresenta o referencial teórico que dá sustentação à tese, a partir de uma revisão geral do tema abordado em regiões áridas, abrangendo as políticas públicas para a atenuação dos efeitos da seca no SAB, e as ações emergenciais, de combate e de convivência. São destacados os programas de implantação de cisternas, como uma solução no âmbito das ações de convivência na região semiárida, especificamente sobre a problemática de escassez hídrica, relativamente ao aspecto de disponibilidade no que concerne à qualidade da água armazenada nas cisternas que atendem os usuários difusos do semiárido.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia adotada no estudo, elaborada com a finalidade de responder às hipóteses enunciadas e atender aos objetivos formulados. Nesse capítulo foram apresentadas as áreas de estudo, bem como os procedimentos metodológicos utilizados para a realização da pesquisa de campo e de laboratório, além da análise estatística e verificação da conformidade com a norma de potabilidade.

O capítulo quatro trata da apresentação e discussão dos resultados alcançados pela pesquisa referentes às hipóteses formuladas na tese.

Por fim, o capítulo cinco refere-se às considerações finais e recomendações levando em conta a importância do tema focado, resultantes da intersecção entre teoria e prática, a partir dos resultados das análises realizadas nos municípios estudados em relação aos objetivos definidos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo faz-se uma abordagem, a partir de uma revisão geral, sobre a região semiárida e as secas; as diversas ações para amenizar os problemas de escassez de água, com a utilização de cisternas, através de programas governamentais, mais especificamente sobre o Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semiárido – Um Milhão de Cisternas (P1MC) e o programa Água para Todos, no meio rural. São enfocados, ainda, os aspectos normativos e da qualidade da água para consumo humano.

Torna-se importante esse capítulo por possibilitar a associação entre o conhecimento da problemática da escassez hídrica e a qualidade das águas armazenadas com uso das cisternas implantadas na região semiárida paraibana, visando o atendimento às condições de potabilidade para o consumo humano.

### 2.1 O SEMIÁRIDO E AS SECAS

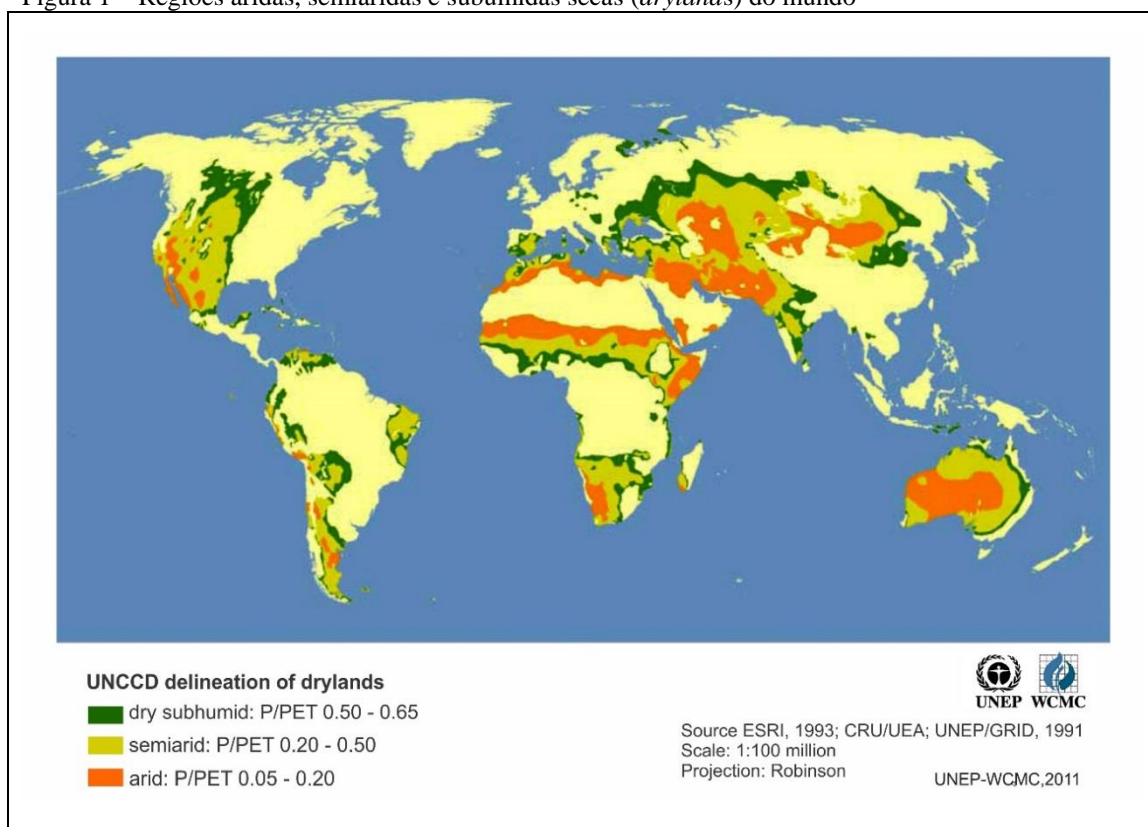
#### 2.1.1 O semiárido

As terras áridas e semiáridas constituem um conjunto de formações naturais complexas e dispersas nos diversos continentes do mundo, com exceção da Antártida, apresentando diferenças significativas entre si, porém mantendo algumas particularidades comuns de identificação que as tornam singulares relativamente à outras regiões. Nessas terras há grandes problemas de escassez de água que repercutem tanto na qualidade de vida dos moradores dessas regiões quanto na economia (OLIVEIRA, 2012; CIRILO, 2015).

Não são poucas as regiões denominadas secas na superfície terrestre (Figura 1). Efetivamente, mais de 41,3% é de terras secas (*drylands*), compreendendo as hiperáridas, áridas, semiáridas e subúmidas secas (UNDDD, 2017).

As maiores quantidades de terras secas estão localizadas na África, no Oriente Médio e na Austrália, comparativamente com as da América do Norte e do Sul (Figura 1). A América do Sul apresenta 5.430 mil km<sup>2</sup> de terras áridas, correspondendo a 8,8% do total de terras áridas do mundo (BRASIL, 2016; UNDDD, 2017).

Figura 1 – Regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas (*drylands*) do mundo



Fonte: Adaptado de United Nations Decade for Deserts and the Fight against Desertification (UNDDD), 2010-2020. Disponível em [http://www.un.org/en/event/desertification\\_decade/whynow.shtml](http://www.un.org/en/event/desertification_decade/whynow.shtml). Acesso em 20 de jan. 2017.

Em geral, se definem como semiáridas àquelas regiões onde as precipitações não chegam a atingir às necessidades de crescimento da vegetação durante todo o ano. Nessas regiões, o índice de aridez (precipitações/evapotranspiração potencial) se encontra no intervalo de 0,20 a 0,50 (PAE-PB, 2011).

A expressão semiárido é normalmente utilizada para “designar um tipo climático caracterizado por forte insolação, temperaturas relativamente altas e um regime de chuvas marcado por uma escassez, irregularidade e uma concentração de precipitações num curto período” (MOREIRA e TARGINO, 2007, p. 77).

Outros autores (CIRILO, 2008; PILGRIM, CHAPMAN e DORAN, 2009; TROLEIS e SANTOS, 2011; ARAÚJO, 2011) se referem a essas regiões como as que têm ocorrência de precipitações médias anuais entre 250 e 500 mm, baixa umidade relativa do ar, com índice de aridez<sup>1</sup> entre 0,20 e 0,50; apresentam como fator de destaque o clima, responsável pela variação dos outros elementos que compõem as paisagens, e sua vegetação é composta

<sup>1</sup> Segundo a classificação climática de Thornthwaite o índice de aridez para o clima Hiperárido é menor que 0,05; para o Árido entre 0,05 e 0,20; Semiárido entre 0,21 e 0,50; e Subúmido seco entre 0,51 e 0,65.

prioritariamente por arbustos, que perdem as folhas nos períodos de estiagem prolongada e secam na época de estiagem.

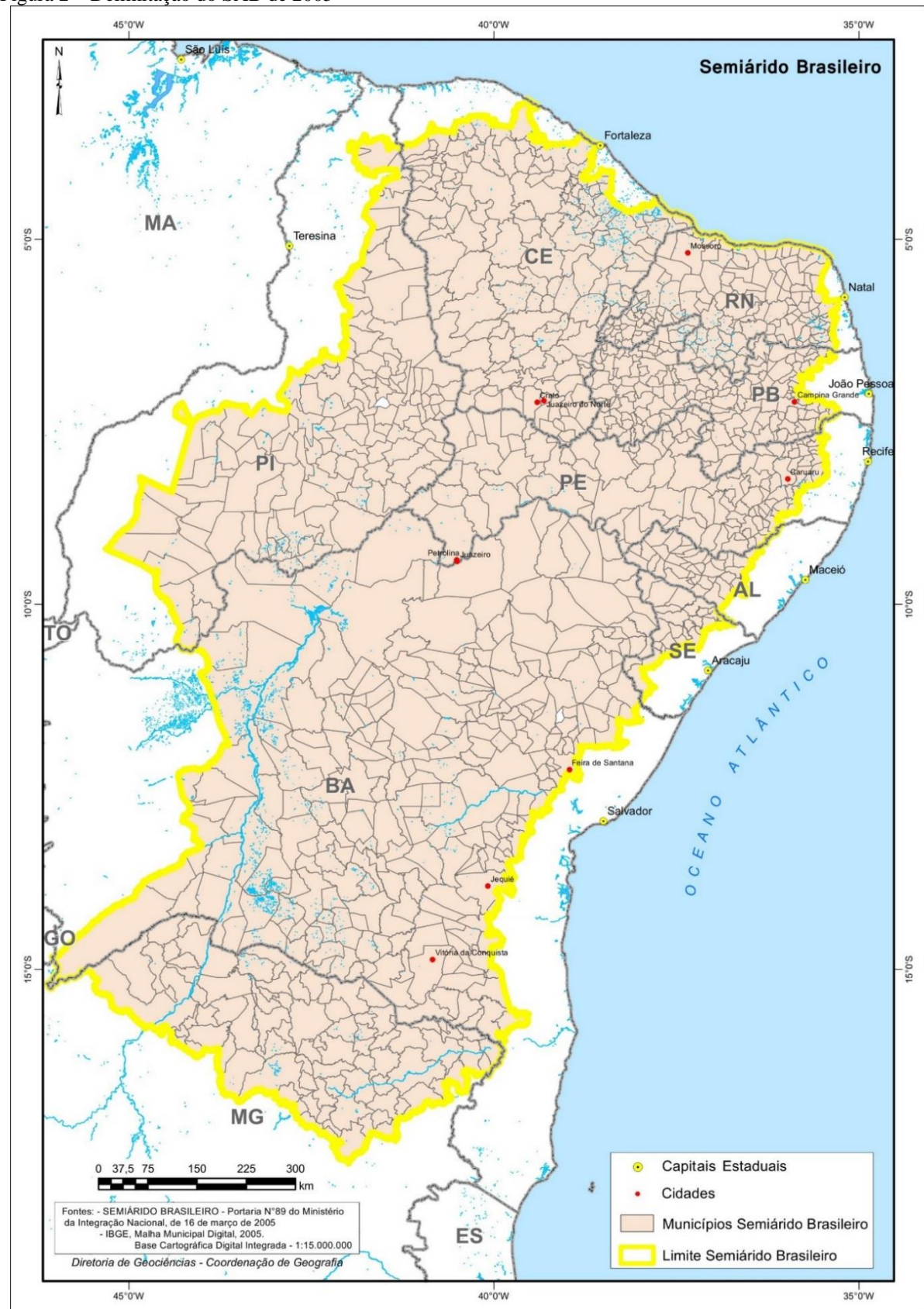
A região semiárida não está restrita ao território brasileiro. Está presente nos territórios de vários países, como Chile, Argentina, Bolívia, Paraguai, Venezuela e Colômbia, na América do Sul; Estados Unidos e México na América do Norte; Austrália na Oceania, Espanha, Ucrânia, Rússia e Turquia na Europa, afora os da África (norte, central e sul) e vários na Ásia (UNDDD, 2017).

O espaço geográfico denominado de Semiárido Brasileiro (SAB), recebeu diversas denominações e teve vários tamanhos ao longo da história (TRAVASSOS, SOUZA e SILVA, 2013). A primeira delimitação estabelecida foi em 1936, denominada Polígono das Secas. A segunda veio com a Constituição Federal de 1988, que no seu Artigo 159 instituiu o Fundo Constitucional do Nordeste (FNE) que juridicamente dá origem à região semiárida brasileira. No entanto, foi com a Lei 7.827 de 27 de setembro de 1989 que se definiu a região semiárida e que está inserida na área de atuação da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). A terceira e mais recente delimitação decorre da Portaria Interministerial nº 6 de 29 de março de 2004, assinada pelos Ministérios da Integração Nacional e do Meio Ambiente. Essa Portaria instituiu o Grupo de Trabalho Interministerial (GTI), para esse fim. Baseada nas conclusões desse Grupo, o SAB teve sua última delimitação (Figura 2) expressa na Portaria nº 89, de 16 de março de 2005, do Ministério da Integração Nacional, publicada no Diário Oficial da União (DOU) em 17 de março de 2005 (INSA, 2012).

Ainda segundo Travassos, Souza e Silva (2013):

Essa nova delimitação deve servir como parâmetro para a adoção de políticas de apoio ao desenvolvimento da região. Para a nova delimitação do semiárido brasileiro, tomou-se por base três critérios técnicos: a) Precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 milímetros; b) Índice de aridez de até 0,5 calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial, no período entre 1961 e 1990; c) Risco de seca maior que 60%, tomando-se por base o período entre 1970 e 1990 (BRASIL, 2007) (TRAVASSOS, SOUZA e SILVA, 2013, p. 151).

Figura 2 – Delimitação do SAB de 2005



Fonte: Adaptado do IBGE, 2005

Segundo a última delimitação feita em 2005, o SAB abrange uma área de 980.133,079 km<sup>2</sup>, compreendendo 11,53% do território brasileiro, ou seja, 56,46% da região Nordeste (INSA, 2012). Envolve os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Piauí e parte da região norte do estado de Minas Gerais. Na Tabela 1 é apresentada a extensão territorial do semiárido segundo as unidades da Federação e as grandes regiões brasileiras. Na Figura 3 constam os percentuais correspondentes que variam entre 17,49% em Minas Gerais a 92,97% no Rio Grande do Norte (INSA, 2012).

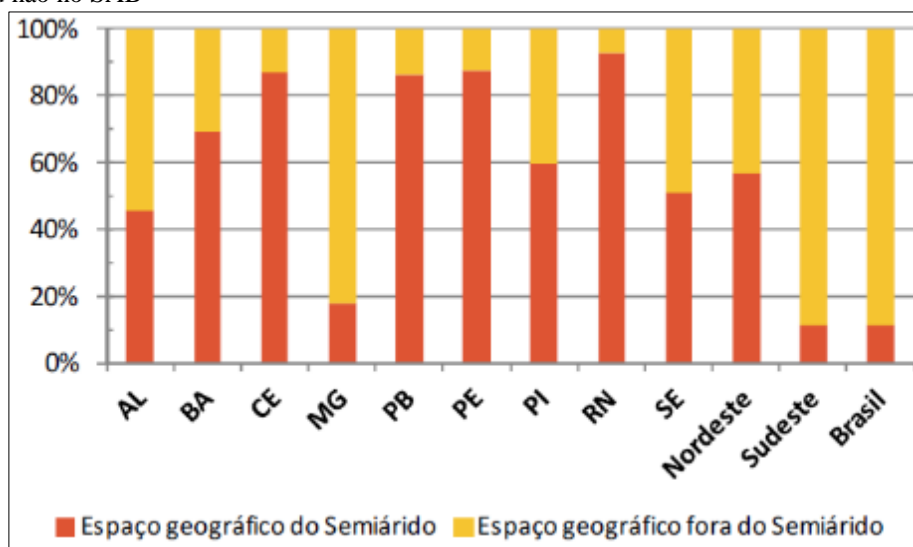
Com essa nova delimitação não houve alteração no número de municípios do estado da Paraíba, permanecendo a área em 86,20% do seu território (PEREIRA JÚNIOR, 2007, INSA, 2012).

Tabela 1 – Extensão territorial segundo as unidades da Federação e as grandes regiões em 2010

Unidades da Federação e Grandes Regiões	Km <sup>2</sup>		
	Espaço geográfico do Semiárido	Espaço geográfico fora do Semiárido	Espaço geográfico total
Alagoas	12.579,185	15.200,158	27.779,343
Bahia	391.485,078	173.345,781	564.830,859
Ceará	129.178,779	19.741,759	148.920,538
Minas Gerais	102.567,248	483.953,120	586.520,368
Paraíba	48.676,947	7.792,519	56.469,466
Pernambuco	85.979,387	12.166,928	98.146,315
Piauí	149.463,382	102.113,262	251.576,644
Rio Grande do Norte	49.097,482	3.713,217	52.810,699
Sergipe	11.105,591	10.812,763	21.918,354
Semiárido	980.133,079		980.133,079
Nordeste	877.565,831	676.821,894	1.554.387,725
Sudeste	102.567,248	822.028,808	924.596,056
Centro Oeste		1.606.366,787	1.606.366,787
Norte		3.853.575,624	3.853.575,624
Sul		563.802,077	563.802,077
Brasil	980.133,079	7.522.595,190	8.502.728,269

Fonte: INSA, 2012

Figura 3 – Percentual do território das unidades da Federação e das grandes regiões cujos espaços geográficos estão inseridos ou não no SAB

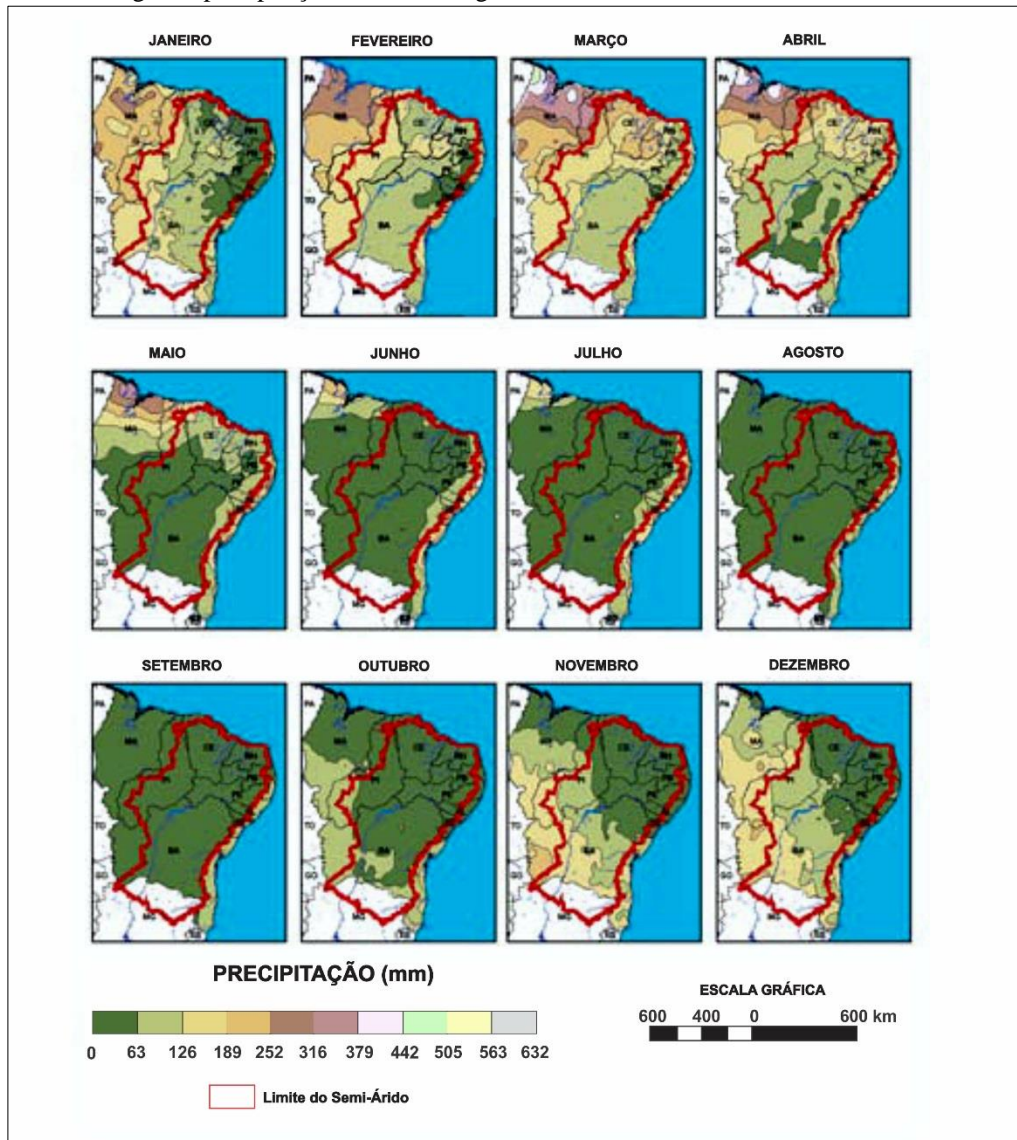


Fonte: INSA, 2012

A despeito da sua grande extensão territorial, o clima do SAB é pouco diversificado. Os aspectos de relevo definem alguns locais com maiores altitudes, e, em decorrência, ocorrem microclimas específicos. Além disso, a proximidade com o oceano, em alguns locais, resulta na influência das frentes frias e maiores índices pluviométricos (MOURA *et al.*, 2007). Tem como característica, além das altas temperaturas, um regime de chuvas irregulares que ocorrem durante curto período de tempo de 3 a 5 meses (Figura 4) e têm uma grande variabilidade espacial (Figura 5), temporal e interanual (INSA, 2011).

A distribuição da precipitação média mensal no SAB, expressa na Figura 4, mostra uma predominância no período chuvoso do verão, entre os meses de dezembro e abril, em quase todo o SAB.

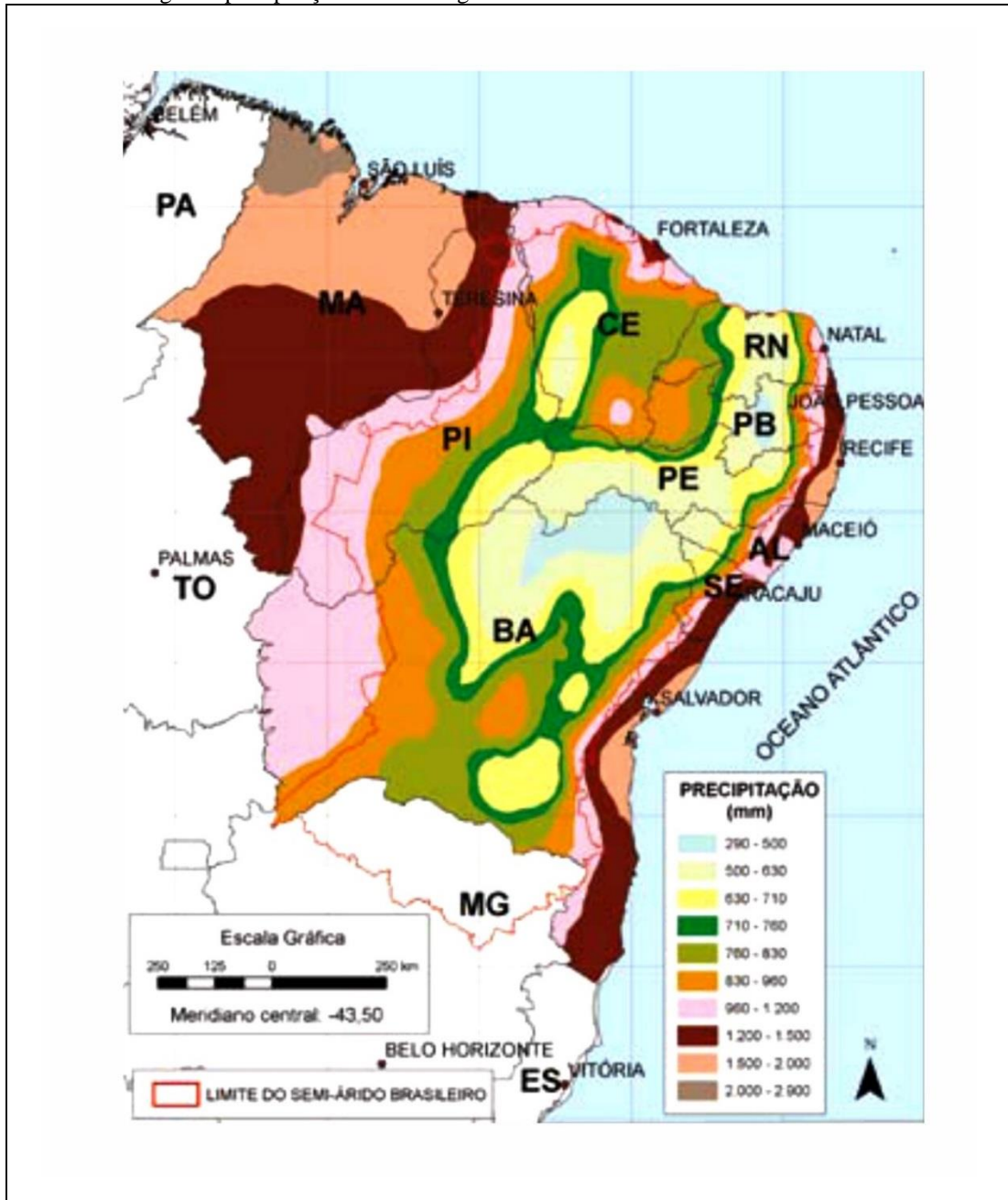
Figura 4 – Climatologia da precipitação mensal da região Nordeste do Brasil.



Fonte: Adaptado de Moura *et al.*, 2007

Pela variabilidade das precipitações médias anuais fica evidenciada na Figura 5, observando-se que no litoral leste as chuvas chegam a ser superiores a 1.000 mm, diminuindo para o interior do semiárido, passando pelo Agreste e Sertão, alcançando valores médios inferiores a 500 mm. Em algumas regiões interiores a precipitação atinge valores próximos a 1.500 mm, em microclimas específicos em consequência da presença de serras e montanhas, como na Chapada do Araripe (MOURA *et al.*, 2007).

Figura 5 – Climatologia da precipitação anual da região nordeste do Brasil



Fonte: Moura *et al.*, 2007

Sousa, Barbosa e Costa (2015, p. 67) assinalam que “as regiões semiáridas caracterizam-se por um elevado saldo positivo de energia solar e déficit hídrico”.

A temperatura média do ar situa-se, em geral, acima dos 20°C, com valores máximos superiores a 30°C na maior parte do ano, chegando a 38°C na estação mais quente (AYOADE, 1991).

De acordo com Moura *et al.* (2007), a evaporação no SAB varia entre 2.700 e 3.300 mm ano<sup>-1</sup>, sendo que os valores mais elevados ocorrem nos meses de outubro a dezembro e

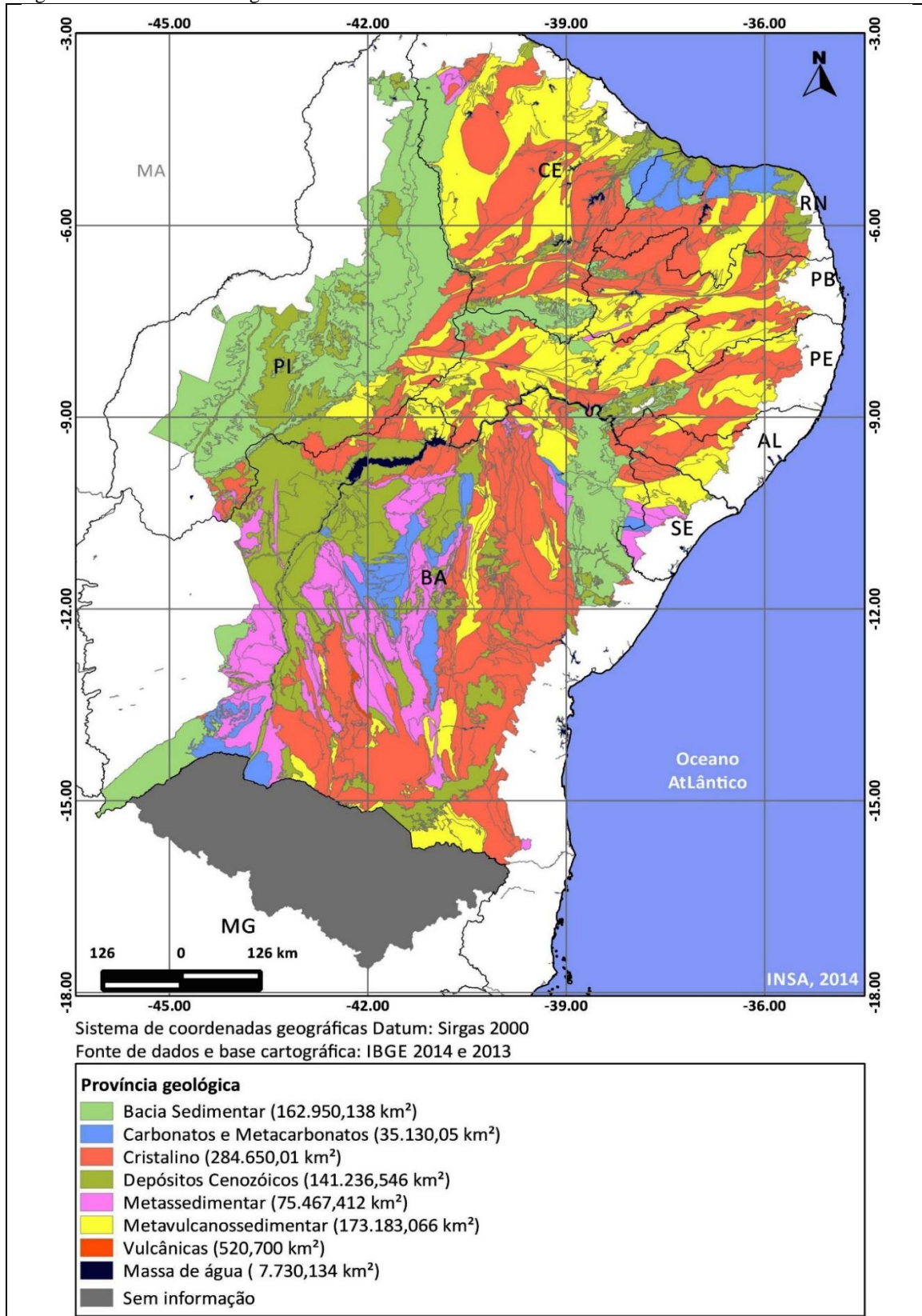
mínimos de abril a junho. Essas altas taxas de evaporação que ocorrem nas coleções de água do semiárido representam importantes perdas que influem para a baixa disponibilidade hídrica.

Para disponibilização de água no SAB, em virtude da intermitência dos seus rios, a construção de barragens para formação de açudes é a medida estrutural mais antiga, e tem sido, até os dias de hoje, a principal responsável pelo abastecimento de água dos centros urbanos (MACHADO, DIAS e SILVA, 2017). Moura *et al.* (2007) relataram a existência de mais de 70 mil açudes de pequeno porte no SAB, os quais são caracterizados por volumes entre 10.000 e 200.000 m<sup>3</sup> e representam 80% dos corpos d'água nos estados do Nordeste. O grande problema, relativo à segurança hídrica, baseado nas águas armazenadas nos açudes, é provocado, principalmente, pelas altas taxas de evaporação na região que levam ao esgotamento desses reservatórios fluviais de pequeno e até de médio porte.

O semiárido brasileiro, geologicamente, é constituído, em sua maior parte, por formações cristalinas (Figura 6), que não são propícias à formação de bons aquíferos, uma vez que nas regiões de terrenos cristalinos o escoamento fluvial é quase sempre do tipo superficial direto; além disso, os solos são de difícil escavação, pedregosos, de baixa fertilidade e pouco espessos (CIRILO *et al.*, 2003; ALBUQUERQUE e RÊGO, 2013). Nessas condições, os poços perfurados aproveitam água das fraturas e apresentam, muitas vezes, vazões limitadas e inferiores a 2 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>, elevadas concentrações iônicas, se apresentando como águas salobras não recomendadas para o consumo humano. Para serem utilizadas, essas águas requerem tratamento específico, com a utilização de dessalinizadores (MACHADO, DIAS e SILVA, 2017).

Essa conjugação de fatores ligados à limitada disponibilidade hídrica, em razão da intermitência dos rios, da vulnerabilidade dos açudes e da baixa produtividade dos poços no SAB, é responsável pela precária segurança hídrica dos moradores do semiárido.

Figura 6 – Província Geológica do Semiárido Brasileiro



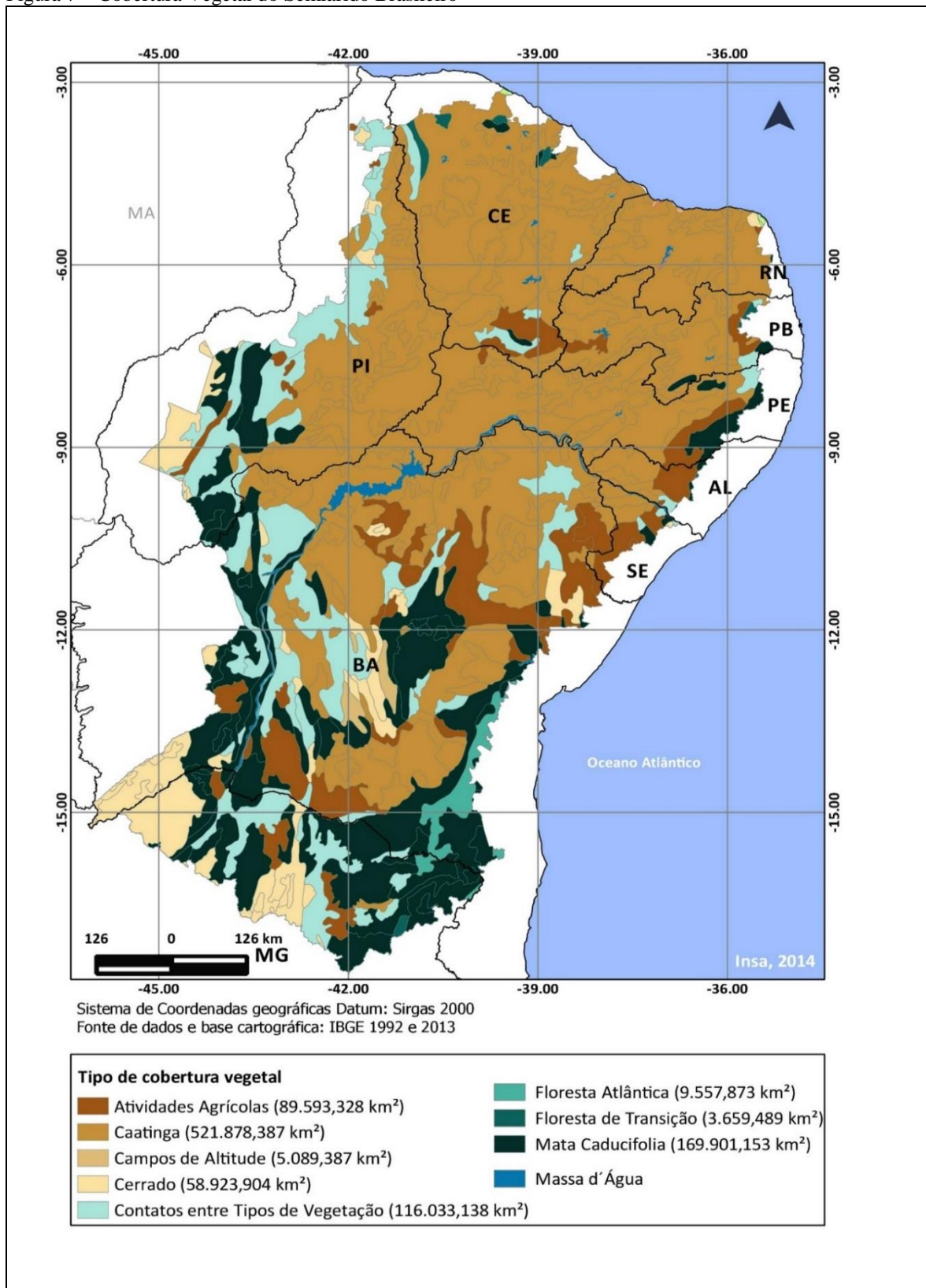
Fonte: Adaptado de INSA, 2014

O bioma Caatinga (termo de origem indígena que significa mata clara e aberta, ou, mato branco e ralo) ocorre exclusivamente no semiárido brasileiro (ALBUQUERQUE e RÊGO, 2013). A composição não é uniforme ao longo de sua extensão, apresentando variedades de paisagens, com diferentes espécies tanto animais quanto vegetais, nativas e adaptadas (FBB, 2014).

Outros biomas também ocorrem no semiárido em percentual menor como o cerrado (14,41%) no Piauí, Bahia e Minas Gerais, e Mata Atlântica (8,97%), principalmente na Bahia e Minas Gerais (INSA, 2013). A cobertura vegetal relativa no semiárido não é homogênea conforme pode ser visto na Figura 7.

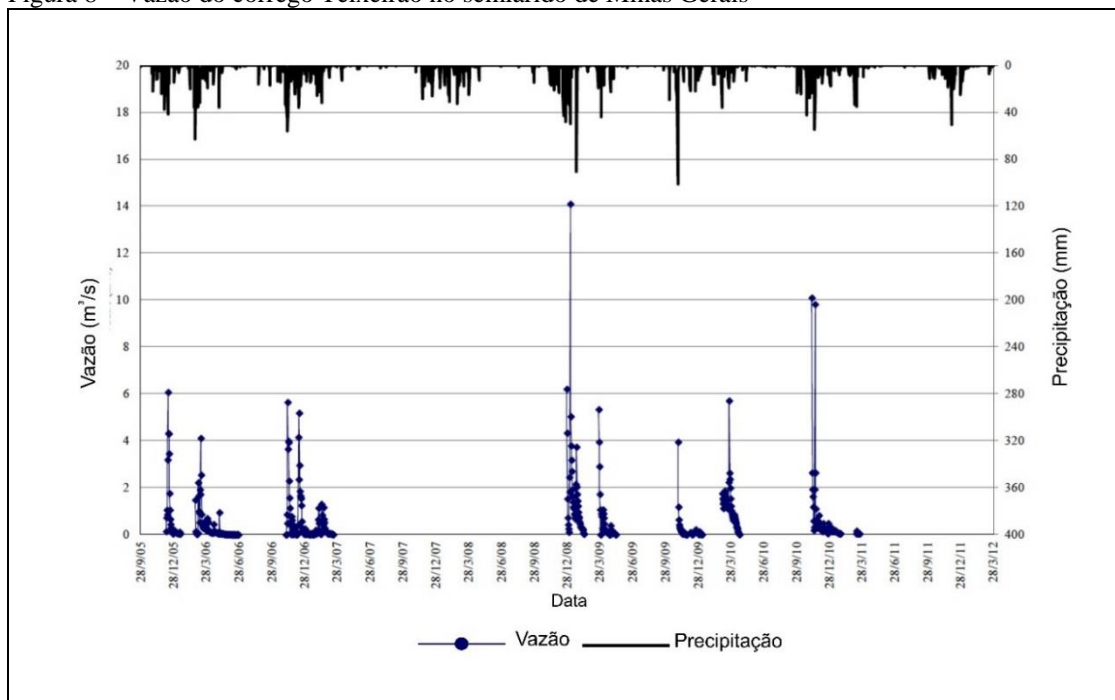
Segundo Andrade *et al.* (2010), o SAB abriga mais de 1.900 espécies catalogadas, sendo: 510 de aves, 240 de peixes de água doce, 143 de mamíferos, 47 de lagartos, 52 de serpentes e 48 de anfíbios, além dos grupos de invertebrados. Esses mesmos autores ressaltam que “grande parte das espécies animais e vegetais são endêmicas desta região (318 espécies da flora, 135 peixes, 24 de espécies répteis e anfíbios, 12 espécies de mamíferos e 30 de invertebrados)”.

Figura 7 – Cobertura Vegetal do Semiárido Brasileiro



No semiárido os rios apresentam como principal característica a sua intermitência. Nessas regiões se destaca a predominância de solos pouco desenvolvidos e a cobertura vegetal é esparsa, nas áreas antropizadas. A produção de escoamento superficial é geralmente dominada por componentes de escoamento rápido de superfície, durante e imediatamente após a chuva. A razão principal de eventos desse tipo se dá por causa das características da precipitação, principalmente a alta intensidade, o que acaba excedendo a capacidade de infiltração do solo (GÜNTNER, 2002). Os hidrogramas nessa região, a exemplo do apresentado na Figura 8, são geralmente caracterizados por aumento extremamente rápido, a partir do escoamento de base nulo (McINTYRE *et al.*, 2007).

Figura 8 – Vazão do córrego Teixeira no semiárido de Minas Gerais



Fonte: Adaptado de Monte-Mor, 2012.

Em 2010, a população do SAB em relação à do Brasil era de 11,85%, e de 40,25% relativamente ao Nordeste, de acordo com os dados constantes na Tabela 2. Estava distribuída em 1.133 municípios (IBGE, 2010), o que representava, respectivamente, 21 habitantes/km<sup>2</sup> e 20,40% dos municípios brasileiros (INSA, 2012).

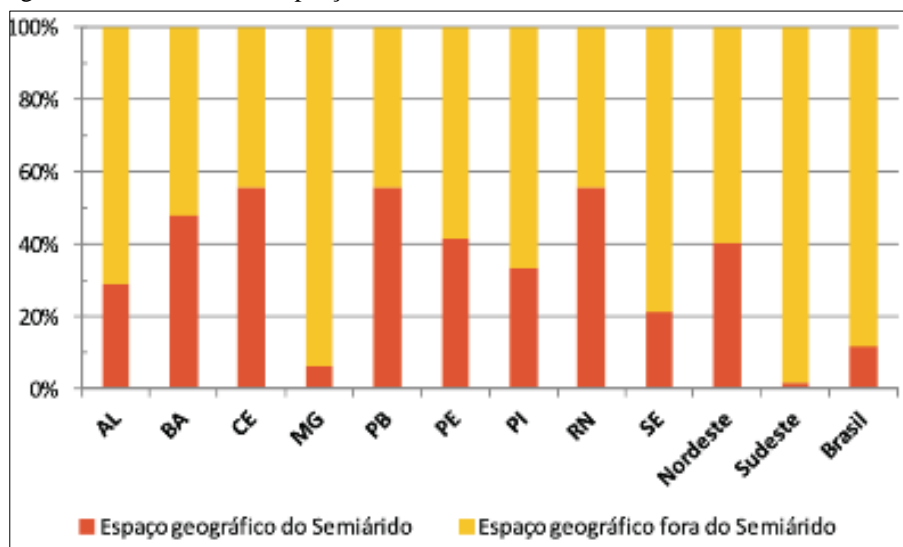
Tabela 2 – População total residente segundo as unidades da Federação e grandes regiões – 2010

Unidades da Federação e Grandes Regiões	Nº de habitantes		
	Espaço geográfico do Semiárido	Espaço geográfico fora do Semiárido	Espaço geográfico total
Alagoas	900.549	2.219.945	3.120.494
Bahia	6.740.697	7.276.209	14.016.906
Ceará	4.724.705	3.727.676	8.452.381
Minas Gerais	1.232.389	18.364.941	19.597.330
Paraíba	2.092.400	1.674.128	3.766.528
Pernambuco	3.655.822	5.140.626	8.796.448
Piauí	1.045.547	2.072.813	3.118.360
Rio Grande do Norte	1.764.735	1.403.292	3.168.027
Sergipe	441.474	1.626.543	2.068.017
Semiárido	22.598.318		22.598.318
Nordeste	21.365.929	31.716.021	53.081.950
Sudeste	1.232.389	79.132.021	80.364.410
Centro Oeste		14.058.094	14.058.094
Norte		15.864.454	15.864.454
Sul		27.386.891	27.386.891
Brasil	22.598.318	168.157.481	190.755.799

Fonte: INSA, 2012

Entre os estados que compõem o semiárido, o de menor participação da população nessa região é o de Minas Gerais com 6,29%. Diferentemente, o Ceará, o Rio Grande do Norte e a Paraíba apresentam os maiores percentuais, isto é, 55,90, 55,70 e 55,55, respectivamente (Figura 9).

Figura 9 – Percentual da população total residente das unidades da Federação e grandes regiões que residem nos espaços geográficos, dentro e fora da porção semiárida

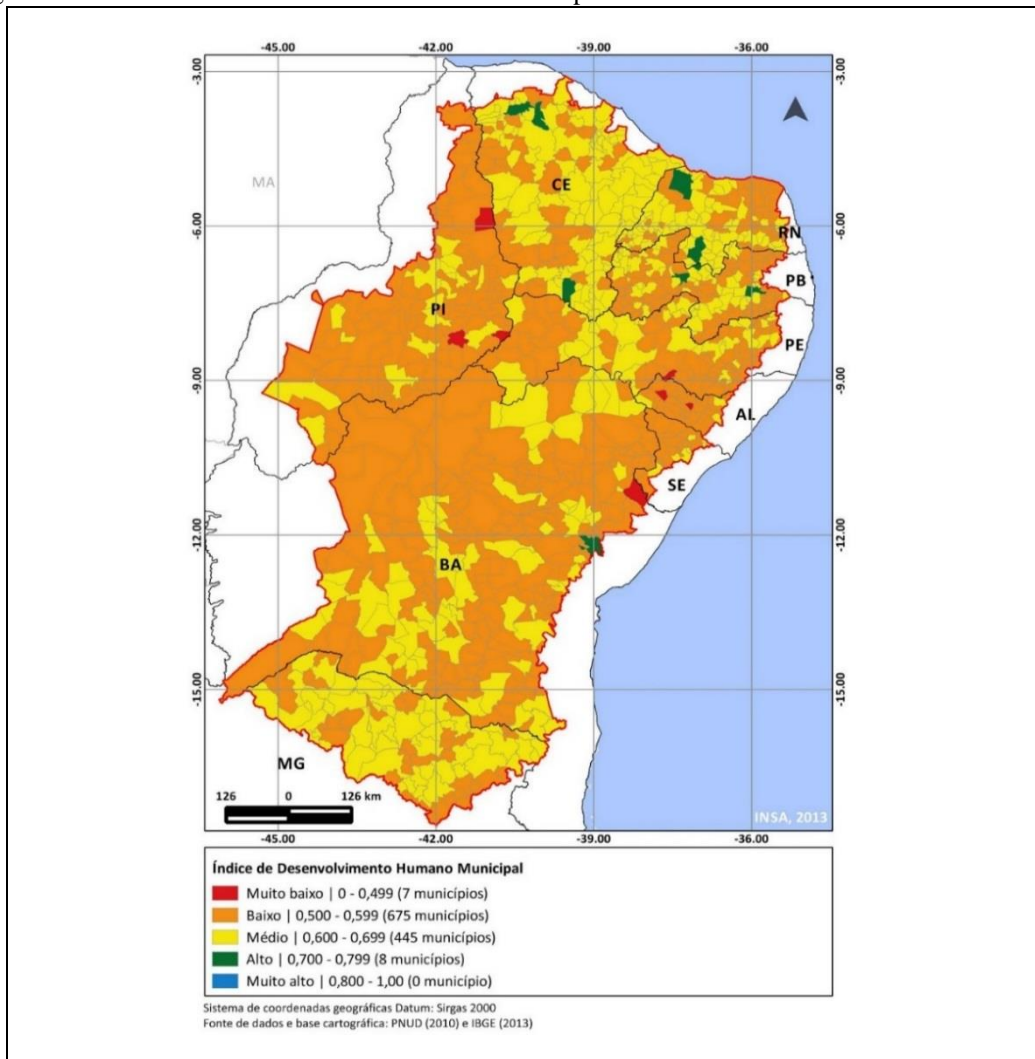


Fonte: INSA, 2012

As atividades econômicas predominantes no semiárido não estão restritas à agricultura, sendo a pecuária extensiva também bastante difundida. Porém, essa atividade é priorizada como subsistência em períodos de seca (OLIVEIRA, 2017).

As adversidades relativas ao clima, aos solos e à disponibilidade hídrica do semiárido não favorecem o desenvolvimento, no sentido tradicional, da região. Em 60,09% dos municípios do semiárido, com mais de nove milhões de habitantes, o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), que leva em consideração indicadores de longevidade, educação e renda, varia de Muito Baixo (entre 0,000 e 0,499) a Baixo (entre 0,500 e 0,599) (Figura 10). Todos os municípios do semiárido apresentaram IDH-M inferior ao do Brasil que é 0,727 (ASA, 2016).

Figura 10 – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – IDH-M do SAB



Fonte: INSA, 2013

Outra característica do SAB é relativa às grandes desigualdades sociais, pois metade da população, ou seja, mais de dez milhões de pessoas (entre essas, 59,5% são mulheres), não possuem renda ou só recebem os benefícios governamentais (FBB, 2014).

### 2.1.2 As secas

A seca é um fenômeno climático que ocorre em uma região quando a precipitação, por determinado período de tempo, apresenta valores muito abaixo do normal climatológico. Embora não exista uma definição universal para a seca, esse fenômeno está sempre associado à deficiência hídrica, podendo ser avaliada em termos de sua duração, intensidade e variação espacial (BARRA *et al.*, 2002).

De acordo com o Nacional Drought Mitigation Center (NDMC) (2017) da Universidade do Nebraska-Lincoln:

...no sentido mais geral, uma seca origina-se a partir de uma deficiência de precipitação durante um período prolongado de tempo - geralmente uma estação ou mais - resultando em uma escassez de água para alguma atividade, grupo ou setor ambiental. Seus impactos resultam da interação entre o evento natural (menos precipitação do que o esperado) e a demanda de pessoas para uso de água, no abastecimento de água para a população, agricultura e pecuária. Assim, as atividades humanas podem agravar os impactos da seca.

As secas são consideradas fenômenos naturais severos, intensamente influenciadas pelas características fisiográficas, tais como, rochas, solos, topografia, vegetação e condições meteorológicas (ALCÂNTARA SILVA *et al.*, 2013). Para esses autores, quando esses fenômenos intensos ocorrem em locais onde os seres humanos vivem, resulta em danos (materiais e humanos) e prejuízos (socioeconômicos) e são considerados “desastres naturais”.

Diversos autores têm demonstrado o aumento na frequência de desastres naturais no mundo (VOS *et al.*, 2009) e também no Brasil (KOBAYAMA *et al.*, 2010; ALCÂNTARA SILVA *et al.*, 2013). A forma crônica do fenômeno estiagem, a seca, é analisada atualmente como um dos desastres naturais de maior ocorrência e impacto no mundo. Isto se deve ao fato de que ela ocorre durante longos períodos de tempo, afetando grandes extensões territoriais.

A seca não é um fenômeno natural de ocorrência recente no Brasil. Desde as últimas décadas do século XVI há registros de seca (CAMPOS, 2014). Embora tenha caráter natural e aconteça, geralmente, na mesma região, a seca ocorre em diferentes conjunturas sociais e incide, negativamente, nas condições de vida da população (PASSADOR & PASSADOR; 2010).

Os efeitos da seca são refletidos em danos e prejuízos diversificados, com destaque para a dificuldade de acesso à água, às mortes, à fome, à ocorrências de saques, à mortandade dos animais em alta escala, as perdas das lavouras e da produção agroindustrial, a desarticulação da estrutura produtiva local, o aumento da mortalidade infantil e o êxodo da população para as cidades.

A essas problemáticas acrescenta-se o risco à desertificação, como relatado pelo Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAE-PB:

“Com as populações mais urbanas que rurais, os problemas naturais do semiárido rural nordestino, que até o século XX tinha como emblema a Seca e que hoje tem na soma o risco da desertificação, passaram a ser sombra e ameaça muito mais pela sua função de produtor de gêneros alimentícios e matérias-primas para sustentar as teias da produção e do consumo dos espaços urbanos, industriais e de serviços, do que propriamente pelos seus problemas internos” (PAE/PB, 2011, p. 4).

Os primeiros relatos sobre a seca no Nordeste falavam sobre as migrações para regiões não afetadas pela falta d’água. Ao longo dos séculos a história se repete. Euclides da Cunha, no seu clássico livro “Os Sertões”, já apontava uma certa previsibilidade (Ab’Saber *et al.*, 1999) para a ocorrência das secas nos denominados “sertões do Norte”.

“O sertão de Canudos é um índice sumariando a fisiografia dos sertões do Norte. Resume-os, enfeixa os seus aspectos predominantes numa escala reduzida. É-lhes de algum modo uma zona central comum. (...) As secas de 1710-1711, 1723-1727, 1736-1737, 1744-1745, 1777-1778, do século XVIII, se justapõem às de 1808-1809, 1824-1825, 1835-1837, 1844- 1845, 1870, do atual. (...) Observa-se, então, uma cadência raro perturbada na marcha do flagelo, intercortada de intervalos pouco díspares entre 9 e 12 anos, e sucedendo-se de maneira a permitir previsões seguras sobre sua erupção.” [Euclides da Cunha: Os sertões, 1902].

Para Melo (1999), nos séculos XIX e XX teria ocorrido o maior número de secas e também as piores. A seca que atingiu o semiárido entre 1877 e 1879, chamada de a “Grande Seca”, ficou conhecida como uma das mais graves da história. Foram quase três anos sem chuvas com mortes de rebanhos e miséria extrema, provocando uma onda de imigrações – os retirantes da seca - até então nunca vista.

Alcântara Silva *et. al.* (2013) descrevem as representações cronológicas das mais graves secas e suas consequências, como, miséria, fome, mortes, ocorrências de saques, perdas das lavouras, até a última seca relatada por esses autores, a do período 1998-1999.

As secas ocorridas em todo o nordeste brasileiro relatadas desde o século XVI (Quadro 1) indicam uma periodicidade de intervalos variáveis, considerando-se ainda as ocorrências de anos secos isoladamente em um ou mais Estados, ou vários anos seguidos

marcados por baixos índices pluviométricos, que são as características determinantes do fenômeno.

Com base nas informações compiladas no Quadro 1, sobre o histórico de secas com registro desde o século XVI no semiárido brasileiro, pode ser verificado que no século XX ocorreram vinte e oito anos com seca, sendo o século de maior incidência. Trata-se de um resultado coerente com as conclusões sobre o aumento da frequência de desastres naturais, dos pesquisadores já citados.

Os dados das ocorrências do Quadro 1 também torna possível estimar as frequências das durações das secas registradas desde o século XVI. As secas de dois anos de duração são as mais frequentes, 30,3% do total, seguidas das de três anos, 27,3% e de 1 ano, 24,2%. Secas de duração entre quatro e sete anos ocorrem com frequência de 18,2%. O percentual de anos secos a partir de 1583 até 2016 foi de 19,4%.

Quadro 1 – Histórico de ocorrências de secas no SAB sequenciado por século, por período e por ano

Séculos	Períodos	Anos	Séculos	Períodos	Anos
XVI	1583 - 1585		XX	1903 - 1904	
XVII		1603		1914 - 1915	
	1606 - 1608				1919
		1614		1931 - 1932	
	1623-1624				1942
		1645		1951 - 1953	
		1652		1957 - 1958	
XVIII	1692 - 1693				1970
	1709 - 1711			1975 - 1976	
	1721- 1727			1979 - 1983	
	1735- 1737				1987
	1748 - 1751			1990 - 1993	
	1776 - 1778			1998 - 1999	
	1790 - 1793				
XIX	1824 - 1825		XXI	2012 - ?	
	1844 - 1846				
	1877 - 1879				
	1888 - 1889				
	1898 - 1900				

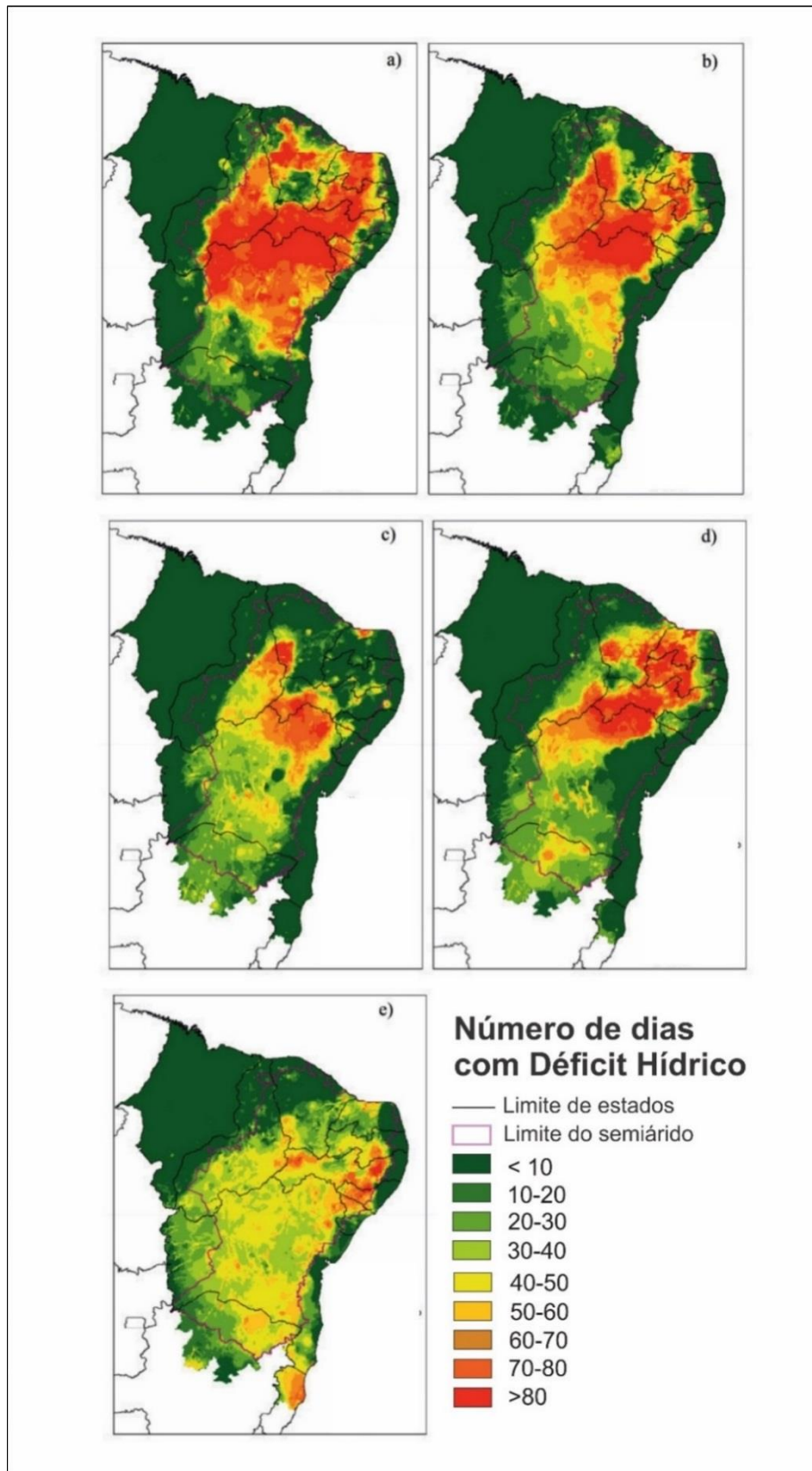
Fonte: adaptado de GOMES (2001); NEVES (2001); PAE/PB (2011); OPENBRASIL (2016).

No século XXI, a seca comparece no início da segunda década, após uma sequência de doze anos sem ocorrências do fenômeno. A seca que ocorre atualmente, que teve início no ano hidrológico 2011-2012, tem sido considerada como muito grave, pois, se observou uma sequência de cinco anos de precipitações abaixo da média para o período chuvoso, com abrangência espacial que tem extrapolado os estados onde tradicionalmente ocorre, no semiárido, como o estado do Maranhão, atingindo também os da região sudeste, como

Espírito Santo e São Paulo, segundo os registros da imprensa (MARENGO, 2016; MACHADO, DIAS e SILVA, 2017).

Marengo (2016) detalha o período da seca atual, onde o semiárido apresenta grandes áreas com deficiência hídrica, o balanço hídrico é negativo em razão da falta de chuvas, temperaturas elevadas e secura do ar. Na Figura 11 estão mostrados os gráficos da evolução do número de dias com déficit hídrico entre os anos hidrológicos de 2011-2012 e 2015-2016.

Figura 11 – Número de dias com déficit hídrico para os anos hidrológicos 2011-2012 (a), 2012-2013 (b), 2013-



2014 (c), 2014-2015 (d) e 2015-2016 (e)

Fonte: Adaptado de Marengo, 2016

Ao longo dos séculos, à luz dos eventos registrados, surgiram inúmeras ações emergenciais, de combate e de convivência com a seca. Apesar disso, os efeitos danosos desse flagelo continuaram a ser constatados na seca que se iniciou em 2012, ainda que atenuados devido às diversas políticas e ações implementadas até o presente (MARENGO, 2016).

Desta forma, as políticas de enfrentamento aos efeitos da seca evoluíram, passando pela sua efetivação por meio de medidas simplesmente emergenciais ou paliativas, estruturantes ou não estruturantes, para o combate à seca e para a convivência com o semiárido, conforme pode ser visto no Quadro 2.

Quadro 2 – Evolução de medidas para combate e convivência com a seca no semiárido

Medidas	Obras e ações	Século			
		XVIII	XIX	XX	XXI
Emergenciais	Distribuição de alimentos (NE)				
	Distribuição de terras (NE)				
	Importação de Camelos (NE)				
	Frentes de trabalho (NE)				
	Transporte de água com carro pipa (NE)				
Combate à secas	Construção de barragens (E)				
	Implantação de Poços				
	Perímetro irrigado (E)				
	Dessalinização de águas (E)				
	Reaproveitamento de águas servidas (E)				
Convivência com a seca	Transposição de águas entre bacias (E)				
	Implantação de Cisternas (E)				
	Implantação de Barragens subterrâneas (E)				

E – Estruturante; NE – Não Estruturante

Fonte: Machado, Dias e Silva, 2017.

A imprevisibilidade das precipitações pluviométricas, e, por conseguinte, das ocorrências das secas, não permite a desconsideração das medidas emergências. Assim, as cisternas (para a convivência com o semiárido e as secas), que deveriam armazenar somente as águas de chuva, estão sendo utilizadas para o armazenamento de águas oriundas de açudes (das políticas de combate às secas) por meio de transporte com carros pipa (medidas emergenciais). Entendem-se os programas de convivência como transversais às políticas de combate à seca, haja vista o caráter de complementariedade e os efeitos sinérgicos que podem ser observados.

Essa mudança de paradigma, representada pela introdução das medidas de convivência, é o reflexo de um novo olhar que se baseia na ênfase à criação de possibilidades de uso sustentável dos recursos naturais (SILVA, 2007), onde o armazenamento da água das chuvas nas cisternas de placas tem o propósito de oferecer segurança hídrica para o consumo doméstico. Já as cisternas do tipo “calçadão” objetivam oferecer uma sustentabilidade mínima

à produção agropecuária, ambas tecnologias sociais hídricas voltadas, principalmente, aos pequenos e médios proprietários de terra do semiárido. A filosofia desse novo olhar procura se distanciar da ideia tradicional do SAB. Centrava-se no clima como determinante dos baixos níveis socioeconômicos, portanto em uma “natureza adversa”. Diferentemente da tradicional, a nova visão é de adequação tecnológica a uma “natureza distinta” da dominante nas zonas úmidas, a exemplo da adoção do uso das cisternas de placas.

## 2.2 SISTEMAS DE CAPTAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

### 2.2.10 uso de cisternas para armazenamento de água de chuva

As águas de chuva têm uma história milenar que representa uma alternativa importante para suprir a demanda de água em todo o mundo. O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (*United Nations Environment Programme – UNEP*) destaca que a captação de água de chuva e seu armazenamento em cisternas é uma alternativa cada vez mais utilizada para reduzir o número de pessoas sem acesso à água para o consumo (UNEP, 2009).

Os sistemas de captação e manejo de água da chuva têm sido usados há milhares de anos, e essas técnicas surgiram de maneiras diversas e independentes em muitas regiões do mundo. Segundo Mays, Antoniou e Angelakis (2013), as cisternas foram desenvolvidas ao longo dos últimos 5.500 anos, cujas construções variavam de simples vasos de barros até grandes estruturas subterrâneas.

Das cisternas antigas, a mais conhecida é a Cisterna de Basílica, a maior de mais de centenas construídas durante a época bizantina em Constantinopla, hoje Istambul, na Turquia. Essa cisterna foi construída por Justiniano no ano 532 d.C., com capacidade para armazenar 30 milhões de litros de água (GNADLINGER, 2015).

Em Roma, a principal fonte de água para consumo humano era a água de chuva captada e armazenada em grandes cisternas; prática similar ocorria na Espanha, Sul da Itália, Creta, Ásia Menor e Norte da África, e no Planalto de Loess da China que captava água de chuva em cacimbas e tanques (GNADLIGER, 2001; RAINWATER HARVESTING AND UTILISATION, 2002).

No México, cisternas com capacidade de 20.000 a 45.000 litros, chamadas *Chultuns*, eram construídas em rochas calcárias, ou sob edifícios e praças (MAYS, ANTONIOU E ANGELAKIS, 2013; MAYS, 2014).

Segundo Espíndola (2015), na atualidade, o México busca implementar vários tipos de sistemas de captação de água de chuva. Dentre os exemplos mexicanos, um significativo é o do Colégio de Pós-graduação (COLPOS) de Texcoco, que consiste na captação, armazenamento, condução para uma estação de tratamento, e depois engarrafamento da água tratada, atendendo 150.000 comunidades rurais sem saneamento.

Em outros países como China, Nova Zelândia e Tailândia, são destacadas as experiências de sistemas de captação de água de chuva para promoção ao acesso à água por meio de programas de dimensões consideráveis, especialmente em áreas rurais, nas quais grande parte da população depende desses sistemas com características semelhantes aos que são utilizados no Brasil (GOMES *et al.*, 2014). Esses autores ainda relatam experiências sobre os sistemas de águas de chuva incentivadas pelos governos nacionais e locais, organizações sociais e agências internacionais de desenvolvimento de países em diferentes continentes, a exemplo da África do Sul, Nepal, Austrália, Índia, Etiópia, Sri Lanka, Uganda, Bangladesh, Singapura, Honduras, Estados Unidos, Tanzânia e Quênia.

As técnicas tradicionalmente empregadas para captar a água de chuva consistem em usar o telhado convencional ou o chão (encosta, estradas, contra piso), para serem armazenadas nas cisternas para uso futuro (GNADLINGER, 2015). No caso dos telhados, são colocadas calhas nos beirais com inclinações direcionadas para as tubulações ligadas às cisternas (FERREIRA, BATISTA e FORTES NETO, 2011).

Dos vários formatos de cisternas existentes, o mais utilizado é o circular, por ser considerado o mais resistente e econômico. Construídas com ferro, ou material galvanizado, concreto armado ou simples, ferrocimento, argamassa ou argila, polietileno, fibra de vidro e tanques metálicos elas podem ser enterradas, semienterradas ou apoiadas, dependendo do tipo de solo (SILVA, 2006a; NÓBREGA *et al.*, 2013).

Nas instalações das cisternas deve haver também um dispositivo para desvio das primeiras águas de chuvas precipitadas no telhado que, normalmente, contém impurezas sedimentadas, como adotado em Cabo Verde e no Estado do Texas nos EUA (NÓBREGA *et al.*, 2013). Nesse sentido, diversos modelos de desviadores têm sido desenvolvidos buscando o binômio eficiência e baixo custo, a exemplo do “DesviUFPE” (LIMA, 2012) e o dispositivo proposto por Andrade Neto (2004). Para reter impurezas é necessário pôr uma grade sobre a

calha que não deve conter telas que possam conter as sujeiras na linha de fluxo (ANDRADE NETO, 2013).

### **2.2.2 Programas de Convivência com o SAB**

No Brasil, o uso de água de chuva captada e armazenada em cisternas domésticas ocorre há séculos. No meio rural, há muito tempo, as cisternas são utilizadas (ANDRADE NETO, 2013).

A evolução das políticas de enfrentamento da problemática associada às secas, tradicionalmente efetivadas por meio das medidas emergenciais e de combate, tornaram-se multiobjetivas a partir da introdução do conceito da convivência, representada pelo combate à desertificação, a promoção do acesso à terra, ao financiamento, à assistência técnica, à educação e à água (NEVES *et al.*, 2010; VENTURA, FERNANDEZ e ANDRADE, 2013).

A convivência com o semiárido é definida (SILVA, 2006b; SILVA, 2007) como sendo uma forma de promover o desenvolvimento sustentável nessa região, por meio de tecnologias apropriadas e iniciativas socioeconômicas, que devem funcionar em harmonia com a preservação dos recursos naturais, tornando-se, assim, uma concepção cultural para que possa se transformar em ato contínuo.

Entre as tecnologias apropriadas, a captação e o manejo de águas de chuva e as barragens subterrâneas são práticas associadas ao sentido da convivência, enquadradas como Tecnologias Sociais Hídricas (TSH).

A partir do ano de 2003, à luz dos novos conceitos relativos à convivência com a seca, diferentemente da estratégia de enfrentar os seus efeitos, foram elaborados programas governamentais baseados em tecnologias sociais hídricas de baixo custo e de implantação em qualquer sítio, independente da rede de drenagem fluvial ou ocorrência de aquíferos. São exemplos o Programa Um Milhão de Cisternas Rurais (P1MC), em 2003, e o Água para Todos em 2011, nos quais as cisternas para armazenamento de águas de chuva são os componentes essenciais. Esses programas governamentais têm propiciado a disseminação dessa forma de abastecimento de água no SAB, visando, principalmente, reduzir a problemática da sua escassez no semiárido.

### 2.2.2.1 O Programa Um Milhão de Cisternas Rurais

A partir de 2003 o governo federal instituiu o Programa de Formação e Mobilização Social para Convivência com o Semiárido, o Programa Um Milhão de Cisternas Rurais (P1MC), que foi incluído no programa Fome Zero do Governo Federal, e se converteu em política pública, a fim de atender às populações difusas residentes nas áreas rurais do SAB (NÓBREGA *et al.*, 2012). O programa surgiu da iniciativa da Articulação Semiárido (ASA), em 1999, durante a 3ª Conferência das Partes da Convenção de Combate à Desertificação e à Seca (COP3), cujo processo de formação remete à década de 1970, perfazendo 30 anos de amadurecimento (GOMES, 2012; FBB, 2014).

O P1MC apresenta o objetivo de beneficiar famílias rurais que se encontram em situação de vulnerabilidade social, de baixa renda, com dificuldade de acesso à água, por meio da construção de um milhão de cisternas de placas de concreto, com capacidade de 16 mil litros, para armazenamento da água da chuva, bem como proporcionar capacitação e formação para a convivência com o semiárido. Embora criado em 2003, o mesmo foi regulamentado em 2013 por meio da Lei 12.873, de 24 de outubro de 2013, que instituiu Programa Nacional de Apoio à Captação de Água de Chuva e Outras Tecnologias Sociais de Acesso à Água – Programa Cisternas.

Essas cisternas foram certificadas como tecnologia social desde 2001, por ser um sistema eficiente que não elimina os conhecimentos tradicionais, construídas com materiais disponíveis nas próprias localidades, e por não gerarem danos ambientais, além de garantir a segurança hídrica, o desenvolvimento local e o empoderamento das famílias e das comunidades (UNIFEM, 2011; FBB, 2014). Assim, as cisternas são consideradas Tecnologias Sociais Hídricas (TSH), entendidas como soluções desenvolvidas e/ou aplicadas em interação com a população local e apropriadas por ela. Constituem uma importante estratégia para o desenvolvimento sustentável do Brasil, não transferidas de países desenvolvidos para serem aplicadas na realidade local do semiárido (LASSENCE JR. *et al.*, 2004; RTS, 2010), para atingir os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio – ODM (LEHMANN; TSUKADA; LOURETE, 2010).

De acordo com o P1MC, uma cisterna de 16 mil litros é suficiente para o atendimento do consumo de água para beber e cozinhar de uma família com cinco pessoas, em um período de oito meses, que corresponde ao período médio de estiagem da região (ASA, 2011). Assim, o volume dimensionado para o atendimento da população usuária, depende também das condições climáticas, com destaque para o intervalo probabilístico da pluviosidade na região.

Entretanto, segundo Gomes e Heller (2016), esse volume definido pelo programa não supre toda a demanda de água da população rural, pois, considera um consumo de 13 L/hab.dia, inferior à média brasileira, que é de 118,9 L/hab.dia, no nordeste brasileiro (BRASIL, 2016). Já a Organização Mundial de Saúde (OMS) recomenda que “são necessários entre 50 a 100 L/hab.dia, para assegurar a satisfação das necessidades mais básicas e a minimização dos problemas de saúde.” (OMS, 2011, p. 2)

O P1MC conta com financiamento do governo federal, além de outras instituições como a Federação Brasileira de Bancos (FEBRABAN), Fundação Banco do Brasil (FBB), Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobrás), Cáritas Brasileira, Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), Banco do Nordeste do Brasil (BNB), Agência Nacional de Águas (ANA), Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), entre outras. Há ainda contrapartidas das organizações componentes da ASA, todas parceiras para a construção das cisternas.

O P1MC prevê programas de capacitação, segundo as orientações contidas no seu manual, para garantir o seu bom desempenho. O Manual para Execução do Programa Cisternas (BRASIL, 2011) detalha os programas de capacitação dos beneficiários, pedreiros e agentes comunitários de saúde.

### **As cisternas utilizadas no P1MC**

O conceito de cisternas de placas pré-moldadas foi desenvolvido no Brasil há mais de 30anos. Esse modelo tem sido consagrado como uma das mais eficientes propostas devido ao baixo custo, a facilidade de construção, a segurança e a durabilidade, sendo adotado no Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC). As cisternas de placas de concreto possuem formato cilíndrico, cobertas e três quartos de sua altura são enterrados, sendo que essa altura pode variar com o tipo de solo e assim elas podem ser também semienterradas ou apoiadas, pois, no solo cristalino a escavação é mais difícil (SILVA, 2006a; DIAS, 2013). As placas possuem as dimensões indicadas no Quadro 3.

As águas de chuva captadas nos telhados são encaminhadas por meio da utilização de calhas metálicas ou de PVC para as cisternas.

No Brasil, e mais especificamente o Nordeste semiárido, nunca havia experimentado, em termos regionais, a execução de um programa de utilização da água da chuva para o

atendimento das demandas hídricas, como tecnologia alternativa para possibilitar a convivência mais harmônica com a realidade climática (MACHADO *et al.*, 2015).

Quadro 3 – Especificações das cisternas de placa

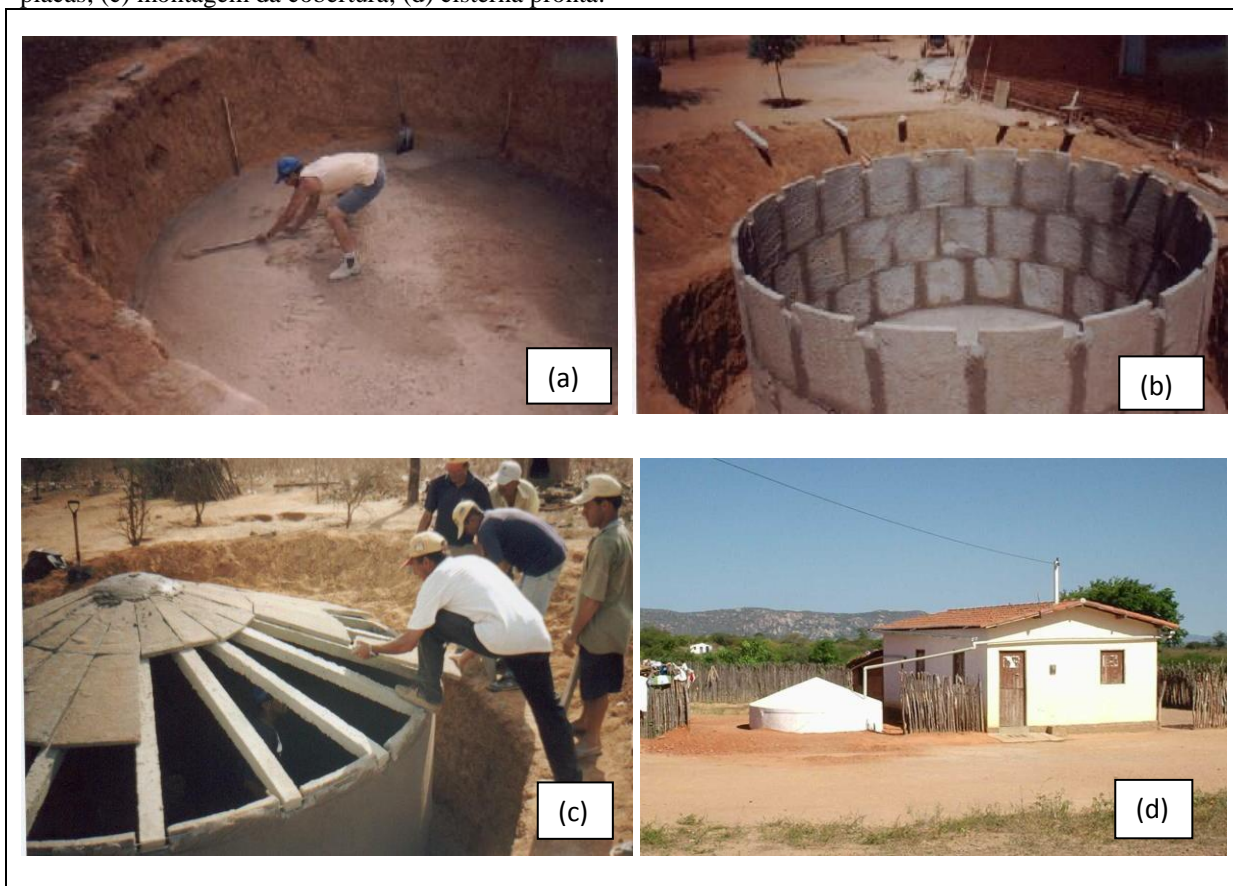
<b>Medidas para uma cisterna de placa de aproximadamente 16.000 litros</b>		
<b>Tipo</b>	<b>Medida</b>	
Raio da cisterna	1,73 m	
Profundidade do Buraco	1,20 m	
Altura do solo	1,20 m	
Altura Total	2,40 m	
<b>Tipo de Peça</b>	<b>Nº de Peças</b>	<b>Medidas</b>
Placas de Parede (4 fileiras)	88	Curva 1,60cm / Espessura: 4 cm /Largura: 0,4 m / Altura: 0,50m
Placas de Cobertura (conjunto)	21	Comprimento: 1,63m / Largura na borda: 0,50m / Largura na ponta 0,08m
Vigas (caibros)	21	Comprimento: 1,66m / Largura: 6 cm / Ferro 1,71m

Fonte: MDS, 2015.

A tampa é também construída com placas, mas, com geometria diferente das placas do cilindro armazenador. Todas as placas são fabricadas no local de construção, em moldes de madeira ou aço (Figura 12). A laje de fundo é construída em concreto com espessura de 7 cm. A vedação interna é feita com argamassa de cimento e areia, e impermeabilizante. As cisternas são equipadas com bombas de acionamento manual, construídas com tubos de PVC.

O processo de construção das cisternas de placas ocorre em oito etapas. Inicia-se com a marcação e a escavação do terreno onde a mesma será assentada; fabricação das placas; fabricação dos caibros; levantamento das paredes; cobertura; colocação do sistema de captação; retoque e acabamentos; e instalação de uma bomba de baixo custo, fabricada em PVC. O tempo médio para a construção de uma cisterna de placas é de uma semana.

Figura 12 – Processo de construção da cisterna: (a) escavação e execução da laje de fundo; (b) montagem das placas; (c) montagem da cobertura; (d) cisterna pronta.



Fonte: BRASIL, 2011; ANDRADE NETO, 2014.

O investimento necessário para a aquisição dos materiais de construção, mão-de-obra e capacitação das famílias varia de uma região para região outra, ficando em torno de R\$ 1.600,00 a R\$ 3.099,00 (ASA, 2016).

#### 2.2.2.2 Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Água – Água para Todos

Esse programa é parte integrante do Plano Brasil Sem Miséria do Governo Federal, que busca universalizar o acesso à água para as populações rurais que possuem abastecimento deficitário, difuso e precário. Tem como objetivo promover o acesso à água tanto para consumo humano como para a produção agrícola, visando a segurança alimentar e nutricional, e o desenvolvimento humano da população usuária.

A meta do programa seria a construção de 750 mil cisternas até 2014. O art. 2º, inciso II do Decreto nº 7.535 de 26 de Julho de 2011, que instituiu o Programa Água para Todos, estabeleceu como diretriz o fomento à ampliação da utilização de tecnologias, infraestrutura e equipamentos de captação e armazenamento de águas pluviais (BRASIL, 2011).

Com objetivos semelhantes ao P1MC, o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Água – Água para Todos, foi instituído em 2011, pelo governo federal, destinado a promover a universalização do acesso à água às famílias que vivem em condições de pobreza extrema que moram em comunidades rurais nos diversos municípios brasileiros. Além disso, também prevê o abastecimento de água para o consumo animal e produção agrícola por meio de tecnologias diferenciadas. Para acelerar a instalação dos reservatórios introduziram-se, no Programa, as cisternas de polietileno, também com capacidade de 16 mil litros. Desta forma, com os programas P1MC e Água para Todos, já foram instaladas mais de 1,2 milhão de cisternas de placas e de polietileno no semiárido brasileiro (BRASIL, 2016).

### **As cisternas de polietileno introduzidas pelo programa Água para Todos**

O Comitê Gestor do Programa Água para Todos fez a opção pelas cisternas de polietileno, objetivando acelerar a instalação de sistemas de captação de água no semiárido brasileiro, por apresentar maior rapidez e total estanqueidade da água armazenada, levando em consideração ainda alguns critérios:

“...vem sendo utilizada em vários países como Austrália, Malásia, Nova Zelândia, México, EUA, obtendo um resultado totalmente satisfatório; ... o polietileno uma tecnologia limpa e ecológica, uma matéria prima de alta performance e durabilidade, não tóxico, inodoro e impermeável; trata-se de material de alta resistência, com proteção contra os raios ultravioleta, tendo sido aplicado em sistemas de adutoras; Redução de despesas com a manutenção e operação do sistema, visto que a tampa de fechamento é com travamento, diminuindo significativamente a contaminação da água. A escavação é rasa, com 80 cm de profundidade, sendo suficiente para enterrar o reservatório, bem menor que outros sistemas. Rapidez de execução, proporcionando um benefício mais rápido às famílias carentes e sem acesso à água, bem como às condições de conservação da água; ... e uma vida útil de no mínimo 20 anos, com um custo/benefício bem significativo” (CODEVASF, 2013; BRASIL, 2017).

Ainda de acordo com Brasil (2015), o preço médio da cisterna instalada é de R\$ 6.000,00, incluindo o custo da fabricação e transporte; instalação da cisterna e dos equipamentos; fornecimento de bombas e válvulas; o programa de mobilização social, além do acompanhamento técnico das obras do Programa Água para Todos.

As principais especificações das cisternas de polietileno (Figura 13) estão descritas no Quadro 4.

Figura 13 – Cisterna de polietileno



Fonte: ANDRADE NETO, 2014

Quadro 4 – Especificações técnicas da cisterna de polietileno

<b>Medidas para uma cisterna de polietileno de aproximadamente 16.000 litros</b>	
<b>Tipo</b>	<b>Medida</b>
Formato	Cilíndrico
Diâmetro interno da base	Variando de 3,2 m
Profundidade do Buraco	0,80 m
Altura total do corpo	2,0 a 2,50m
Altura livre	1,30 a 1,80m (após enterramento parcial de 0,80m)
Peso	Entre 250-300 kg, de acordo com a NBR-15682
Tampa de visita	60 cm de diâmetro e sistema de travamento que impede a entrada de insetos e sujeira.
Tipo de bomba	Bomba hidráulica manual metálica.

Fonte: Adaptada de Acqualimp, 2010; CODEVASF, 2013.

### 2.3 QUALIDADE DA ÁGUA EM CISTERNAS

A maior parte dos estudos internacionais, sobre suprimento de água para consumo humano, por meio dos sistemas de captação e armazenamento de águas de chuva, contempla a qualidade físico-química e microbiológica da água armazenada nessas estruturas (GOMES *et al.*, 2014). Segundo esses autores, também são encontrados estudos sobre saúde dos usuários, aspectos ligados a técnicas construtivas e manutenção, operação e políticas, entre outros encontrados mais raramente na literatura.

A água que chega ao consumidor deve atender aos padrões de potabilidade estabelecidos na legislação. A vigilância da qualidade da água para consumo humano, deve existir para toda forma de abastecimento de água, seja coletivo ou individual, na área urbana e rural, de gestão pública ou privada, incluindo as instalações intradomiciliares. Estão incluídos nesse universo, além dos grandes sistemas de abastecimento público, os poços comunitários ou que atendam a um único domicílio, carros-pipa, entre outras formas de abastecimento (OLIVEIRA e MONTEIRO, 2006?).

No SAB, diferentemente das outras regiões do Brasil, não são poucos os estudos sobre a qualidade de água de chuva armazenada em cisternas de placas, relativamente aos padrões físico-químicos e microbiológicos de potabilidade (ANDRADE NETO, 2004; SILVA, 2006a; GOMES *et al.*, 2014).

No entanto, com relação às cisternas de polietileno, que têm sido utilizadas em larga escala apenas recentemente, e os estudos dedicados à verificação da adequação das águas, considerando os padrões de potabilidade, são quase inexistentes (MOURA *et al.*, 2016; SCHMITT, 2015). O trabalho de Santana (2015) se limitou a determinação de temperatura e pH, buscando detectar diferenças entre esses parâmetros de qualidade nas cisternas de polietileno e de placas.

Para a avaliação da qualidade da água, não há um indicador único que sintetize todas as variáveis influentes. As variáveis são definidas por uma ou mais características físicas, químicas e biológicas (FOLEGATTI *et al.*, 2005). Geralmente são usados indicadores para usos específicos, tais como o abastecimento doméstico, recreação, uso industrial, dentre outros (BRASIL, 2014).

A água da chuva, precipitada em áreas não urbanizadas ou industrializadas, pode ser considerada como de boa qualidade, principalmente, pelo fato de ter sido submetida à destilação natural (COHIM, ORRISCO e KIERONSKY, 2015). Santana, (2012) relata algumas características como pouca acidez e cloretos, dureza relativamente baixa e ausência de coliformes.

Segundo Andrade Neto (2004) os requisitos de qualidade, bem como a segurança sanitária da água, nas cisternas, estão diretamente relacionados ao uso a que se destinam e não depende apenas das condições atmosféricas. Ainda de acordo com o autor, a contaminação da água de chuva geralmente ocorre na superfície de captação (telhado, solo, ou outra superfície preparada ou natural) ou quando está armazenada de forma não protegida. Em suma, para esse autor, a segurança sanitária da água de cisternas rurais depende tanto da educação sanitária e



Silva (2006a) observa que a retirada da água das cisternas para o consumo doméstico deve ser realizada de forma que não haja contato direto do usuário com a água a fim de reduzir o risco de contaminação. A forma mais correta é através da utilização de bombas (manuais ou automáticas), permitindo assim que a cisterna se mantenha fechada na hora da coleta.

Andrade Neto (2013) afirma, com base em estudos sobre a qualidade da água de chuva em cisternas, que de uma maneira geral, os padrões de potabilidade da Organização Mundial de Saúde são atendidos para os parâmetros físicos e químicos, porém, frequentemente isso não ocorre quanto aos parâmetros microbiológicos.

#### 2.4 ASPECTOS LEGAIS E NORMATIVOS DAS ÁGUAS DE CHUVA

O Código das Águas – Decreto nº 24.643, de 10/07/1934, foi o primeiro documento legal que disciplinou, em linhas gerais, o aproveitamento das águas de chuva no Brasil. Considerava as águas pluviais como as que procedem imediatamente das chuvas. No seu Capítulo V, artigo 103, reza: “As águas pluviais pertencem ao dono do prédio onde caírem diretamente, podendo o mesmo dispor delas à vontade, salvo existindo direito em sentido contrário” (ROCHA *et. al.*, 2016).

Até os dias atuais, não existe legislação específica para captação e armazenamento de água de chuva para fins potáveis no Brasil (BASSANESI e BARRETO, 2014). No entanto, as águas armazenadas em cisternas são referidas, em alguns aspectos, nas políticas nacionais de recursos hídricos e de saneamento básico.

A Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH considera a água de chuva como um recurso que pode ser usado plenamente em substituição ou suplementação de fontes tradicionais (COHIM, ORRICO e KIERONSKI, 2015).

Segundo Tavares (2009) a captação de águas de chuva não depende de outorga pelo Poder Público, não sendo administrada pelos órgãos gestores de recursos hídricos, pois a Lei 9.433/97, que dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), não trata especificamente de água de chuva, porém estabelece no art. 12, §1º:

“Independem de outorga pelo Poder Público, conforme definido em regulamento: i) o uso de recursos hídricos para a satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais, distribuídos no meio rural; ii) as derivações, captações e lançamentos considerados insignificantes; iii) as acumulações de volumes de águas considerados insignificantes.”

Por serem, em volumes de água, pouco expressivos, e com destinação individual, ou para pequenos núcleos populacionais, os sistemas de captação e armazenamento de águas de chuva em cisternas independem de outorga pelo Poder Público (TAVARES, 2009).

A gestão dessas águas é descentralizada e participativa, sem hierarquização dos integrantes. Dessa forma, recai sobre os proprietários de cisternas a responsabilidade de operação e manutenção, e diminui a participação do poder público nesse tipo de gestão, principalmente por não existir legislação específica que defina diretrizes para a utilização dessas águas, não exigindo, também, uma fiscalização da parte do poder público (NÓBREGA *et al.*, 2012; GOMES, *et al.*, 2014).

A Lei 11.445/07, conhecida como a “Lei do Saneamento”, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico, dispõe no seu art. 5º que: “não constitui serviço público a ação de saneamento executado por meio de soluções individuais, desde que o usuário não dependa de terceiros para operar os serviços”. Essa Lei foi alterada pelo Decreto Federal 7.217/2010, onde no seu artigo 2, inciso XXV consta que “soluções individuais são todas e quaisquer soluções alternativas de saneamento básico que atendam a apenas uma unidade de consumo”.

A Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), que dispõe sobre o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, estabelece no seu “Art. 2º - Esta Portaria se aplica à água destinada ao consumo humano proveniente de sistema e solução alternativa de abastecimento de água”; e no “Art. 4º - Toda água destinada ao consumo humano proveniente de solução alternativa individual de abastecimento de água, independentemente da forma de acesso da população, está sujeita à vigilância da qualidade da água” (BRASIL, 2011). Assim, toda água de chuva destinada ao consumo humano, considerada como solução alternativa individual, deve atender a todos os parâmetros (microbiológicos, físicos e químicos) exigidos nessa Portaria (SILVA, 2006a; NÓBREGA *et al.*, 2013).

No entanto, apesar dessas normativas, não existe uma regulamentação específica que defina os padrões de potabilidade da água armazenada em cisternas para consumo, dificultando a definição de um tratamento mais adequado, até porque as águas de chuva podem ser ácidas, ou conter matéria orgânica suficiente para gerar trihalometano quando da adição de cloro (PIVELI e KATO, 2005), nem há, tampouco, uma classificação para essas águas.

Nóbrega *et al.* (2012), consideram as classes dos corpos de água estabelecidas pela Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Acreditam

eles que as águas de chuva armazenadas em cisternas se enquadrariam na classe especial, ou seja, águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, com prévia desinfecção.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) editou a norma NBR 15.527/2007 que fornece requisitos para aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis, apesar de não considerá-la como fonte para abastecimento humano. Essa norma estabelece como parâmetro de qualidade, a ausência de coliformes totais e termotolerantes em 100 ml, bem como recomenda descartar 2 mm da precipitação pluviométrica inicial (ABNT, 2007), tendo como base dados europeus, sem levar em consideração as características locais (TEIXEIRA, *et al.*, 2015).

Alguns municípios brasileiros possuem, desde o início da década de 2000, leis referentes à captação de água de chuva. Tavares (2009) relata as primeiras cidades que editaram leis sobre captação e uso de águas de chuvas. São Paulo foi o município pioneiro, editando a Lei nº 13.276/2002, que torna obrigatória a construção de reservatórios para águas pluviais coletadas em áreas impermeabilizadas superiores a 500 m<sup>2</sup>, com o objetivo de evitar inundações. Curitiba, com da Lei nº 10.785/2003, criou o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações (PURA), tendo como um dos objetivos a indução do uso de fontes alternativas de abastecimento de água em novas residências. O Decreto Municipal nº 23.940/2004, do Rio de Janeiro, torna obrigatória a construção de reservatórios a fim de retardar o escoamento de águas pluviais para a rede de drenagem, e dispõe, também, do reaproveitamento de águas para fins não potáveis.

De maneira semelhante, Rocha *et al.* (2016) relatam estados que editaram leis como o do Rio de Janeiro que decretou e sancionou em 2003, a Lei nº 4.248, de 16 de dezembro de 2003, que institui o Programa de Captação de Águas Pluviais no âmbito do estado do Rio de Janeiro (RIO DE JANEIRO, 2003). Em 2004 o estado do Rio de Janeiro, mais uma vez, decretou e sancionou a Lei nº 4.393, de 16 de setembro, que torna obrigatório para as empresas projetistas e de construção civil prover coletores, caixa de armazenamento e distribuidores para água da chuva, nos projetos de empreendimentos residenciais que abriguem mais de 50 (cinquenta) famílias ou nos de empreendimentos comerciais com mais de 50 m<sup>2</sup> de área construída (RIO DE JANEIRO, 2004). O estado de São Paulo, na Lei nº 12.526 de 02 de janeiro de 2007 estabelece normas para a contenção de enchentes e destinação de águas pluviais, obrigando a implantação de sistema para a captação e retenção

de águas pluviais, em lotes, edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500 m<sup>2</sup> (SÃO PAULO, 2007).

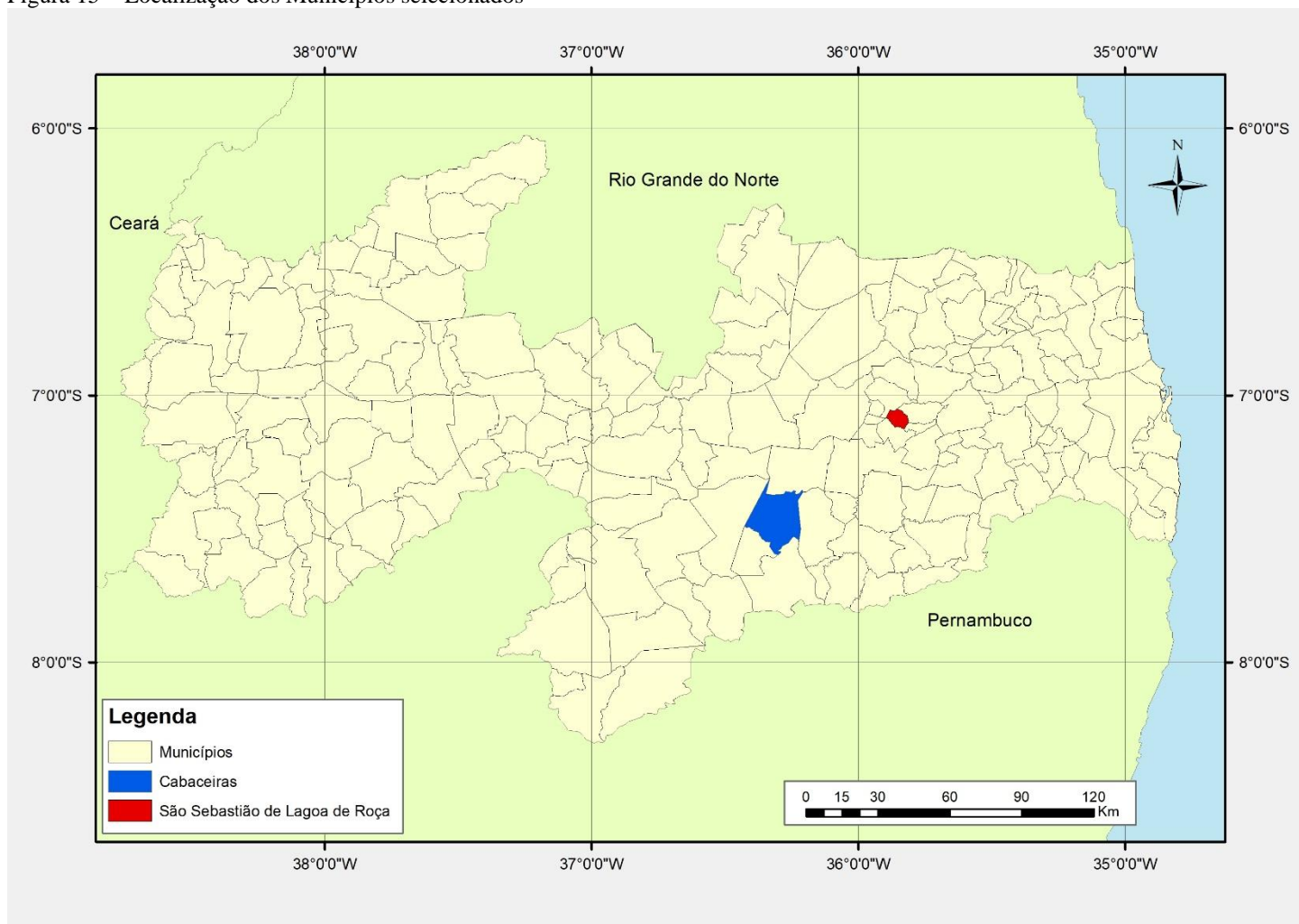
### 3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada nesse estudo foi elaborada de forma a atender aos objetivos propostos, abrangendo as três hipóteses que foram formuladas. Assim, as cinco fases da tese, conjuntamente, procuram oferecer respostas quanto aos aspectos qualitativos das águas armazenadas nas cisternas de placa e de polietileno. Considera as questões não suficientemente conhecidas na literatura, relativamente às condições descritas conforme os objetivos definidos no âmbito das investigações realizadas na região semiárida.

Foram selecionados, como áreas de estudo dois municípios, Cabaceiras e São Sebastião de Lagoa de Roça (SSLR) (Figura 15), com características distintas, a fim de analisar as variações na qualidade da água. A seleção desses municípios levou em conta a sua inserção no semiárido, no estado da Paraíba; a indisponibilidade de sistemas públicos ou privados de abastecimento de água; as características distintas com relação ao índice pluviométrico entre eles; e os tipos de cisternas instaladas. Ressalta-se, no entanto, que somente o município de São Sebastião de Lagoa de Roça dispõe dos dois tipos de cisternas (placa e polietileno). Em cada município foram selecionadas três comunidades rurais: Alto Fechado, Caruatá de Dentro e Malhada Comprida em Cabaceiras; e Camucá, Caracol e Tanques, em São Sebastião de Lagoa de Roça.

As coletas e análises de qualidade da água, foram realizadas em 23 cisternas nos dois municípios, sendo 9 cisternas de placas em Cabaceiras e 14 cisternas (8 de placas e 6 de polietileno) em São Sebastião de Lagoa de Roça, todas armazenando água de chuva.

Figura 15 – Localização dos Municípios selecionados



Fonte: IBGE, 2010

### 3.1 ÁREAS DE ESTUDO

#### 3.1.1 Caracterização do Município de Cabaceiras - PB

Cabaceiras foi elevado à categoria de município em 1835, e está localizado na mesorregião da Borborema, microrregião do Cariri Oriental.

Situado a 180 km da capital do estado da Paraíba, limita-se com os municípios de São João do Cariri, São Domingos do Cariri, Barra de São Miguel, Boqueirão e Boa Vista (PARAÍBA, 2010). Está nos domínios da bacia hidrográfica do rio Paraíba, região do Médio Paraíba. Os principais rios, todos temporários, que cortam o município são Taperoá e seu afluente Boa Vista, todos afluindo ao rio Paraíba, a sudeste do município, na bacia hidráulica do açude Epitácio Pessoa.

Apresenta clima Bsh – Semiárido Quente (segundo a classificação de Köppen), ou seja, semiárido acentuado, inserido no bioma caatinga, com temperatura média anual de 23,4°C, e precipitação pouco abaixo de 400 mm/ano, e está em uma altitude de 400 metros.

Possuía em 2010 uma população total de 5.035 habitantes, sendo que 2.818 residiam na zona rural (55,97%), segundo dados do censo do IBGE (IBGE, 2010), numa área total de 453 km<sup>2</sup>. O município apresentava PIB *per capita* de R\$7.172,67 em 2014 (IBGE, 2015). O setor de serviços teve a maior participação entre as atividades econômicas no Produto Interno Bruto (PIB) de 2015, vindo em seguida a agropecuária e a indústria. O índice de Desenvolvimento Humano (IDH-M) referente ao ano de 2010 era de 0,611, considerado médio.

#### 3.1.2 Caracterização do município de São Sebastião de Lagoa de Roça – PB

O município de São Sebastião de Lagoa de Roça foi instalado em 1961, e está situado a 151,7 km da capital do estado da Paraíba. Incluído na área geográfica de abrangência do semiárido brasileiro, está localizado na mesorregião do Agreste Paraibano, microrregião de Esperança, nos domínios da bacia hidrográfica do rio Mamanguape, na sua porção do alto curso.

Limita-se com os municípios de Esperança, Alagoa Nova, Lagoa Seca, Matinhas e Montadas (PARAÍBA, 2010).

Apresenta clima tropical com estação seca (Classificação climática de Köppen-Geiger: As), ou seja, subúmido seco, com temperatura média anual de 24°C, precipitação de 828 mm/ano e altitude de 641 metros.

Tem área de 49,9 km<sup>2</sup>, inserido no bioma caatinga, e possuía, uma população de 11.041 habitantes, destes, 57,8% (6.382 habitantes) residiam na zona rural, segundo o censo do IBGE de 2010 (IBGE, 2010).

O município apresentava PIB *per capita* de R\$ 6.027,02 em 2014 (IBGE, 2015). O setor de serviços teve a maior participação entre as atividades econômicas no Produto Interno Bruto (PIB) de 2015, vindo em seguida a agropecuária e a indústria.

O índice de Desenvolvimento Humano (IDH-M) referente ao ano de 2010 era de 0,594, considerado baixo.

### 3.2 FASES DA PESQUISA

A pesquisa foi desenvolvida em cinco fases como apresentado no fluxograma da Figura 16, segundo os objetivos propostos.

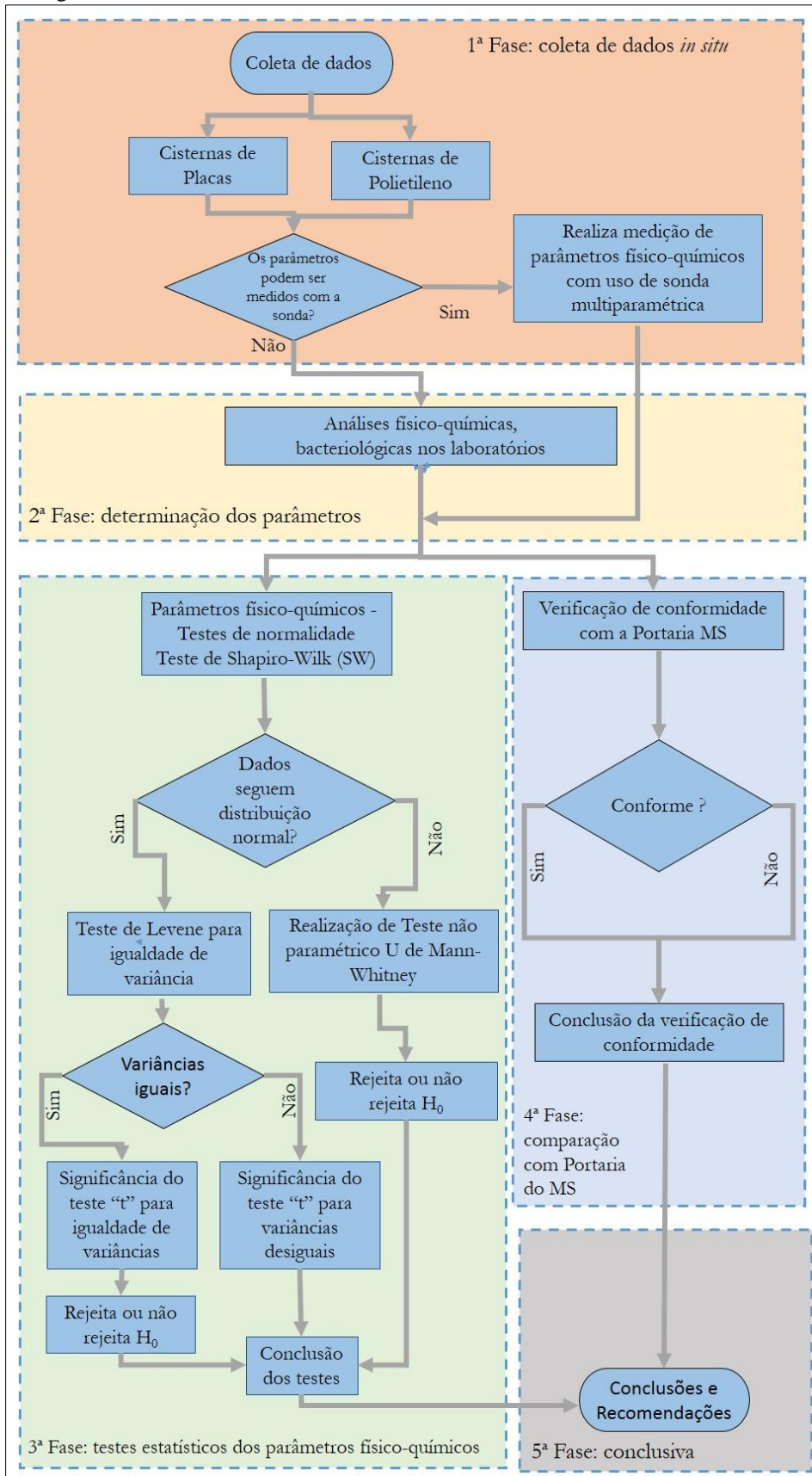
A primeira fase refere-se à coleta da água, nas cisternas selecionadas, para a execução das análises de qualidade realizadas nos laboratórios. Nessa fase também foram feitas medições *in loco* de outros parâmetros de qualidade por meio da sonda multiparamétrica. Essas atividades foram realizadas mensalmente, entre os meses de outubro de 2015 e outubro de 2016, abrangendo o ano hidrológico 2015 – 2016, nas águas armazenadas nas cisternas de placas e de polietileno.

Na segunda fase, realizada em paralelo com a primeira fase apenas em relação aos parâmetros de qualidade medidos na sonda multiparamétrica, foram feitas as análises físico, químicas e bacteriológicas nos laboratórios das águas coletadas nas cisternas. Os laboratórios que processaram as amostras foram o de Saneamento Ambiental (LABSAM) e no Laboratório em Tecnologia de Alimentos (LTA), ambos da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). A coleta de amostras de água, as medições na sonda e as análises realizadas geraram o número de 5.990 dados.

Na terceira fase foi feita a análise estatística dos resultados obtidos na segunda fase; e na quarta fase foi realizada a verificação de conformidade dos resultados obtidos com a Portaria MS 2.914/2011.

A última fase envolveu as considerações finais, incluindo conclusões e recomendações feitas com base nos resultados, respondendo, de forma sintética, às questões da pesquisa correspondentes aos objetivos e hipóteses formuladas.

Figura 16 – Fluxograma das fases do trabalho



Fonte: Autor, 2016.

### 3.2.1 Fase de seleção das cisternas e de coleta de amostras de água

Para a escolha das cisternas nos municípios de Cabaceiras e São Sebastião de Lagoa de Roça (SSLR), foram realizadas visitas ao campo no sentido de conhecer os sujeitos envolvidos, como os sindicatos rurais, as associações de moradores e os próprios usuários, como as condições de acesso às cisternas e, assim, identificar as cisternas com características representativas para a realização da pesquisa. As cisternas selecionadas foram fotografadas, georreferenciadas e cadastradas.

As cisternas de placas selecionadas são de cobertura de laje horizontal instaladas no âmbito do PIMC, e as de polietileno foram as instaladas pelo DNOCS (Figura 17).

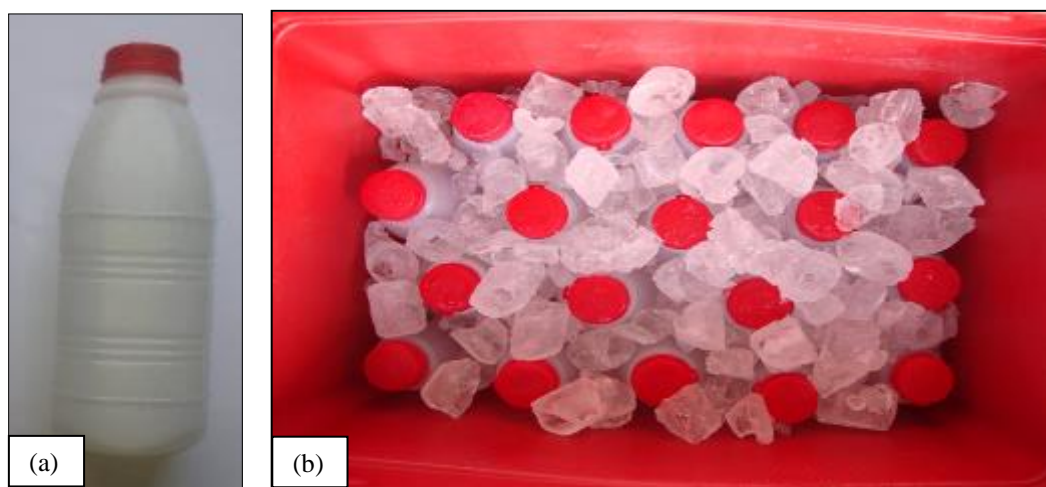
Figura 17 – Cisterna de placas em Cabaceiras (a) Cisterna de polietileno em SSLR (b)



Fonte: acervo do autor.

Para as análises físicas e químicas em laboratório, as amostras foram coletadas em garrafas plásticas e acondicionadas em caixa térmica com gelo (Figura 18 (a) e (b)) para o transporte até o LABSAM.

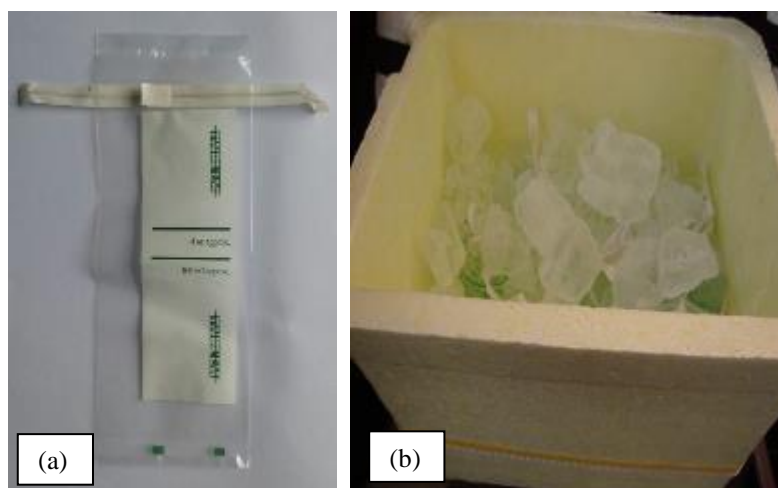
Figura 18 – Recipientes para coleta (a) e transporte das amostras de água (b)



Fonte: Acervo do autor.

Na coleta de água para análises bacteriológicas, foram utilizadas bolsas THIO BAG<sup>2</sup> (Figura 19). Essas bolsas com amostras de água foram acondicionadas em caixa de isopor com gelo, e transportadas em espaço de tempo menor do que 24 horas, para o LTA.

Figura 19 – Bolsa para coleta de amostra de água THIO BAG (a) e caixa de isopor com gelo (b)



Fonte: Acervo do autor.

A coleta de água foi feita a partir dos recipientes de captação das cisternas, nas quais foram utilizados os baldes de plástico ou flandres (ambos com corda de nylon e/ou agave) com imersão na cisterna de placas (Figura 20), conforme a captação feita pelos usuários. Apenas nas cisternas 16 (de placas) e 23 (de polietileno) se fez uso da bomba de acionamento manual de PVC e de ferro, respectivamente (Figura 21).

---

<sup>2</sup>Bolsa feita de polietileno de baixa densidade, transparente e resistente a impactos, esterilizado por radiação gama. Contém uma patilha de 10 mg de Tiosulfato de sódio, que tem a finalidade de neutralizar o cloro, caso a água contenha.

Figura 20 – Utensílios para retiradas da água das cisternas (a) plástico; (b) flandres



Fonte: Acervo do autor.

Figura 21 – (a) Bomba de PVC e (b) Bomba de ferro



Fonte: Acervo do autor

Deve ser ressaltado que naquelas cisternas estudadas, onde não havia dispositivos de barreiras sanitárias, ou seja, caixas de desvio, o controle relativo ao descarte das primeiras águas de chuvas fica a cargo do proprietário. Normalmente, esse controle é realizado manualmente, desconectando o tubo condutor de água da entrada da cisterna logo após o início da chuva (Figura 22).

Figura 22 – Caixa de desvio (a); (b) Cano desconectado



Fonte: Acervo do autor.

Para as cisternas de placas existem diferentes tipos de tampas (alvenaria, zinco e madeira), enquanto que para as cisternas de polietileno, a tampa é de plástico (Figura 23).

Figura 23 – Tipos de tampas nas cisternas (a) alvenaria; (b) zinco; (c) madeira; (d) plástico



Fonte: Acervo do autor.

O Quadro 5 – Relação das cisternas estudadas e sua caracterização quanto ao material construtivo, localidades onde estão instaladas, compreendendo dezessete de CPLAs e seis de CPOLse outras informações sintetizadas das fichas cadastrais.

Quadro 5 – Relação das cisternas estudadas e sua caracterização quanto ao material construtivo, localidades onde estão instaladas, compreendendo dezessete de CPLAs e seis de CPOLs

Município	Nº da cisterna	Tipo de cisterna	Localidade e (Sítio)	Tipo de tampa	Uso de bomba ou outro matéria para retirar água	Estrutura de desvio de primeira chuva
Cabaceiras	1	Placa	Alto Fechado	Zinco	Balde de Flandres	Possui <sup>1</sup>
	2	Placa	Caruatá de Dentro	Alvenaria	Balde de Flandres	Possui <sup>1</sup>
	3	Placa	Caruatá de Dentro	Madeira	Balde de Flandres	Possui <sup>1</sup>
	5	Placa	Malhada Comprida	Zinco	Balde de Flandres	Possui <sup>1</sup>
	6	Placa	Caruatá de Dentro	Madeira	Balde de Flandres	Possui <sup>1</sup>
	7	Placa	Caruatá de Dentro	Madeira	Balde de Flandres	Possui <sup>1</sup>
	8	Placa	Alto Fechado	Zinco	Balde de Flandres	Possui <sup>1</sup>
	9	Placa	Malhada Comprida	Alvenaria	Balde de Flandres	Possui <sup>1</sup>
	10	Placa	Caruatá de Dentro	Alvenaria	Balde de Flandres	Possui <sup>1</sup>
	SSLR	11	Placa	Camucá	Alvenaria	Balde de PVC
12		Placa	Camucá	Alvenaria	Balde de PVC	Não possui-
13		Placa	Tanques	Alvenaria	Balde de PVC	Não possui-
14		Placa	Camucá	Alvenaria	Balde de PVC	Não possui-
15		Placa	Tanques	Zinco	Balde de PVC	Não possui-
16		Placa	Camucá	Zinco	Bomba manual	Não possui-
17		Placa	Caracol	Madeira	Balde de PVC	Não possui-
20		Placa	Caracol	Zinco	Balde de PVC	Não possui-
21		Polietileno	Caracol	Plástico	Balde de PVC	Não possui-
22		Polietileno	Caracol	Plástico	Balde de PVC	Não possui-
23		Polietileno	Camucá	Plástico	Bomba manual	Não possui-
26		Polietileno	Tanques	Plástico	Balde de PVC	Não possui-
27		Polietileno	Camucá	Plástico	Balde de PVC	Não possui-
30	Polietileno	Caracol	Plástico	Balde de PVC	Não possui-	

(<sup>1</sup>) Caixa de concreto

Fonte: Autor, 2016

No Quadro 6 estão apresentadas as datas da medições e coletas das amostras realizadas.

Quadro 6 – Data das medições e coletas realizadas

Municípios	Nº das cisternas	2015					2016						
		Meses											
		out	nov	dez	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out
Cabaceiras	1	04	08	13	20	11	30	26	18	24	17	24	22
	2	04	08	13	20	11	30	26	18	24	17	24	22
	3	04	08	13	20	11	30	26	18	24	17	24	22
	5	04	08	13	20	11	30	26	18	24	17	24	22
	6	04	08	13	20	11	30	26	18	25	17	24	22
	7	04	08	13	20	11	30	26	18	24	17	24	22
	8	04	08	13	20	11	30	26	18	25	17	24	22
	9	04	08	13	20	11	30	26	18	24	17	24	22
	10	04	08	13	20	11	30	26	18	24	17	24	22
	SSLR	11	05	09	14	21	12	01/5	27	19	23	18	24
12		05	09	14	21	12	01/5	27	19	23	18	24	23
13		05	09	14	21	12	01/5	27	19	23	18	24	23
14		05	09	14	21	12	01/5	27	19	23	18	24	23
15		05	09	14	21	12	01/5	27	19	23	18	24	23
16		05	09	14	21	12	01/5	27	19	23	18	24	23
17		05	09	14	21	12	01/5	27	19	23	18	24	23
20		05	09	14	21	12	01/5	27	19	23	18	24	23
21		05	09	14	21	12	01/5	27	19	23	18	24	23
22		05	09	14	21	12	01/5	27	19	23	18	24	23
23		05	09	14	21	12	01/5	27	19	23	18	24	23
26		05	09	14	21	12	01/5	27	19	23	18	24	23
27		05	09	14	21	12	01/5	27	19	23	18	24	23
30	05	09	14	21	12	01/5	27	19	23	18	24	23	

Fonte: Autor, 2016

### 3.2.2 Fase das análises para determinação dos parâmetros nos laboratórios

A segunda parte da metodologia diz respeito a realização das análises físico-químicas e microbiológicas nos laboratórios.

Os parâmetros não detectados pela sonda multiparamétrica como cor, dureza, alcalinidade, sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis, cloretos, amônia, nitrato, sulfato, foram obtidos no LABSAM de acordo com normas da APHA (2005). Já os

parâmetros pH, temperatura, turbidez, condutividade elétrica, salinidade, oxigênio dissolvido e sólidos totais dissolvidos - TDS foram medidos por meio da sonda multiparamétrica HANNA® modelo HI 9829, na fase anterior.

No Quadro 7 são especificados os laboratórios onde foram realizadas as análises dos parâmetros analisados e os métodos utilizados.

Quadro 7 – Ensaio e métodos utilizados para obtenção dos parâmetros analisados

<b>Realização das análises</b>	<b>Ensaio</b>	<b>Método</b>
<b>LABSAN</b>	Sólidos totais	Gravimétrico
	Sólidos totais fixos	Gravimétrico
	Sólidos totais voláteis	Gravimétrico
	Alcalinidade total	Titulométrico
	Dureza total	Titulométrico
	Cloreto	Titulométrico
	Sulfato	Espectrofotométrico
	Amônia	Espectrofotométrico
	Nitrato	Espectrofotométrico
Cor	Espectrofotométrico	
<b>Sonda Hanna</b>	Oxigênio Dissolvido	Leitura direta
	Condutividade	Leitura direta
	pH	Leitura direta
	Salinidade	Leitura direta
	Temperatura	Leitura direta
	Turbidez	Leitura direta
	TDS	Leitura direta
<b>LTA</b>	Análises microbiológicas	Tubos múltiplos

Fonte: Autor, 2016

A avaliação dos resultados qualitativos da água tiveram como referência os parâmetros de potabilidade, estabelecidos pela Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

### 3.2.3 Metodologia para realização das análises

- **Análises físico químicas com uso da sonda**

Por meio da sonda multiparamétrica (Figura 24) foram realizadas leituras *in loco* nas águas das cisternas, conforme mostrado nas Figura 25 e Figura 26.

Figura 24 – Sonda Hanna modelo HI 9829 utilizada na pesquisa



Fonte: Acervo do autor

Figura 25 – Leitura de parâmetros de qualidade da água diretamente nas cisternas de placas



Fonte: Acervo do autor.

Figura 26 – Leitura de parâmetros de qualidade de água diretamente nas cisternas de polietileno



Fonte: Acervo do autor.

- **Análises físicas e químicas no laboratório LABSAM**

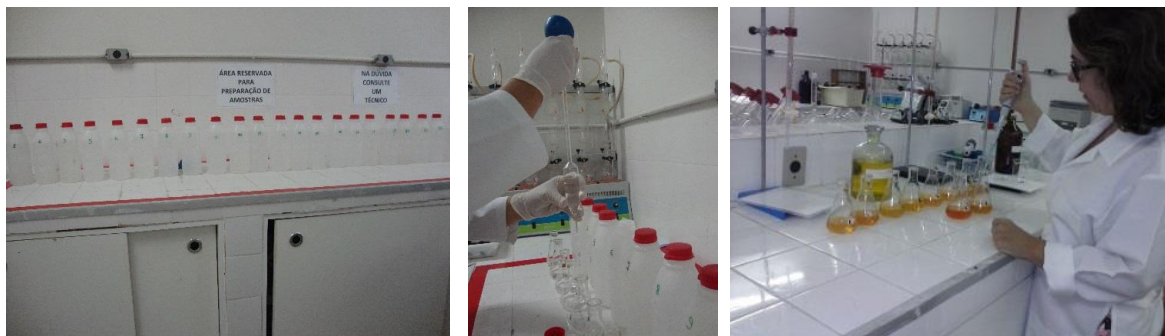
As análises das amostras coletadas (Figura 27) foram realizadas no Laboratório de Saneamento Ambiental da UFPB, de acordo com APHA *et al.* (2005). As Figura 28 e Figura 29 mostram algumas situações da realização de análises.

Figura 27 – Coleta da amostra para a realização das análises físico-químicas no laboratório



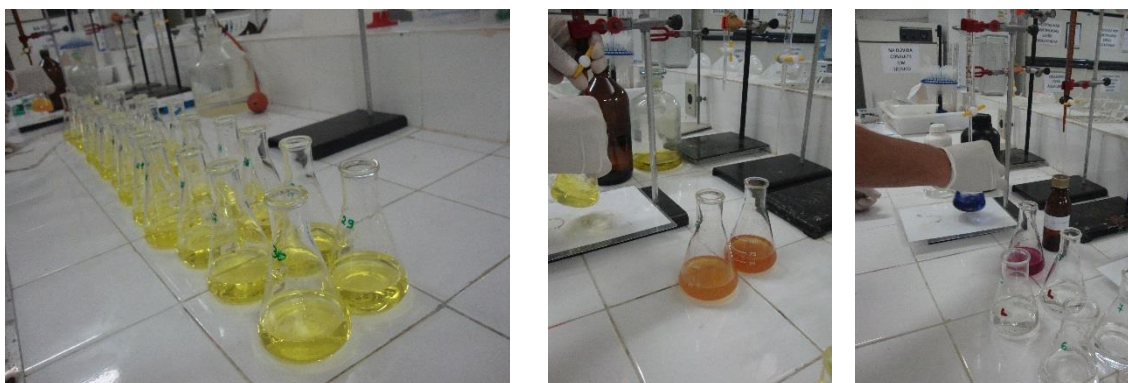
Fonte: Acervo do autor.

Figura 28 – Preparação das amostras para análise no LABSAM



Fonte: Acervo do autor.

Figura 29 – Realização de análise de cloretos e dureza por Método Titulométrico



Fonte: Acervo do autor.

- **Análises microbiológicas**

Foram coletadas amostras, de forma específica, para análises microbiológicas de águas de todas as cisternas (Figura 30). Os indicadores de contaminação fecal analisados foram os coliformes totais, coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* e bactérias heterotróficas, como recomendado pela Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde para água destinada ao consumo humano.

A metodologia utilizada foi a técnica dos tubos múltiplos e a determinação do NMP, baseadas no Standard Methods for the Examination of water and Wastewater-APHA/American Public Health Association (1992), no Laboratórios em Tecnologia de Alimentos (LTA) (Figura 31).

Figura 30 – Coleta das amostras para análise microbiológicas



Fonte: Acervo do autor.

Figura 31 – Laboratório em Tecnologia de Alimentos da UFPB

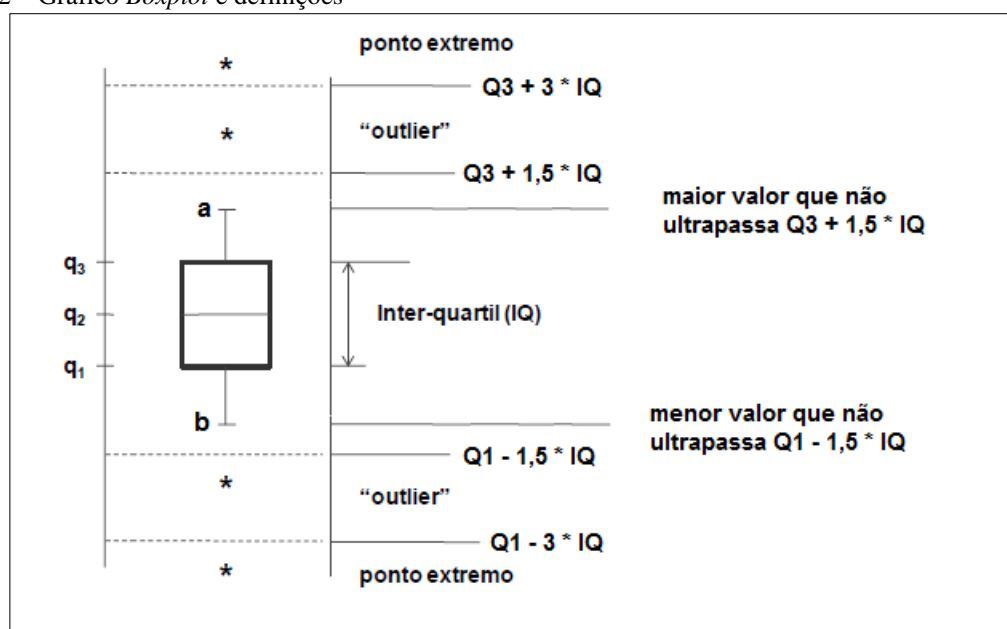


Fonte: Acervo do autor.

### 3.3 FASE DE TESTES ESTATÍSTICOS PARA COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS

Os resultados referentes às medições realizadas foram processados e organizados em forma de gráficos tipo *boxplot* e utilizados para a sintetização de estatísticas relevantes para a análise (Figura 32). Nesses gráficos, Q1 é o primeiro quartil, Q2 o segundo quartil ou mediana, Q3 o terceiro quartil, que possibilitam a informação sobre a assimetria da distribuição. Os *outliers*, ou dados atípicos, são valores acima de  $Q3 + 1,5IQ$  e abaixo de  $Q1 - 1,5IQ$ , sendo a distância interquartil  $IQ = Q3 - Q1$ . Os valores extremos são aqueles valores acima de  $Q3 + 3IQ$  e abaixo de  $Q1 - 3IQ$ , sendo  $IQ = Q3 - Q1$  a distância interquartil. A diferença entre os quartis ( $Q3 - Q1$ ) é uma medida da variabilidade dos dados (ARAÚJO e ABAR, 2012).

Figura 32 – Gráfico *Boxplot* e definições



Fonte: Araújo e Abar (2012)

O propósito finalístico das análises estatísticas dos conjuntos de dados obtidos foi verificar a existência de diferença entre as médias dos valores dos parâmetros de qualidade da água oriundas dos conjuntos de cisternas de placas e de polietileno. Também objetivou verificar se há diferenças entre as médias dos valores dos parâmetros de qualidade da água oriundas dos conjuntos de cisternas de placas nos dois municípios estudados, que se localizam em altitudes diferentes e com regimes pluviométricos diferentes.

O teste para comparação de médias foi utilizado pelo fato de haver disponibilidade de valores dos parâmetros obtidos das amostras coletadas de cada tipo de cisterna, e de cisternas de locais com diferentes regimes pluviométricos.

Os testes de comparação de médias têm a finalidade de verificar se duas ou mais amostras são provenientes de uma mesma distribuição de probabilidades. Esses testes podem ser do tipo Paramétrico e Não Paramétrico e a sua escolha depende do comportamento da distribuição.

Vale salientar que, antes de realizar o teste para comparação de médias deve-se, inicialmente, realizar o teste de normalidade ou de ajustamento, para verificar o comportamento da distribuição dos dados, ou seja, se a distribuição é Normal. Se a distribuição se comportar de forma Normal o teste a ser realizado será o teste Paramétrico. Caso contrário, deverá ser utilizado o teste não Paramétrico. O teste Paramétrico utilizado foi o teste “t de *Student*” e o teste Não Paramétrico foi o teste de *Mann-Whitney*. Esses testes foram utilizados sob as seguintes hipóteses:

H0 (hipótese nula) → as amostras são provenientes de uma mesma população, ou seja, as médias são iguais;

H1 (hipótese alternativa) → as amostras não são provenientes de uma mesma população, ou seja, as médias não são iguais.

Para os conjuntos de dados utilizados os testes de *Shapiro-Wilk* (SW) foram aplicados com o valor-p oferecido pelos testes de normalidade, que possibilita discutir os resultados de forma quantitativa, observando se há forte correlação entre os parâmetros, principalmente, quando esses são aprovados em todos os testes de normalidade. O valor-p avalia a rejeição de H0.

O teste de normalidade para verificar a possibilidade da utilização de teste paramétrico ou não paramétrico foi também o SW, pois, o tamanho das amostras é inferior a 30 ( $n < 30$ ).

Os testes estatísticos foram realizados com valores médios calculados a partir de uma quantidade de dados medidos e analisados em 12 meses, nas 23 cisternas, sendo 9 em Cabaceiras, totalizando 108 medições por parâmetro, e 14 em São Sebastião de Lagoa de Roça (10 de placas e 6 de polietileno), totalizando 192 medições por parâmetro.

O Teste de *Shapiro-Wilk* foi formulado com as seguintes hipóteses:

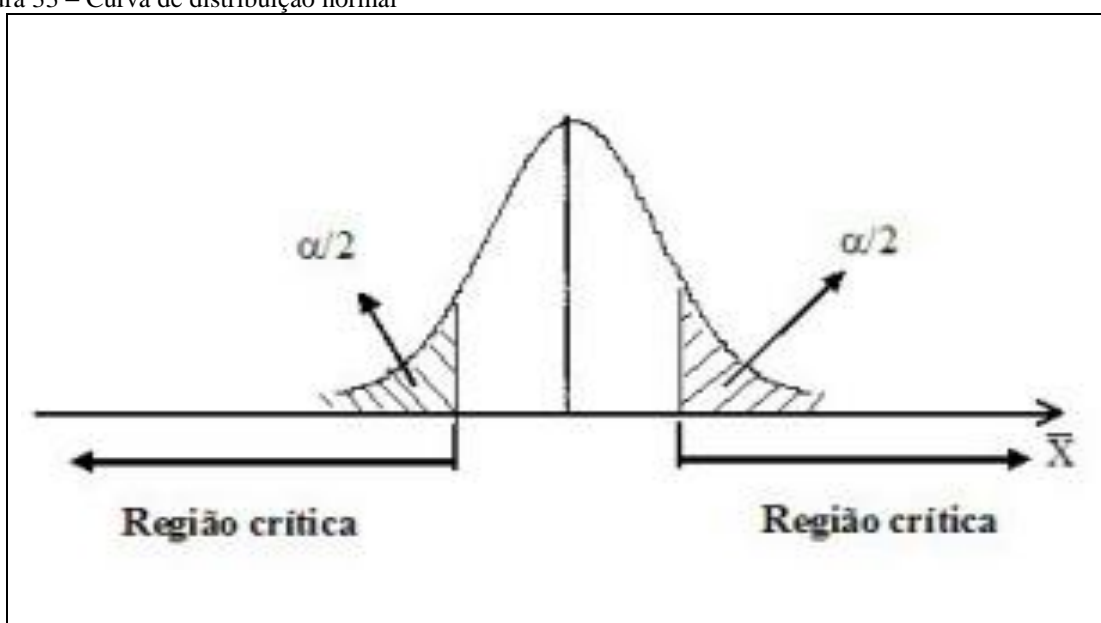
H0 (hipótese nula) → a amostra tem distribuição Normal ( $\mu, \sigma^2$ );

H1 (hipótese alternativa) → a amostra não tem distribuição Normal.

A partir dos resultados dos testes de normalidade, se os dois grupos de cisternas se comportarem conforme a distribuição Normal o teste para comparação de médias será o teste paramétrico “t”. Porém, antes da realização desse teste deve ser realizado também o teste de *Levene* para verificação da igualdade de variâncias. Este teste serve como dado de entrada para o teste “t” de comparação de médias. Sendo confirmada a normalidade dos dados, e de posse do resultado do teste de homogeneidade das suas variâncias, realiza-se o teste paramétrico “t” para comparação das médias.

O teste “t” utilizado é um teste bicaudal, ou seja, a região de rejeição da hipótese nula pode ocorrer nas duas caudas da distribuição, como mostra a Figura 33.

Figura 33 – Curva de distribuição normal



Fonte: Larson; Farber (2016)

Ao se realizar os testes descritos, as conclusões são obtidas comparando-se o valor do teste (valor crítico) encontrado com um tabelado. Para que a hipótese nula não seja rejeitada, o módulo do valor crítico deve ser menor ou igual ao tabelado para o nível de significância adotado. A hipótese nula também não seria rejeitada quando o p-valor<sup>3</sup> é maior que o nível de significância previamente estabelecido. O nível de significância é a probabilidade de se rejeitar a hipótese nula tendo ela sido considerada verdadeira, ou seja, é a probabilidade de erro. Para os testes descritos, foi adotado o nível de significância ( $\alpha$ ) de 5%. Os valores

<sup>3</sup>p-valor, também denominado nível descritivo do teste, é a probabilidade de que a estatística do teste (valor tabelado) tenha valor extremo em relação ao valor observado (valor crítico) quando a hipótese  $H_0$  é verdadeira (Portal Action, 2012).

tabelados para cada teste, para este nível de significância foi obtido por meio do programa *Probabilities, Quantiles and Random Samples* (PQRS).

Na suposição de pelo menos um dos testes de normalidade não seguir a distribuição normal, o teste para comparação de médias utilizado foi o teste não paramétrico “U” de Mann-Whitney.

Os testes foram realizados no software SPSS – 20, todos com nível de significância  $\alpha$  de 5% (0,05) e a hipótese nula foi rejeitada sempre que o valor-p (significância do teste) for menor ou igual a significância adotada de 5%.

Os testes estatísticos utilizados na pesquisa foram aplicados de acordo com uma sequência pré-estabelecida, uma vez que a aplicação de um determinado teste depende do resultado do anterior (Figura 16). Para todos os testes estatísticos foram utilizadas as médias obtidas do conjunto de dados das leituras em um ano hidrológico (2015-2016) para os 17 parâmetros analisados.

#### 3.4 FASE DE COMPARAÇÃO COM AS NORMAS DE CONFORMIDADE

Na quarta fase de execução da metodologia foi realizada a comparação entre os valores relativos aos parâmetros de qualidade, obtidos das análises efetuadas nas águas das cisternas, com os padrões de qualidade da água para consumo humano estabelecidos pela Portaria do MS nº 2.914/2011, observando-se os valores máximos e mínimos permitidos. A avaliação foi feita por meio cálculo do percentual de conformidade desses parâmetros de qualidade, em relação aos valores preconizados pela referida Portaria.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, são apresentados os resultados e a discussão referentes às hipóteses formuladas na tese. Para melhor clareza, são apresentados primeiramente os resultados e em seguida as discussões relativas aos parâmetros nos quais houve rejeição da hipótese nula; bem como os percentuais de conformidade, abrangendo os dois tipos de cisterna.

Os parâmetros físico-químicos avaliados, conforme descrito na metodologia, foram: pH, temperatura, turbidez, condutividade elétrica, salinidade, oxigênio dissolvido e sólidos totais dissolvidos, cor, dureza, alcalinidade, sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis, cloreto, amônia, nitrato, sulfato, além dos parâmetros microbiológicos.

Os resultados estão apresentados em tabelas contendo os valores das estatísticas referentes, abrangendo valores mínimos, médios, máximos, entre outras, os valores dos testes estatísticos utilizados, e as decisões dos testes; e em gráficos do tipo *boxplot* são apresentados os resultados por parâmetro.

Para a análise dos resultados dos parâmetros físico-químicos, obtidos para as duas primeiras hipóteses formuladas na pesquisa, foram utilizados, como instrumentos de análise, os testes estatísticos de comparação de médias.

Os testes estatísticos foram realizados no software SPSS – 20, todos com nível de significância  $\alpha$  de 5% (0,05), considerando as hipóteses nula e alternativa. A hipótese nula é rejeitada sempre que o valor-p (significância do teste) for menor ou igual à significância adotada.

Para a terceira hipótese, a partir dos resultados dos valores medidos dos parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos das águas das cisternas, são feitas verificações de conformidade com os valores preconizados pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/2011, para cada parâmetro e sua frequência de atendimento.

### 4.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados estão apresentados de forma sintética por meio dos principais parâmetros estatísticos, nas tabelas seguintes, correspondentes às cisternas de placas no município de São Sebastião de Lagoa de Roça (SSLR) (Tabela 3), de polietileno em SSLR (Tabela 4), e de placas no município de Cabaceiras (Tabela 5).

Na Tabela 3 constam os valores referentes aos parâmetros de qualidade das águas armazenadas nas CPLAs, no município de São Sebastião de Lagoa de Roça, relativos a mediana, média, menor e maior valor, 1º quartil e 3º quartil. Esses valores foram calculados a partir dos conjuntos das médias das medições realizadas, para cada parâmetro nessas cisternas.

Tabela 3 – Parâmetros de qualidade da água e estatísticas nas CPLAs em São Sebastião de Lagoa de Roça

Parâmetros Qualidade	Parâmetros estatísticos					
	Mediana	Média	Menor	Maior	1º quartil	3º quartil
Alcalinidade (mg. L <sup>-1</sup> )	50,65	51,49	43,19	59,00	47,94	55,31
Amônia (mg.L <sup>-1</sup> )	0,15	0,16	0,11	0,29	0,13	0,16
CE (µS.cm)	105,71	110,09	87,21	158,89	101,82	110,09
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	6,64	7,42	4,71	15,66	5,67	7,28
Cor (uH)	5,02	5,18	3,86	6,49	4,77	5,60
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	61,83	61,00	51,83	68,83	57,13	65,79
Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> )	1,06	1,15	0,85	2,08	0,98	1,08
OD (mg.L <sup>-1</sup> )	4,06	4,10	3,68	4,59	3,83	4,34
pH	8,1	8,0	7,3	8,7	7,7	8,3
Salinidade (psu)	0,05	0,06	0,05	0,09	0,05	0,05
ST (mg.L <sup>-1</sup> )	78,86	85,41	65,00	119,50	74,83	92,16
STF(mg.L <sup>-1</sup> )	51,00	56,28	47,45	88,20	49,23	56,08
STV (mg.L <sup>-1</sup> )	30,10	34,46	20,45	61,18	23,64	38,01
Sulfato (mg.L <sup>-1</sup> )	7,28	7,51	6,30	10,04	6,85	7,67
TDS (mg.L <sup>-1</sup> )	52,92	55,10	43,63	79,62	50,95	55,00
Temperatura (°C)	24,23	24,30	23,76	25,60	23,83	24,38
Turbidez (uT)	1,00	1,31	0,33	2,87	0,78	1,66

Fonte: Autor, 2017

Na Tabela 4, constam os valores, referentes aos parâmetros de qualidade das águas armazenadas nas CPOs, no município de São Sebastião de Lagoa de Roça, relativo a mediana, média, menor e maior valor, 1º quartil e 3º quartil. Esses valores foram calculados a partir dos conjuntos das médias das medições realizadas para cada parâmetro nessas cisternas.

Tabela 4 – Parâmetros de qualidade da água e estatísticas nas CPOs em São Sebastião de Lagoa de Roça

<b>Parâmetros Qualidade</b>	<b>Parâmetros Estatístico</b>					
	<b>Mediana</b>	<b>Média</b>	<b>Menor</b>	<b>Maior</b>	<b>1º quartil</b>	<b>3º quartil</b>
Alcalinidade (mg. L <sup>-1</sup> )	8,27	8,31	7,31	9,10	7,99	8,80
Amônia (mg.L <sup>-1</sup> )	0,29	0,29	0,19	0,40	0,24	0,32
CE (µS.cm)	25,10	27,91	19,44	45,09	23,02	29,07
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	6,81	7,13	4,79	10,10	5,74	8,36
Cor (uH)	8,37	9,94	7,36	17,03	7,99	10,07
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	28,72	27,18	15,83	40,00	20,08	31,65
Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> )	0,92	1,06	0,63	1,84	0,85	1,13
OD (mg.L <sup>-1</sup> )	4,09	4,13	3,54	4,65	3,95	4,40
pH	6,90	6,75	5,96	7,37	6,39	7,09
Salinidade (psu)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
ST (mg.L <sup>-1</sup> )	33,41	34,15	25,33	46,00	27,12	39,63
STF(mg.L <sup>-1</sup> )	15,10	17,07	11,71	27,17	14,31	18,23
STV (mg.L <sup>-1</sup> )	32,70	31,33	23,40	35,11	31,22	33,18
Sulfato (mg.L <sup>-1</sup> )	6,28	6,33	5,60	7,44	5,88	6,52
TDS (mg.L <sup>-1</sup> )	12,21	13,84	9,67	22,55	11,52	14,40
Temperatura (°C)	25,28	25,17	24,03	25,61	25,23	25,51
Turbidez (uT)	0,40	0,56	0,11	1,81	0,20	0,49

Fonte: autor, 2017

Na Tabela 5, constam os valores, referentes aos parâmetros de qualidade das águas armazenadas nas CPLAs no município de Cabaceiras, relativos a mediana, média, menor e maior valor, 1º quartil e 3º quartil. Esses valores foram calculados a partir dos conjuntos das médias das medições realizadas, para cada parâmetro nessas cisternas.

Tabela 5 – Parâmetros de qualidade da água e estatísticas nas CPLAs em Cabaceiras

Parâmetros de qualidade da água	Parâmetros estatísticos					
	Mediana	Média	Menor	Maior	1º quartil	3º quartil
Alcalinidade (mg. L <sup>-1</sup> )	63,87	67,74	57,73	81,87	61,38	78,59
Amônia (mg.L <sup>-1</sup> )	0,15	0,15	0,10	0,29	0,13	0,18
CE (µS.cm)	125,13	135,76	112,06	176,12	115,29	162,59
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	4,77	5,80	3,38	10,45	4,38	6,91
Cor (uH)	4,63	4,55	2,70	6,21	3,67	5,59
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	67,17	71,63	50,67	92,20	65,67	85,00
Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> )	1,14	1,27	0,69	1,90	0,96	1,77
OD (mg.L <sup>-1</sup> )	2,45	2,53	2,11	3,43	2,39	2,50
pH	8,5	8,5	8,1	8,9	8,4	8,6
Salinidade (psu)	0,06	0,06	0,05	0,08	0,05	0,08
ST (mg.L <sup>-1</sup> )	78,30	86,31	65,80	120,78	73,67	93,10
STF(mg.L <sup>-1</sup> )	57,80	66,44	53,60	93,50	57,00	74,80
STV (mg.L <sup>-1</sup> )	27,00	26,42	17,43	40,00	20,38	28,38
Sulfato (mg.L <sup>-1</sup> )	7,90	8,57	6,95	14,97	7,45	8,04
TDS (mg.L <sup>-1</sup> )	62,42	67,91	56,02	88,06	57,85	81,30
Temperatura (°C)	26,59	26,81	26,21	27,54	26,38	27,23
Turbidez (uT)	0,51	0,76	0,06	2,00	0,24	1,12

Fonte: autor, 2017

Nas Figuras 34 a 50 constam os gráficos *boxplot* dos parâmetros físicos e químicos da qualidade das águas das cisternas de placas (CPLAs) e de polietileno (CPOLs), para cada parâmetro, no município de São Sebastião de Lagoa de Roça.

Figura 34 – Alcalinidade das CPLAs e CPOLs

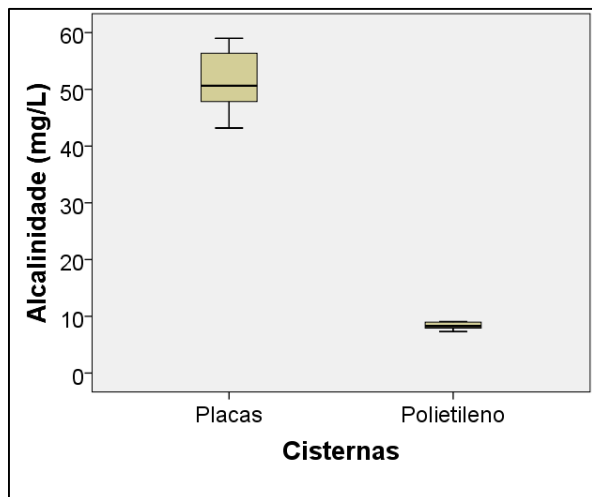


Figura 35 – Amônia das CPLAs e CPOLs

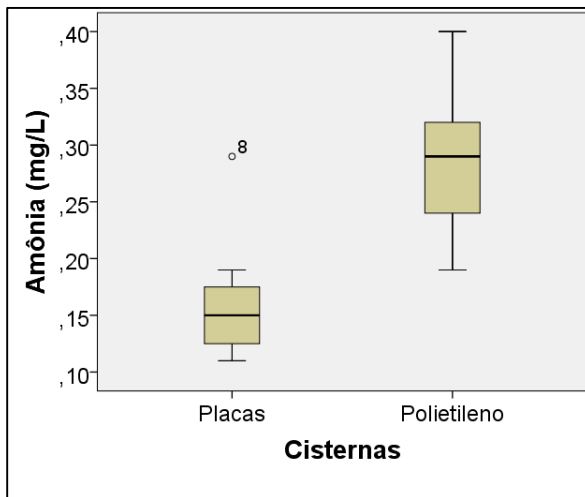


Figura 36 – CE das CPLAs e CPOLs

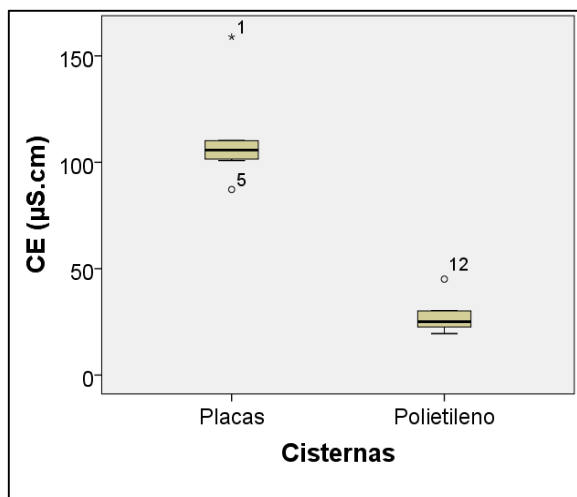


Figura 37 – Cloreto das CPLAs e CPOLs

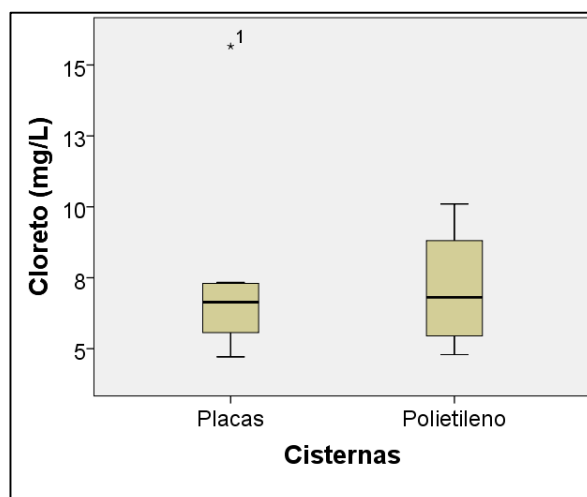


Figura 38 – Cor das CPLAs e CPOLs

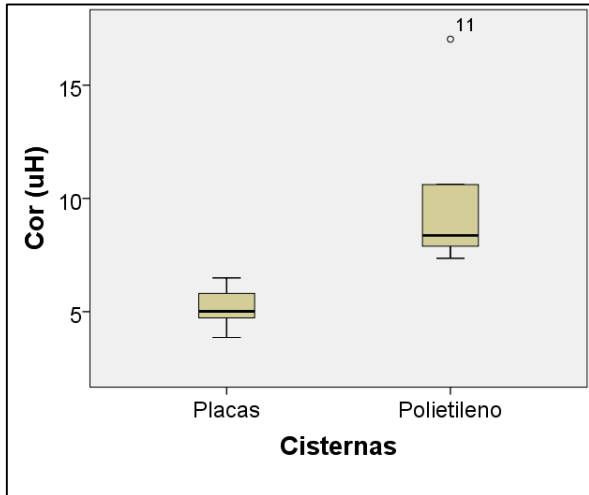


Figura 39 – Dureza das CPLAs e CPOLs

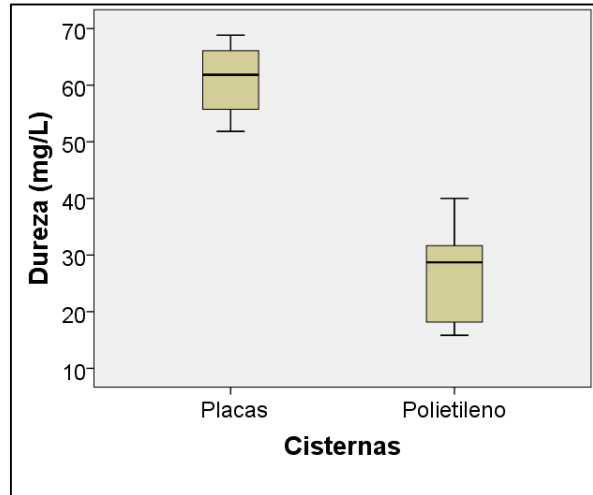


Figura 40 – Nitrato das CPLAs e CPOLs

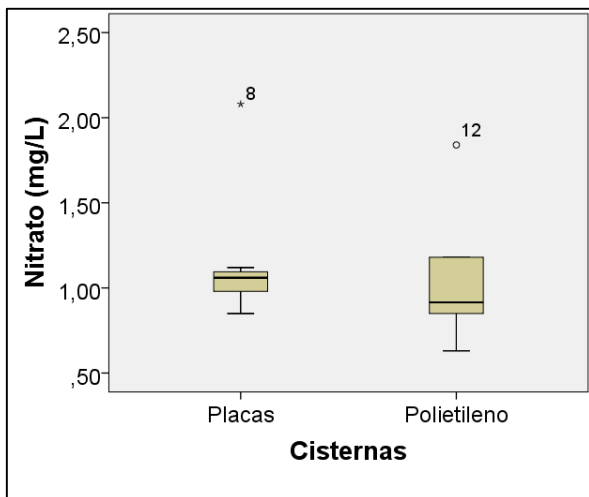


Figura 41 – OD das CPLAs e CPOLs

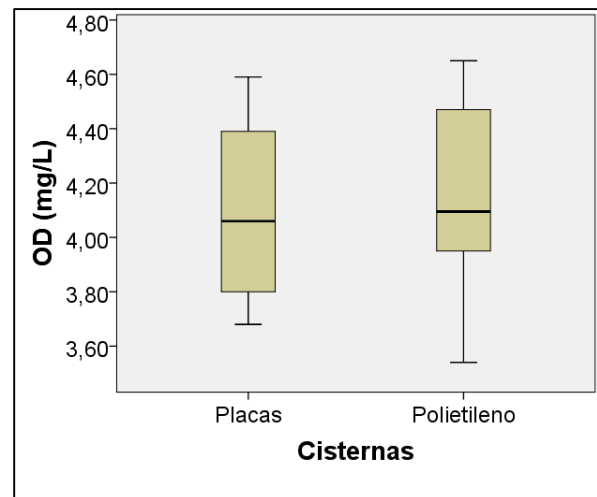


Figura 42 – pH das CPLAs e CPOLs

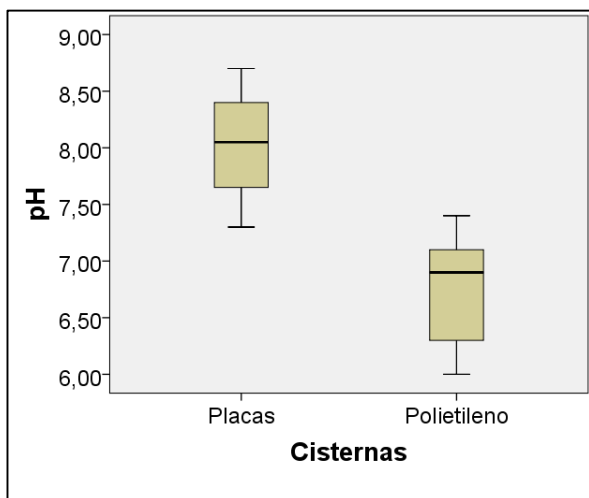


Figura 43 – Salinidade das CPLAs e CPOLs

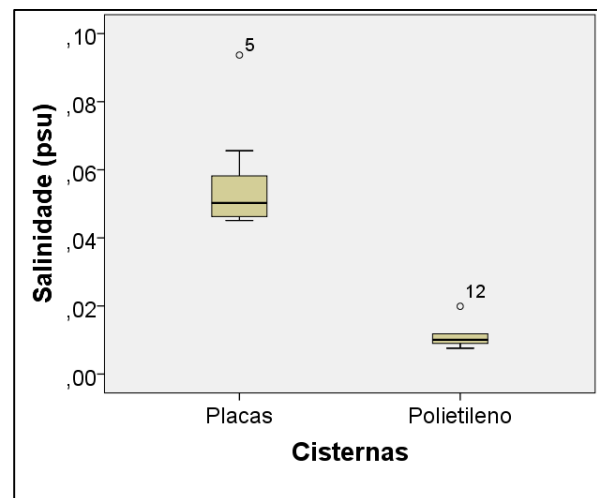


Figura 44 – ST das CPLAs e CPOLs

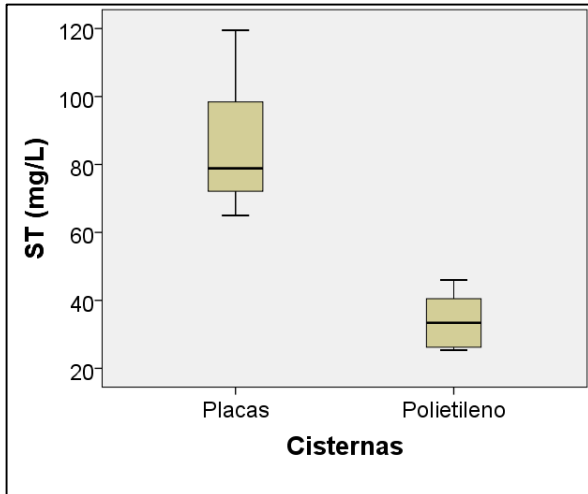


Figura 45 – STF das CPLAs e CPOLs

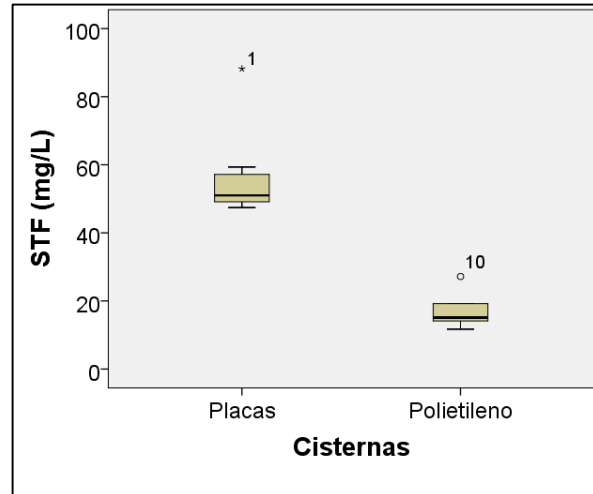


Figura 46 – STV das CPLAs e CPOLs

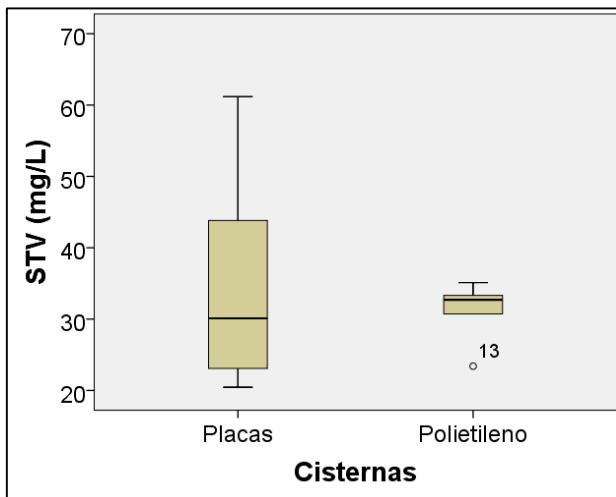


Figura 47 – Sulfato das CPLAs e CPOLs

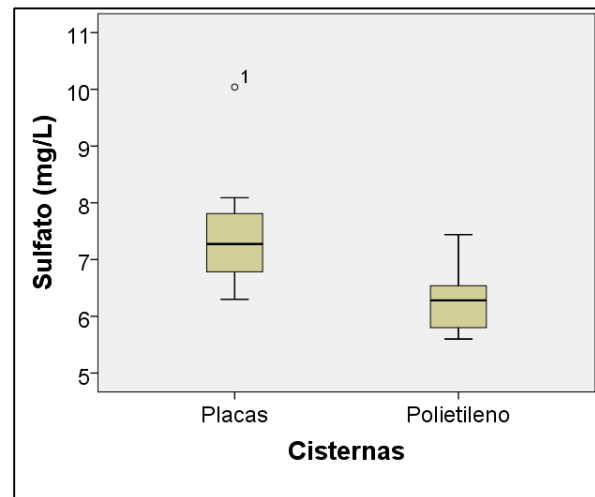


Figura 48 – TDS das CPLAs e CPOLs

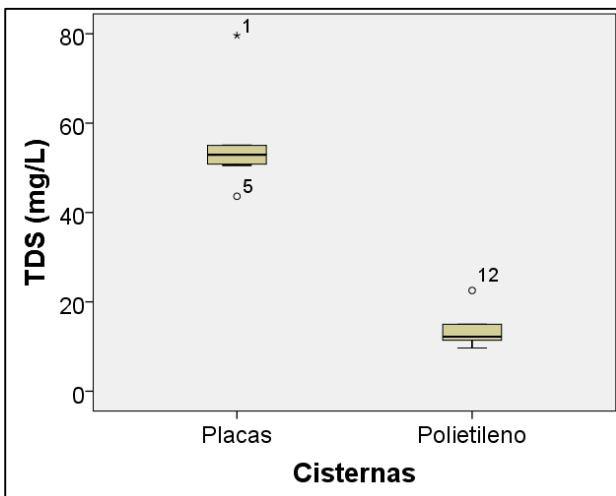


Figura 49 – Temperatura das CPLAs e CPOLs

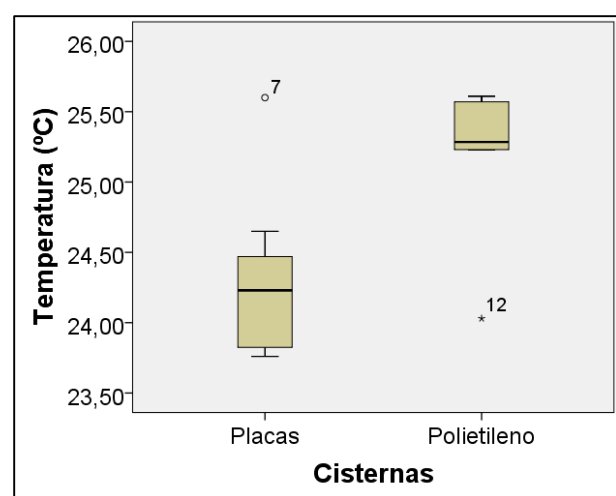
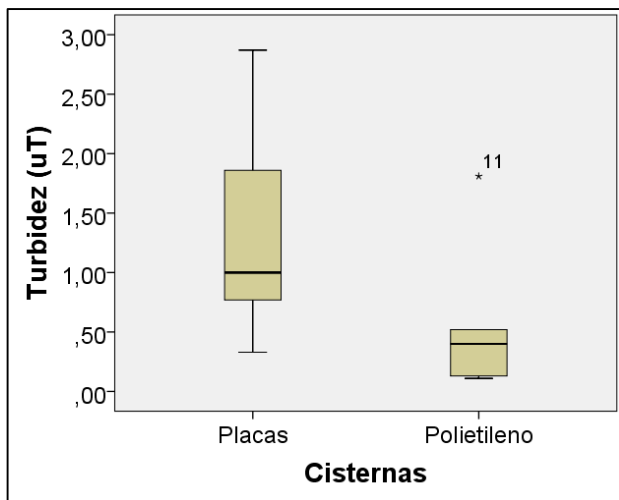


Figura 50 – Turbidez das CPLAs e CPOLs



Nas Figuras 51 a 67 constam os gráficos *boxplot* dos parâmetros da qualidade das águas das cisternas de placas por parâmetros e por tipo de cisterna, nos municípios de Cabaceiras e São Sebastião Lagoa de Roça (SSLR).

Figura 51 – Alcalinidade de Cabaceiras e SSLR

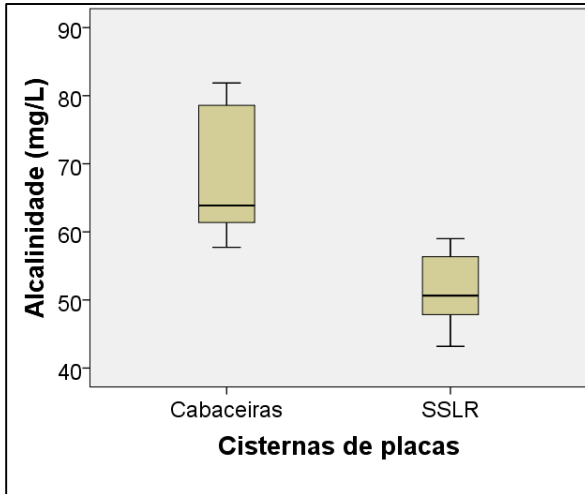


Figura 52 – Amônia de Cabaceiras e SSLR

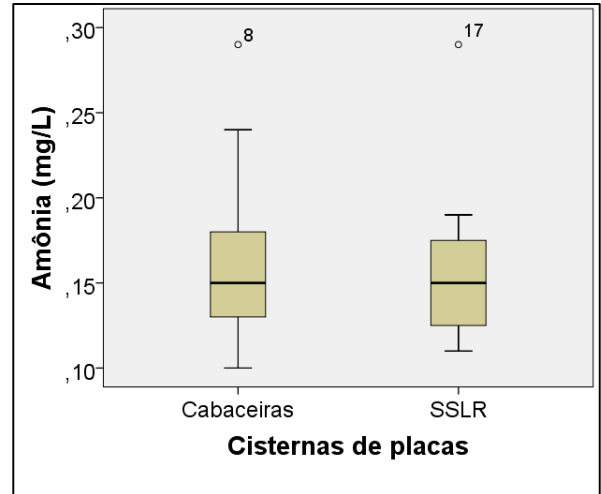


Figura 53 – CE de Cabaceiras e SSLR

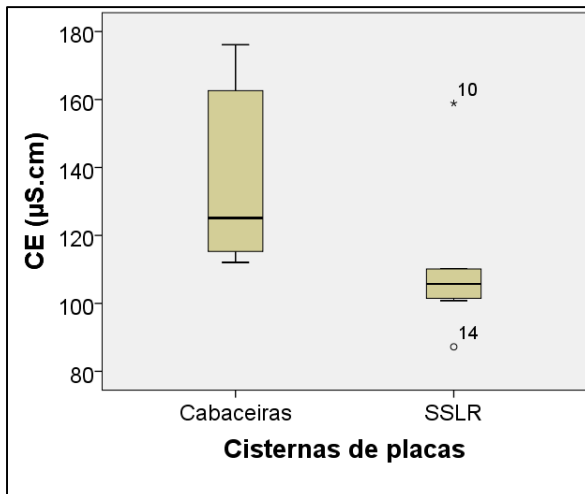


Figura 54 – Cloreto de Cabaceiras e SSLR

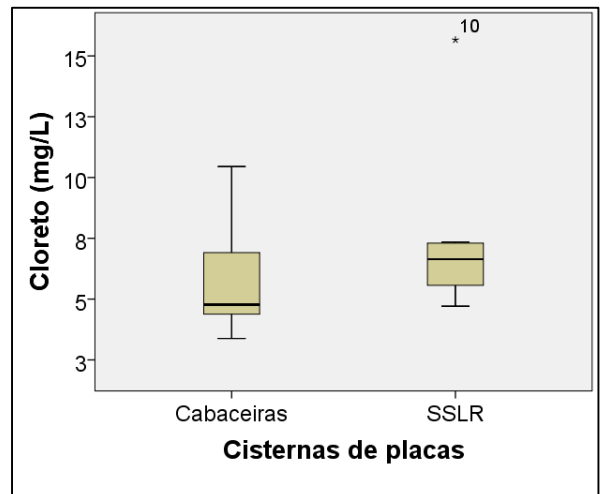


Figura 55 – Cor de Cabaceiras e SSLR

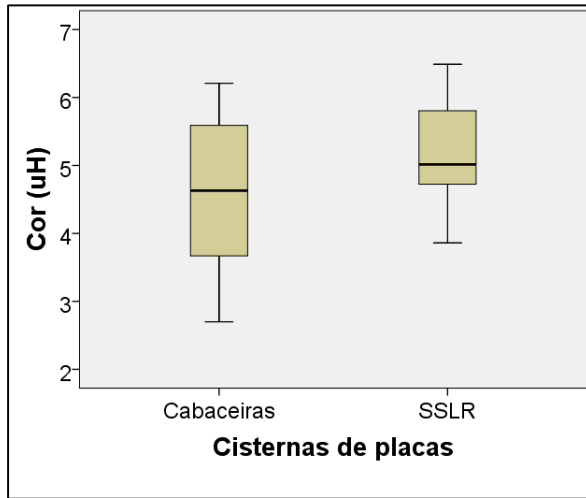


Figura 56 – Dureza de Cabaceiras e SSLR

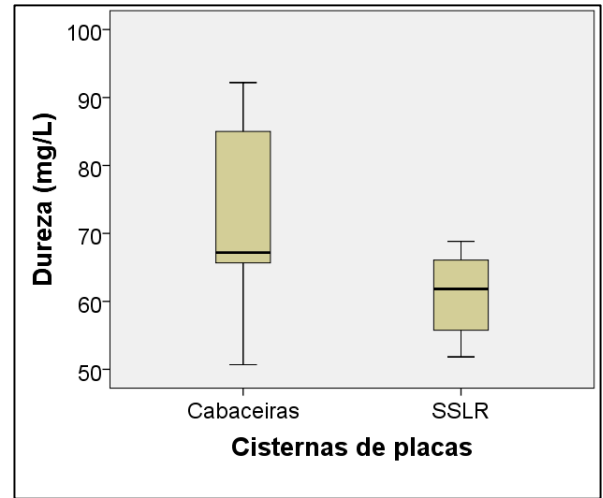


Figura 57 – Nitrato de Cabaceiras e SSLR

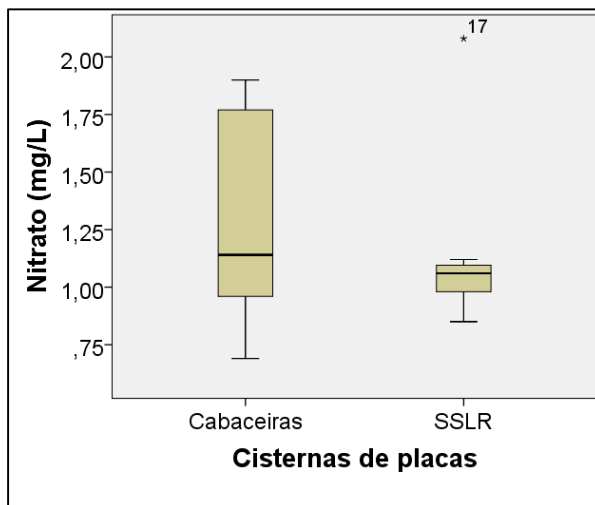


Figura 58 – OD de Cabaceiras e SSLR

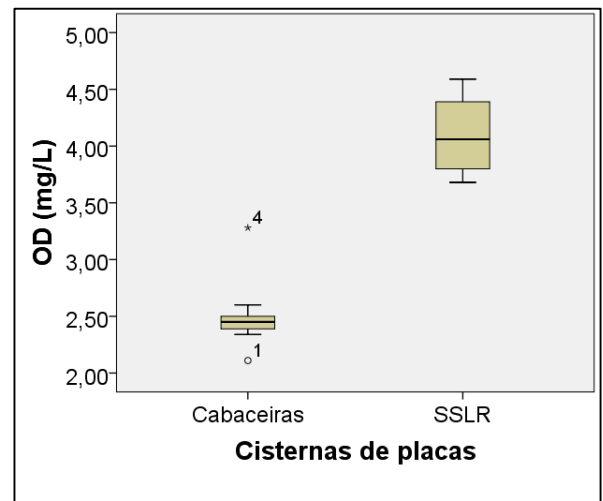


Figura 59 – pH de Cabaceiras e SSLR

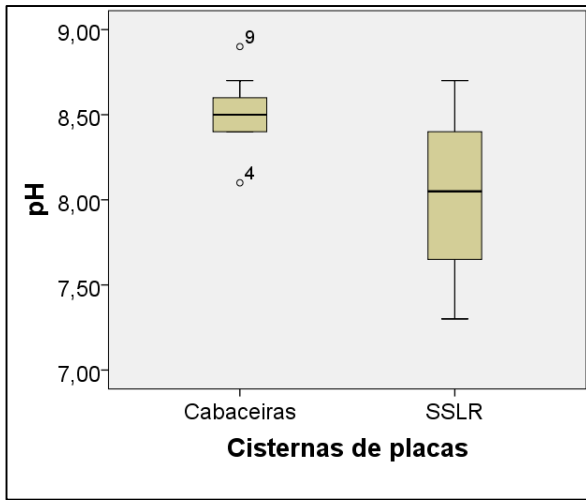


Figura 60 – Salinidade de Cabaceiras e SSLR

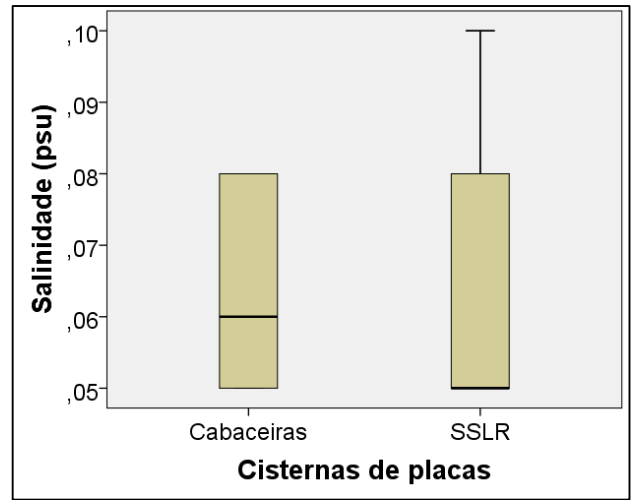


Figura 61 – ST de Cabaceiras e SSLR

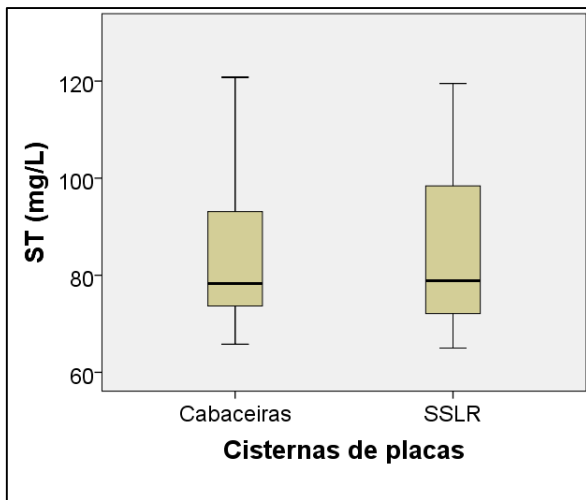


Figura 62 – STF de Cabaceiras e SSLR

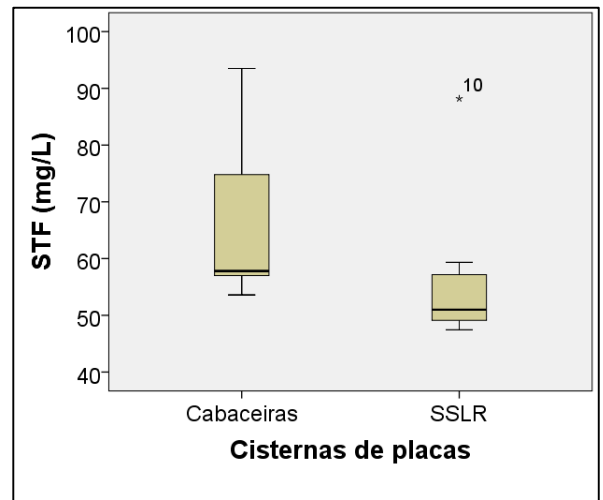


Figura 63 – STV de Cabaceiras e SSLR

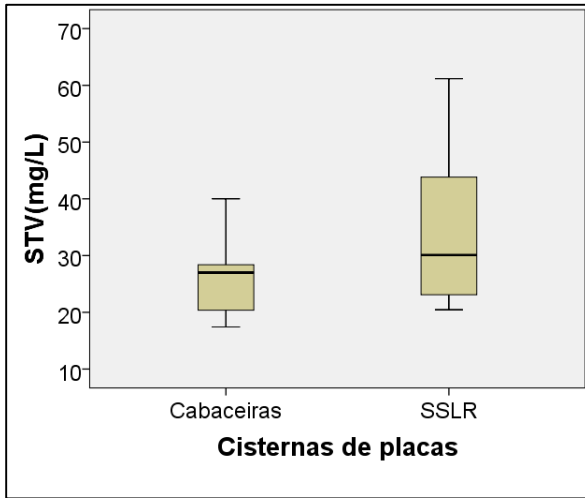


Figura 64 – Sulfato de Cabaceiras e SSLR

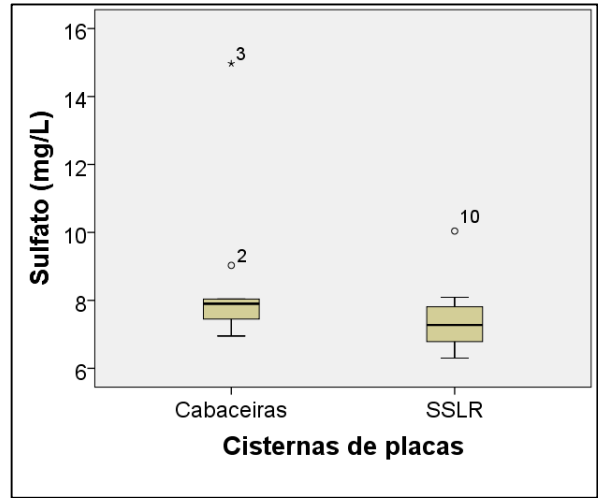


Figura 65 – TDS de Cabaceiras e SSLR

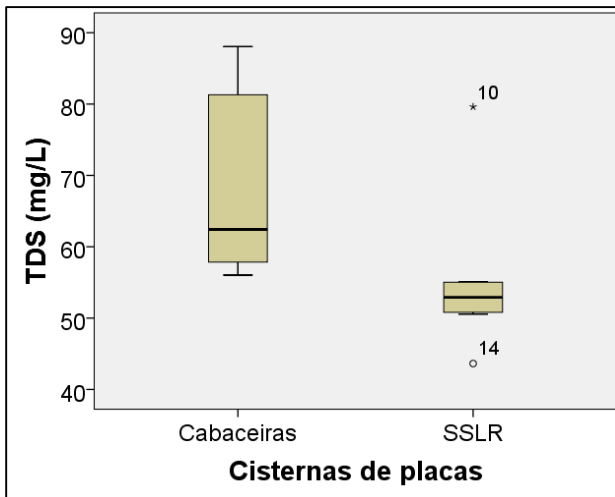


Figura 66 – Temperatura de Cabaceiras e SSLR

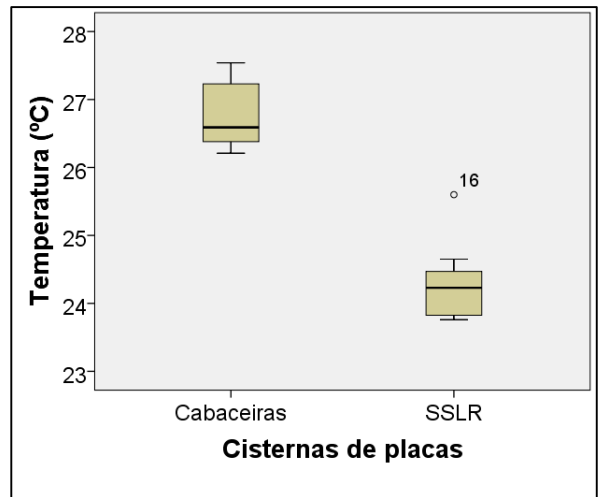
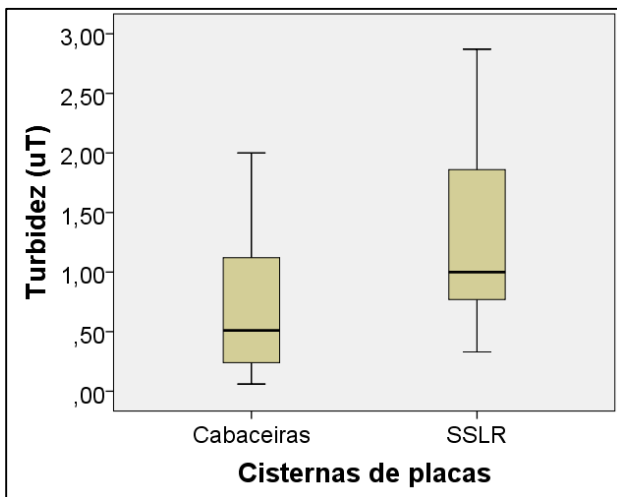


Figura 67 – Turbidez de Cabaceiras e SSLR



Nas Tabelas 6 e 7 estão de forma sintética, os parâmetros dos testes estatísticos de normalidade e de comparação de médias, bem como as decisões, considerando as hipóteses H0 e H1 já definidas visando as respostas das hipóteses da tese.

Na Tabela 6 estão apresentados os parâmetros e decisões relativas à verificação de diferenças entre as médias dos parâmetros de qualidade das águas armazenadas nas CPLAs e CPOLs, no município de São Sebastião de Lagoa de Roça, referentes à primeira hipótese da pesquisa, formulada como: Há diferenças significativas entre a qualidade das águas de chuva armazenadas em cisternas de placas e de polietileno.

Tabela 6 – Estatísticas dos testes de hipóteses para os parâmetros das águas das CPLAs e CPOLs

Parâmetro	CPLAS		CPOLS	
	Valor médio dos parâmetros	p-valor	Valor médio dos parâmetros	p-valor
Alcalinidade (mg. L <sup>-1</sup> )	51,49	0,562 > 0,05	8,31	0,741 > 0,05
	Teste de normalidade: não rejeita H0		Teste de normalidade: não rejeita H0	
	O teste de Levene apresentou significância de $0,002 \leq 0,05$ , portanto, a hipótese nula de igualdade de variâncias é rejeitada e a significância do teste 't' será aquela para o caso de igualdade de variância não assumida. Neste caso o valor-p é $0,000 \leq 0,05$ (5%), portanto, ao nível de significância de 5% pode-se <b>rejeitar</b> a hipótese nula de igualdade de médias.			
Amônia (mg. L <sup>-1</sup> )	0,16	0,036 $\leq$ 0,05	0,29	0,978 > 0,05
	Teste de normalidade: rejeita H0		Teste de normalidade: não rejeita H0	
	Teste de comparação de médias: p-valor = 0,005; <b>rejeita H0</b> Ao nível de significância de 5% pode-se rejeitar a hipótese nula de igualdade de médias.			
Cloreto (mg. L <sup>-1</sup> )	7,42	0,001 $\leq$ 0,05	7,13	0,772 > 0,05
	Teste de normalidade: rejeita H0		Teste de normalidade: não rejeita H0	
	Teste de comparação de médias: p-valor = 0,950; <b>não rejeita H0</b> Ao nível de significância de 5% pode-se rejeitar a hipótese nula de igualdade de médias.			
CE ( $\mu\text{S.cm}^{-2}$ )	110,09	0,007 $\leq$ 0,05	27,91	0,137 > 0,05
	Teste de normalidade: rejeita H0		Teste de normalidade: não rejeita H0	
	Teste de comparação de médias: p-valor = 0,001; <b>rejeita H0</b> Ao nível de significância de 5% não se pode rejeitar a hipótese nula de igualdade de médias.			
Cor (uH)	5,18	0,771 > 0,05	9,94	0,014 $\leq$ 0,05
	Teste de normalidade: não rejeita H0		Teste de normalidade: rejeita H0	
	Teste de comparação de médias: p-valor = 0,001; <b>rejeita H0</b> Ao nível de significância de 5% pode-se rejeitar a hipótese nula de igualdade de médias.			
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	61,00	0,524 > 0,05	27,18	0,711 > 0,05
	Teste de normalidade: não rejeita H0		Teste de normalidade: não rejeita H0	
	O teste de Levene apresentou significância de $0,285 > 0,05$ , portanto, não se pode rejeitar hipótese nula de igualdade de variâncias. A significância do teste 't' é $0,000 \leq 0,05$ (5%), portanto, ao nível de significância de 5% pode-se <b>rejeitar</b> a hipótese nula de igualdade de médias.			

Continua...

Continuação da Tabela 6

Parâmetro	CPLAS		CPOLS	
	Valor médio dos parâmetros	p-valor	Valor médio dos parâmetros	p-valor
Nitrato (mg. L <sup>-1</sup> )	1,15	0,000 ≤ 0,05	1,06	0,198 > 0,05
	Teste de normalidade rejeita H0		Teste de normalidade: não rejeita H0	
	Teste de comparação de médias: p-valor = 0,414; <b>não rejeita H0</b>			
	Ao nível de significância de 5% não se pode rejeitar a hipótese nula de igualdade de médias.			
OD (mg.L <sup>-1</sup> )	4,1	0,300 > 0,05	4,1	0,916 > 0,05
	Teste de normalidade: não rejeita H0		Teste de normalidade: não rejeita H0	
	O teste de Levene apresentou significância de 0,989 > 0,05, portanto, não se pode rejeitar hipótese nula de igualdade de variâncias. A significância do teste 't' é 0,857 > 0,05 (5%), portanto, ao nível de significância de 5% <b>não se pode rejeitar</b> a hipótese nula de igualdade de médias.			
pH	8,0	0,794 > 0,05	6,8	0,650 > 0,05
	Teste de normalidade: não rejeita H0		Teste de normalidade: não rejeita H0	
	O teste de Levene apresentou significância de 0,808 > 0,05, portanto, não se pode rejeitar hipótese nula de igualdade de variâncias. A significância do teste 't' é 0,001 ≤ 0,05 (5%), portanto, ao nível de significância de 5% pode-se <b>rejeitar</b> a hipótese nula de igualdade de médias.			
Salinidade (psu)	0,06	0,002 ≤ 0,05	0,01	0,056 > 0,05
	Teste de normalidade: rejeita H0		Teste de normalidade: não rejeita H0	
	Teste de comparação de médias: p-valor = 0,001; <b>rejeita H0</b>			
	Ao nível de significância de 5% pode-se rejeitar a hipótese nula de igualdade de médias.			
ST (mg.L <sup>-1</sup> )	85,41	0,125 > 0,05	34,15	0,529 > 0,05
	Teste de normalidade: não rejeita H0		Teste de normalidade: não rejeita H0	
	O teste de Levene apresentou significância de 0,126 > 0,05, portanto, não se pode rejeitar hipótese nula de igualdade de variâncias. A significância do teste 't' é 0,000 ≤ 0,05 (5%), portanto, ao nível de significância de 5% pode-se <b>rejeitar</b> a hipótese nula de igualdade de médias.			
STF (mg.L <sup>-1</sup> )	56,28	0,001 ≤ 0,05	17,07	0,179 > 0,05
	Teste de normalidade rejeita H0		Teste de normalidade não rejeita H0	
	Teste de comparação de médias: p-valor = 0,001; <b>rejeita H0</b>			
	Ao nível de significância de 5% pode-se rejeitar a hipótese nula de igualdade de médias.			
STV (mg.L <sup>-1</sup> )	34,46	0,042 ≤ 0,05	31,33	0,059 > 0,05
	Teste de normalidade: rejeita H0		Teste de normalidade: não rejeita H0	
	Teste de comparação de médias: p-valor = 0,49; <b>não rejeita H0</b>			
	Ao nível de significância de 5% pode-se rejeitar a hipótese nula de igualdade de médias.			
Sulfato (mg.L <sup>-1</sup> )	7,51	0,102 > 0,05	6,32	0,636 > 0,05
	Teste de normalidade: não rejeita H0		Teste de normalidade: rejeita H0	
	Resultado: O teste de Levene apresentou significância de 0,428 > 0,05, portanto, não se pode rejeitar hipótese nula de igualdade de variâncias. A significância do teste 't' é 0,045 ≤ 0,05 (5%), portanto, ao nível de significância de 5% pode-se <b>rejeitar</b> a hipótese nula de igualdade de médias			
TDS (mg.L <sup>-1</sup> )	55,10	0,006 ≤ 0,05	13,84	0,097 > 0,05
	Teste de normalidade: rejeita H0		Teste de normalidade: não rejeita H0	
	Teste de comparação de médias: p-valor = 0,013; <b>rejeita H0</b>			
	Ao nível de significância de 5% pode-se rejeitar a hipótese nula de igualdade de médias.			

Continua...

Continuação da Tabela 6

CPLAS		CPOLS		
Valor médio dos parâmetros	p-valor	Valor médio dos parâmetros	p-valor	
Temperatura (°C)	24,30	0,057 > 0,05	25,17	0,016 ≤ 0,05
	Teste de normalidade: não rejeita H <sub>0</sub>		Teste de normalidade: rejeita H <sub>0</sub>	
	Teste de comparação de médias: p-valor = 0,059; <b>não rejeita H<sub>0</sub></b> Ao nível de significância de 5% pode-se rejeitar a hipótese nula de igualdade de médias.			
Turbidez (uT)	1,31	0,275 > 0,05	0,56	0,011 < 0,05
	Teste de normalidade: não rejeita H <sub>0</sub>		Teste de normalidade: rejeita H <sub>0</sub>	
	Teste de comparação de médias: p-valor = 0,059; <b>não rejeita H<sub>0</sub></b> Ao nível de significância de 5% pode-se rejeitar a hipótese nula de igualdade de médias.			

Fonte: Autor, 2017

Na Tabela 7 estão apresentados os parâmetros e decisões relativas à verificação de diferenças entre as médias dos parâmetros de qualidade das águas armazenadas nas CPLAs, referentes à segunda hipótese da pesquisa, formulada como: Há diferenças significativas entre a qualidade das águas de chuva armazenadas nas cisternas de placas, em função de diferentes situações de pluviosidade.

Tabela 7 – Estatísticas dos testes de hipóteses para as o parâmetros das águas das CPLAs

Parâmetro	Cabaceiras		SSLR	
	Valor médio dos parâmetros	p-valor	Valor médio dos parâmetros	p-valor
Alcalinidade (mg. L <sup>-1</sup> )	67,74	0,030 ≤ 0,05	51,49	0,562 > 0,05
	Teste de normalidade: rejeita H <sub>0</sub>		Teste de normalidade: não rejeita H <sub>0</sub>	
	Teste de comparação de médias: p-valor = 0,000; <b>rejeita H<sub>0</sub></b> A um nível de significância de 5% não se pode afirmar que as médias são iguais.			
Amônia (mg. L <sup>-1</sup> )	0,1700	0,170 > 0,05	0,1625	0,036 ≤ 0,05
	Teste de normalidade: não rejeita H <sub>0</sub>		Teste de normalidade: rejeita H <sub>0</sub>	
	Teste de comparação de médias: p-valor = 0,815; <b>não rejeita H<sub>0</sub></b> A um nível de confiança de 5% não se pode rejeitar a hipótese nula de igualdade de médias			
Cloreto (mg. L <sup>-1</sup> )	5,8033	0,176 > 0,05	7,4225	0,001 ≤ 0,05
	Teste de normalidade: não rejeita H <sub>0</sub>		Teste de normalidade: rejeita H <sub>0</sub>	
	Teste de comparação de médias: p-valor = 0,167; <b>não rejeita H<sub>0</sub></b> A um nível de confiança de 5% não se pode rejeitar a hipótese nula de igualdade de médias.			
CE (μS.cm <sup>-2</sup> )	135,76	0,041 ≤ 0,05	110,09	0,007 ≤ 0,05
	Teste de normalidade: rejeita H <sub>0</sub>		Teste de normalidade: rejeita H <sub>0</sub>	
	Teste de comparação de médias: p-valor = 0,002; <b>rejeita H<sub>0</sub></b> A um nível de confiança de 5% não se pode afirmar que as médias são iguais.			

Continua...

Continuação da Tabela 7

Parâmetro	Cabaceiras		SS Lagoa de Roça	
	Valor médio dos parâmetros	p-valor	Valor médio dos parâmetros	p-valor
Cor (uH)	4,5489	0,788 > 0,05	5,1800	0,620 > 0,05
	Teste de normalidade: rejeita H <sub>0</sub>		Teste de normalidade: rejeita H <sub>0</sub>	
	Teste de comparação de médias: p-valor = 0,232; <b>não rejeita H<sub>0</sub></b>			
	O teste de Levene apresentou significância de 0,382 > 0,05, portanto, não se pode rejeitar hipótese nula de igualdade de variâncias. A significância do teste 't' é 0,232 > 0,05 (5%), portanto, ao nível de significância de 5% não se pode rejeitar a hipótese nula de igualdade de médias.			
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	71,6333	0,538 > 0,05	60,9975	0,524 > 0,05
	Teste de normalidade: não rejeita H <sub>0</sub>		Teste de normalidade: não rejeita H <sub>0</sub>	
	Teste de comparação de médias: p-valor = 0,058; <b>não rejeita H<sub>0</sub></b>			
	O teste de Levene apresentou significância de 0,047 ≤ 0,05, portanto, a hipótese nula de igualdade de variâncias é rejeitada e a significância do teste 't' será aquela para o caso de igualdade de variância não assumida. Neste caso o valor-p é 0,058 > 0,05 (5%), portanto, ao nível de significância de 5% não se pode rejeitar a hipótese nula de igualdade de médias.			
Nitrato (mg. L <sup>-1</sup> )	1,2667	0,216 > 0,05	1,1500	0,000 ≤ 0,05
	Teste de normalidade: não rejeita H <sub>0</sub>		Teste de normalidade: rejeita H <sub>0</sub>	
	Teste de comparação de médias: p-valor = 0,743; <b>não rejeita H<sub>0</sub></b>			
	A um nível de confiança de 5% não se pode rejeitar a hipótese nula de igualdade de médias			
OD (mg.L <sup>-1</sup> )	2,51	0,015 ≤ 0,05	4,10	0,300 > 0,05
	Teste de normalidade: rejeita H <sub>0</sub>		Teste de normalidade: não rejeita H <sub>0</sub>	
	Teste de comparação de médias: p-valor = 0,000; <b>rejeita H<sub>0</sub></b>			
	A um nível de confiança de 5% não se pode afirmar que as médias são iguais.			
pH	8,5222	0,835 > 0,05	7,6112	0,794 > 0,05
	Teste de normalidade: não rejeita H <sub>0</sub>		Teste de normalidade: não rejeita H <sub>0</sub>	
	Teste comparação de médias: p-valor = 0,027; <b>rejeita H<sub>0</sub></b>			
	O teste de Levene apresentou significância de 0,026 ≤ 0,05, portanto, a hipótese nula de igualdade de variâncias é rejeitada e a significância do teste 't' será aquela para o caso de igualdade de variância não assumida. Neste caso o valor-p é 0,027 ≤ 0,05 (5%), portanto, ao nível de significância de 5% pode-se rejeitar a hipótese nula de igualdade de médias.			
Salinidade (psu)	0,0633	0,017 ≤ 0,05	0,0638	0,004 ≤ 0,05
	Teste de normalidade: rejeita H <sub>0</sub>		Teste de normalidade: rejeita H <sub>0</sub>	
	Teste comparação de médias: p-valor = 0,673; <b>não rejeita H<sub>0</sub></b>			
	Ao nível de significância de 5% não se pode rejeitar a hipótese nula de igualdade de médias.			
ST (mg.L <sup>-1</sup> )	86,31	0,104 > 0,05	85,41	0,125 > 0,05
	Teste de normalidade: não rejeita H <sub>0</sub>		Teste de normalidade: não rejeita H <sub>0</sub>	
	O teste de Levene apresentou significância de 0,899 > 0,05, portanto, não se pode rejeitar hipótese nula de igualdade de variâncias. A significância do teste 't' é 0,927 > 0,05 (5%), portanto, ao nível de significância de 5% <b>não se pode-se rejeitar</b> a hipótese nula de igualdade de médias.			
STF (mg.L <sup>-1</sup> )	66,44	0,040 ≤ 0,05	56,28	0,001 ≤ 0,05
	Teste de normalidade: rejeita H <sub>0</sub>		Teste de normalidade: rejeita H <sub>0</sub>	
	Teste comparação de médias: p-valor = 0,036; <b>rejeita H<sub>0</sub></b>			
	Ao nível de significância de 5% pode-se rejeitar a hipótese nula de igualdade de médias			

Continua...

Continuação da Tabela 7

Parâmetro	Cabaceiras		SS Lagoa de Roça	
	Valor médio dos parâmetros	p-valor	Valor médio dos parâmetros	p-valor
STV (mg.L <sup>-1</sup> )	26,42	0,647 > 0,05	34,46	0,042 ≤ 0,05
	Teste de normalidade: não rejeita H0		Teste de normalidade: rejeita H0	
	Teste comparação de médias: p-valor = 0,277; <b>não rejeita H0</b>			
	Ao nível de significância de 5% não se pode rejeitar a hipótese nula de igualdade de médias			
Sulfato (mg.L <sup>-1</sup> )	8,57	0,000 ≤ 0,05	7,51	0,102 > 0,05
	Teste de normalidade: rejeita H0		Teste de normalidade: não rejeita H0	
	Teste comparação de médias: p-valor = 0,167; <b>não rejeita H0</b>			
	Ao nível de significância de 5% não se pode rejeitar a hipótese nula de igualdade de médias			
TDS (mg.L <sup>-1</sup> )	67,91	0,041 ≤ 0,05	55,10	0,006 ≤ 0,05
	Teste de normalidade: rejeita H0		Teste de normalidade: rejeita H0	
	Teste comparação de médias: p-valor = 0,002; <b>rejeita H0</b>			
	A um nível de significância de 5% pode-se rejeitar a hipótese nula de igualdade de médias, ou seja, não se pode afirmar que as médias são iguais.			
Temperatura (°C)	26,8078	0,189 > 0,05	24,3013	0,057 > 0,05
	Teste de normalidade: não rejeita H0		Teste de normalidade: não rejeita H0	
	Teste comparação de médias: p-valor = 0,000; <b>rejeita H0</b>			
	O teste de Levene apresentou significância de 0,810 > 0,05, portanto, a hipótese nula de igualdade de variâncias não é rejeitada e a significância do teste 't' será aquela para o caso de igualdade de variância assumida. Neste caso o valor-p é 0,000 ≤ 0,05 (5%), portanto, ao nível de significância de 5% pode-se rejeitar a hipótese nula de igualdade de médias.			
Turbidez (uT)	0,76	0,334 > 0,05	1,31	0,275 > 0,05
	Teste de normalidade: não rejeita H0		Teste de normalidade: não rejeita H0	
	O teste de Levene apresentou significância de 0,479 > 0,05, portanto, não se pode rejeitar hipótese nula de igualdade de variâncias. A significância do teste 't' é 0,155 > 0,05 (5%), portanto, ao nível de significância de 5% <b>não se pode-se rejeitar</b> a hipótese nula de igualdade de médias.			

Fonte: Autor, 2017

As Tabelas 8, 9 e 10 referem-se às sínteses dos resultados dos parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos das CPLAs e CPOLs, e percentuais de conformidade nos municípios estudados.

Tabela 8 – Valores de parâmetros para verificação da conformidade de CPLAS em Cabaceiras

Parâmetros	Valores extremos			Valores Médios	VMP <sup>(**)</sup>	Percentual de Conformidade (%)
	N <sup>(*)</sup>	Mínimo	Máximo			
Alcalinidade (mg.L <sup>-1</sup> )	106	43,60	134,40	67,74	-	-
Amônia (mg.L <sup>-1</sup> )	106	0,00	0,88	0,17	1,5	100
CE (µS.cm)	105	76,40	235,50	135,76	-	-
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	106	0,00	20,70	5,80	250	100
Cor (uH)	106	0,00	25,08	4,55	15	93,40
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	106	32,00	156,00	71,63	500	100
Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> )	100	0,12	3,66	1,27	10	100
OD (mg.L <sup>-1</sup> )	105	0,0	8,4	2,51	-	-
pH	105	7,1	9,2	8,5	6,0 a 9,5	100
Salinidade (psu)	105	0,03	0,11	0,06	-	-
ST (mg.L <sup>-1</sup> )	90	18	185	86,31	-	-
STF (mg.L <sup>-1</sup> )	90	6	160	66,44	-	-
STV (mg.L <sup>-1</sup> )	90	0	97	26,42	-	-
Sulfato (mg.L <sup>-1</sup> )	98	0,23	74,84	8,57	250	100
TDS (mg.L <sup>-1</sup> )	105	38,20	118,00	67,91	1000	100
Temperatura (°C)	105	24,95	29,47	26,81	-	-
Turbidez (uT)	105	0,00	5,66	0,76	5	98,10
C. totais	09	0,0	9,3	206,88	Ausência em 100 mL	0
C. temotolerantes	09	0,0	1,1x10 <sup>3</sup>	506,03	Ausência em 100 mL	0
<i>E. coli</i>	09	0,0	0,0	0,0	Ausência em 100 mL	100
Bact, heterotróficas	09	1,2x10	3x10 <sup>3</sup>	1.122,44	máx. 5 x 10 <sup>2</sup> /ml	0

(\*) número de medições<sup>(\*\*)</sup>VMP de acordo com a Portaria MS 2.914/2011

- valor não referido na Portaria MS 2914/2011.

Tabela 9 – Valores de parâmetros para verificação da conformidade de CPLAS em SSLR

Parâmetros	Valores Medidos			Valores Médios	VMP(**)	Percentual de Conformidade (%)
	Nº(*)	Mínimo	Máximo			
Alcalinidade (mg.L <sup>-1</sup> )	95	0,00	95,55	51,49	-	-
Amônia (mg.L <sup>-1</sup> )	95	0,00	1,01	0,16	1,5	100
CE (µS.cm)	94	61,00	292,25	110,09	-	-
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	95	0,00	26,90	7,42	250	100
Cor (uH)	95	0,00	25,08	5,18	15	90,53
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	95	30,0	132,0	61,00	500	100
Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> )	89	0,52	2,70	1,15	10	100
OD (mg.L <sup>-1</sup> )	93	0,0	8,4	4,10	-	-
pH	93	6,0	9,2	8,0	6,0 a 9,5	100
Salinidade (psu)	94	0,0	0,68	0,06	-	-
Sólidos Totais (mg.L <sup>-1</sup> )	81	24,0	235,0	85,41	-	-
STF (mg.L <sup>-1</sup> )	81	8,00	164,0	56,28	-	-
STV (mg.L <sup>-1</sup> )	81	2,0	206,000	34,46	-	-
Sulfato (mg.L <sup>-1</sup> )	89	0,00	13,44	7,51	250	100
TDS (mg.L <sup>-1</sup> )	94	31,0	146,5	55,10	1000	100
Temperatura (°C)	93	22,11	27,53	24,30	-	-
Turbidez (uT)	92	0,00	13,1	1,31	5	92,39
C. totais	08	2,3	2,4x10 <sup>2</sup>	50,94	Ausência em 100 mL	0,0
C. temotolerantes	08	0,0	0,0	0,0	Ausência em 100 mL	100
E. coli	08	0,0	0,0	0,0	Ausência em 100 mL	100
Bact, heterotróficas	08	1,1x10	5x10 <sup>2</sup>	231,38	máx. 5 x 10 <sup>2</sup> /ml	100

(\*) número de medições(\*\*)VMP de acordo com a Portaria MS 2.914/2011

- valor não referido na Portaria MS 2914/2011.

Tabela 10 – Valores de parâmetros para verificação da conformidade de CPOLs em SSLR

Parâmetros	Valores Medidos			Valores Médios	VMP(**)	Percentual de Conformidade (%)
	Nº(*)	Mínimo	Máximo			
Alcalinidade (mg.L <sup>-1</sup> )	70	0,00	32,00	8,31	-	-
Amônia (mg.L <sup>-1</sup> )	70	0,00	1,03	0,29	1,5	100
CE (µS.cm)	71	18,00	71,00	29,60	-	-
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	70	0,00	24,64	7,13	250	100
Cor (uH)	70	0,0	40,51	9,94	15	82,86
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	70	4,0	176,00	27,18	500	100
Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> )	66	0,47	3,53	1,06	10	100
OD (mg.L <sup>-1</sup> )	71	0,0	8,4	4,13	-	-
pH	71	4,5	8,8	6,8	6,0 a 9,5	74,65
Salinidade (psu)	71	0,0	0,032	0,01	-	-
Sólidos Totais (mg.L <sup>-1</sup> )	60	1,0	69,0	34,15	-	-
STF (mg.L <sup>-1</sup> )	60	0,00	43,00	17,07	-	-
STV (mg.L <sup>-1</sup> )	60	0,0	63,00	31,33	-	-
Sulfato(mg.L <sup>-1</sup> )	67	0,00	10,61	6,33	250	100
TDS(mg.L <sup>-1</sup> )	70	9,0	36,00	13,84	1000	100
Temperatura (°C)	71	22,12	27,98	25,17	-	-
Turbidez (uT)	71	0,00	8,3	0,56	5	97,18
C totais	06	2,3	2,4x10 <sup>2</sup>	45,87	Ausência em 100 mL	0
C. temotolerantes	06	0,0	0,0	0,0	Ausência em 100 mL	100
E. coli	06	0,0	0,0	0,0	Ausência em 100 mL	100
Bact, heterotróficas	06	1,0x10 <sup>2</sup>	2,1x10 <sup>2</sup>	165,00	máx. 5 x 10 <sup>2</sup> /ml	100

(\*) número de medições(\*\*)VMP de acordo com a Portaria MS 2.914/2011

- valor não referido na Portaria MS 2914/2011.

## 4.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.2.1 Avaliações comparativas entre águas das CPLAS e CPOLS

- **Análise dos gráficos *boxplot***

Os gráficos do tipo *boxplot* foram construídos a partir dos conjuntos das médias dos valores de cada parâmetro de qualidade medido na água das cisternas de placas e de polietileno em São Sebastião de Lagoa de Roça, que estão sintetizados nas Tabelas 3 e 4.

O exame dos gráficos das Figuras 34 a 50 se referem aos parâmetros de qualidade da água das cisternas de placas e de polietileno dos municípios de São Sebastião de Lagoa de Roça, e que tiveram resultados de comparação de médias com a Hipótese H0 rejeitada representadas nas Figuras 34, 35, 36, 38, 39, 42, 43, 44, 45, 47 e 48, evidenciou haver maiores valores das medianas das águas das cisternas de placas para os parâmetros alcalinidade (Figura 34), CE (Figura 36), dureza (Figura 39), pH (Figura 42), salinidade (Figura 43), ST (Figura 44), STF (Figura 45), sulfato (Figura 47) e TDS (Figura 48).

Apenas as distribuições, no intervalo interquartil, dos parâmetros amônia (Figura 35), CE (Figura 36), pH (Figura 42), sulfato (Figura 47) e TDS (Figura 48), das águas armazenadas nas CPLAs do município de São Sebastião de Lagoa de Roça estão indicadas nos gráficos como simétricas. Nas CPOLs a simetria ocorreu para o parâmetro ST (Figura 44).

Foram observadas maiores variabilidades dos parâmetros alcalinidade (Figura 34), salinidade (Figura 43) e ST (Figura 44) nas águas das CPLAs em relação aos mesmos parâmetros das águas das CPOLs. Enquanto que os parâmetros cor (Figura 38), amônia (Figura 35), dureza (Figura 39) apresentaram maior variabilidade nas águas das cisternas de polietileno em relação as de placas.

Os valores máximos dos parâmetros ocorreram sempre nos gráficos nos quais as medianas foram maiores. Por outro lado, os valores mínimos ocorreram sempre nos gráficos nos quais as medianas foram menores.

Foi possível verificar a ocorrência de *outliers* nos parâmetros amônia (Figura 35), CE (Figura 36), cor (Figura 38), STV (Figura 46), salinidade (Figura 43) e STF (Figura 45) e TDS (Figura 48), que apresentaram pontos acima dos valores máximos nas cisternas. O parâmetros

CE (Figura 36) e TDS (Figura 48) apresentaram pontos abaixo dos valores mínimos nas CPLAs.

Valores extremos, todos acima dos pontos máximos, foram verificados nos gráficos dos parâmetros CE (Figura 36), STF (Figura 45) e TDS (Figura 48) nas águas das cisternas de placas.

O exame dos gráficos das Figuras 37, 40, 41, 46, 49, e 50, referentes aos parâmetros cloreto, nitrato, OD, STV, temperatura e turbidez, respectivamente, que apresentaram resultados da comparação de médias com a Hipótese H0 não rejeitada, evidenciou que houve, conforme esperado, pequenas diferenças entre os valores das medianas dos parâmetros de qualidade nas águas das cisternas de placas e de polietileno.

Apenas as distribuições, no intervalo interquartílico, do parâmetro OD (Figura 41) das águas armazenadas nas CPLAs estão indicadas no gráfico como simétricas.

Houve maiores variabilidades dos parâmetros STV (Figura 46), temperatura (Figura 49), OD (Figura 41) e turbidez (Figura 50) nas CPLAs comparativamente às CPOLs.

Os valores máximos dos parâmetros foram observados na maioria dos gráficos nos quais as medianas foram maiores, nos dois tipos de cisternas. As exceções ocorreram para os parâmetros nitrato (Figura 40) e STV (Figura 46) onde os valores máximos ocorreram no conjunto de dados que apresentaram as medianas menores.

Os valores mínimos ocorreram sempre para os parâmetros nos quais as medianas foram menores, com exceção do OD (Figura 41), nas águas das cisternas de polietileno.

Verificou-se a ocorrência de *outliers* na Figura 40 para nitrato e na Figura 49 para temperatura, ambos com pontos acima dos valores máximos das águas das CPOLs e CPLAs, respectivamente. Na Figura 46 ocorreu *outlier* para o parâmetro STV com ponto abaixo do valor mínimo nas CPOLs.

Valores extremos, todos acima do ponto máximo, foram verificados para os parâmetros cloreto (Figura 37) e nitrato (Figura 40) nas águas das cisternas de placas; e turbidez (Figura 50) nas de polietileno. Para a temperatura (Figura 49) o ponto extremo ocorreu abaixo do valor mínimo.

- **Análise dos testes estatísticos referentes à hipótese HT1**

Os resultados dos testes estatísticos, apresentados na Tabela 6 apontaram que a hipótese H0 de comparação de médias, a um nível de significância de 5%, foi rejeitada para 11 parâmetros (alcalinidade, amônia, CE, cor, dureza, pH, salinidade, ST, STF, sulfato e TDS) entre os 17 analisados, o que equivale a 65% dos parâmetros analisados.

Para os parâmetros cloreto, nitrato, OD, salinidade, STV, temperatura e turbidez, a hipótese H0 do teste estatístico de comparação de médias não foi rejeitada, ou seja, os testes indicam que não há diferenças significantes entre as médias desses parâmetros para as águas das CPLAS e CPOLs do município de São Sebastião de Lagoa de Roça.

#### **4.2.2 Avaliação comparativa das CPLAs dos municípios de Cabaceiras e São Sebastião de Lagoa de Roça**

- **Análise dos gráficos *boxplot***

Os gráficos do tipo *boxplot*, construídos a partir do conjunto das médias dos valores de cada parâmetro de qualidade da água das cisternas, foram sintetizados nas Tabelas 3 e 5.

O exame dos gráficos das Figuras 51 a 67 que se referem aos parâmetros de qualidade da água das cisternas de placas dos municípios de Cabaceiras e São Sebastião de Lagoa de Roça, e que tiveram resultados de comparação de médias com a Hipótese H0 rejeitada, representados nas Figuras 51, 53, 58, 59, 62, 65, e 66, revelou que houve maiores valores das medianas para os parâmetros alcalinidade (Figura 51), CE (Figura 53), pH (Figura 59), STF (Figura 62), TDS (Figura 65) e temperatura (Figura 66) das águas das cisternas de Cabaceiras.

Apenas as distribuições, no intervalo interquartílico, dos parâmetros CE (Figura 53), OD (Figura 58), pH (Figura 59) e TDS (Figura 65) das águas do município de São Sebastião de Lagoa de Roça estão indicadas nos gráficos como simétricas. Já no município de Cabaceiras, os parâmetros que apresentaram intervalo interquartílico simétrico foram o OD (Figura 58) e o pH (Figura 59) das águas.

Houve maiores variabilidades dos parâmetros alcalinidade (Figura 51), CE (Figura 53), STF (Figura 62) e TDS (Figura 65) nas águas das cisternas de Cabaceiras em relação aos mesmos parâmetros das águas das cisternas de São Sebastião de Lagoa de Roça. Os

parâmetros OD (Figura 58) e pH (Figura 59) apresentaram maiores variabilidades nas águas das cisternas de São Sebastião de Lagoa de Roça em relação as de Cabaceiras.

Os valores máximos dos parâmetros foram observados sempre onde as medianas apresentaram maiores valores, exceto pH (Figura 59) onde o valor máximo estava no conjunto de dados que apresentou mediana menor. Por outro lado, os valores mínimos ocorreram nos gráficos nos quais as medianas foram menores.

Foi possível verificar a ocorrência de *outliers* na Figura 59 para o pH, com pontos acima e abaixo dos valores máximo e mínimo em Cabaceiras; e os parâmetros CE (Figura 53) e TDS (Figura 65) em São Sebastião de Lagoa de Roça; e OD (Figura 58) em Cabaceiras que também apresentaram pontos abaixo do valor mínimo; e temperatura (Figura 66) que apresentou valor acima do ponto máximo em São Sebastião de Lagoa de Roça. Coincidentemente, ocorreram com os *boxplot* de menores variabilidades, como pôde ser observado.

Valores extremos foram verificados para os parâmetros CE (Figura 53), STF (Figura 62) e TDS (Figura 65) nas águas das cisternas de São Sebastião de Lagoa de Roça; e OD (Figura 58) nas águas das cisternas de Cabaceiras, todos acima dos pontos máximos.

O exame dos gráficos das Figuras 51 a 67, referentes aos parâmetros amônia, cloreto, cor, dureza, nitrato, salinidade, ST, STV, sulfato e turbidez, que apresentaram resultados de comparação de médias com a Hipótese H0 não rejeitada, representados nas Figuras 51, 54, 55, 56, 57, 60, 61, 63, 64 e 67, mostra que houve, conforme esperado, pequenas diferenças entre os valores das medianas dos parâmetros de qualidade nas águas das cisternas dos dois municípios.

Apenas as distribuições, no intervalo interquartil, dos parâmetros amônia (Figura 52) e sulfato (Figura 64) das águas do município de São Sebastião de Lagoa de Roça; e cor (Figura 55) das águas do município de Cabaceiras estão indicadas nessas figuras como simétricas.

Houve maiores variabilidades dos parâmetros dureza (Figura 56) e nitrato (Figura 57), nas águas das cisternas de Cabaceiras em relação às de São Sebastião de Lagoa de Roça. Por outro lado, a maior variabilidade ocorreu para os parâmetros STV (Figura 63) e turbidez (Figura 67) em São Sebastião de Lagoa de Roça, comparativamente aos de Cabaceiras.

Os valores máximos dos parâmetros ocorreram em quase todas os gráficos nos quais as medianas foram maiores. As exceções ocorreram para os parâmetros cloreto (Figura 54), salinidade (Figura 60) e sulfato (Figura 64).

Os valores mínimos ocorreram nos gráficos nos quais as medianas foram menores, com exceção dos parâmetros dureza (Figura 56 Figura 56) e nitrato (Figura 57) nas águas das cisternas de Cabaceiras.

Verificou-se a ocorrência de *outliers* na Figura 52 para o parâmetro amônia, e na Figura 64 para o sulfato, ambos acima dos valores máximos das águas das cisternas de Cabaceiras e São Sebastião de Lagoa de Roça.

Valores extremos foram verificados nos gráficos dos parâmetros cloreto (Figura 54) e nitrato (Figura 57) nas águas das cisternas de São Sebastião de Lagoa de Roça; e sulfato (Figura 64) nas de Cabaceiras, todos acima do ponto máximo. Não ocorreram valores extremos abaixo dos fundos das caixas.

- **Análise dos testes estatísticos referentes à hipótese HT2**

Os resultados dos testes estatísticos, apresentados na Tabela 7, apontaram que a hipótese H0 de comparação de médias, a um nível de significância de 5%, foi rejeitada para 7 parâmetros (alcalinidade, CE, OD, pH, STF, TDS e temperatura,) do total de 17 analisados, o que equivale a 41,2% do total dos parâmetros analisados.

Para os parâmetros amônia, cloreto, cor, dureza, nitrato, salinidade, ST, STV sulfato e turbidez, a hipótese H0 do teste estatístico de comparação de médias não foi rejeitada, ou seja, os testes indicam que não há diferenças significantes entre as médias dos parâmetros de qualidade das águas das CPLAS dos dois municípios.

O conjunto das Figuras 34 a 67, relacionado aos parâmetros estudados, apresentou indicações de que, praticamente, não ocorreram incertezas decorrentes das medições, uma vez que valores discrepantes ou extremos só foram vistos em pequeno número, 14 valores extremos detectados.

Dentre todos os parâmetros físicos e químicos analisados, os que refutaram as hipóteses HT1 e HT2, foram a alcalinidade, condutividade elétrica (CE), pH, STF e TDS.

Doutrarte, os testes estatísticos relativos aos parâmetros cloreto, nitrato, STV e turbidez não refutaram as hipóteses HT1 e HT2 referidas na tese.

### 4.2.3 Avaliação da conformidade da qualidade água das cisternas

A partir dos resultados das medições dos parâmetros físicos, químicos e biológicos das águas de chuva armazenadas nos dois tipos de cisternas, nos dois municípios, foi realizada a verificação de conformidade, segundo a Portaria 2.914/11 do MS.

Dos 17 parâmetros analisados, 8 deles (temperatura, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, alcalinidade, salinidade, sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis) não foram objeto de análise quanto à conformidade, por não serem citados na Portaria do MS.

Na Tabela 8, referente às águas das CPLAs de Cabaceiras, verifica-se que dos 9 parâmetros que constam na Portaria supra citada e que foram analisados, 7 deles (pH, TDS, dureza, sulfato, amônia, cloreto e nitrato) estão em total conformidade, ou seja, 100% dos valores medidos atendem ao VMP da Portaria do MS. A exceção ocorreu, embora com valores de frequências percentuais próximos de 100%, para os parâmetros turbidez (98,10%) e cor (93,40%). Com relação aos parâmetros biológicos Coliformes totais e Coliformes termotolerantes, bactérias heterotróficas e *Escherichia coli*, apenas esse último apresentou conformidade com a Portaria do MS.

Para as águas das CPLAs de São Sebastião de Lagoa de Roça (Tabela 9), de forma semelhante às CPLAs de Cabaceiras, apenas as frequências percentuais dos parâmetros turbidez (92,39%) e cor (90,53%) não apresentaram conformidade. Entre os parâmetros biológicos, apenas Coliformes totais não apresentou conformidade com a Portaria do MS.

Com relação às CPOLs em São Sebastião de Lagoa de Roça (Tabela 10), dos 9 parâmetros analisados, seis deles (TDS, dureza, sulfato, cloreto, amônia e nitrato) se apresentaram em total conformidade com a Portaria do MS. Os parâmetros de qualidade da água que não estavam em conformidade, foram pH (74,65%), cor (82,86%) e turbidez (97,18). Quanto aos parâmetros biológicos, apenas Coliformes totais não apresentaram conformidade com a Portaria do MS. As empresas fabricantes das cisternas de polietileno atribuem o melhor desempenho, em relação aos parâmetros microbiológicos, à melhor vedação e ausência de rachaduras nessas cisternas.

Dentre os parâmetros que não estavam em conformidade nos dois tipos de cisternas, a turbidez pode ser explicada pela ausência de limpeza da área de captação das águas de chuva e carregamento de sólidos sedimentados no telhado, além da limpeza deficiente da cisterna, ou falta de desvio das águas das primeiras chuvas.

A coloração da água também pode ser alterada como resultado da existência de sólidos dissolvidos provenientes da matéria orgânica porventura presente nos telhados. No entanto,

deve ser observado que a cor não está, necessariamente, relacionada com problemas de contaminação (PIVELI e KATO, 2005).

Outro aspecto relevante para os parâmetro turbidez e cor é que, o aporte de águas de chuva nas cisternas pode suspender o material sedimentado no fundo, alterando, em consequência, seus valores.

Outro parâmetro que não apresentou conformidade, de acordo com a Portaria do MS, tanto nas CPLAs como nas CPOLs, foi a cor, sendo menos conforme nas CPOLs. Provavelmente, os motivos são os mesmos que explicam os valores a maior da turbidez.

A não conformidade do parâmetro turbidez, embora com frequência percentual acima de 90% nos três conjuntos de cisternas, não indica um fato gerador de preocupações, haja vista as médias dos seus valores terem sido bastante inferiores ao VMP da Portaria do MS. Os valores medidos da turbidez estão, em geral, em concordância com os obtidos por outros pesquisadores. Viriato (2011), no seu trabalho sobre caracterização física, química e bacteriológica das águas armazenadas em 12 CPLAs na Paraíba, obteve medições da turbidez variando de 0,87 a 4,95 uT.

Também foi possível verificar que o parâmetro pH só não apresentou conformidade para as cisternas de polietileno, com valores abaixo do VMP da Portaria do MS, indicando a classificação dessas águas armazenadas como ácidas. Esse resultado pode ser explicado pela acidez natural das águas da chuva (SANTANA, 2012) e também pela característica do polietileno das cisternas, considerado quimicamente inerte. Por outro lado, as placas de concreto das cisternas tendem a neutralizar a acidez da água armazenada (OLIVEIRA, 2014). De acordo com Cohim, Orrico e Kieronski, (2015), a literatura científica aponta para uma elevação do valor de pH e alcalinidade da água de chuva após seu contato com a superfície de captação e posterior armazenamento nas cisternas de placas.

A temperatura, embora não seja citada como parâmetro de conformidade na Portaria do MS, é um parâmetros que deve ser destacado nas análises da águas, uma vez que influencia quase todos os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no meio aquático (VIEIRA, 2016).

Além dos parâmetros físicos e químicos, a água para consumo humano deve também atender aos parâmetros microbiológicos estabelecidos pela Portaria do MS 2.914/2011, uma vez que a presença destes na água pode originar uma série de doenças infecciosas.

A ausência da *E. coli* é um indicativo de boa qualidade da água armazenada nas cisternas, uma vez que sua presença "...representa evidente contaminação fecal humana e pode indicar a presença de diversos parasitas intestinais e outros microrganismos na água."

(GOIS, NOGUEIRA e MORAES, 2013, p. 256). A ausência da *E. coli* na água das cisternas pode estar relacionada ao padrão de chuvas, uma vez que 90% delas morrem depois de 48h após um evento chuvoso, segundo Martinson e Thomas (2003), e confirmado também em estudo realizado em Juazeiro da Bahia por Gnadilgner (2007). Ressalte-se que a detecção de *E. coli* indica a possibilidade de ocorrência de outros microrganismos patogênicos entéricos na água e a possibilidade de contaminação fecal. Por outro lado, alguns sorotipos de *E. coli* são responsáveis por gastroenterites, tendo a diarreia como o principal sintoma (FARACHE FILHO *et al.*, 2008).

Ao contrário do *E. coli*, o parâmetro Coliformes totais nas cisternas está totalmente fora dos padrões de potabilidade indicados pela Portaria. A presença desse parâmetro nas águas armazenadas, nos dois tipos de cisternas, pode ser um fator de risco à saúde. As barreiras sanitárias, que não estão instaladas em todas as cisternas estudadas, podem explicar a ocorrência dessas bactérias. Os resultados dos estudos de Souza (2011) indicaram uma redução significativa nos parâmetros turbidez, coliforme total e bactérias heterotróficas, demonstrando a importância da implantação das barreiras sanitárias para as cisternas.

A presença de coliformes termotolerantes é o outro indicador de contaminação fecal e sua presença é o melhor indicador de que existe risco à saúde dos usuários, pois os *E. coli* só estão presentes quando os termotolerantes estiverem. Os coliformes termotolerantes foram detectadas apenas nas CPLAs em Cabaceiras. Esses microrganismos estão associados a um elevado número de patologias e considerados a causa da maioria das doenças gastrointestinais (YAMAGUCHI *et al.*, 2013).

Dos resultados encontrados, as bactérias heterotróficas estiveram presentes nas cisternas de placas em Cabaceiras e ausentes nas demais. Apesar dessas bactérias não serem consideradas patogênicas, elas devem ser monitoradas porque o aumento da sua densidade pode causar risco à saúde do consumidor (FARACHE FILHO *et al.*, 2008).

Os estudos relativos aos parâmetros físicos e químicos corroboram com os resultados apresentados nesta pesquisa, uma vez que, em geral, atendem aos padrões impostos pela Portaria do Ministério da Saúde e pela OMS, porém, é recorrente o não atendimento à qualidade microbiológica. Por conseguinte, o não uso do desvio das primeiras chuvas e das bombas para retirada da água, principalmente, torna indispensável o tratamento antes do consumo (ANDRADE NETO, 2013).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As condições naturais adversas com que se defrontam os moradores das terras áridas e semiáridas exigem um esforço adicional na busca de um leque de estratégias para a sua sobrevivência, traduzida primariamente em desafios que tornem possíveis a disponibilização de água e alimentos.

Entre os principais desafios que se apresentam para atenuar a problemática da escassez hídrica na região semiárida, certamente os mais importantes estão representados pelo binômio quantidade-qualidade de água para consumo humano no meio rural, e que também são fatores que fragilizam a sustentabilidade dessa região.

Tendo como ponto de partida a revisão teórica, através de fontes bibliográficas, fez-se uma abordagem geral sobre os vários aspectos que a fundamentam, dentre eles: revisão sobre características das regiões semiáridas e seus problemas de escassez hídrica, a evolução das políticas de enfrentamento aos efeitos da seca no Brasil, os programas governamentais implantados na tentativa de amenizar essa problemática, o abastecimento de água no meio rural, a qualidade da água para consumo humano e sua regulamentação.

Deve-se ressaltar, entretanto, que para minimizar a problemática hídrica e a sustentabilidade no semiárido do estado da Paraíba, houve um grande aprendizado, secular, com destaque para a histórica Comissão Científica para os estudos do problema das secas, instalada pelo governo imperial na década de 1850.

Não se pode negar a importância fundamental da atuação do poder público, quer nas medidas emergenciais que ainda são necessárias em épocas de seca, quer na implementação de políticas públicas ou na execução de medidas de combate e de convivência com o semiárido e as secas.

As políticas públicas para o enfrentamento aos efeitos da seca no semiárido evoluíram, passando pela sua efetivação por meio de medidas simplesmente emergenciais ou paliativas, para as de combate à seca, e mais recentemente para as de convivência com o semiárido. No entanto, há o entendimento que as três abordagens não são excludentes, haja vista a imprevisibilidade do fenômeno das secas. Assim, as cisternas para a convivência com o semiárido e as secas, que deveriam armazenar somente as águas de chuva, estão sendo utilizadas para o armazenamento de águas oriundas de açudes, originados de políticas de combate às secas, e transportadas por meio de carros pipa como medida emergencial.

Entendem-se os programas de convivência como transversais às políticas de combate à seca, haja vista o caráter de complementariedade e os efeitos sinérgicos que podem ser observados.

A mudança de paradigma relativa à introdução das medidas de convivência, se baseia na ênfase à criação de possibilidades de uso sustentável dos recursos naturais, onde o armazenamento da água das chuvas nas cisternas visa oferecer segurança hídrica para o consumo doméstico. Trata-se de uma nova visão no SAB na qual busca-se adequação tecnológica a uma natureza distinta das zonas úmidas.

Nesse contexto, o sistema de captação e armazenamento de águas de chuva em cisternas tem sido considerado uma tecnologia que agrega diversas vantagens para a convivência com o semiárido, tendo sido considerada como bem sucedida, haja vista a viabilidade de implantação, apropriação pelos usuários, facilidade de manutenção e a utilidade para disponibilização de água em todo semiárido.

O uso intensivo das cisternas no semiárido brasileiro, põe em evidência questionamentos ainda pouco estudados, ou não relatados na literatura especializada, em relação à qualidade das águas de chuva armazenadas nas cisternas de polietileno, à influência da pluviosidade na qualidade da água, e à conformidade com os padrões de qualidade.

Com base nos resultados e discussões apresentadas no capítulo 4, relativos à avaliação da qualidade das águas de chuva, armazenadas em cisternas de placas e de polietileno, nos municípios de Cabaceiras e São Sebastião de Lagoa de Roça, tomados como representativos da região semiárida no estado da Paraíba, foi possível chegar às conclusões concernentes aos objetivos estabelecidos a partir dos problemas destacados como resposta às hipóteses formuladas.

Considerando o primeiro objetivo específico sobre a avaliação da qualidade das águas de chuva armazenadas nas cisternas, com relação ao tipo de material de sua constituição, placa ou polietileno, os resultados obtidos indicaram que, em onze dos dezessete parâmetros físicos e químicos analisados, quais sejam, alcalinidade, amônia, condutividade elétrica, cor, dureza, pH, salinidade, sólidos totais, sólidos totais fixos, sulfato e sólidos totais dissolvidos, não foi possível concluir que as médias desse parâmetros, para os dois tipos de cisternas, eram iguais. Por conseguinte, pode-se inferir, de fato, que há influência dos materiais constituintes das cisternas na qualidade da água armazenada.

Em relação ao segundo objetivo específico atinente à avaliação da qualidade das águas armazenadas em cisternas de placas, considerando os diferentes regimes pluviais, os resultados das análises estatísticas dos parâmetros físicos e químicos indicaram que não há diferenças significativas entre as médias dos parâmetros analisados, com exceção de sete

parâmetros, alcalinidade, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, pH, sólidos totais fixos, sólidos totais dissolvidos e temperatura, entre os dezessete analisados.

Quanto à análise em relação aos padrões estabelecidos pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, nas cisternas de placas e de polietileno, os parâmetros cor e turbidez não resultaram em conformidade. Para o parâmetro pH não houve atendimento à referida Portaria nas águas das cisternas de polietileno, explicado pela consideração desse material como quimicamente inerte.

Com relação aos parâmetros microbiológicos, o único que atendeu totalmente aos padrões estabelecidos nos dois tipos de cisternas foi o *E. coli*. Os coliformes totais não atenderam aos padrões da portaria em nenhum dos tipos de cisterna. Os resultados obtidos, tanto para coliformes termotolerantes, como para as bactérias heterotróficas, só apresentaram resultados satisfatórios para as cisternas de polietileno. Esses resultados foram atribuídos à propriedade das cisternas de polietileno no que se refere à sua melhor vedação quando comparadas com as cisternas de placas.

De uma maneira geral, os resultados das análises dos parâmetros físico-químicos indicaram que as águas armazenadas nas cisternas não são discrepantes dos padrões de potabilidade para consumo humano, concordando com as afirmações constantes na literatura nacional e estrangeira.

Em relação às bactérias encontradas nas águas armazenadas nas cisternas, não se deve deixar de registrar que processos simples de filtração e desinfecção da água das cisternas podem torná-la potável sem apresentar riscos à saúde.

Como sugestões para futuras pesquisas, essas tem por justificativa a percepção de que há aspectos de relevância que são merecedores de estudos detalhados visando contribuir para a melhoria das condições de vida dos moradores do semiárido, em diversos eixos temáticos, como os sintetizados em seguida.

Tendo em vista a importância do tema da disponibilidade da água no semiárido, concernente a qualidade da água armazenada nas cisternas, a variedade das situações relativas às águas de chuvas, as cisternas de placas, cisternas de polietileno, regiões de diferentes climas, sugere-se a avaliação dos parâmetros entre si, ou seja, há grupos de variáveis predominantes, e relações que formem grupos que influenciam outros parâmetros, podendo alterar a qualidade da água para o consumo humano.

Conforme tem ocorrido nas situações de seca, ocasião em que águas de origem fluvial ou provenientes de açudes são transportadas por meio de carros-pipa e utilizadas para o enchimento de cisternas, que deveriam conter águas de chuva, há uma grande interrogação

sobre a qualidade dessas águas em relação às de chuva e quanto à conformidade para o consumo humano. Por conseguinte, o estudo da qualidade dessas águas transportadas pode ser valioso, na medida em que possa apontar o tratamento adequado para o uso dessas águas.

As condições físicas dos sistemas de captação e armazenamento de águas de chuva são essenciais para a manutenção da qualidade da água visando o consumo humano. Assim, sugere-se a elaboração de uma proposta sobre um sistema de indicadores que se destine ao diagnóstico das instalações de captação e armazenamento de água, envolvendo os aspectos qualitativos.

Outra recomendação para futuras pesquisas refere-se à indicação da necessidade de uma legislação específica sobre águas de chuva para consumo humano, uma vez que existe uma lacuna, e todas as discussões se fazem à luz da Portaria do Ministério da Saúde que estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15527/2007**. Fornece os requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis, 2007.

AB'SABER et. al. Nordeste sertanejo: a região semiárida mais povoada do mundo. **Estud. av.**, São Paulo, v. 13, nº. 36, p. 60-68, Aug. 1999. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40141999000200003&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40141999000200003&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 01 June 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40141999000200003>.

ACQUALIMP. **Guia de instalação**. Guia\_cisterna\_1397x2159\_v02.indd 1, 2010. Disponível em: <http://www.acqualimp.com/wp-content/uploads/2016/01/guia-de-instalacao-cisternas-acqualimp-1.pdf>. Acesso em 12/08/2015.

ALBUQUERQUE, J. do P. T.; RÊGO, J. C. O semiárido brasileiro: aspectos legais. In: Galvão *et al.* **Recursos hídricos para a convivência com o semiárido**: abordagens por pesquisadores no Brasil, Portugal, Cabo Verde, Estados Unidos e Argentina. Porto Alegre: ABRH; Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2013, p. 19-47.

ALCÂNTARA SILVA, V. M. de; PATRÍCIO, M. da C. M.; RIBEIRO, V. H. de A.; MEDEIROS, R. M. de. O desastre seca no nordeste brasileiro. **Polêmica**. V. 12, n.2, 2013. Disponível em: <http://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/polemica/rt/printerFriendly/6431/1487>. Acesso em: 24 de nov de 2016.pol

ANDRADE, A.P.; COSTA, R.G.; SOARES, D.; LACERDA, A.V.; ARAÚJO, J. S. . A caatinga como suporte forrageiro: desafios para exploração sustentável. In: ANDRADE, E. M. de; PEREIRA, O. J.; DANTAS, F. É. R. (Org.). **Semiárido e o manejo dos recursos naturais**: uma proposta de uso adequado do capital natural. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2010, v. 1, p. 81-105.

ANDRADE NETO, C. O. de. Aproveitamento imediato da água de chuva. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**. v.1, n.1 – Andrade Neto, p. 073-086, 2013 – ISSN: 2317-563X

\_\_\_\_\_. Água de Chuva: alternativa para conviver com a seca. In: XII Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2014, Natal. **Anais...Natal**: SILUBESA.

\_\_\_\_\_. Proteção Sanitária das Cisternas Rurais. In: XI Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2004, Natal, Brasil. **Anais ... Natal**: ABES/APESB/APRH. 2004.

ANDRADE, T. da S.; NÓBREGA, R. L. B.; RIBEIRO NETO, A.; GALVÃO, C. de O. Estratégias de adaptação e gestão do risco: o caso das cisternas no Semiárido brasileiro. **Climacom Cultura Científica - Pesquisa, Jornalismo e Arte | ANO 02 - VOLUME 02**, ISSN 2359-4705, 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: APHA/AWWA/WEF, 2005, [s.n.].

ARAÚJO, Sérgio Murilo Santos de. A REGIÃO SEMIÁRIDA DO NORDESTE DO BRASIL: Questões Ambientais e Possibilidades de uso Sustentável dos Recursos. **Rios Eletrônica- Revista Científica da FASETE**. Ano 5 n. 5 dezembro de 2011.

ARAÚJO, P. C. de; ABAR, C. A. A. P. Sobre o Boxplot no GeoGebra. In: 1ª. Conferência Latino Americana de GeoGebra. ISSN 2237- 9657, pp.13-21, 2012. Anais...São Paulo-SP, 2012.

ASA. Articulação no Semiárido Brasileiro. 2011. Disponível em: [http://www.asabrazil.org.br/Portal/Informacoes.asp?COD\\_MENU=1150](http://www.asabrazil.org.br/Portal/Informacoes.asp?COD_MENU=1150). Acesso em abril/2014.

\_\_\_\_\_. Articulação no Semiárido Brasileiro. 2016. Via Mensagem. Disponível em: <https://www.facebook.com/articulacaosemiarido>. Acesso 19 de julho de 2016.

\_\_\_\_\_. Articulação no Semiárido Brasileiro. 2016. Disponível em: <http://www.asabrazil.org.br/semiarido>. Acesso 15 de dezembro de 2016.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 3.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1991. 332p.

BARRA, T. da S.; COSTA, J. M. N. da; RAO, T. V. R.; SEDIYAMA, G. C.; FERRERIA, W. P. M.; DANTAS NETO, F. S. Caracterização climatológica da severidade de secas do Estado do Ceará – Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.266-272, 2002. Campina Grande, PB, DEAg/UFCG - <http://www.agriambi.com.br>.

BASSANESI, K.; BARRETO, D. Parâmetros de controle de qualidade de água de chuva – revisão para uso em edificações. In: IX Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, 2014, Porto Alegre - RS. **Anais...** Porto Alegre: ABES, 2014. Disponível em: <http://www.abes-rs.org.br/qualidade2014/trabalhos/id839.pdf>. Acesso em 30 de jan. 2017.

BEZERRA, T. P; CABRAL da SILVA, T; MACHADO, T. T. V; DIAS, J. T.; FIGUEIREDO, S. A. Avaliação dos parâmetros físico químicos: pH, condutividade elétrica e temperatura para águas de chuva em cisternas rurais. In: 10º Simpósio Brasileiro de Captação de Água de Chuva, Belém-PA-Brasil. **Anais...**Belém, novembro de 2016.

BRASIL. A Lei 12.873 de 24 de outubro de 2013 que institui o Programa Nacional de Apoio à Captação de Água de Chuva e Outras Tecnologias Sociais de Acesso à Água – Programa Cisternas. 2013.

\_\_\_\_\_. **Decreto 7.535** de 26 de julho de 2011 institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Água – “Água para Todos”. 2011.

\_\_\_\_\_. **Ministério da Integração Nacional** - MI. Disponível em: <http://www.mi.gov.br/web/guest/perguntas-frequentes/>

/journal\_content/56\_INSTANCE\_k2Qz/10157/52562?p\_p\_state=pop\_up&\_56\_INSTANCE\_k2Qz\_page=1&\_56\_INSTANCE\_k2Qz\_viewMode=print. Acesso em 12/10/2105.

\_\_\_\_\_. Ministério da Integração Nacional. Manual de operação dos objetos padronizados do programa. **Programa água para todos**. Brasília, 2013, 61 p. Disponível em: [http://www.mi.gov.br/c/document\\_library/get\\_file?uuid=3077ea88-263f-4973-891a-27a7807fff9d&groupId=10157](http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=3077ea88-263f-4973-891a-27a7807fff9d&groupId=10157). Acesso em 12 de outubro de 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério do Desenvolvimento Social – MDS. **Modelo da tecnologia social de acesso à água nº 01**. 2015. Disponível em: [http://www.mds.gov.br/webarquivos/legislacao/seguranca\\_alimentar/cisternas\\_marcolegal/ModeloTecSocial\\_n01\\_Cisterna16millt\\_062015.pdf](http://www.mds.gov.br/webarquivos/legislacao/seguranca_alimentar/cisternas_marcolegal/ModeloTecSocial_n01_Cisterna16millt_062015.pdf). Acesso em: 22 de agosto de 2015.

\_\_\_\_\_. **Ministério do Desenvolvimento Social** – MDS. Área da imprensa. Disponível em: <http://mds.gov.br/area-de-imprensa/noticias/2016/marco/cisternas-garantem-agua-seguranca-alimentar-e-vida-digna-aos-sertanejos/apt-fev2016.png/view>. Acesso em março de 2016.

\_\_\_\_\_. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), 2016. 252p.: il.

\_\_\_\_\_. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2014**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2016. 212 p.:il.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2017. Disponível em: <http://www.mi.gov.br/perguntas-frequentes#AGT4>. Acesso em 17 de março de 2017.

\_\_\_\_\_. **Lei Federal 11.445 de 05 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. 2007.

\_\_\_\_\_. Manual Operacional dos Objetos Padronizados do Programa. **Programa Água para Todos**. Brasília, 2011. Disponível em <http://www.mds.gov.br/segurancaalimentar/programa-cisternas/entenda-o-programa/manual-de-identidade-visual-do-programa-cisternas/manual-de-execucao-do-programa-cisternas-primeira-agua-agua-de-beber-e-cozinhar-17dez12.pdf.pagespeed.ce.TOJOH-x63M.pdf>. Acesso em janeiro de 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011**. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. 2011.

\_\_\_\_\_. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO SOCIAL E COMBATE À FOME. Manual para execução do Programa – Primeira Água. Brasília. 2011. Disponível em: <http://www.mds.gov.br/segurancaalimentar/acessoagua>. Acesso em: 18 de jan. de 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério do Desenvolvimento Social. Programa Cisternas. **MODELO DA TECNOLOGIA SOCIAL DE ACESSO À ÁGUA Nº 01**. 2015 disponível em: [http://www.mds.gov.br/webarquivos/legislacao/seguranca\\_alimentar/cisternas\\_marcolegal/ModeloTecSocial\\_n01\\_Cisterna16millt\\_062015.pdf](http://www.mds.gov.br/webarquivos/legislacao/seguranca_alimentar/cisternas_marcolegal/ModeloTecSocial_n01_Cisterna16millt_062015.pdf). acesso em: 22 de agosto de 2015

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. Fundação Nacional da Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília: Funasa, 2014. 112 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2017. Disponível em: <http://www.mi.gov.br/perguntas-frequentes#AGT4>. Acesso em 17 de março de 2017.

CAMPOS, J. N. B. Secas e políticas públicas no semiárido: ideias, pensadores e períodos. **Revista Estudos Avançados** v. 28, n. 82, p. 65-88, 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142014000300005&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142014000300005&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 14 de Setembro de 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142014000300005>.

CODEVASF. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Paranaíba. Ministério da Integração Nacional. Projeto Básico de Execução de Cisternas, em Polietileno, com capacidade de 16.000 litros, para acumulação de água de chuva, visando o abastecimento de comunidades rurais difusas, nos estados do Piauí, Ceará, Minas Gerais, Pernambuco, Bahia e Sergipe. Anexo I, 2013

CIRILO, J.A.; ABREU, G. H. F. G.; COSTA, M. R.; GOLDEMBERG, D.; COSTA, W. D. Soluções para o suprimento de água de comunidades rurais difusas no semiárido brasileiro: avaliação de barragens subterrâneas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH**. V. 8, n.4 Out/Dez 2003, p. 5-24. 2003.

CIRILO, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 61-82, 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142008000200005&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200005&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 10 Sept. 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142008000200005>.

\_\_\_\_\_. Crise hídrica: desafios e superação. **Revista USP**, São Paulo, n. 106, p. 45-58, julho/agosto/setembro 2015.

COHIM, E.; ORRISCO, S.; KIERONSKI, E.B. Manejo e qualidade da água de chuva no setor urbano. In: SANTOS, D. B. dos. *et al.* (Organizadores) **Captação, manejo e uso de água de chuva**. Campina Grande, PB: INSA. 441p.:il. 2015. p 189-210.

COMISSÃO BRASILEIRA DE BARRAGENS – CBDB. **A história das barragens no Brasil, Séculos XIX, XX e XXI**: cinquenta anos do Comitê Brasileiro de Barragens. [Coordenador, supervisor: MELLO, Flavio Miguez de; editor: PIASENTIN, Corrado]. Rio de Janeiro: CBDB, 2011. 524 p.: il.; 29 cm. Disponível em: [http://www.cbdb.org.br/documentos/a\\_historia\\_das\\_barragens\\_no\\_brasil.pdf](http://www.cbdb.org.br/documentos/a_historia_das_barragens_no_brasil.pdf). Acesso em 10 de out de 2016.

DIAS, R. de B. Tecnologia social e desenvolvimento local: reflexões a partir da análise do Programa Um Milhão de Cisternas. **Revista Brasileira de Desenvolvimento Regional**, Blumenau, v1, n 2, p. 173-189, Primavera de 2013

Eakin HC, Lemos MC, Nelson DR.. Differentiating capacities as a means to sustainable climate change adaptation. **Global Environmental Change** 2014, 27:1-8.

ESPÍNDOLA, J. A. G. Experiência Mexicana sobre captação, aproveitamento e manejo de água de chuva. In: SANTOS, D. B dos; MEDEIROS, S. de S.; BRITO, L. T. de L. GNADLINGER, J.; COHIM, E.; PAZ, V. P. da S.; GHEYI, H. R.. **Captação, manejo e uso de água de chuva**. Campina Grande: INSA. 2015. 441p.: il.

FARACHE FILHO, A.; DIAS, M. F. F.; TAROMARU, P. H.; CERQUEIRA, C. de S.; DUQUE, J.G. qualidade microbiológica de águas minerais não carbonatadas em embalagens de 1,5 litros, comercializadas em Araraquara-SP. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.19, n.4, p. 421-425, out./dez. 2008.

FARACHE FILHO, A.; DIAS, M.F.F. Microbiological quality of mineral water in gallon of 20 liters. **Alim. Nutr.**, Araraquara, v.19, n.3, p. 243-248, jul./set. 2008.

FBB - FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL. **Cisterna de placas: tecnologia social como política pública para o semiárido brasileiro / organização Jeter Gomes**. -- 1. ed. -- Brasília, 2014.

FERREIRA, A. L. R.; BATISTA, G. T.; FORTES NETO, P. **Áreas para captação de água de chuva**. Repositório Eletrônico Ciências Agrárias, Coleção Ciências Ambientais, <<http://www.agro.unitau.br/dspace>>. p. 1-8, 2011.

FOLEGATTI, M.V.; DUARTE, S.A.; GONÇALVES, R.A.B. Uso de águas residuárias na agricultura. In: Uso e reuso de águas de qualidade inferior: realidade e perspectivas. **Anais...Campina Grande**, 2005.

GARDUÑO, M.A. Sistemas de Captacion de Agua de Lluviaen Zonas Agrícolas de Temporal Deficiente. In: 1º Simpósio sobre Captação de Água de Chuva no Semiárido Brasileiro. 1997. Petrolina. **Anais... Petrolina – PE: ABCMAC**, 1997.

GOIS, L. H. B.; NOGUEIRA, A. C.; MORAES, L. R. S. Água para consumo humano: uma visão sobre os riscos e vulnerabilidades de sua Utilização. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, v. 1, n. 2, p. 251-266, 2013

GOMES, U. A. F. **Água em situação de escassez: água de chuva para quem?** Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

GOMES, U.A.F.; DOMENECH, L.; PENA, J. L.; HELLER, L.; PALMIER, L. R. A Captação de Água de Chuva no Brasil: Novos Aportes a Partir de um Olhar Internacional. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH**, Volume 19 n.1 –Jan/Mar 2014, 7-16.

Gomes, U. A. F.; Heller, L. Acesso à água proporcionado pelo Programa de Formação e Mobilização Social para Convivência com o Semiárido: Um Milhão de Cisternas Rurais: combate à seca ou ruptura da vulnerabilidade? **Revista Eng Sanitaria Ambiental** | v.21 n.3 | jul/set 2016 | 623-633



\_\_\_\_\_. Instituto Nacional do Semiárido. **Sinopse do Censo Demográfico para o Semiárido Brasileiro** / Salomão de Sousa Medeiros [et al.].— Campina Grande: INSA, 2012. 103p.

\_\_\_\_\_. Instituto Nacional do Semiárido. SIGSAB. **Sistema de Gestão da Informação e do Conhecimento do Semiárido Brasileiro**. 2013. Disponível em <http://sigsab.insa.gov.br/acervoDigital>. Acesso em fevereiro de 2017.

\_\_\_\_\_. Instituto Nacional do Semiárido. SIGSAB. **Sistema de Gestão da Informação e do Conhecimento do Semiárido Brasileiro**. 2014 Disponível em <http://sigsab.insa.gov.br/acervoDigital>. Acesso em fevereiro de 2017.

JQUES, R. C.; RIBEIRO, L. F. e LAPOLLI, F. R. Avaliação da Qualidade da Água de Chuva da Cidade de Florianópolis – SC. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2005. Campo Grande. **Anais...**Campo Grande/MS: ABES, 2005.

KWAADSTENIET, M. d., DOBROWSKY, P. H., DEVENTER, A. v., KHAN, W., & CLOETE, T. E. (30 de June de 2013). Domestic Rainwater Harvesting: Microbial and Chemical Water Quality and Point-of-Use Treatment Systems. *Water Air Soil Pollut* , pp. 1-19.

KOBIYAMA, M.; GOERL, R.F.; CORREA, G. P.; MICHEL, G. P. Debris flow occurrences in Rio dos Cedros, Southern Brazil: meteorological and geomorphic aspects. In: WRACHIEN, D.; BREBBIA, C. A. (Orgs.) **Monitoring, simulation, prevention and remediation of dense debris flows III**. Southampton: WITpress, 2010. p. 77-88.

LARSON, R.; FARBER, B. **Estatística aplicada**. 6ª edição. São Paulo: Pearson, 2016.

LASSANCE JR., A. E.; BARBOSA, E. J. S.; JARDIM, F. A.; BRANDÃO, F. C.; NOVAES, H. T.; RUTKOWSKI, J.; PENA, J. de O.; PEDREIRA, J. S.; DOWBOR, L.; OTERO, M. R.; SINGER, P.; DAGNINO, R.; LIANZA, S.; BAVA, S. C.; KRUPPA, S. M. P. **Tecnologia social: uma estratégia para o desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Fundação Banco do Brasil, 2004, 216 p.

LEHMANN, C.; TSUKADA, R.; LOURETE, A. Tecnologias de Baixo Custo para o Cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio: O Processo de Captação de Águas Pluviais. **International Policy Centre for Inclusive Growth**. Research Brief, nº. 12, 2010.

LIMA, J. C. A. L. de. **Avaliação do desempenho de dispositivo de desvio das primeiras águas de chuva utilizado em cisternas no semiárido pernambucano**. (DISSERTAÇÃO DE MESTRADO). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil Universidade Federal de Pernambuco. RECIFE, 2012, 100 p.il:.

MACHADO, T. T. V.; DIAS, J. T.; SILVA, T. C. da. Evolução e avaliação das políticas públicas para a atenuação dos efeitos da seca no semiárido brasileiro. **Gaia Scientia**. João Pessoa: PRODEMA/UFPB, v. 11, n. 1, 2017. (no prelo).

MACHADO, T. T. V.; SILVA, T. C. da; BATISTA, M. E. M.; NASSAU, M. das G.; DIAS, J. T.; SANTOS, M. A. F. dos. Captação e armazenamento de águas de chuva no semiárido brasileiro para atendimento às populações rurais. In: XV Encuentro de Geógrafos de América

Latina. Havana-Cuba. 06 a 10 de abril de 2015. **Anais...** Havana: Universidad de La Habana, 2015.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Revista Climanálise**. Edição comemorativa 30 anos, CPTEC/INPE, 2016. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/revista/>.

MARTINSON, D. B.; THOMAS, T. Better, Faster, Cheaper; Research into roofwater harvesting for water supply in low-income countries. **ARCISA**, Austin, Texas, August 2003.

MAYS, L.; ANTONIOU, George P.; ANGELAKIS, Andreas N. History of Water Cisterns: Legacies and Lessons. **Water**. Volume 5. Edição 4. DEC 2013. p 1916-1940

MAYS, Larry W. Use of cisterns during antiquity in the Mediterranean region for water resources sustainability. **Water Science and Technology –Water Supply**. Volume 14. Edição 1. 2014. 38-47 p.

MCINTYRE, N.; AL-QUARSHI, A.; WHEATER, H. S. Regression analysis of rainfall-runoff events from an arid catchment in Oman. **Hydrological Sciences Journal** 52 (6), 1103 - 1118. 2007.

MELO, J. C. de. O fenômeno El Niño e as secas no Nordeste do Brasil. **Raízes**. Ano XVIII, Nº 20, pp. 13 – 21, nov.1999.

Ministério do Desenvolvimento Social – MDS. **MODELO DA TECNOLOGIA SOCIAL DE ACESSO À ÁGUA Nº 01. CISTERNAS DE PLACAS DE 16 MIL LITROS**. Versão maio, 2015. Programa Cisternas.

Disponível em:

[http://www.mds.gov.br/webarquivos/legislacao/seguranca\\_alimentar/cisternas\\_marcolegal/ModeloTecSocial\\_n01\\_Cisterna16millt\\_062015.pdf](http://www.mds.gov.br/webarquivos/legislacao/seguranca_alimentar/cisternas_marcolegal/ModeloTecSocial_n01_Cisterna16millt_062015.pdf). Acesso em: 22 de agosto de 2015

MONTE-MOR, R. C. de A. **Análise de processos hidrológicos em bacias de rios intermitentes no semiárido mineiro**. Tese apresentada ao programa de pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da universidade federal de minas gerais. Belo Horizonte, 2012.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G.L. Olhares sobre as política públicas de recursos hídricos para o semiárido. In: GHEYI, H. R.; SILVA, V. P. da; MEDEIROS, S. de S.; GALVÃO, C. de O. **Recursos hídricos em regiões semiáridas** / editores, Hans Raj Gheyi, Vital Pedro da Silva Paz, Salomão de Sousa Medeiros, Carlos de Oliveira Galvão - Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012. 258 p. : il.

MORENO, A. M. P. V. da V. Cabo Verde. In: Galvão *et al.* **Recursos hídricos para a convivência com o semiárido: abordagens por pesquisadores no Brasil, Portugal, Cabo Verde, Estados Unidos e Argentina**. Porto Alegre: ABRH; Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2013, p. 165-186.

MOURA, M. S. B. de; GALVINCIO, J. D.; BRITO, L. T. de L.; SOUZA, L. S. B. de; SÁ, I. I. S.; SILVA, T. G. F. da. Clima e água de chuva no Semiárido. In: BRITO, L. T. de L.;

MOURA, M. S. B. de; GAMA, G. F. B. **Potencialidades da água de chuva no Semiárido brasileiro**. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2007. 181 p.

MOURA, T. de O.; OLIVEIRA, I. B. de; MEDEIROS, Y. D. P.; CAMPOS, V. P. Análise da qualidade da água de chuva armazenada em cisternas de polietileno das comunidades rurais pertencentes ao município de São Domingos, semiárido Baiano. In: 10º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva Belém - PA – Brasil, 2016. **Anais...** Belém: ABCMAC, 2016.

MOREIRA, E. TARGINO, I. De território de exploração a território de esperança: organização agrária e resistência camponesa no semiárido paraibano. **REVISTA NERA – ANO 10, N. 10 – JAN.-JUN. 2007 – ISSN: 1806-6755. p. 72-93.**

NASCIMENTO, F. R. Os semiáridos e a desertificação no Brasil. **REDE – Revista Eletrônica do PRODEMA**. Fortaleza, Brasil, v. 9, n. 2, p. 07-26, jul./dez. 2015. ISSN: 1982-5528

NDMC. Nacional Drought Mitigation Center: at The University of Nebraska–Lincoln. 2017. Disponível em: <http://drought.unl.edu/DroughtBasics/WhatisDrought.aspx>. Acesso em 10 de maio de 2017.

NEVES, F. de C. Getúlio e a seca: políticas emergenciais na era Vargas. **Revista Brasileira de História**, São Paulo, v. 21, n. 40, p. 107-129, 2001. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-01882001000100006&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-01882001000100006&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 16 Nov. 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-01882001000100006>.

NEVES, R. S.; MEDEIROS, J. C. A.; SILVEIRA, S. M. B.; MORAIS, C. M. M. Programa um milhão de cisternas: guardando água para semear vida e colher cidadania. **Agriculturas**. v. 7, n. 3, Outubro de 2010. Disponível em: <[http://www.agriculturesnetwork.org/magazines/brazil/3-aguanos-agroecossistemas-aproveitando-todas-as/programa-um-milhao-de-cisternas-guardando-agua/at\\_download/article\\_pdf](http://www.agriculturesnetwork.org/magazines/brazil/3-aguanos-agroecossistemas-aproveitando-todas-as/programa-um-milhao-de-cisternas-guardando-agua/at_download/article_pdf)>. Acesso em: 28 out. 2016.

NÓBREGA, R. L. B. *et al.* Água de chuva para uso doméstico. In: Galvão *et al.* **Recursos hídricos para a convivência com o semiárido**: abordagens por pesquisadores no Brasil, Portugal, Cabo Verde, Estados Unidos e Argentina. Porto Alegre: ABRH; Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2013, p. 377-394.

NÓBREGA, R.L.B.; GALVÃO, C.de O.; PALMIER, L.R.; CEBALLOS, B.S.O. de. Aspectos Político-Institucionais do Aproveitamento de Água de Chuva em Áreas Rurais do Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH**. Volume 17 n.4 - Out/Dez 2012, 109-124.

NOGUEIRA, E. **Entidades criticam novo modelo de cisternas feitas de plástico**. Agência Brasil/EBC, 2015. Disponível em: [http://www.asabrazil.org.br/imprensa/giro-pela-imprensa?artigo\\_id=7345](http://www.asabrazil.org.br/imprensa/giro-pela-imprensa?artigo_id=7345). Acesso em 17 de março de 2017.

OLIVEIRA, G. C. de S. **Perfil socioeconômico e potencialidades para a captação de água da chuva na microrregião do alto Capibaribe, PE**. 2012. Dissertação (Mestrado em

Geografia) – Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

OLIVERIA, L. M. de; MONTEIRO, A.G. **A importância da vigilância da qualidade da água no município de São Gonçalo.** 2006?. Disponível em: [http://www.penseambientalmente.com/disciplinas/microbio/am/amicrob3c\\_vigilancia.pdf](http://www.penseambientalmente.com/disciplinas/microbio/am/amicrob3c_vigilancia.pdf). Acesso em junho de 2017.

OLIVEIRA, R. B. **Vulnerabilidade à seca de municípios do semiárido paraibano para a região semiárida:** estudo de caso de quatro municípios do estado da Paraíba. 2017. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal da Paraíba – UFPB. 2017. 114p.

OMS – Organização Mundial da Saúde. **O Direito Humano à Água e Saneamento.** Disponível em:

[http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human\\_right\\_to\\_water\\_and\\_sanitation\\_media\\_brief\\_por.pdf](http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_media_brief_por.pdf). Acesso em 29/12/2012.

OPENBRASIL.ORG. Cronologia das Secas. In: **O grito da seca.** 2016 Disponível em <http://ogritodaseca.openbrasil.org/search?updated-max=2011-06-18T13:01:00-07:00&max-results=1&start=1&by-date=false>. Acesso em: 16 de outubro de 2016.

PAE-PB-Programa de ação estadual de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca no estado da Paraíba: PAEPB/IICA; SCIENTEC – João Pessoa: Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia. Superintendência de Administração do Meio Ambiente, 2011. 144p.

PARAÍBA.AESA. **SIGaesa-web.** 2010, disponível em : <http://geo.aesa.pb.gov.br/>

PASSADOR, C. S.; PASSADOR, J. L. apontamentos sobre as políticas públicas de combate à seca no brasil: cisternas e cidadania? **Cadernos Gestão Pública e Cidadania.** v. 15, n. 56 • São Paulo, 2010, p. 65-86. ISSN 1806-2261.

PEREIRA JUNIOR, José de Sena. **NOVA DELIMITAÇÃO DO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO,** 2007. Biblioteca digital da Câmara dos Deputados. Disponível em: [bd.camara.gov.br](http://bd.camara.gov.br). acesso em: 28 de novembro de 2016.

PILGRIM, D. H.; CHAPMAN, T.G; DORAN, D.G. Problems of rainfall-runoff modelling in arid and semiarid regions. **Hydrological Sciences Journal,** 2009. 33:4, 379-400, DOI:10.1080/02626668809491261. ISSN: 2150-3435 (Online). Disponível em: Journal homepage: <http://www.tandfonline.com/loi/thsj20>. Acesso em: 22 May 2017.

PIVELI, R.P.; KATO, M.T. **Qualidade das águas e poluição:** aspectos físicoquímicos. São Paulo: ABES, 2005.

Portal Action. 2012. Disponível em: <http://www.portalaction.com.br/inferencia/512-calculo-e-interpretacao-do-p-valor>. Acesso em 7 de novembro de 2016.

RAINWATER HARVESTING AND UTILISATION. **An Environmentally Sound Approach for Sustainable Urban Water Management.** An Introductory Guide for

Decision-makers. Copyright © 2002 UNEP-DTIE-IETC/Sumida City Government/People for Promoting Rainwater Utilisation.

RIO DE JANEIRO. **LEI Nº 4248, DE 16 DE DEZEMBRO DE 2003.** Institui o Programa de Captação de Águas Pluviais no âmbito do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/CONTLEI.NSF/69d90307244602bb032567e800668618/bddcca28fecc22f83256dda005097af?OpenDocument>. Acesso em: 20 de jan. 2017.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 4.393, de 16 de setembro de 2004.** Dispõe sobre a obrigatoriedade das empresas projetistas e de construção civil a prover os imóveis residenciais e comerciais de dispositivo para captação de águas de chuva e dá outras providências. Disponível em: <https://gov-rj.jusbrasil.com.br/legislacao/135934/lei-4393-04>. Acesso em: 20 de janeiro. 2017.

ROCHA, D. C.; TARGINO, C. A. de O.; LIMA, N. de A.; DANTAS, R. T. ARCABOUÇO LEGAL BRASILEIRO RELACIONADO À CAPTAÇÃO DA ÁGUA DE CHUVA PARA FINS POTÁVEIS E NÃO POTÁVEIS. In: I Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido, 2016, Campina Grande – PB. **Anais...** Campina Grande: UFCG, 2016. V. 1, 2016, ISSN 2526-186X. DISPONÍVEL EM: <http://www.editorarealize.com.br/revistas/conidis/anais.php>. Acesso em: 20 de jan. 2017.

RTS - REDE DE TECNOLOGIA SOCIAL (Brasil) (Org.). **Tecnologia Social e Desenvolvimento Sustentável: Contribuições da RTS para a formulação de uma Política de Estado de Ciência, Tecnologia e Inovação** – Brasília/DF: Secretaria Executiva da Rede de Tecnologia Social (RTS), 2010. 98 p.

SANTANA, N. C. B. **Qualidade das águas de chuva em João Pessoa-PB:** estudo comparativo com padrões de qualidade para uso residencial. 2012. 83p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

SANTANA, M. V. V. *et al.* Variação do pH e temperatura em CPLA e polietileno em comunidades rurais do município de Petrolina-PE. **Revista Extensão da UNIVASF**. Volume 3, Número 2, 2 jul 2015.

SANTOS, A. C.; CEBALLOS, B. S. O. de; SOUSA, C. M. de. POLÍTICAS PÚBLICAS DE ÁGUA E PARTICIPAÇÃO NO SEMIÁRIDO: Limites e tensões no P1MC. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**. v.1, n.1, p. 145-161, 2013. ISSN: 2317-563X

SÃO PAULO. **Lei nº 12.526, de 02 de janeiro de 2007.** Estabelece normas para a contenção de enchentes e destinação de águas pluviais. Disponível em: <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2007/lei-12526-02.01.2007.html>. Acesso em: 20 de jan. 2017.

SCHMITT, J. F. A. **Adoção de inovações no combate à seca no semiárido:** um estudo com os usuários de cisternas de polietileno nos municípios de Trairi-CE e Caucaia-CE. 2015. Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Administração do Centro de Estudos Sociais Aplicados, da Universidade Estadual do Ceará. Fortaleza - CE, 2015. 90 p.

SCURACCHIO, P. A.; FARACHE FILHO, A. Qualidade da água utilizada para consumo em escolas e creches no município de São Carlos – SP. **Alim. Nutr.**, Araraquara, v. 22, n. 4, p. 641-647, out./dez. 2011.

SILVA, C. V. da. **Qualidade da água de chuva para consumo humano armazenada em cisternas de placa**. Estudo de caso: Araçuaí, MG. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte. 2006a. 136p.

SILVA, R. A. da. **Entre o combate à seca e a convivência com o semiárido: transições paradigmáticas e sustentabilidade do desenvolvimento**. 2006. 298 f., il. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) -Universidade de Brasília, Brasília, 2006b.

\_\_\_\_\_. Entre o Combate à Seca e a Convivência com o Semiárido: políticas públicas e transição paradigmática. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 38, nº 3, jul-set. 2007

SILVA, S. D.; MEDEIROS, V. P.; SILVA, A. B. Tecnologias sociais hídricas para convivência com o semiárido: o caso de um assentamento rural do município de Cabaceiras – PB. **HOLOS**, Ano 32, Vol. 1, 2016. p. 295-309.

SOUSA, M. I. de F.; BARBOSA, J. J.; COSTA, C. T. F. Uma reflexão sobre mudanças climáticas, saúde e meio ambiente no semiárido nordestino. **Saúde Meio Ambiente**. v. 4, n. 2, p. 61-77, jul./dez. 2015. ISSN 2316-347X.

SOUZA, S. H. B. *et al.* Avaliação da qualidade da água e da eficácia de barreiras sanitárias em sistemas para aproveitamento de águas de chuva. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 16 n.3 - Jul/Set, 81-93. 2011.

TAVARES, A. C. **Aspectos Físicos, Químicos e Microbiológicos da Água Armazenada em Cisternas de Comunidades Rurais no Semiárido Paraibano**. Dissertação de Mestrado. PRODEMA. Campina Grande/PB. 2009.166p.

TEIXEIRA, A. D. S.; PULZ, E.; SILVA, B. C. R.; IRAZUSTA, S. P.; TEIXEIRA, E. P. Avaliação da qualidade de água de chuva para aproveitamento doméstico. **X WORKSHOP DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DO CENTRO PAULA SOUZA**. São Paulo, outubro de 2015. ISSN: 2175-1897.

TRAVASSOS, I. S.; SOUZA, B. I. de; SILVA, A. B. da. Secas, desertificação e políticas públicas no semiárido nordestino brasileiro. **Revista OKARA: Geografia em debate**, v.7, n.1, p. 147-164, 2013. ISSN: 1982-3878 João Pessoa, PB, DGEOC/CCEN/UFPB – <http://www.okara.ufpb.br>

TROLEIS, A. L.; SANTOS, A. C. V. dos. **Estudos dos semiáridos**. 2ª ed., Natal: EDUFRN, 2011. 168 p.: il.

UNDDD. United Nations Decade for Deserts and the Fight against Desertification, 2010-2020.

Disponível em: [http://www.un.org/en/events/desertification\\_decade/whynow.shtml](http://www.un.org/en/events/desertification_decade/whynow.shtml). Acesso em 20 de janeiro de 2017.

UNEP — United Nations Environment Programme. Rainwater harvesting: a lifeline for human wellbeing. A report prepared for UNEP by Stockholm Environment Institute. 69 p., 2009.

UNIFEM, Fundo de Desenvolvimento das Nações Unidas para Mulheres. Princípio de emponderamento das mulheres: igualdade significa negócios. 2011. Disponível em: <<http://www.unifem.org.br/>> Acesso em: Agosto 2012.

VENTURA, A. C.; FERNÁNDEZ, L.; ANDRADE, J. C. S. Tecnologias sociais para enfrentamento às mudanças climáticas no semiárido: caracterização e contribuições. **Revista Econômica do Nordeste**. Fortaleza, v. 44, n. especial, p. 213-238, jun. 2013.

VIEIRA, M. R. **Os principais parâmetros monitorados pelas sondas multiparâmetros são:** pH, condutividade, temperatura, turbidez, clorofila ou cianobactérias e oxigênio dissolvido, 2016. Disponível em: <[https://www.agsolve.com.br/news\\_upload/file/Parametros%20da%20Qualidade%20da%20Agua.pdf](https://www.agsolve.com.br/news_upload/file/Parametros%20da%20Qualidade%20da%20Agua.pdf)>. Acesso em: Mai.2017.

VIRIATO, C. L. **Caracterização físico-química e bacteriológica da água armazenada em cisternas no semiárido paraibano**. Monografia (Especialização em Geociência e Recursos Hídricos do Semiárido). – UEPB, Universidade Estadual de Campina Grande, Campina Grande-PB. 2011.

VOS, F.; RODRIGUEZ, J.; BELOW, R.; GUHA-SAPIR, G. Anual disaster statistical review 2008. **The numbers and trends**. CRED: Brussels, 2009,46 p.

YAMAGUCHI, M. U.; CORTEZ, L. E. R.; OTTONI, L. C. C.; OYAMA, J. Qualidade microbiológica da água para consumo humano em instituição de ensino de Maringá-PR. **O Mundo da Saúde**, São Paulo - 2013;37(3):312-320 Artigo Original • Original Paper.