

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM
DOUTORADO

IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CORPOS DE ÁGUA NA BACIA
DO RIO PARAÍBA, PB, COM POTENCIAL PARA USOS MÚLTIPLOS

TESE

ROBI TABOLKA DOS SANTOS

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA
SETEMBRO – 2013

ROBI TABOLKA DOS SANTOS

ENGENHEIRO FLORESTAL

**IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CORPOS DE ÁGUA NA BACIA
DO RIO PARAÍBA, PB, COM POTENCIAL PARA USOS MÚLTIPLOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Irrigação e Drenagem, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:

ENGENHARIA DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

ORIENTADORES

JOSÉ DANTAS NETO – Doutor – UFCG/CTRNUAEAg

SOAHD ARRUDA RACHED FARIAS – Doutora – UFCG/CTRNUAEAg

CAMPINA GRANDE – PARAÍBA

SETEMBRO – 2013



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AGRÍCOLA



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE DO DOUTORANDO

ROBI TABOLKA DOS SANTOS

**IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CORPOS DE ÁGUA NA BACIA DO RIO
PARAÍBA, PB, COM POTENCIAL PARA USOS MÚLTIPLOS**

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Dr. José Dantas Neto - CTRN/UFPA - Orientador

Dr^a. Soahd Arruda Rached Farias - CTRN - Orientadora

Dr. Reginaldo Gomes Nobre - CCTA/UFPA - Membro Externo

Dr. José Sebastião da Costa - IFPE SERTÃO - Membro Externo

Dr^a. Maria Sallydelândia Sobral de Farias - CTRN/UFPA - Membro Interno

Dr^a. Vera Lúcia Antunes de Lima - CTRN/UFPA - Membro Interno

SETEMBRO – 2013

Av. Aprígio Veloso 882 – Bodocongó
58109-970 – CAMPINA GRANDE, PB
Fone (83) 3310-1055 Fax (83) 3310-1183
<http://www.deag.ufcg.edu.br/copeag>

DEDICO ESTE TRABALHO

A minha mãe, Teresinha; a meu pai, Edemar; a meus avós maternos, Sabina e Pedro; a meus avós paternos, Otilia e Julio; a meus padrinhos, Irene e Augusto; pela educação e amor que sempre me deram, contribuindo para o meu caráter pessoal, além do apoio incondicional à minha formação profissional.

MINHA HOMENAGEM

Aos meus orientadores de José Ddantas Neto e Soahd Arruda Rached Farias, que me ajudaram inúmeras e valiosas vezes, com ensinamentos, repreensões e estímulo, visando sempre o melhor para mim.

OFEREÇO

A todos os meus familiares; tios, tias, primos, primas, e amigos que estiveram sempre presentes, dando-me força e me incentivando a ultrapassar os obstáculos que a vida me proporcionou.

Especialmente a minha esposa, amiga e companheira, Joelma Oliveira Valdivino.

AGRADECIMENTOS

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. <i>Objetivo geral</i>	4
2.2. <i>Objetivos específicos</i>	4
3. REVISÃO DA LITERATURA	5
3.1. <i>Delimitação e Caracterização Climática do Semiárido</i>	5
3.2. <i>Ciclo hidrológico e recursos hídricos das regiões semiáridas</i>	7
3.3. <i>Bacias hidrográficas</i>	10
3.4. <i>Principais formas de armazenamento de água</i>	13
3.5. <i>Indicadores de qualidade das águas</i>	15
3.6. <i>Principais usos da água</i>	18
3.6.1. <i>Consumo humano</i>	18
3.6.2. <i>Dessedentação animal</i>	18
3.6.3. <i>Irrigação</i>	19
3.5. <i>Classificação das águas</i>	20
3.6. <i>Índices de Qualidade das águas</i>	27
3.6.1. <i>Índice de Qualidade de Água da National Sanitation Foundation (IQA-NSF)</i> 28	
4. MATERIAL E MÉTODOS	30
4.1. <i>Caracterização do estudo</i>	30
4.2. <i>Características da área da pesquisa</i>	31
4.3. <i>Condução dos trabalhos de campo</i>	34
4.3.1. <i>Monitoramento da qualidade da água entre 2006 e 2007</i>	34
4.3.2. <i>Monitoramento da qualidade da água em 2013</i>	34
4.3.2.1 <i>Sub-bacia do Rio Taperoá</i>	35
4.3.2.2 <i>Sub-bacia do Alto Paraíba</i>	39
4.3.2.3. <i>Sub-bacia do Médio Paraíba</i>	43
4.4. <i>Procedimentos de coleta de dados</i>	47
4.5. <i>Parâmetros usados para avaliar a qualidade da água</i>	48
4.6. <i>Mapas de qualidade de água</i>	49
4.6.1. <i>Sub-bacia hidrográfica do Rio Taperoá</i>	49
4.6.2. <i>Sub-bacia hidrográfica do Alto Paraíba</i>	50
4.6.3. <i>Sub-bacia hidrográfica do Médio Paraíba</i>	51
4.6. <i>Índices de Qualidade de Água</i>	52
4.6.1. <i>Índice da National Sanitation Foundation (IQA-NSF) adaptado</i>	52
4.6.2. <i>Índice de Qualidade de Água a ser desenvolvido para a região</i>	53
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
5.1. <i>Localização das amostras de água e tipos de fonte</i>	55
5.2. <i>Análise química da água</i>	56
5.2.1. <i>Potencial hidrogeniônico (pH)</i>	56
5.2.2. <i>Condutividade elétrica (CE)</i>	57
5.2.3. <i>Cátions (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺) e Ânions (Cl⁻, CO₃, HCO₃⁻ e SO₄⁻)</i>	60
5.3. <i>Mapas de qualidade de água</i>	62
5.3.1. <i>Sub-bacia hidrográfica do Rio Taperoá</i>	62
5.3.2. <i>Sub-bacia hidrográfica do Alto Paraíba</i>	64
5.3.3. <i>Sub-bacia hidrográfica do Médio Paraíba</i>	65
5.4. <i>Precipitação pluviométrica nas fontes hídricas</i>	67
5.4.1. <i>Sub-bacia do Rio Taperoá</i>	67

5.5.2. Sub-bacia do Alto Paraíba	69
5.5.3. Sub-bacia do Médio Paraíba	71
5.6. Análise química da água	73
5.7. Análise hidroquímica	78
5.7.1. Interpretação da qualidade da água através de Stiff	78
5.7.1.1. Sub-bacia do Rio Taperoá	78
5.7.1.2. Sub-bacia do Alto Paraíba	81
5.7.1.3. Sub-bacia do Médio Paraíba.....	84
5.7.2. Interpretação da qualidade da água através de Piper	87
5.7.2.1. Sub-bacia do Rio Taperoá	87
5.7.2.2. Sub-bacia do Alto Paraíba	91
5.7.2.3. Sub-bacia do Médio Paraíba.....	93
5.8. Índices de qualidade da água	96
5.8.1. Índice da National Sanitation Foundation (IQA-NSF) adaptado	96
5.8.2. Índice de Qualidade de Água a ser desenvolvido para a região	97
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	99
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, suas subdivisões e limites com outras bacias. Campina Grande, 2013	30
Figura 2. Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba com sua rede de drenagem. Campina Grande, 2013	31
Figura 3. Sub-bacias Hidrográficas do Rio Taperoá, Alto Paraíba e Médio Paraíba. Campina Grande, 2013	32
Figura 4. Água corrente em Alcantil (a), poço amazonas com motor elétrico para pequena irrigação em Serra Branca (b), cacimba em São João do Cariri (c) e cacimbões no leito do rio em São José dos Cordeiros (d). Campina Grande, 2013.....	33
Figura 5. Água de reservatório coletada e transportada para consumo humano em Boa Vista (a), consumo humano e animal em São José dos Cordeiros (b), consumo animal em Barra de Santa Rosa (c) e irrigação em Cabaceiras (d). Campina Grande, 2013	33
Figura 6. Período da coleta de amostras em campo. Campina Grande, 2013	34
Figura 7. Reservatórios de água na sub-bacia hidrográfica do Rio Taperoá, municípios de Assunção (a) e São João do Cariri (b) nos meses de janeiro (1), fevereiro (2), março (3), abril (4), maio (5) e junho (6). Campina Grande, 2013	37
Figura 8. Reservatórios de água na sub-bacia hidrográfica do Rio Taperoá, municípios de Serra Branca (a) e Taperoá (b) nos meses de janeiro (1), fevereiro (2), março (3), abril (4), maio (5) e junho (6). Campina Grande, 2013.....	38
Figura 9. Reservatórios de água na sub-bacia hidrográfica do Alto Paraíba, nos municípios de Congo (a) e Monteiro (b) nos meses de janeiro (1), fevereiro (2), março (3), abril (4), maio (5) e junho (6). Campina Grande, 2013	40
Figura 10. Reservatórios de água na sub-bacia hidrográfica do Alto Paraíba, nos municípios de Riacho de Santo Antônio (a) e Sumé (b) nos meses de janeiro (1), fevereiro (2), março (3), abril (4), maio (5) e junho (6). Campina Grande, 2013	42
Figura 11. Reservatórios de água na sub-bacia hidrográfica do Médio Paraíba, nos municípios de Aroeiras (a) e Barra de Santana A (b) nos meses de janeiro (1), fevereiro (2), março (3), abril (4), maio (5) e junho (6). Campina Grande, 2013	44
Figura 12. Reservatórios de água na sub-bacia hidrográfica do Médio Paraíba, nos municípios de Barra de Santana B (a) e Gado Bravo (b) nos meses de janeiro (1), fevereiro (2), março (3), abril (4), maio (5) e junho (6). Campina Grande, 2013	46
Figura 13. Coletor de água (Barreto, 2007) desenvolvido para o Projeto MAQUASU (a), e enchimento das garrafas com amostras de água para serem levadas ao laboratório (b). Campina Grande, 2013	47
Figura 14. Material de campo (a) e amostras de água para análise no laboratório (b). Campina Grande, 2013	47
Figura 15. Amostras coletadas para análise da qualidade de água. Campina Grande, 2013	48
Figura 16. Sub-bacia Hidrográfica do Rio Taperoá, com divisão municipal. Campina Grande, 2013	50
Figura 17. Sub-bacia Hidrográfica do Alto Paraíba, com divisão municipal. Campina Grande, 2013	51
Figura 18. Sub-bacia Hidrográfica do Médio Paraíba, com divisão municipal. Campina Grande, 2013	52
Figura 19. Tipos de fontes hídricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. Campina Grande, 2013	56
Figura 20. Classificação para irrigação conforme Richards. Campina Grande, 2013 ..	59
Figura 21. Classificação para infiltração. Campina Grande, 2013.....	59

Figura 22. Classificação do íon sódio para irrigação. Campina Grande, 2013	61
Figura 23. Classificação do íon cloreto para irrigação. Campina Grande, 2013.....	62
Figura 24. Sub-bacia Hidrográfica do Rio Taperoá, com classificação da água. Campina Grande, 2013	63
Figura 25. Sub-bacia Hidrográfica do Alto Paraíba, com classificação da água. Campina Grande, 2013	64
Figura 26. Sub-bacia Hidrográfica do Médio Paraíba, com classificação da água. Campina Grande, 2013	66
Figura 27. Precipitação mensal acumulada na estação mais próxima ao ponto coletado, na sub-bacia do Rio Taperoá. Campina Grande, 2013	68
Figura 28. Precipitação mensal acumulada na estação mais próxima ao ponto coletado, na sub-bacia do Alto Paraíba. Campina Grande, 2013.....	70
Figura 29. Precipitação mensal acumulada na estação mais próxima ao ponto coletado, na sub-bacia do Médio Paraíba. Campina Grande, 2013	72
Figura 30. Classificação da água para consumo humano, por sub-bacia. Campina Grande 2013	73
Figura 31. Classificação da água para consumo animal, por sub-bacia. Campina Grande 2013	74
Figura 32. Classificação da água para irrigação por sub-bacia, conforme Richard. Campina Grande 2013	75
Figura 33. Classificação da água para irrigação por sub-bacia, conforme UCCC. Campina Grande 2013	75
Figura 34. Classificação da água quanto ao risco de sodicidade na irrigação, por sub- bacia. Campina Grande 2013.....	76
Figura 35. Classificação da água quanto ao risco do pH na irrigação, por sub-bacia. Campina Grande 2013	76
Figura 36. Classificação da água para sódio na irrigação superficial, por sub-bacia. Campina Grande 2013	77
Figura 37. Classificação da água para bicarbonato na irrigação, por sub-bacia. Campina Grande 2013	77
Figura 38. Variação entre os íons nas águas amostradas no município de Assunção, sub-bacia hidrográfica do Rio Taperoá. Campina Grande, 2013	78
Figura 39. Variação entre os íons nas águas amostradas no município de São João do Cariri, sub-bacia hidrográfica do Rio Taperoá. Campina Grande, 2013	79
Figura 40. Variação entre os íons nas águas amostradas no município de Taperoá, sub- bacia hidrográfica do Rio Taperoá. Campina Grande, 2013	80
Figura 41. Variação entre os íons nas águas amostradas nos municípios do Congo, sub- bacia hidrográfica do Alto Paraíba. Campina Grande, 2013	81
Figura 42. Variação entre os íons nas águas amostradas nos municípios do Monteiro, sub-bacia hidrográfica do Alto Paraíba. Campina Grande, 2013	82
Figura 43. Variação entre os íons nas águas amostradas nos municípios de Riacho de Santo Antônio, sub-bacia hidrográfica do Alto Paraíba. Campina Grande, 2013.....	83
Figura 44. Variação entre os íons nas águas amostradas nos municípios de Sumé, sub- bacia hidrográfica do Alto Paraíba. Campina Grande, 2013	84
Figura 45. Variação entre os íons nas águas amostradas no município de Barra de Santana A, sub-bacia hidrográfica do Médio Paraíba. Campina Grande, 2013	85
Figura 46. Variação entre os íons nas águas amostradas no município de Barra de Santana B, sub-bacia hidrográfica do Médio Paraíba. Campina Grande, 2013	86
Figura 47. Variação entre os íons nas águas amostradas no município de Gado Bravo, sub-bacia hidrográfica do Médio Paraíba. Campina Grande, 2013.....	87

Figura 48. Diagrama de Piper para as amostras de águas coletadas na sub-bacia do Rio Taperoá. Campina Grande 2013	89
Figura 49. Diagrama da USDA para as amostra de águas coletadas na sub-bacia do Rio Taperoá. Campina Grande 2013	90
Figura 50. Diagrama de Piper para as amostras de águas coletadas na sub-bacia do Alto Paraíba. Campina Grande 2013	92
Figura 51. Diagrama da USDA para as amostra de águas coletadas na sub-bacia do Alto Paraíba. Campina Grande 2013	93
Figura 52. Diagrama de Piper para as amostras de águas coletadas na sub-bacia do Médio Paraíba. Campina Grande 2013.....	94
Figura 53. Diagrama da USDA para as amostras de água coletadas na sub-bacia do Médio Paraíba. Campina Grande 2013.....	95

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Padrão da água para consumo humano, segundo a Portaria nº 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde. Campina Grande, 2013	22
Tabela 2. Classificação das águas para consumo animal (bovinos e aves). Campina Grande, 2013	23
Tabela 3. Níveis sugeridos de Magnésio nas águas de consumo animal (bovinos e aves ¹). Campina Grande, 2013	23
Tabela 4. Parâmetros para interpretar a qualidade da água para irrigação. Campina Grande, 2008	25
Tabela 5. Dados de altitude, latitude e longitude dos pontos de água amostrados nas sub-bacias hidrográficas do Taperoá, Alto Paraíba e Médio Paraíba. Campina Grande, 2013	35
Tabela 6. Dados de altitude (base e sangrador), latitude e longitude dos açudes amostrados na sub-bacia hidrográfica do Rio Taperoá. Campina Grande, 2013	36
Tabela 7. Dados de altitude (base e sangrador), latitude e longitude dos açudes amostrados na sub-bacia hidrográfica do Alto Paraíba. Campina Grande, 2013	39
Tabela 8. Dados de altitude (base e sangrador), latitude e longitude dos açudes amostrados na sub-bacia hidrográfica do Médio Paraíba. Campina Grande, 2013.....	43
Tabela 9. Parâmetros e Pesos para o Cálculo do IQA-NSF. Campina Grande, 2013 ...	53
Tabela 10. Parâmetros e pesos alterados para o Cálculo do IQA-NSF. Campina Grande, 2013	53
Tabela 11. Classificação da Qualidade das Águas. Campina Grande, 2013	53
Tabela 12. Parâmetros para o Cálculo do IQA da região. Campina Grande, 2013	54
Tabela 13. Localização regional dos municípios nas sub-bacias do Rio Taperoá, Alto Paraíba e Médio Paraíba, com a respectiva quantidade de amostras coletadas. Campina Grande, 2013.	55
Tabela 14. Distribuição dos tipos geoquímicos das águas coletadas na sub-bacia do Rio Taperoá. Campina Grande, 2013	88
Tabela 15. Distribuição dos tipos geoquímicos das águas coletadas na sub-bacia do Alto Paraíba. Campina Grande, 2013	91
Tabela 16. Distribuição dos tipos geoquímicos das águas coletadas na sub-bacia do Alto Paraíba. Campina Grande, 2013	94
Tabela 17. Parâmetros e pesos para o Cálculo do IQA adaptado para consumo humano na bacia do Rio Paraíba. Campina Grande, 2013	96
Tabela 18. Parâmetros para o Cálculo do IQA da região. Campina Grande, 2013	97

IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CORPOS DE ÁGUA NA BACIA DO RIO PARAÍBA, PB, COM POTENCIAL PARA USOS MÚLTIPLOS

RESUMO: Este trabalho se objetivou, através de pesquisas, buscar informações técnicas e avaliar a qualidade de alguns corpos de água para consumo humano, animal e irrigação, em fontes de abastecimento localizado na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. As amostras de água foram coletadas em dois períodos distintos, ou seja, no biênio 2006/2007, em clima seco e chuvoso, e em 2013. Notadamente a condutividade elétrica da água, além dos outros elementos característicos foram superiores quando os reservatórios estavam com pouca água. Análise hidroquímica de fontes nas sub-bacias demonstraram homogeneidade composicional. De acordo com a Resolução do Ministério da Saúde e com os resultados do pH, cátions e ânions, a maioria das amostras de água estão aptas para consumo humano, animal e irrigação, com restrições no período seco. Com a adoção do IQA_{CETESB} para consumo humano e desenvolvimento de IQA para a região, a bacia hidrográfica do Rio Paraíba foi classificada boa e ótima, respectivamente.

Palavras-chave: qualidade de água; classificação; salinidade

IDENTIFICATION AND CHARACTERIZATION OF BODIES OF WATER IN RIVER BASIN PARAÍBA, PB, WITH POTENTIAL FOR MULTIPLE USES

ABSTRACT: This work aimed, through research, get technical information and assess the quality of some bodies of water for human consumption, animal and irrigation on sources of supply located in the Paraíba River Basin. Water samples were collected at two different times, ie, in the biennium 2006/2007, in dry and wet weather, and in 2013. Notably the electrical conductivity of the water, plus the other characteristic elements were higher when the reservoirs were low water. Hydrochemical analysis of sources in the sub-basins showed compositional homogeneity. According to the Resolution of the Ministry of Health and with the results of pH, cations and anions, most of the water samples are suitable for human consumption, animal and irrigation, with restrictions in the dry season. With the adoption of IQAcetesb for human consumption and development of IQA for the region, the watershed of the Rio Paraíba was rated good or excellent, respectively.

Keywords: water quality; classification; salinity

1. INTRODUÇÃO

No Nordeste, com 1,56 milhões de km² (18,27% do território nacional), está incluída a maior parte da região Semi-Árida do Brasil (SUDENE, 2003). A população da região ultrapassa os 46 milhões de habitantes (28,7% da população do País), de que faz parte a parcela mais pobre da população brasileira, com ocorrência de graves problemas sociais. Os 9 estados que compõem a região, são: Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe; suas áreas úmidas se restringem à fronteira com a região Norte (Estado do Maranhão) e à faixa litorânea (TUCCI et al.. 2001).

Na região Nordeste a média anual da temperatura varia de 20° a 28°C; ressalta-se que nas áreas situadas acima de 200m de altitude e no litoral oriental as temperaturas variam de 24° a 26°C. As médias anuais inferiores a 20°C se encontram nas áreas mais elevadas da chapada Diamantina, Bahia, e da Borborema, Paraíba (TUCCI, et al.. 2001). No Nordeste Brasileiro a região semi-árida é uma área muito devastada devido à luta secular que o homem enfrenta com a natureza na tentativa de sobrevivência; região com regime pluviométrico, em média de 500 mm/ano, em estações bem distintas: chuvas de 3 a 5 meses no primeiro semestre do ano, chamada outono-inverno, e seca de 7 a 9 meses, chamada primavera-verão, podendo alongar-se (MENDES, 2006).

As bacias hidrográficas do Nordeste correspondem a 18% das bacias brasileiras; no entanto, apesar de sua grande extensão territorial, a hidrografia nordestina é considerada modesta, devido ao caráter intermitente e irregular de grande parte de seus rios, cujo condicionante principal é o clima semi-árido, que domina grande parte da região. O maior destaque na hidrografia nordestina é o Rio São Francisco, que possui uma bacia com cerca de 490 mil km² e cabeceiras em áreas de precipitação fora da região Nordeste (LEITÃO, 2005).

A água é cada vez mais utilizada como estratégia em projetos de desenvolvimento, conflitos e proteção do meio ambiente, informações que justificam o surgimento de bacias hidrográficas como unidade ecológica definida em lei, sendo um espaço para planejamento e condução dos recursos naturais no Brasil; a gestão dessas bacias visa estabelecer um equilíbrio entre as demandas hídricas para o consumo humano, animal e irrigação.

A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba é a segunda maior do estado paraibano, ocupando 38% do território, cuja população é de quase 2 milhões de habitantes, correspondendo a mais de 50% da população do estado; é considerada uma das mais importantes do semi-árido nordestino, composta pela Sub-Bacia do Rio Taperoá, Regiões do Alto, Médio e Baixo Curso do rio Paraíba (CERH-PB, 2004).

A disponibilidade de água para consumo humano na Paraíba, depende das condições climáticas e do tipo dos reservatórios. Nos anos de precipitações normais as sedes dos municípios são abastecidas com água tratada ou semi-tratada, fornecida pela Companhia de Abastecimento Público – CAGEPA, enquanto nas comunidades rurais o abastecimento é feito pela captação de águas em barragens, açudes, cisternas e poços, na maioria das vezes sem nenhum tratamento sanitário. Nos anos de seca a disponibilidade de água diminui, comprometendo a qualidade, fazendo com que o fornecimento seja feito através de carros-pipas. Conforme IBGE (2000), 68,8% da população tem acesso a água e apenas 39% da população tem acesso a rede de esgoto.

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (1981), o estado da Paraíba tem uma área de 55119 km² dentro do polígono das secas, o que equivale a 97,78% de seu território.

A irrigação é um fator de desenvolvimento sócioeconômico que promove a implantação de práticas produtivas de uma região inteira, em que o déficit hídrico não permite que a produtividade da agricultura assegure lucro ao produtor, a exemplo do semi-árido paraibano, onde se localiza a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.

Na época de estiagem os açudes, poços e riachos, têm seus níveis de concentração de sais mais elevados, principalmente nesta época, quando também são mais elevadas a temperatura e a evapotranspiração da região e os animais e as culturas exigem maior suprimento de água a fim de atender às suas necessidades fisiológicas sendo afetadas, portanto, com maior intensidade; observa-se, então, a importância do conhecimento de sua qualidade para evitar os problemas consequentes.

Devido a irregularidade nos regimes hidrológicos, a falta de água é naturalmente o maior problema enfrentado pela população do semiárido. Assim, é prática comum a construção de açudes para acumular água nos períodos chuvosos, minimizando a situação nos períodos de estiagem (MOTA, 1995). Notadamente sem a presença dos açudes o semiárido nordestino seria um grande deserto durante parte do ano. Neste contexto, a questão da água no Nordeste é o principal tema de discussão entre universidades, órgãos governamentais e não-governamentais.

Quando as chuvas demoram a chegar, os pequenos córregos, rios e riachos secam em sua maioria, as águas dos açudes baixam de níveis e em muitos deles há uma elevação de vários elementos constantes na água, influenciando na qualidade e restringindo o uso.

Enfatizando o reconhecimento da limitação dos solos e das fontes de água, para um uso melhor na gestão de recursos hídricos, faz-se necessário o conhecimento de onde estão as fontes com boa e/ou má qualidade de água, visando às construções de obras, com a finalidade de barrar e/ou armazenar água destinadas ao consumo humano, animal e irrigação.

Segundo Trajano (1999), no semiárido paraibano o plano de sustentabilidade hídrica voltada ao desenvolvimento de populações, tem como referência o açude. Sendo assim, através de estudos nesses reservatórios difusos, busca-se entender e propor soluções para dirimir os problemas com a qualidade da água, contribuindo assim para a melhora da qualidade de vida das populações que vivem nas sub-bacias hidrográficas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Identificar e caracterizar corpos de águas com potencial para consumo humano, animal e irrigação nas mesorregiões Borborema e Agreste Paraibano.

2.2. Objetivos específicos

- a) Analisar a composição química e física das 781 amostras de água.
- b) Caracterizar as 781 amostras de água coletadas, classificando-as para consumo humano, animal e irrigação.
- c) Analisar a composição química e física dos doze corpos de água identificados com potencial para consumo humano.
- d) Avaliar a qualidade da água para consumo humano e animal e para o uso na agricultura irrigada dos mananciais selecionados.
- e) Classificar os reservatórios visando o Índice de Qualidade de Água da National Sanitation Foundation (IQA-NSF).
- f) Elaborar um IQA para os recursos hídricos das sub-bacias hidrográficas do Taperoá, Alto Paraíba e Médio Paraíba.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Delimitação e Caracterização Climática do Semiárido

Boa parte da superfície terrestre é coberta por áreas de climas áridos e semiáridos, correspondendo a um terço das terras emersas do globo, o que equivale a 50.000.000km². Raya (1996) menciona que se pode estimar a superfície mundial semiárida, variando entre 10 e 13% das terras do planeta.

Essas regiões comportam mais de 1 bilhão de habitantes ou mais de 20% da população mundial, que vivem em ambientes susceptíveis às ações antrópicas e onde o investimento agrícola é um dos mais onerosos do mundo constituindo, assim, sérios problemas para a população local visto que os habitantes dessas regiões têm, nas atividades primárias, sua principal fonte de sustentação econômica. Apesar da maior parte da superfície do nosso planeta ser constituído de água (3/4), 97% estão concentrados em mares e oceanos, restando apenas 3% de água doce, dos quais 75% formam as calotas polares e, dos 25% restantes, 98,8% são de águas subterrâneas, restando apenas 1,2% de águas superficiais (rios e lagos) de fácil acesso ao consumo humano (CEBALLOS, 1995).

Segundo Andrade (2005), o Nordeste é uma das regiões geográficas mais discutidas do país, apesar de ainda ser a menos conhecida. Frequentemente, sua área é associada ao fenômeno climático das secas característico de parte significativa da região e das consequências sobre a população local; entretanto nem todo o Nordeste é castigado pela estiagem e, por este motivo e para melhor administrar tal fato, nas áreas mais afetadas do mencionado território, foi delimitada a região que compreende, de acordo com os critérios estabelecidos, as maiores adversidades condicionadas pela semiaridez climática. Essa área é denominada de Polígono das Secas ou, mais comumente, de semiárido.

Para Mendes (1997), na prática diz-se que uma região é semiárida quando chove abaixo de 800 mm/ano, ocorre seca, tem caatinga e solos pobres em matéria orgânica, com tendência a salinização e rios intermitentes.

O Polígono das Secas foi primeiramente delimitado por ocasião da Lei 1.348/51 como área de atuação do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas DNOCS. Segundo Rebouças (1997), tal delimitação foi alterada por mais de dez vezes, obedecendo sempre a critérios mais políticos que ecológicos.

Até o ano de 1995, sob os efeitos da Lei 7.827/89, os critérios utilizados para a delimitação geográfica do semiárido eram baseados nas precipitações pluviométricas iguais ou inferiores a 800 mm (oitocentos milímetros). Com essa característica climática, os municípios eram inseridos na área de atuação da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste SUDENE.

A última atualização dos municípios pertencentes ao semiárido feita pela SUDENE foi em 1995, através da Portaria 1.181 do referido órgão. Com a extinção da Autarquia mencionada, passou-se para o Ministério da Integração Nacional a responsabilidade de posicionar-se acerca dos pleitos de inclusão dos municípios interessados em dispor de tratamento diferenciado das políticas de crédito e benefícios fiscais conferidos àquela parcela do território brasileiro.

A partir da constatação da insuficiência dos critérios estabelecidos anteriormente, o Ministério da Integração Nacional instituiu, em 2005, uma nova delimitação para a área em foco, atualizando os critérios de classificação, a partir de três variáveis climáticas ao invés de uma: precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 mm (oitocentos milímetros); 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; e risco de seca maior que 60%, tomando-se por base o período entre 1970 a 1990.

Com essa atualização, a área classificada oficialmente como Polígono das Secas ou região semiárida aumentou de 892.309,4 Km² para 969.589,4 Km² sendo, hoje, composta por 1.133 municípios, com uma população de 20.858.264 pessoas (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2005).

Estudos mais recentes, desenvolvidos pela EMBRAPA-COATSA, apontam para a existência de 172 unidades geoambientais no semi-árido brasileiro, distribuídas em 20 unidades de paisagem (QUEIROZ apud REBOUÇAS, 2001).

Tal diversidade de ambientes edafoclimáticos representa vantagens comparativas com reflexos vários sobre o processo produtivo no semiárido. São, sobretudo, novas oportunidades de negócios agrícolas, impossíveis de serem conseguidos em outras regiões do país e que dependem da água como fator essencial de desenvolvimento rural.

3.2. Ciclo hidrológico e recursos hídricos das regiões semiáridas

O ciclo hidrológico é o caminho que a água faz desde a atmosfera, passando por várias fases, até retornar à atmosfera. Segundo o ciclo hidrológico, as águas podem ser classificadas como:

- Meteorológicas – chuvas, neves, granizo.
- Superficiais – rios, lagos, reservatórios, etc.
- Subterrâneas – podem estar em dois aquíferos:
 - Freático: onde o lençol se encontra a pressão atmosférica (poço raso).
 - Artesiano: onde o lençol se encontra a pressão superior à da

Atmosfera.

Segundo Curi e Santos (2008), o ciclo da água inicia-se com a energia solar, incidente no planeta Terra, que é responsável pela evaporação das águas dos rios, reservatórios e mares, bem como pela transpiração das plantas; porém quando esta evaporação tem grandes valores, aliados a baixa quantidade de chuvas, tem-se o que é chamado de "seca".

A seca é um desastre natural considerado, por muitos, o mais complexo, embora o menos compreendido entre os riscos naturais e o que afeta mais pessoas que quaisquer outros riscos (HAGMAN, 1984). As secas têm causas de proporções planetárias e são influenciadas por diversos fatores, dentre os quais se destacam: a diferença de temperatura superficial das águas do Atlântico Norte, que são mais quentes e as do Atlântico Sul, frias; o deslocamento da Zona de convergência intertropical para o Hemisfério Norte, em épocas previstas para permanência no Sul e o aparecimento do fenômeno conhecido como El Niño, caracterizado pelo aumento da temperatura no Oceano Pacífico Equatorial Leste; além de tudo isto, as formas do relevo do Nordeste e a alta refletividade da crosta se apresentam como os principais fatores locais inibidores da produção de chuvas (SILVA, 2003).

Boa parte da superfície terrestre é coberta por áreas de climas áridos e semi-áridos, correspondendo a um terço das terras emersas do globo, o que equivale a 50.000.000km². Raya (1996), menciona que se pode estimar a superfície mundial semi-árida, variando entre 10 e 13% das terras do planeta. No que concerne à realidade brasileira, a área ocupada pelo semiárido é de aproximadamente 900.000 Km², o que conta com cerca de 10% da área total do Brasil, onde estão incluídos todos os estados do

Nordeste no contexto do semiárido, exceto o Maranhão, além do Norte de Minas Gerais, que fica na região Sudeste (ALBUQUERQUE e SOBRINHO, 2006).

Essas regiões comportam mais de 1 bilhão de habitantes ou mais de 20% da população mundial, que vivem em ambientes susceptíveis às ações antrópicas e onde o investimento agrícola é um dos mais onerosos do mundo constituindo, assim, sérios problemas para a população local visto que os habitantes dessas regiões têm, nas atividades primárias, sua principal fonte de sustentação econômica. Apesar da maior parte da superfície do nosso planeta ser constituído de água (3/4), 97% estão concentrados em mares e oceanos, restando apenas 3% de água doce, dos quais 75% formam as calotas polares e, dos 25% restantes, 98,8% são de águas subterrâneas, restando apenas 1,2% de águas superficiais (rios e lagos) de fácil acesso ao consumo humano (CEBALLOS, 1995).

Na região Nordeste do Brasil a água é um dos elementos limitantes ao seu desenvolvimento; as precipitações que aí ocorrem são irregulares, temporal e espacialmente. A alta taxa de evaporação e a natureza geológica cristalina da maioria do seu terreno, aliados à crescente demanda de água para abastecimento humano, animal e irrigação, dentre outros, conferem a esta região um balanço hídrico anual negativo.

O Semi-Árido brasileiro é um dos maiores, mais populoso e o mais úmido do mundo (MELO FILHO e SOUZA, 2006). Estende-se por 982.563,3 km² abrangendo 1.133 municípios dos Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Minas Gerais, Espírito Santo e Maranhão. Vivem nesta região 20.858.264 de pessoas (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2005).

O semi-árido Nordestino se caracteriza por temperaturas elevadas e chuvas relativamente escassas e irregulares, distribuídas em 3 a 6 meses do ano e um potencial de evaporação que supera, em muito, as alturas da precipitação (SILVA, et al.. 1987). No ambiente semi-árido os reservatórios estão submetidos a processos de evaporação elevada que causam concentrações de sais, deteriorando a qualidade da água, particularmente para consumo humano e para irrigação (TUNDISI, 2003).

Devido a essas características climáticas a região Nordeste possui um dos maiores índices de evaporação do Brasil, em virtude da baixa latitude, que se encontra muito próxima do Equador, localizando-se entre 1°S e 18°S, cujos raios solares incidem quase na vertical, de janeiro a dezembro, proporcionando elevadas médias térmicas e luminosidade (2.800 horas) durante todo o ano. Os ventos ficam secos,

quentes e com alta velocidade média (15 a 25km/h), e a temperatura atinge média que varia de 23 a 27°C, considerada muito elevada, condição que favorece a alta evaporação e alcança números em torno dos 2.000 mm/ano (MENDES, 2006).

Segundo Lucena (1998), cerca de 60% da Região Nordeste correspondem à zona de ocorrência das secas e é denominada Polígono das Secas, porém se encontram neste polígono regiões cuja pluviometria ultrapassa 800 milímetros, sendo um tipo de microclima da altitude, chamado “Brejo”, com precipitações abundantes, temperaturas mais amenas, umidade mais elevada, cerrações e nuvens frequentes. Para Cadier (1994), o clima dos brejos não pode ser qualificado de semi-árido pois representa um grande papel na economia regional e origina ou sustenta as nascentes de muitos rios.

A região semiárida da Paraíba compreende uma área de aproximadamente 48.785,3 km² (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2005) e se caracteriza, do ponto de vista geoambiental, pela diversidade de suas paisagens tendo, como elemento marcante, no quadro natural da região, a condição de semi-aridez que atinge grande parte do seu território e a alta variabilidade pluviométrica espacial e temporal inerente a esse tipo climático (SALES, 2002).

Vicente et al. (1993) citam que aproximadamente 99% do território paraibano são atingidos pelas secas periódicas, que possui uma extensão de 56.439,838 km² e uma população estimada em 2006 de 3.623.215 habitantes (IBGE, 2006). Segundo o GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA (1985), a hidrografia se caracteriza pela predominância de rios temporários, com regimes de vazão dependente da quantidade e da distribuição da precipitação pluviométrica.

Segundo Suassuna (2004), o Brasil possui 12% da água doce superficial do mundo, em que 70% estão na Região Norte, 15% no Centro-Oeste, 6% no Sul, 6% no Sudeste e apenas 3% no Nordeste.

Considerada solvente universal, é neste meio que se encontram dissolvidos sais minerais, matéria e gases essenciais à vida; é neste ambiente também, que o homem lança os subprodutos resultantes das suas atividades, causando a sua degradação, que ocorre de vários modos, incluindo a poluição térmica, que é a descarga de efluentes a altas temperaturas; a poluição física, que é a descarga de material em suspensão; poluição biológica, que é a descarga de bactérias patogênicas e vírus e, enfim a poluição química, que pode ocorrer por deficiência de oxigênio, toxidez e eutrofização (BARRETO, 2007).

De modo geral, a água é usada para abastecimento doméstico, fonte de proteínas, abastecimento industrial, irrigação, navegação, produção de energia, recreação e diluição de despejos; sua utilização mais importante é o abastecimento doméstico e a menos nobre, mas necessário, é a diluição de despejos, em virtude da forma desordenada em que vem sendo feito, tem gerado muita poluição hídrica (ARAÚJO, 2000). A disponibilidade renovável de água doce nos continentes pode ser estimada em porcentagens, da seguinte forma: África 10,0%, América do Norte 18,0%, América do Sul 23,1%, Ásia 31,6%, Europa 7,0%, Oceania 5,3% e Antártida 5,0% (DAEE, 2007).

Conforme UNIAGUA (2007), os Recursos Hídricos do Mundo disponíveis para consumo estão assim distribuídos: 70% são direcionados à agricultura, 22% à indústria e 8% para uso da população. O consumo total de água e, hoje de 200 quilômetros cúbicos/ano mas poderá chegar a 360 quilômetros cúbicos/ano, em 2025, mantida a tendência de crescimento populacional mundial (NORONHA, 2006).

3.3. Bacias hidrográficas

Segundo Rocha e Kurtz (2001), bacia hidrográfica é uma área delimitada por um divisor de águas, que drena as águas de chuva, por ravinas, canais e tributários, para um curso principal, com vazão efluente convergindo para uma única saída, e desaguando diretamente no mar ou em um grande lago.

Para Coimbra (1995), a bacia hidrográfica é um sistema aberto, com entrada e saída de energia uma vez que a água se interrelaciona com outros recursos, sendo o solo, vegetação, litologia e estrutura das rochas, não podendo ser separada do meio ambiente e que qualquer mudança nele introduzida poderá afetar sua quantidade e qualidade. O autor destaca a bacia hidrográfica como *“uma unidade natural de análise da superfície terrestre, onde é possível reconhecer e estudar as interrelações existentes entre os diversos elementos da paisagem e os processos que atuam na sua esculturação”*.

Sendo usada como área delimitada para manejo e planejamento, é a forma mais adequada tecnicamente para programação de recuperação e preservação dos recursos naturais, como: solo, água e vegetação. O estudo do manejo integrado de bacias hidrográficas é usado para avaliar os efeitos sociais, econômicos e ambientais,

das políticas alternativas de manejo e desenvolvimento, como também para determinar eficientes alocações da água de acordo com sua qualidade.

No início da década de 70, com o propósito de melhorar o conhecimento e adaptar a sua estrutura para atender à área hidrológica, o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), órgão já extinto e substituído pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), classificou em oito, as grandes bacias do Brasil: Bacia 1 – Bacia do rio Amazonas, Bacia 2 – Bacia do rio Tocantins, Bacia 3 – Bacia do Atlântico, Trecho Norte/Nordeste, Bacia 4 – Bacia do rio São Francisco, Bacia 5 – Bacia do Atlântico, Trecho Leste, Bacia 6 – Bacia do rio Paraná, Bacia 7 – Bacia do rio Uruguai e Bacia 8 – Bacia do Atlântico, Trecho Sudeste (ANAIS XII, 2005).

A Bacia do Atlântico, Trecho Norte/Nordeste, banha extensa área dos Estados do Amapá, Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, e parte do Estado da Paraíba, Pernambuco, Pará e Alagoas. Inclui-se nesta região o ponto mais oriental do País, Ponta do Seixas na Paraíba. Possui uma vazão média anual de 6.800 m³/s e tem uma área de drenagem de 996.000 Km², composta por dois trechos: Norte e Nordeste. O Trecho Norte corresponde à área de drenagem dos rios que deságuam ao norte da Bacia Amazônica. O segundo trecho, Nordeste, corresponde à área de drenagem dos rios que deságuam no Atlântico, entre a foz do rio Tocantins e a do rio São Francisco (ANEEL, 2006).

Estima-se que o Brasil detém 13,8% da disponibilidade hídrica mundial, tornando-o, em termos quantitativos, um dos países mais ricos do mundo em águas doces, representando uma média per capita de, aproximadamente, 32.000 m³. Entretanto, a distribuição regional deste recurso é bastante heterogênea, devido à sua dimensão territorial e à ampla diversidade climática. A bacia hidrográfica amazônica, por exemplo, contempla 48,5% desta disponibilidade, porém, pouco ocupada e desenvolvida industrialmente, quando comparada às demais regiões; a bacia do Atlântico Leste, considerada a mais crítica, apresenta um quadro de baixa disponibilidade hídrica associado a uma concentração populacional mais elevada. Estas bacias apresentam uma disponibilidade hídrica média per capita de grande amplitude, variando de 628.938 a 1.835 m³ hab⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. Apesar de este valor parecer baixo, é considerado razoável de acordo com estimativas das Nações Unidas, que recomendam um mínimo de 1.000 m³ hab⁻¹ ano⁻¹ (Freitas e Santos, 1999).

Diante deste cenário, o maior desafio a ser enfrentado pela humanidade neste século, talvez não seja a escassez de água, mas um adequado gerenciamento dos recursos hídricos em níveis global e regional, de forma consciente e participativa, envolvendo todos os atores do processo, tendo início com a educação ambiental.

As bacias hidrográficas do Nordeste correspondem a 18% das Bacias brasileiras, colocando a região em terceiro lugar, atrás apenas das regiões Norte e Centro Oeste. No entanto, apesar de sua grande extensão territorial, a hidrografia nordestina é considerada modesta, devido ao caráter intermitente e irregular de grande parte de seus rios, cujo condicionante principal é o clima semi-árido, que domina grande parte da região. O maior destaque na hidrografia nordestina é o Rio São Francisco, que possui uma bacia com cerca de 490 mil km² e cabeceiras em áreas de precipitação fora da região Nordeste (LEITAO, 2005).

Segundo PERH (2005), o Estado da Paraíba está dividido em 11 bacias hidrográficas: bacia do rio Paraíba, bacia do rio Abiaí, bacia do rio Gramame, bacia do rio Miriri, bacia do rio Mamanguape, bacia do rio Camaratuba, bacia do rio Guaju, bacia do rio Piranhas, bacia do rio Curimataú, bacia do rio Jacu e bacia do rio Trairi. As cinco últimas são bacias de domínio federal.

A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, com área de 20.071,83 km², compreendida entre as latitudes 6°51'47'' e 8°18'12'' Sul e as longitudes 34°47'37'' e 37°21'22'' Oeste de Greenwich, é a segunda maior do Estado da Paraíba, pois abrange 38% do seu território, abrigando 1.828.178 habitantes que correspondem a 52% da sua população total (PERH, 2005). Considerada uma das mais importantes do semi-árido nordestino, ela é composta pela sub-bacia do rio Taperoá, sub-bacia do alto curso do rio Paraíba (objeto desta pesquisa), médio curso do rio Paraíba e baixo curso do rio Paraíba. Possui uma grande densidade demográfica, porque nesta bacia estão incluídas as cidades de João Pessoa, capital do Estado e Campina Grande, seu segundo maior centro urbano (CERH-PB, 2004).

O surgimento de constantes conflitos quanto aos usos e limitações da água levam a uma necessidade de conhecimento das potencialidades hídrica das bacias hidrográficas, desta forma há necessidade não apenas de se conhecer os recursos hídricos de superfície, mas também de se caracterizar hidrogeologicamente as bacias hidrográficas, destacando-se as diferentes classes de água e seus parâmetros hidrogeológicos.

3.4. Principais formas de armazenamento de água

Conforme UNIAGUA (2007), os Recursos Hídricos do Mundo disponíveis para consumo estão assim distribuídos: 70% são direcionados à agricultura, 22% à indústria e 8% para uso da população. O consumo total de água e, hoje de 200 quilômetros cúbicos/ano mas poderá chegar a 360 quilômetros cúbicos/ano, em 2025, mantida a tendência de crescimento populacional mundial (NORONHA, 2006).

O abastecimento de água tem uma significativa participação na qualidade de vida das comunidades. Nas áreas de secas frequentes, particularmente, a questão é mais grave, tendo em vista que se somam os problemas advindos da pequena disponibilidade hídrica e os de gestão da água existente, que estão associados as formas de captação e armazenamento, para suprir as necessidades da população e oferecer melhores condições de vida em momentos de escassez hídrica.

Costa (1994), relata que não há dúvida de que o melhor aproveitamento da açudagem passa pela interação com outras fontes de água, destacando-se os poços tubulares e as cisternas como os mais adequados – inclusive em termos sanitários – para o abastecimento doméstico.

Rebouças (1997) descreve que a açudagem pública apresenta um balanço de aproximadamente 1200 a 1500 reservatórios de capacidade superior a 100 mil m³, com cerca de 450 barragens de mais de um milhão m³ e número menor de açudes entre 2 e 4 bilhões de m³. Alguns açudes públicos foram construídos ao longo de dezenas de anos, tal como o de Cedro, Quixada (CE), cujo projeto datava de 1884 mas só concluído em 1906, ou seja, 22 anos depois.

No que se refere as formas de armazenamento de águas no semiárido brasileiro, as alternativas a seguir mostram alguns exemplos de como se processa tal mecanismo:

- Açudes - De acordo com o IGAM (2008), é um lago formado pelo barramento de uma nascente ou curso d'água, em geral para fins de irrigação, dessedentação etc, denominando-se açude o conjunto constituído pela estrutura de barramento e o respectivo reservatório ou lago formado. Esses reservatórios são de grande importância estratégica para o fornecimento de água à população, representando, principalmente nos períodos de seca, as únicas fontes de abastecimento local. Na região

semiárida, por exemplo, os açudes são alimentados nos períodos de "cheia", onde a elevada precipitação concentrada em poucos meses, semanas ou dias, aliados ao embasamento rochoso cristalino, favorecem o acúmulo de água; Segundo dados da SUDENE, existem hoje, distribuídos pelo polígono das secas, cerca de 70.000 açudes de pequeno porte, cujos estudos se encontram num nível bastante incipiente (SOUZA e MOTA, 1995).

- Cisternas - bastante frequentes na paisagem no semiárido brasileiro, principalmente em decorrência das ações desencadeadas pelo Programa de Formação e Mobilização Social para Convivência com o Semiárido (P1MC): um milhão de cisternas rurais (ASA BRASIL, 2007). São depósitos construídos em alvenaria e destinados a captar as águas de chuvas precipitadas sobre telhados, pátios e superfícies limpas. A água é captada por meio de estruturas simples, como calhas feitas com chapas metálicas, sendo conduzida por meio de condutos abertos ou fechados (canais ou tubos, respectivamente) para as cisternas. A título de curiosidade, uma cisterna de placas, por exemplo, com capacidade para armazenar até 15 mil litros de água, tem baixo custo de fabricação, ou seja, cerca de R\$ 1.000, 00 (hum mil reais) e é o suficiente para garantir água de boa qualidade para uma família de 6 a 7 pessoas, durante todo o ano);
- Barragens subterrâneas - barramentos subterrâneos feitos transversalmente nos leitos aluviais dos rios, que propiciam a formação de pequenos "oásis" em sua área de influência. A água proveniente da chuva se infiltra lentamente, criando e/ou elevando o lençol freático, que será utilizado posteriormente pelas plantas (IGAM, 2008). Podem ser usadas tanto para o abastecimento público quanto para a subirrigação. Exploram as águas subsuperficiais dos rios, quando estes deixam de escoar as águas superficiais; Segundo Gnadlinger (2005) as barragens aproveitam as águas das enxurradas e de pequenos riachos disponíveis na região, armazenando-a no solo e como a umidade adquirida no período chuvoso permanece por um tempo maior no solo, podem ser plantadas fruteiras, hortaliças e culturas anuais.
- Cacimbas - são escavadas, na maioria das vezes, à pequenas profundidades e com técnicas rudimentares. São usados, de modo geral, na captação da

água do lençol freático. Não necessariamente necessitam de estruturas de alvenaria e dão vazões geralmente pequenas, sendo apenas suficientes para o uso pecuário, principalmente em função dos elevados níveis de salinidade presentes na água. Gnadlinger (2005) cita que as águas subterrâneas constituem-se em uma alternativa de uso pelas famílias para ao atendimento de suas necessidades hídricas no período seco, e, principalmente para o consumo dos animais. A desvantagem desta fonte é que, normalmente, a qualidade não é adequada a todos os usos, apresentando, na maioria das vezes, elevada salinidade.

- Poços tubulares ou artesianos - são poços que exploram o lençol freático a grandes profundidades que exploram os lençóis artesianos ou confinados podendo ser jorrante ou não. São construídos por meio de máquinas de perfuração, têm diâmetros pequenos e são revestidos com tubos. A água chega a superfície do solo por meio de uma estação elevatória. O armazenamento da água é feito em depósitos construídos na superfície (IGAM, 2008);
- Poços amazonas - são aqueles que exploram o aquífero aluvial, construídos em alvenaria, com diâmetro de 4 a 6 m e vazão de 4 a 5 m³h⁻¹. São indicados para áreas de lençol freático mais alto e de grande poder de recarga. Mello (2001) relata que o poço amazonas feito com anéis de cimento recolhe, na sua base, as águas subterrâneas provindas da infiltração da água das chuvas. Pode ser construído em qualquer vale ou baixio, além de aproveitar a bacia da barragem subterrânea.

3.5. Indicadores de qualidade das águas

Os recursos naturais usados pelo homem em atividades agrícolas, áreas urbanas e na indústria, aliados aos processos naturais, como a variação da precipitação, intemperismo das rochas e erosão, alteram a qualidade das águas tornando-as inadequadas para usos mais exigentes (MENDIGUCHÍA et al., 2004).

Sperling (2005) salienta que a qualidade da água é resultante dos inúmeros processos que ocorrem na bacia de drenagem do corpo hídrico, estando relacionada diretamente com o uso e ocupação do solo, permitindo, muitas vezes, diagnosticar

possíveis causas dos impactos ambientais sobre os recursos naturais. Analisando as fontes de poluição, pode-se dizer que a agricultura e outras atividades agropecuárias, principalmente os resíduos da bovinocultura e suinocultura (Moraes & Paula Júnior, 2004), têm importante influência na contaminação dos mananciais, compreendendo atividades de alto potencial degradador (Merten & Minela, 2002). Cabe ressaltar, também, que o uso e o manejo do solo em áreas agrícolas acarretam alterações na qualidade das águas superficiais (Andrade et al., 2007a).

Helmer & Meybeck (1997), mencionam que a poluição dos recursos hídricos pode resultar de fontes pontuais e não pontuais comumente denominadas de fontes difusas de poluição. As fontes pontuais dão origem a concentrações elevadas, localizadas em plumas que podem permanecer estratificadas em um aquífero por longo tempo; por outro lado, as fontes difusas tendem a criar uma estratificação regionalizada e os mananciais de superfície e poços produzem uma mistura contaminada e não contaminada em proporções crescentes com o tempo (MANOEL FILHO, 1997).

Os resíduos industriais, como também os esgotos domésticos das cidades, são caracterizados como fontes pontuais de poluição, podendo ser mais facilmente coletados, tratados ou controlados, embora, muitas vezes, esses resíduos, sem tratamento prévio têm como destino final os cursos de água, causando sérios impactos à biota, aos recursos hídricos, ao homem e demais componentes do sistema. As fontes pontuais de poluição são regulamentadas por leis ambientais que impõem limites sobre os tipos e as concentrações de compostos químicos que as fontes hídricas podem receber.

No Brasil, conforme Hespanhol (1999), apenas 55% no setor urbano e 3% no rural dispõem de serviços de saneamento. Este autor não faz referências aos percentuais de esgotos tratados, citando que a capacidade de tratamento de esgotos da região metropolitana de São Paulo é de 45%. Dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico revelam que 97,9%, do total de 5.507 municípios brasileiros, têm serviço de abastecimento de água e 52,2% dispõem de serviços de esgoto sanitário; porém, somente 20,2%, correspondendo a 1.112 municípios, contemplam simultaneamente os três serviços essenciais: abastecimento, coleta e tratamento do esgoto (Oliveira, 2002) e, conseqüentemente, em 80% dos municípios esses resíduos são lançados sem nenhum tratamento diretamente no ambiente, muitos dos quais nos

rios, que, em geral, não têm capacidade de depuração desses resíduos devido às suas baixas vazões, tornando, assim, as águas inadequadas para alguns usos.

A poluição não pontual ou difusa tem na atividade agrícola uma das principais responsáveis, que, pela facilidade de difusão dos resíduos no ambiente, são mais difíceis de serem monitoradas. Portanto, as medidas de controle devem se basear, principalmente, na educação ambiental e em práticas agrícolas e de uso da terra adequadas. Este tipo de poluição, muitas vezes, está relacionado com a ineficiência de alguns sistemas de produção que utilizam insumos de forma inadequada e parte destes insumos retorna como efluentes às águas superficiais e subterrâneas, contendo grandes quantidades de sais, nutrientes, pesticidas e sedimentos, contribuindo para deterioração de sua qualidade e redução da disponibilidade de água nas fontes (Sagardoy, 1993; Ongley, 1996; 2001; Meybeck e Helmer, 1997; OMM, 1997; Rhoades et al., 1999).

Com relação à agricultura como fonte difusa de poluição dos recursos hídricos, uma vez que esta se desenvolve em simbiose com os elementos terra e água versus atividades humanas, Sagardoy (1993) recomenda ações voltadas para o estabelecimento de sistemas economicamente viáveis de monitoramento da qualidade da água; prevenção dos efeitos adversos das atividades agrícolas sobre a qualidade da água por meio da otimização do uso de insumos; estabelecimento de critérios biológicos, físicos e químicos da qualidade da água para os usuários agrícolas e para os ecossistemas marinho e fluvial; proteção dos solos contra o transporte por erosão e a sedimentação; métodos adequados de tratamento de esgotos; redução dos efeitos adversos dos defensivos agrícolas pelo manejo integrado de pragas, e educação das comunidades quanto aos impactos da poluição pelo uso de defensivos e fertilizantes na qualidade da água e dos alimentos.

A partir dos anos 1990, surgiu o interesse no desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade por parte de vários setores da sociedade, governo, sociedades civis, institutos de pesquisa e universidades em todo o mundo. No ano de 2001, a United Nations propôs o desenvolvimento de índices para apoio a gestão dos recursos hídricos, sendo que, no ano 2000, os pesquisadores do Oxford Center Water Research (OCWR) desenvolveram o Índice de Pobreza Hídrica (IPH) que foi inicialmente aplicado em países africanos e foi sendo adaptado e aplicado em outras regiões de áreas áridas e semiáridas (LUNA, 2007).

3.6. Principais usos da água

3.6.1. Consumo humano

Várias são as necessidades do homem com relação à água, algumas indispensáveis para a condição ideal de vida. Identificar a quantidade de água de que cada pessoa necessita por dia, é uma tarefa difícil. Se considerar a média ingerida para matar a sede, dois litros são uma boa resposta porém as necessidades humanas vão muito além, isto é, precisa-se de água de boa qualidade para lavar e preparar alimentos, asseio corporal, lavar roupas, talheres etc.

Em estimativa que leve em consideração a totalidade do consumo, este cresce a dezenas de litros por dia, podendo chegar a centenas, dependendo do modo de vida da sociedade em questão.

Quem mora em favelas sem água encanada, consome de 10 a 30 litros por dia, número baixo se comparado com aquele que mora em casa ou apartamento e possui máquinas de lavar roupa e louça, cujo gasto pode chegar a 500 litros por dia. Em países desenvolvidos o consumo chega a 1000 litros diários. Na cidade de Nova York a média diária é de 2000 litros e em algumas comunidades africanas, a média é de 12 litros diários (PELEGRINI, 2005).

3.4.2. Dessedentação animal

Nas regiões áridas e semi-áridas os animais consomem em geral, águas de qualidade inferior, durante vários meses do ano. Comumente, essas águas contêm altos níveis de sais e provocam desarranjos fisiológicos e até morte; o efeito mais comum é a falta de apetite que tem sua origem não apenas de um desequilíbrio no conteúdo de água nos tecidos mas, também, de uma toxicidade iônica, sendo o magnésio o elemento que provoca diarreia no gado (AYERS e WESTCOT, 1999).

Com a finalidade de evitar perdas econômicas a Academia Nacional de Ciências dos EUA (1972) apud Ayers e Westcot (1999), estabeleceu que, do ponto de vista da salinidade, as águas com condutividade elétrica inferior a 8 dS.m^{-1} são satisfatórias para o gado, praticamente em qualquer circunstância; entretanto, em regiões áridas e semi-áridas muitas vezes é necessário usar as águas que excedem este limite. Os íons responsáveis pela salinidade não são muito tóxicos em sua maioria;

assim, as normas da Australian Water Resources Council, (1969) apud Ayers e Westcot (1999), recomendam que se deve considerar o magnésio principalmente quando a salinidade excede os $6,6 \text{ dS.m}^{-1}$ (4.000 mg/l^{-1}) nas águas para o gado bovino e 10 dS.m^{-1} (6.000 mg/l^{-1}) nas águas para ovinos.

3.4.3. Irrigação

Agricultura é a arte ou processo de se usar o solo para cultivar plantas, com o objetivo de obter alimentos, fibras, energia, matéria-prima para roupas, construções, medicamentos, ferramentas e contemplação estética (WIKIPÉDIA, 2013).

Bernardo et al. (2006) relatam que a história da irrigação se confunde com a do desenvolvimento e prosperidade econômica dos povos, sendo fator de riqueza, prosperidade e, conseqüentemente, de segurança. As antigas civilizações tiveram suas origens em regiões áridas, em que a produção só era possível graças a esta técnica (DAKER, 1988). Hoje em dia, porém, os dados citados por Shiklomanov (1997), que eram de quase 67% da água global retirada e 87% da água de uso consultivo (água retirada menos o fluxo que retorna) destinados à irrigação das plantas, podem ter alterado, porém estimativas mundiais de produção indicam que nos 260 milhões de hectares irrigados, que correspondem a 17% da área plantada, produz-se cerca de 40% da safra. No Brasil, estimativas indicam valores de quase 3,2 milhões de hectares, correspondendo a 5% da área cultivada, 16% da produção total e 35% do valor econômico da produção (BERNARDO et al., 2006).

Existe um conflito natural entre o uso da água para agricultura e o abastecimento humano, em algumas regiões brasileiras, sobretudo quando a demanda é muito alta, como para irrigação de arroz por inundação. A solução deste tipo de conflito passa pelo aumento da eficiência dos sistemas de irrigação e pelo gerenciamento adequado dos efluentes agrícolas quanto à contaminação (TUCCI, 2004).

As águas superficiais e subterrâneas são originadas das precipitações, sendo que estas se constituem na fonte natural de irrigação das explorações de sequeiro. A salinidade das águas pluviais é baixa, com uma CE da ordem de $0,010 \text{ dS m}^{-1}$ (MOLLE e CADIER, 1992), o que favorece a dispersão de partículas do solo causando problemas de infiltração (AYERS e WESTCOT, 1999). A rigor, todas as águas

naturais, quer sejam elas de origem pluvial, superficial (rios, lagos e açudes) ou subterrânea (poços e cacimbas), contêm sais dissolvidos em quantidades variadas (HOLANDA e AMORIM, 1997).

Vários autores relatam que a qualidade natural da água resulta da consequência da sua origem e dos processos físico-químicos naturais nos seus diversos percursos. Sousa (2006) relata que a composição química da água de irrigação é relevante quando se pretende irrigar, pois o aporte de diferentes sais ao solo poderá influenciar especificamente na absorção de nutrientes minerais, com repercussões negativas no metabolismo da planta e na sua produtividade.

Futuramente, para se produzir alimentos para a crescente população, a área com agricultura irrigada terá que ser consideravelmente expandida, porém ainda não se sabe se haverá água disponível para esta expansão. Com o provável aumento de exigência de água para consumo humano e setores industriais, até mesmo regiões que hoje não sofrem escassez de água para a agricultura, poderão ser afetadas, comprometendo o desenvolvimento das áreas irrigadas e, assim, possivelmente, a segurança de alimentos das populações pela baixa disponibilidade de água.

3.5. Classificação das águas

A ABNT (NBR 9896, 1987) preconiza que os padrões de qualidade são constituídos por um conjunto de parâmetros e seus respectivos limites, sendo estabelecidos com base em critérios científicos que avaliam o risco para um dado ser e os danos causados pela exposição a uma dose conhecida de um determinado poluente. Um critério científico significa uma quantidade limite fixada para um determinado parâmetro que estando dentro dos limites máximos (ou mínimos, conforme a natureza do constituinte), protegerá os usos desejados para um determinado corpo d'água, dentro de um grau de segurança. Dessa forma o padrão de qualidade, para garantir um determinado uso, deve ser no mínimo igual ao critério de qualidade para esse uso (PROENÇA, 2004).

Dentre os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos está o enquadramento dos corpos d'água segundo os usos preponderantes, que conforme o art. 9º da Lei 9.433/97, visa “assegurar às águas qualidade compatível com os usos

mais exigentes a que forem destinadas; e diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes”.

A seleção de parâmetros da qualidade da água na região semiárida alicerça-se na resolução nº 357, de 17 de Março de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, a qual dispõe sobre a classificação dos corpos aquáticos e diretrizes para o seu uso. Esta resolução é um instrumento legal para a avaliação da qualidade das águas do Território Nacional, que são classificadas nas categorias doces, com salinidade igual ou menor que 0,5 ‰; salobras, as de salinidade entre 0,5 e 30 ‰ e salinas, as águas com salinidade acima de 30 ‰, divididas também, conforme o objetivo de uso, em treze classes de qualidade. Para as águas doces classes especial, 1, 2, 3 e 4; para as águas salobras classes especial, 1, 2, e 3, e, para as águas salinas, em classes especial, 1, 2 e 3 (CONAMA, 2005). Nesta resolução consta que o enquadramento dos corpos hídricos é definido pelos usos preponderantes mais restritivos da água, atuais ou pretendidos.

Os padrões de potabilidade para as águas destinadas ao abastecimento humano são estabelecidos segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), que define como água potável aquela que apresenta aspecto límpido e transparente; não apresenta cheiro ou gosto desagradável; não contém nenhum tipo de microrganismo que possa causar doença e não contém nenhuma substância em concentrações que possam causar qualquer tipo de prejuízo à saúde.

As águas doces até a classe 3 podem ser utilizadas para abastecimento humano (potável) após o tratamento adequado; uma vez realizado este tratamento, ela deve estar de acordo com os parâmetros da portaria nº 518 de 25 de Março de 2004 do Ministério da Saúde (Tabela 1), a qual estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água e seu padrão de potabilidade destinada ao consumo humano.

Quando cita as metodologias analíticas para determinação dos parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e de radioatividade, a referida portaria afirma que elas devem atender às especificações das normas nacionais que disciplinem a matéria da edição mais recente da publicação Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, de autoria das instituições American Public Health Association (APHA, 1998), American Water Works Association (AWWA) e Water Environment Federation (WEF), ou das normas publicadas pela ISO (International Standardization Organization) (VISALEGIS, 2004).

Tabela 1. Padrão da água para consumo humano, segundo a Portaria nº 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde. Campina Grande, 2013

PARÂMETRO	Unidade	VMP (1)
Alumínio	mg/L	0,2
Amônia (como NH ₃)	mg/L	1,5
Cloreto	mg/L	250
Cor Aparente	Uh ⁽²⁾	15
Dureza	mg/L	500
Etilbenzeno	mg/L	0,2
Ferro	mg/L	0,3
Manganês	mg/L	0,1
Monoclorobenzeno	mg/L	0,12
Odor	-	Não objetável ⁽³⁾
Gosto	-	Não objetável ⁽³⁾
Sódio	mg/L	200
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	1.000
Sulfato	mg/L	250
Sulfeto de Hidrogênio	mg/L	0,05
Surfactantes	mg/L	0,5
Tolueno	mg/L	0,17
Turbidez	UT ⁽⁴⁾	5
Zinco	mg/L	5
Xileno	mg/L	0,3
pH		Faixa de 6,0 a 9,5

⁽¹⁾ Valor Máximo Permitido

⁽²⁾ Unidade Hazen (mg Pt-CO/L)

⁽³⁾ Critério de Referência

⁽⁴⁾ Unidade de Turbidez

Para consumo animal, citado por Ayers & Westcot (1999), a Academia Nacional de Ciências dos EUA classifica a água recomendando parâmetros de salinidade entre 1,5 e 16 (dS/m⁻¹), conforme a Tabela 2.

Conforme Ayers & Westcot (1999), com exceção do magnésio, os íons responsáveis pela salinidade não são muito tóxicos em sua maioria. Assim, as normas Australianas, recomendam que se deva considerar o Mg, sobretudo, quando a salinidade exceder 6600 uS m⁻¹ (4.000 mg L⁻¹) nas águas para o gado bovino e 10000 uS m⁻¹ (6.000 mg L⁻¹) nas águas para ovinos. Na Tabela 3 são apresentados os níveis toleráveis de magnésio que a Australian Water Resources Council (1969) citado por Ayers & Westcot (1999).

Tabela 2. Classificação das águas para consumo animal (bovinos e aves). Campina Grande, 2013

Salinidade da água (dS/m)	Classe	Observações
< 1,5	Excelente - A	Adequada para todas as classes
1,5 – 5,0	Muito satisfatória - B	Provoca diarreia em gado não acostumado e excrementos aquosos nas aves
5,0 – 8,0	Satisfatória para o gado Não satisfatória para as aves - C	Pode produzir diarreia temporária ou não ter aceitabilidade por animais não acostumados Aumento de mortalidade e redução de crescimento, sobretudo em perus
8,0 – 11,0	De uso limitado para o gado. Não apta para as aves - D	Evitar para fêmeas prenhas e em lactação Não é adequada para as aves domésticas
11,0 - 16,0	De uso limitado - E	Grande risco para vacas lactantes ou prenhas. Animais mais velhos podem subsistir em certas condições
>16,0	Não recomendável - F	Riscos muito grandes.

Fonte: National Academy of Science (1972, 1974), Apud Ayers & Westcot (1999), adaptada.

Tabela 3. Níveis sugeridos de Magnésio nas águas de consumo animal (bovinos e aves¹). Campina Grande, 2013

Aves e Gados	Concentração de Magnésio	
	mg L ⁻¹	meq L ⁻¹
Aves Confinadas ²	< 250	< 21
Suínos ²	< 250	< 21
Eqüinos	< 250	< 21
Vacas lactentes	< 250	< 21
Ovelhas e cordeiros	< 250	< 21
Bovinos de corte	< 400	< 33
Ovinos adultos alimentados com feno	< 500	< 41

¹Fonte: Australian Water Resources Council (1969) citado por AYERS & WESTCOT (1999).

²A tolerância das aves e suínos ao Mg é desconhecida, porém se estima que seja inferior a 250 mg L⁻¹.

Richards (1954), Shainberg e Oster (1978), apontam como características mais importantes que determinam a qualidade de uma água para uso de irrigação a concentração total de sais solúveis, concentração relativa de sódio e concentração dos íons tóxicos como parâmetros básicos.

Embora outros fatores possam influenciar a qualidade da água de irrigação com a variação e composição dos sais solúveis, estas variações não são muito acentuadas

para uma região. Estudos de Leprun (1983) indicam que a concentração dos principais íons presentes na água pode ser estimada a partir de sua condutividade elétrica, que expressa a concentração total de sais solúveis.

Richards (1954) classificou a água para irrigação baseando-se na condutividade elétrica da água (CEa) como indicadora de risco para salinização e a razão de adsorção do sódio (RAS), como indicadora de risco de sodificação do solo, em quatro classes. Esta classificação de água é aceita em todo o mundo e é recomendada pelo Laboratório de Salinidade do Solo dos Estados Unidos (BERNARDO, 2006).

Para salinidade, Richards (1954) dividiu as águas em quatro classes: C1, C2, C3 e C4; medidas essas que aumentam com a concentração de sais.

Com respeito à Razão de Adsorção de Sódio (RAS), ela se baseia essencialmente no efeito do sódio trocável nas condições físicas do solo, causando problemas de infiltração pela redução de permeabilidade (MENDES, 2007). Richards (1954), dividiu as águas em quatro classes tomando por base valores limites da RAS, em função da CEa,

Segundo Bernardo (2007), a linha de análise recomenda que águas para irrigação devem ser analisadas em relação a cinco parâmetros fundamentais: salinidade, permeabilidade do solo, concentração de elementos tóxicos (metais pesados, por exemplo), concentração de bicarbonatos e aspecto sanitário (contaminação por bactérias patogênicas).

Os problemas mais comuns com as águas destinadas à irrigação são a salinidade, velocidade de infiltração no solo, toxicidade, excesso de nutrientes e corrosão dos equipamentos de irrigação. Águas ricas em sódio ou muito pobres em cálcio e magnésio tendem a reduzir a permeabilidade dos solos, aumentam o encharcamento e dificultam a absorção de nutrientes pelas plantas. Águas quimicamente não perigosas aplicadas em solos pouco permeáveis podem causar sua salinização, sendo este um perigo frequente na região nordeste, razão pela qual Condutividade elétrica (CE) e RAS (Relação de Adsorção de Sódio) devem ser analisadas em conjunto (PERH, 2006).

A adequação da água de irrigação (Tabela 4) não depende unicamente do teor total mas, também, do tipo de sais. À medida em que o conteúdo de sais aumenta, os problemas do solo e das culturas se agravam, requerendo práticas especiais de manejo para manter rendimentos econômicos. A qualidade da água e/ou sua adaptabilidade à

irrigação se determinam também pela gravidade dos problemas que podem surgir depois do uso em longo prazo.

Cruz (1996) assegura que a qualidade de uma água se refere às suas características biológicas e físico-químicas. O grau de aceitabilidade da água para uso específico (abastecimento público, agricultura, pecuária, indústria, recreação, etc), depende da composição, da concentração e da influência das características mencionadas sobre a utilização. Pode ser representada através de diversos parâmetros que traduzem as suas principais características físicas, químicas e biológicas; a perda dessa qualidade pode comprometer seu uso.

Tabela 4. Parâmetros para interpretar a qualidade da água para irrigação. Campina Grande, 2008

Problema Potencial		Unidade	Valores Normais	Grau de Restrição de Uso			
				Nenhum	Baixo a moderado	Severo	
Salinidade							
	CEa ²	dS m ⁻¹	< 0,7	0,7	-	3	> 3,0
	SDT ³	mg L ⁻¹	< 450	450	-	2000	> 2000
Infiltração	RAS ⁴		CEa				
	0	-	3	> 0,7	0,7	-	0,2 < 0,2
	3	-	6	> 1,2	1,2	-	0,3 < 0,2
	6	-	12	> 1,9	1,9	-	0,5 < 0,5
	12	-	20	> 2,9	2,9	-	1,3 < 1,3
	20	-	40	> 5,0	5	-	2,9 < 2,9
Toxicidade de íon específico							
Sódio (NA)⁵							
	Irrigação superficial	RAS	< 3	3	-	9	> 9
	Irrigação por aspersão	meq L ⁻¹	< 3	> 3			
Cloreto (Cl)⁵							
	Irrigação superficial	meq L ⁻¹	< 4	4	-	10	> 10
	Irrigação por aspersão	meq L ⁻¹	< 3	> 3			
	Cálcio	meq L ⁻¹	0 – 20				
	Magnésio	meq L ⁻¹	0 – 5				
	Carbonatos	meq L ⁻¹	0 – 0,1				
	Sulfatos	meq L ⁻¹	0 – 20				
Outros íons que afetam culturas sensíveis							
	Nitrogênio (N – NO ³) ⁶	mg L ⁻¹	< 5,0	5	-	30	> 30
	Bicarbonato (HCO ₃) (para aspersão convencional)	meq L ⁻¹	< 1,5	1,5	-	8,5	> 8,5
	pH	Faixa normal: 6,5 – 8,4					

Fonte: Adaptada da University of California Commitee of Consultants (1974) Ayers & Westcot (1999).

NOTAS:

²CE_a = Condutividade elétrica da água, em dS m⁻¹ a 25°C.

³SDT = Sólidos Totais Dissolvidos (mg. L⁻¹).

⁴RAS = Relação de Adsorção de Sódio algumas vezes representada como Rna. Para determinado valor de RAS, a velocidade de infiltração aumenta à medida que aumenta a salinidade. Avalia-se o problema potencial de infiltração através da RAS e da CEa.

⁵A maioria das culturas arbóreas e plantas lenhosas são sensíveis ao sódio e ao cloreto; no caso de irrigação por superfície, usam-se os valores indicados.

⁶Significa nitrogênio em forma de nitrato expresso em termos de nitrogênio elementar.

Discorrendo sobre a salinidade da água, afirmam Ayers e Westcot (1999) que, quando sua qualidade piora, o controle se torna mais difícil; portanto, à proporção que a salinidade aumenta, deve-se tomar maior cuidado em lixíviar os sais da zona radicular, antes que alcancem concentrações perigosas e provoquem perdas. O conhecimento da qualidade, dos usos atuais e potenciais de cada trecho de um corpo d'água, é indispensável na implantação de projetos de abastecimento doméstico, pecuária e irrigação.

A qualidade das águas para consumo da população é determinada pela Organização Mundial da Saúde (OMS), adaptada para o Brasil pelo Ministério da Saúde e é importante aliado para a implementação de ações de saúde e ambiente, haja vista a importância da água para a vida humana, pecuária e agricultura. Com relação à pecuária as normas de qualidade das águas são ditadas, geralmente, por órgãos de pesquisas ou governamentais como, por exemplo, a Academia Nacional de Ciências dos EUA.

Outro parâmetro adotado para análise da água é a classificação e comparação de grupos distintos quanto aos íons dominantes, o qual se constitui em um passo inicial para o entendimento da química da água, que determinará os principais usos a que podem ser destinadas. Para tanto são utilizados diversos gráficos e diagramas, os quais permitem o manejo e o estudo de diferentes análises químicas, simultaneamente (LEMOS, et al., 2009). Dentre esses, o diagrama de Piper (1944) é um dos mais utilizados na classificação hidroquímica de águas, em que uma das suas principais vantagens é a possibilidade de se trabalhar com um grande número de análises, classificando diferentes grupos amostrados quanto aos íons dominantes. A representação gráfica pode evidenciar possíveis relações entre íons de uma mesma amostra ou ressaltar variações temporais ou espaciais existentes (LUCENA e ROSA FILHO, 2004; PIPER, 2008).

Outro diagrama utilizado foi o de Stiff, que compara a quantidade de cátions e ânions presentes na água, em função das Figuras geométricas formadas; por outro

lado, são muito úteis para a análise de dados distribuídos espacialmente, detectando-se facilmente águas de mesma família (homogêneas) (STIFF, 2008).

3.6. Índices de Qualidade das águas

A qualidade das águas para consumo da população é determinada pela Organização Mundial da Saúde (OMS), adaptada para o Brasil pelo Ministério da Saúde e é importante aliado para a implementação de ações de saúde e ambiente, haja vista a importância da água para a vida humana, pecuária e agricultura. Com relação à pecuária as normas de qualidade das águas são ditadas, geralmente, por órgãos de pesquisas ou governamentais como, por exemplo, a Academia Nacional de Ciências dos EUA.

A demanda crescente de água ao longo do tempo e a necessidade de um controle mais eficiente da sua qualidade impulsionou a criação de agências e órgãos reguladores; bem como o desenvolvimento de pesquisas para assessorar as atividades de controle e manejo (ANDRADE et al., 2005).

O desenvolvimento de índices de qualidade de água tem como objetivo transformar as informações, geradas pelos monitoramentos, em uma forma mais acessível e de fácil entendimento pelas pessoas envolvidas no gerenciamento deste recurso e, principalmente, pelas populações que utilizam estes mananciais. O IQA é empregado nas mais diferentes formas como uma metodologia integradora, por converter várias informações num único resultado numérico (ALMEIDA e SCHRWARZBOLD, 2003). Freire (2007) estudando bacias hidrográficas do estado do Ceará, recomenda desenvolver estudos de aprimoramento ou criação de índices de qualidade de água, adaptando-os às condições ecológicas dos corpos d'água do semi-árido.

Várias técnicas vêm sendo aplicadas por pesquisadores no desenvolvimento de IQA (HORTON, 1965; OTT, 1978, BOLLMANN & MARQUES, 2000), assim como Silva (2008), que desenvolveu um índice de qualidade de uso da água em cisternas domiciliares (IUA-CD), através da análise de parâmetros físico-químicos mensurados, tais como turbidez (NTU), condutividade (mS cm^{-1}), sal (mg L^{-1}), oxigênio dissolvido (mg L^{-1}), sólidos totais dissolvidos (mg L^{-1}) e cloretos (mg L^{-1}).

3.6.1. Índice de Qualidade de Água da National Sanitation Foundation (IQA-NSF)

De acordo com DERÍSIO (1992), em 1970, Brown, McClelland, Deininger e Tozer apresentaram um índice de qualidade de água bastante similar em sua estrutura, ao Índice de Horton e o estudo foi financiado pela National Sanitation Foundation. Este índice, IQA-NSF, combinou as opiniões de 142 especialistas, baseado na técnica de Delphi da Rand Corporation, através das respostas a vários questionários, tabuladas e retornadas a cada participante, para comparação de sua resposta com a dos demais participantes a fim de se chegar a um consenso.

O resultado desta pesquisa foi a indicação das variáveis de qualidade de água que deveriam entrar no cálculo, o peso relativo das mesmas e a condição em que se apresentava cada uma delas, de acordo com uma escala de valores. Inicialmente, foram selecionadas 35 variáveis indicadoras de qualidade da água e destas, nove foram selecionadas para compor o IQA-NSF. Para cada variável foi estabelecida curvas de variação da qualidade da água, de acordo com o estado ou condições de cada variável.

Atualmente o IQA desenvolvido pela *National Sanitation Foundation, NSF*, dos Estados Unidos (BRASIL, 2005; SILVA et al., 2006; LERMONTOV et al., 2008), é o índice mais largamente utilizado em diversos países do mundo para avaliar a qualidade dos corpos d'água e tendo como característica principal o poder de refletir a situação ambiental dos corpos hídricos de maneira acessível aos não técnicos.

É obtido por meio da indexação das informações dos parâmetros: Oxigênio Dissolvido (OD), Coliformes Termotolerantes (CT) e Potencial Hidrogeniônico (pH), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrato (NO₃), Fosfato Total (PO₄), Variação de Temperatura (ΔT), Turbidez (Tu) e os Sólidos Totais (ST). O somatório dos pesos totaliza o valor 1. O IQANSF é o produtório ponderado dos nove parâmetros de qualidade com seus respectivos pesos.

O propósito da atribuição de pesos para as variáveis de qualidade da água é denotar a importância de cada variável. Na atribuição do peso, o maior desafio é o fato de que pessoas diferentes têm opiniões diferentes sobre o peso de uma mesma variável. Assim, um IQA deve ser concebido combinando os pareceres de um grupo de peritos (LERMONTOV, 2009).

A aplicação dessa equação produz um número racional entre 0 e 100. Tal valor estará em um dos intervalos estabelecidos na tabela 8, e a qualidade da água será a variável lingüística correspondente ao intervalo em que se encontrar o valor numérico. Essa classificação seguirá um padrão rígido, ou seja, de acordo com o resultado obtido, enquadra-se a água em uma das classes, obedecendo à lógica clássica de pertinência.

Além do IQA desenvolvido pela NSF, também será adaptado e desenvolvido outros índices aliando as classificações de água existentes, como Richard (1954), UCCC, Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986, entre outras.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização do estudo

Esta pesquisa teve caráter descritivo, com abordagem quantitativa e qualitativa, caracterizada como bibliográfica, de campo e laboratorial.

Através das pesquisas bibliográficas dados gerais dos municípios estudados foram coletados, como: clima, vegetação e solo. O trabalho de campo e as análises laboratoriais foram financiados pela Fundação Nacional de Saúde – FUNASA, através do projeto “Metodologia para Localização de Obras Superficiais e Sub-Superficiais de Captação de Água e do Mapeamento de Zonas de Qualidade de Água – MAQUASU”.

Com o trabalho de campo foram coletadas 803 amostras de água em 58 municípios paraibanos, sendo 48 municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba (Figura 1) e outros 10 no entorno, nas nascentes das Bacias Mamanguape e Curimataú. Do total de amostras coletadas, 781 estão na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba

Em laboratório, essas amostras foram analisadas quanto aos aspectos físico-químicos.



Figura 1. Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, suas subdivisões e limites com outras bacias. Campina Grande, 2013

4.2. Características da área da pesquisa

Situada no extremo leste da região Nordeste, a Paraíba é um dos estados do Brasil onde a aridez é severa. O clima é tropical, prevalecendo o semi-árido no interior, com médias térmicas elevadas (em torno de 27°C) e chuvas escassas e irregulares. A vegetação de caatinga, típica do clima semi-árido, é predominante na região central do Estado, que possui o menor índice pluviométrico anual (336,6 mm em Cabaceiras), representando a cidade que menos chove no País (AESAs, 2006).

O estudo teve, como principal campo de investigação, a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, entre as latitudes 6°51'31" e 8°26'21"S e longitudes entre 34°48'35" e 37°2'15"W, nas áreas do agreste e cariri paraibano, compreendendo as sub-bacias do Taperoá, Alto Paraíba e Médio Paraíba (Figura 3). Corpos de água também foram analisados nas nascentes das bacias do Curimataú e do Mamanguape. Na Figura 2 está representada a rede de drenagem de águas do Estado da Paraíba destacando-se em tom mais escuro, o contorno da bacia hidrográfica do Rio Paraíba e as bacias, ao norte (Curimataú e Mamanguape).

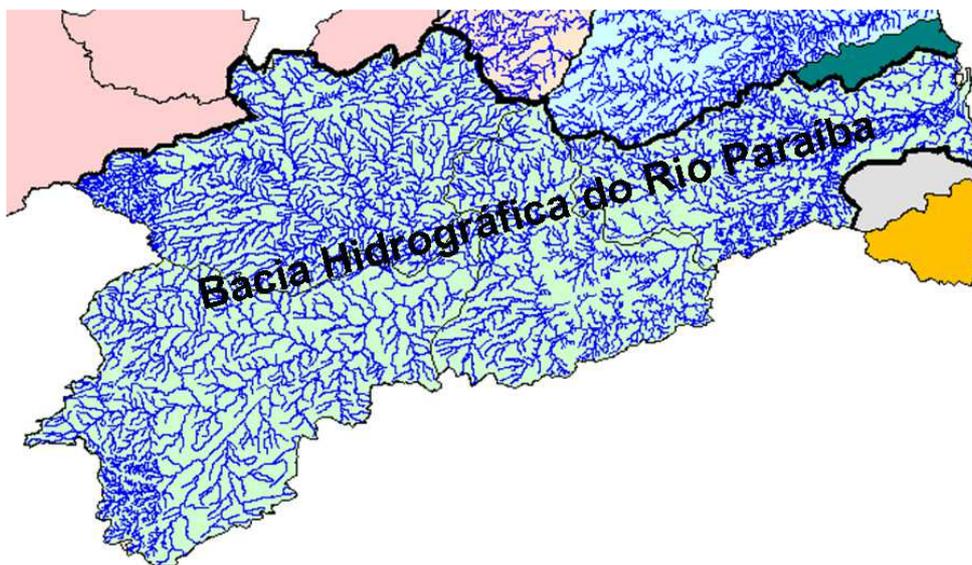


Figura 2. Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba com sua rede de drenagem. Campina Grande, 2013

A precipitação média da bacia é de 480,3 mm/ano (AESAs, 2006), e a maior concentração do total precipitado ocorre em período de dois a quatro meses, correspondendo a 65% de todas as chuvas anuais. A evaporação obtida a partir do tanque classe A varia de 2.500 a 3.000 mm/ano e os valores decrescem de oeste para

leste. A insolação ao longo do ano apresenta uma variação nos meses de janeiro a julho, de 7 a 8 horas diárias e, nos meses de agosto a dezembro, de 8 a 9 horas diárias (VITAL, et al. 2004).

A vegetação natural dominante é de caatingas hiperxerófila, hipoxerófila, floresta caducifólia e subcaducifólia. Em geral, as áreas desmatadas e utilizadas para a agricultura são ocupadas pelas culturas de palma forrageira, agave e algodão além de milho e feijão.

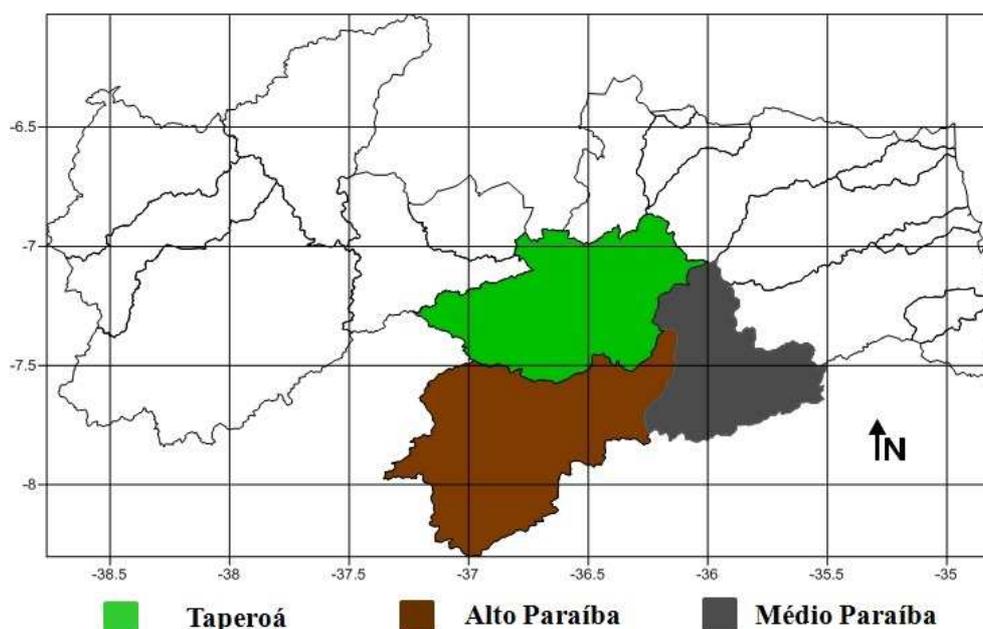


Figura 3. Sub-bacias Hidrográficas do Rio Taperoá, Alto Paraíba e Médio Paraíba. Campina Grande, 2013

O relevo apresenta setores ondulados, forte ondulados e montanhosos; os solos são do tipo Bruno Não Cálculo (de pouca espessura, que cobre todo o cristalino existente na área de abrangência da bacia), Litólicos, Solonetz Solodizado, Regossolos e Cambissolos (AESAs, 2006).

As águas coletadas para análise são de água corrente (Figura 4a), poços amazonas em baixios (Figura 4b) e no leito de córregos temporários (Figura 4b), cacimbas (Figura 4c) e cacimbões (Figura 4d).

Coletaram-se, também amostras de água em reservatórios utilizados para consumo humano (Figura 5a), consumo humano e animal (Figura 5b), consumo animal (Figura 5c) e irrigação (Figura 5d).

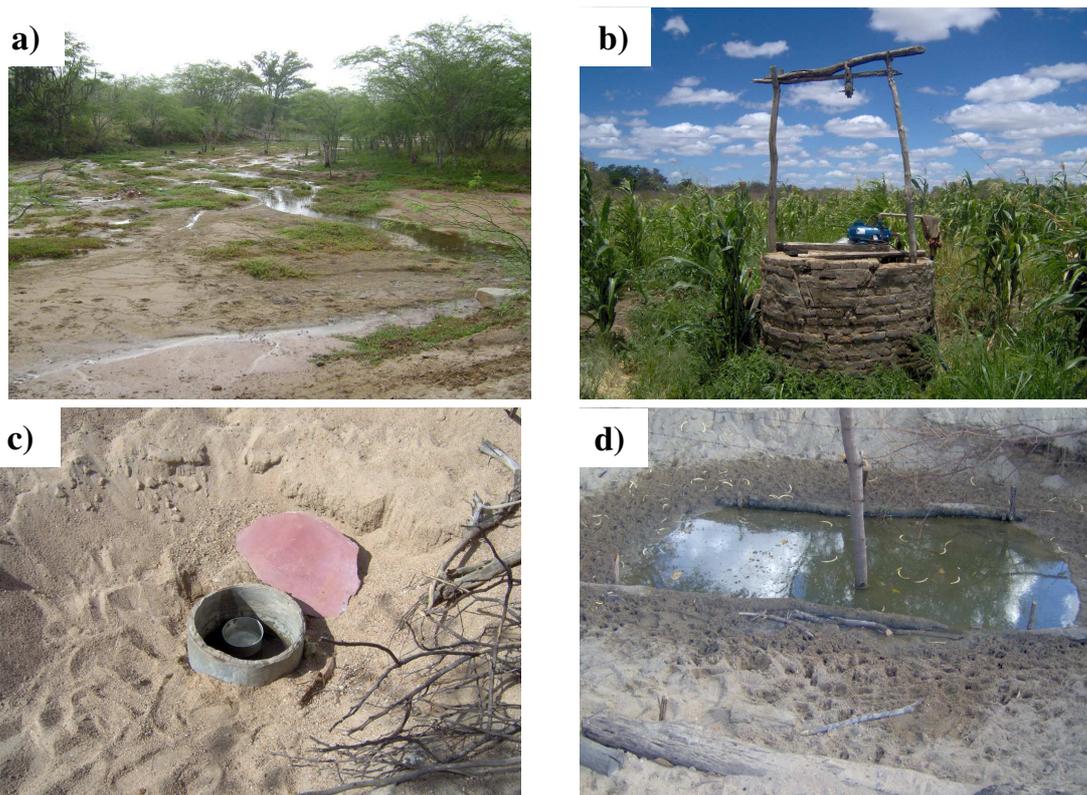


Figura 4. Água corrente em Alcantil (a), poço amazonas com motor elétrico para pequena irrigação em Serra Branca (b), cacimba em São João do Cariri (c) e cacimbões no leito do rio em São José dos Cordeiros (d). Campina Grande, 2013

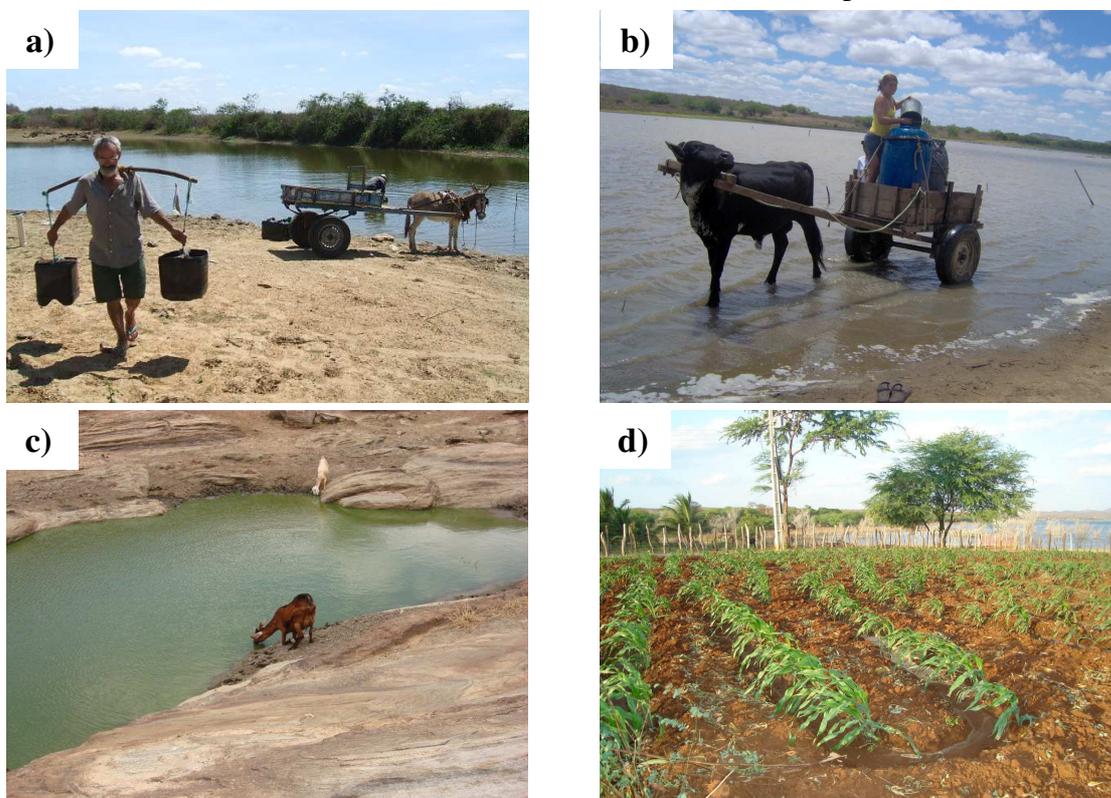


Figura 5. Água de reservatório coletada e transportada para consumo humano em Boa Vista (a), consumo humano e animal em São José dos Cordeiros (b), consumo animal em Barra de Santa Rosa (c) e irrigação em Cabaceiras (d). Campina Grande, 2013

4.3. Condução dos trabalhos de campo

4.3.1. Monitoramento da qualidade da água entre 2006 e 2007

A primeira etapa se iniciou em 29 de setembro de 2006, estendendo-se até 01 de novembro de 2007 (Figura 6), quando então foram visitados, coletados, analisados e georreferenciados 803 pontos de água distribuídos em 58 municípios. Esses pontos foram escolhidos aleatoriamente, porém se tentando distribuí-los, a fim de que se tornassem os mais representativos possíveis dentro de cada município, obtendo dados significativos da qualidade da água com atenção especial para aqueles pontos de uso mais nobre, como consumo humano, animal e irrigação.

Dentre as várias classificações para reservatórios, a água foi dividida em: açudes, água corrente, cacimba, olho d'água e poço amazonas.

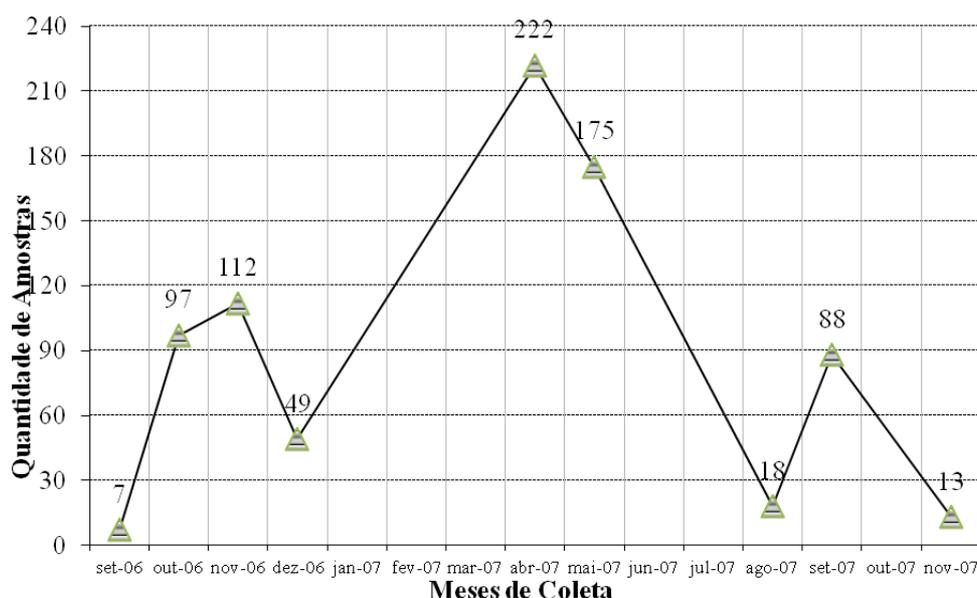


Figura 6. Período da coleta de amostras em campo. Campina Grande, 2013

4.3.2. Monitoramento da qualidade da água em 2013

A segunda etapa teve início em janeiro de 2013, estendendo-se até junho do mesmo ano, onde após análise dos dados da primeira etapa e se levando em consideração a condutividade elétrica, escolheram-se 12 (doze) corpos de água com

menor teor de salinidade dentro da área de estudo (Tabela 5), quando então se passou a estudar essas fontes com maior precisão.

Tabela 5. Dados de altitude, latitude e longitude dos pontos de água amostrados nas sub-bacias hidrográficas do Taperoá, Alto Paraíba e Médio Paraíba. Campina Grande, 2013

Sub-bacia	Município	Altitude (m)	Latitude			Longitude		
Taperoá	Assunção	569	7°	5'	17"	36°	44'	11"
Taperoá	São João do Cariri	470	7°	25'	1"	36°	30'	37"
Taperoá	Serra Branca	494	7°	27'	33"	36°	36'	30"
Taperoá	Taperoá	558	7°	11'	5"	36°	49'	24"
Alto Paraíba	Congo	503	7°	45'	51"	36°	36'	51"
Alto Paraíba	Monteiro	630	7°	54'	52"	37°	08'	32"
Alto Paraíba	Riacho de Santo Antônio	409	7°	37'	37"	36°	07'	02"
Alto Paraíba	Sumé	536	7°	44'	23"	36°	52'	27"
Médio Paraíba	Aroeiras	358	7°	34'	30"	35°	45'	16"
Médio Paraíba	Barra de Santana A	363	7°	29'	59"	36°	02'	24"
Médio Paraíba	Barra de Santana B	394	7°	31'	19"	35°	59'	12"
Médio Paraíba	Gado Bravo	437	7°	34'	29"	35°	50'	22"

4.3.2.1 Sub-bacia do Rio Taperoá

Na Tabela 6 estão listados os dados geográficos do ponto de coleta de água nos municípios de Assunção, São João do Cariri, Serra Branca e Taperoá. As coletas em campo foram realizadas nos dias 26 de janeiro, 23 de fevereiro, 9 de março, 27 de abril, 22 de maio e 29 de junho, do corrente ano.

O ponto amostrado no município de Assunção fica do lado direito da rodovia PB 238, aproximadamente 1,5 km após a cidade, no sentido Assunção - Taperoá. Este açude existe há muitos anos, no entanto aumentou a capacidade com a construção da rodovia que passa em cima do barramento e do sangradouro, formado por bueiros colocados na drenagem natural.

A diferença de altitude entre a base do açude e o sangrador é de 5 metros (Tabela 6), no entanto devido a alta taxa de evaporação, o mesmo permanece seco durante parte do ano (Figura 7a). Quando cheio, estima-se que a bacia hidráulica do açude seja de aproximadamente 52500 m² de área (150 m de largura x 350 m de comprimento).

A área onde está localizado o açude é denominado de Lagoa do Cavalo e pertence a Marcio de Assis Melo, que relatou a utilização da água do mesmo há muitos anos. Segundo o proprietário, há alguns anos atrás quando o município não era abastecido por adutora, grande parte da população buscava a água até para consumo humano.

O proprietário mencionou também, que ha muitos anos o solo da área que drena para o açude não é revolvido, sendo utilizado apenas como pastagem extensiva para caprinos. Com o intuito de aumentar a capacidade de armazenamento de água, o proprietário doou o solo de dentro da bacia hidráulica do açude para uma olaria, para que a mesma efetivasse a retirada.

Tabela 6. Dados de altitude (base e sangrador), latitude e longitude dos açudes amostrados na sub-bacia hidrográfica do Rio Taperoá. Campina Grande, 2013

Município	Altitude (m)		Latitude			Longitude		
	Sangrador	Base						
Assunção	569	564	7°	5'	17"	36°	44'	11"
São João do Cariri	470	460	7°	25'	1"	36°	30'	37"
Serra Branca	494	490	7°	27'	33"	36°	36'	30"
Taperoá	558	552	7°	11'	5"	36°	49'	24"

O ponto amostrado no município de São João do Cariri fica do lado esquerdo da rodovia BR 412 no sentido Serra Branca, com entrada há aproximadamente 1 km após a cidade e acesso pela estrada de barro com percurso de 4 km.

A área onde está localizado o açude é denominada de Fazenda Cachoeira e pertence a Álvaro Gaudêncio. A diferença de altitude entre a base do açude e o sangrador é de 10 metros (Tabela 6), permanecendo com água mesmo com longo período de estiagem e alta taxa de evaporação.

Estima-se que a bacia hidráulica do açude seja de aproximadamente 144000 m² (180 m de largura x 800 m de comprimento) quando cheio (Figura 7b). O administrador da área relatou que a água deste açude é utilizada desde sua construção, na década de 1960, para fins de consumo humano, animal e irrigação, principalmente no cultivo de mamão e tomate.

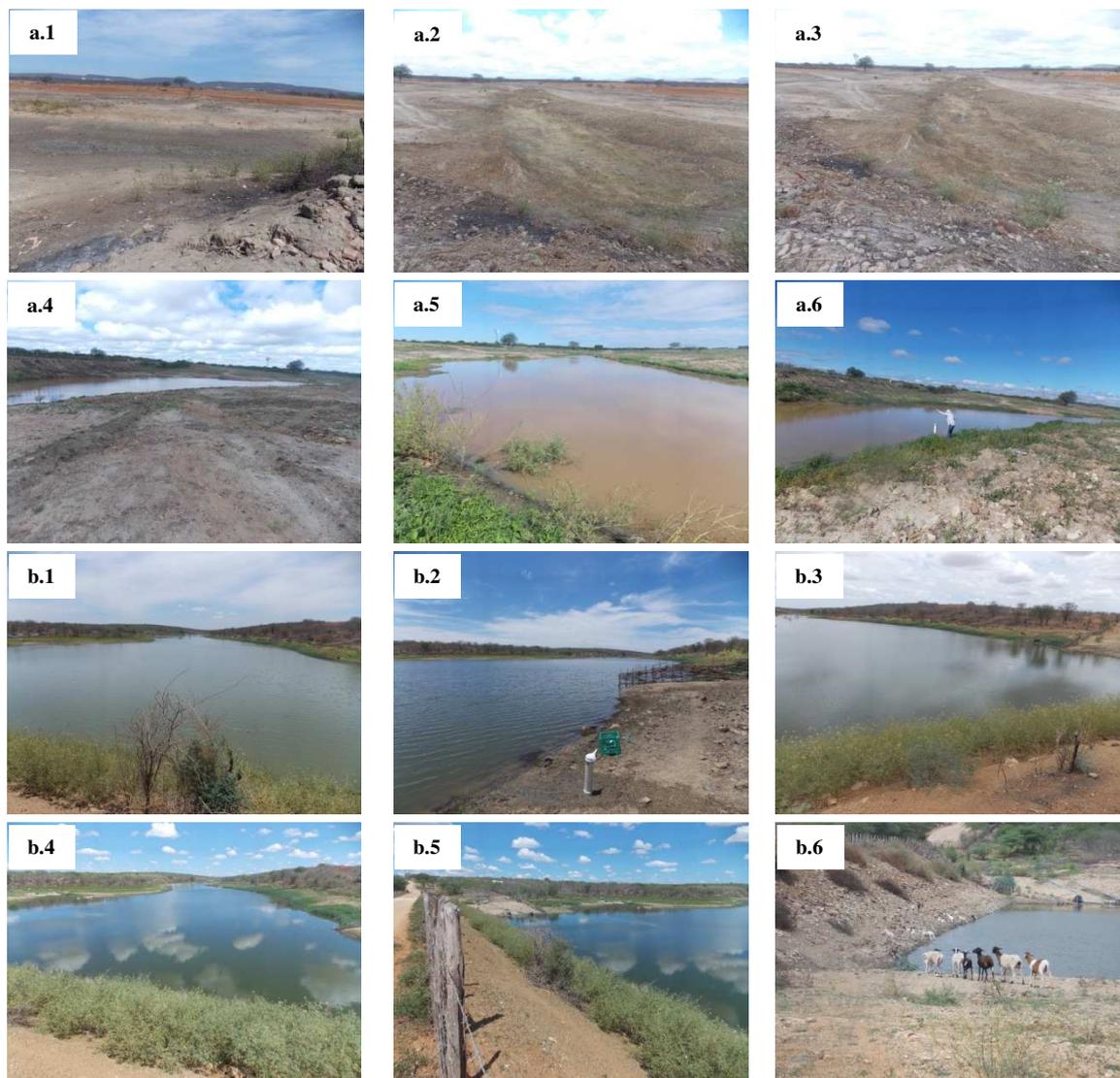


Figura 7. Reservatórios de água na sub-bacia hidrográfica do Rio Taperoá, municípios de Assunção (a) e São João do Cariri (b) nos meses de janeiro (1), fevereiro (2), março (3), abril (4), maio (5) e junho (6). Campina Grande, 2013

O ponto amostrado no município de Serra Branca fica do lado direito da rodovia BR 412 no sentido São João do Cariri - Serra Branca, há aproximadamente 6 km antes da cidade de Serra Branca. A área onde está localizado o açude é denominada de Balanço e pertence a Aldo Granjeiro.

A diferença de altitude entre a base do açude e o sangrador é de 4 metros (Tabela 6), no entanto devido a alta taxa de evaporação, o mesmo permaneceu seco de janeiro a junho (Figura 8a). Estima-se que a bacia hidráulica do açude seja de aproximadamente 39000 m² de área (130 m de largura x 300 m de comprimento) quando cheio.



Figura 8. Reservatórios de água na sub-bacia hidrográfica do Rio Taperoá, municípios de Serra Branca (a) e Taperoá (b) nos meses de janeiro (1), fevereiro (2), março (3), abril (4), maio (5) e junho (6). Campina Grande, 2013

O ponto amostrado no município de Taperoá fica do lado direito da rodovia PB 238, aproximadamente 2,5 km antes de chegar na cidade, no sentido Assunção - Taperoá. Este açude desde a década de 1960, no entanto aumentou a capacidade com a construção da rodovia que passa em cima do barramento e do sangradouro.

A diferença de altitude entre a base do açude e o sangrador é de 6 metros (Tabela 6), no entanto devido a alta taxa de evaporação, o mesmo permanece seco durante parte do ano (Figura 8b.5 e 8b.6). Quando cheio, estima-se que a bacia hidráulica do açude seja de aproximadamente 120000 m² de área (300 m de largura x 400 m de comprimento).

A área onde está localizado o açude é denominado de Panati e pertence ao assentamento José Moreira da Silva. De acordo com o presidente da Associação, Francisco das Chagas Oliveira, o assentamento existe há dois anos e é formado por 35 famílias. Conforme o mesmo, a água utilizada pelos assentados até o novembro de 2012 era coletada de uma cacimba aberta no açude. Após este mês, a água para consumo humano começou a ser comprada por um valor entre R\$ 25,00 a 100,00 o caminhão com 7500 litros. Devido ao custo pela água, alguns assentados utilizaram a água do açude para usos diversos, mesmo com uma qualidade ruim (Figura 8b.2 e 24b.3).

4.3.2.2 Sub-bacia do Alto Paraíba

A Tabela 7 lista os dados geográficos do ponto de coleta de água nos municípios do Congo, Monteiro, Riacho de Santo Antônio e Sumé.

Tabela 7. Dados de altitude (base e sangrador), latitude e longitude dos açudes amostrados na sub-bacia hidrográfica do Alto Paraíba. Campina Grande, 2013

Município	Altitude (m)		Latitude			Longitude		
	Sangrador	Base	°	'	"	°	'	"
Congo	503	497	7°	45'	51"	36°	36'	51"
Monteiro	630	624	7°	54'	52"	37°	08'	32"
Riacho de Santo Antônio	409	399	7°	37'	37"	36°	07'	02"
Sumé	536	533	7°	44'	23"	36°	52'	27"

As coletas em campo foram realizadas nos dias 26 de janeiro, 23 de fevereiro, 9 de março, 27 de abril, 22 de maio e 29 de junho, do corrente ano, para os municípios de Congo, Monteiro e Sumé, respectivamente. No município de Riacho de Santo Antônio a coleta foi realizada em 27 de janeiro, 24 de fevereiro, 10 de março, 28 de abril, 23 de maio e 30 de junho, do corrente ano.

O ponto amostrado no município do Congo fica há aproximadamente 10 km após a cidade, com acesso por estrada de barro. A diferença de altitude entre a base do açude e o sangrador é de 6 metros (Tabela 7), no entanto devido a alta taxa de evaporação aliado a utilização e baixa precipitação, o mesmo secou no mês de junho (Figura 9a). Quando cheio, estima-se que a bacia hidráulica do açude seja de aproximadamente 75000 m² de área (250 m de largura x 300 m de comprimento).

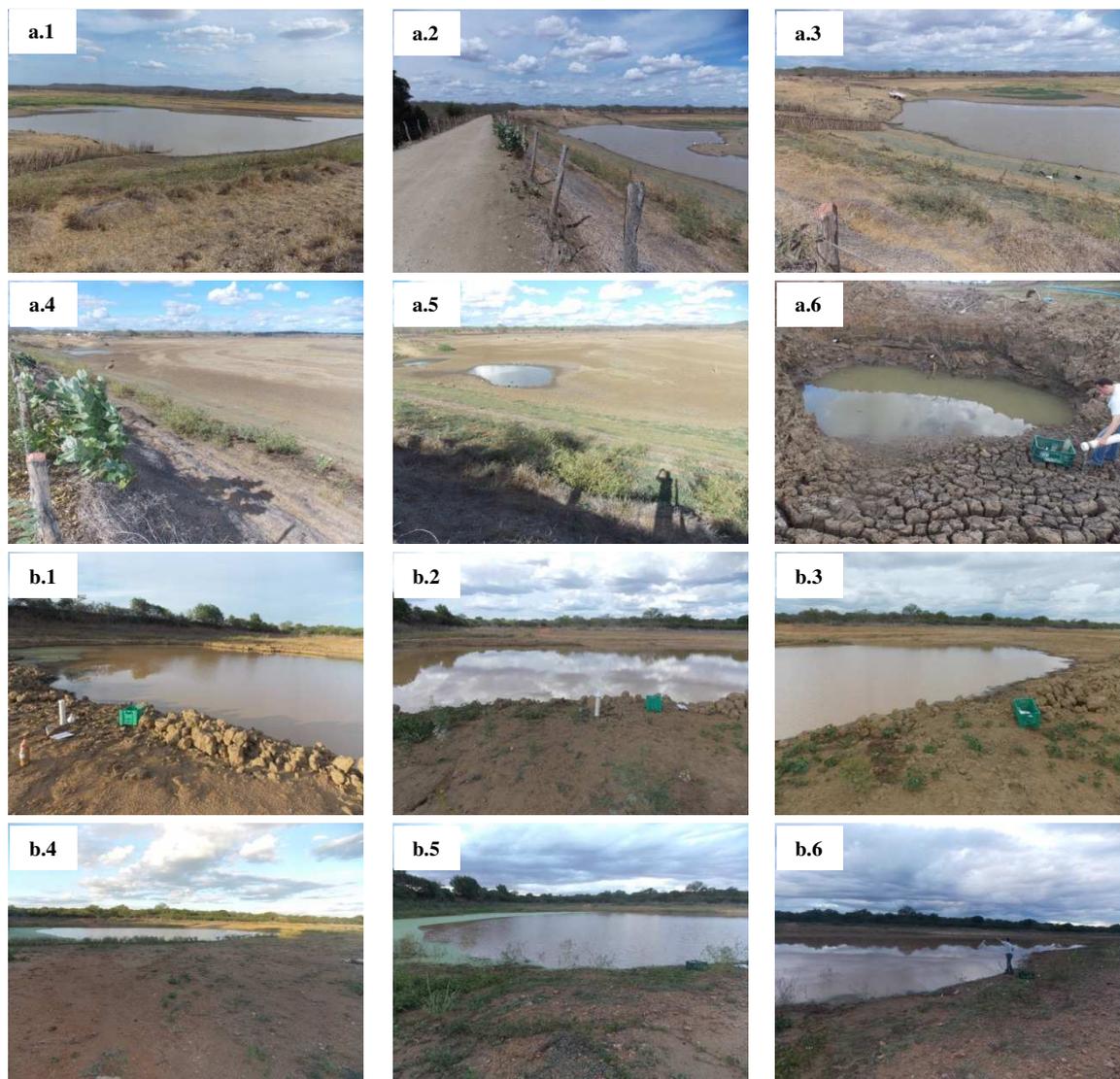


Figura 9. Reservatórios de água na sub-bacia hidrográfica do Alto Paraíba, nos municípios de Congo (a) e Monteiro (b) nos meses de janeiro (1), fevereiro (2), março (3), abril (4), maio (5) e junho (6). Campina Grande, 2013

A área onde está localizado o açude é denominada de Fazenda Tapera e pertence a Normando Rafael, que relatou a utilização da água do mesmo há muitos anos. Segundo o proprietário, este açude existe há muitos anos - aproximadamente da década de 1940, no entanto com a melhoria da estrada que passa por cima do barramento e do sangradouro, a capacidade do mesmo foi aumentada.

De acordo com relato dos trabalhadores, a água é utilizada para usos diversos, como irrigação do pomar, consumo animal e inclusive para consumo humano após ocorrência das chuvas, quando as águas transbordam.

O proprietário mencionou também, que ha muitos anos o solo da área que drena para o açude não é revolvido, sendo utilizado apenas como pastagem extensiva

para caprinos, contribuindo assim para a melhoria da qualidade da água. Fernandes Neto (2009), relata que a presença de vegetação atua como regulador da vazão dos cursos d'água, pois aumenta a capacidade de armazenamento nas microbacias hidrográficas, reduz a erosão, diminui os impactos das inundações e mantém a qualidade da água. Segundo o proprietário o reservatório poderá armazenar maior quantidade de água no próximo ano, pois devido ao início da construção da rodovia entre Congo e Caraúbas - Anel do Cariri, que irá passar no interior da propriedade, o mesmo já foi procurado por autoridades do Governo do Estado visando retirar o solo da bacia hidráulica do açude para a terraplanagem.

O ponto amostrado no município de Monteiro fica do lado esquerdo da rodovia BR 110 no sentido Monteiro, PB - Sertânia, PE, ha aproximadamente 1,4 km após o trevo de acesso a cidade.

A área onde está localizado o açude é denominada de Fazenda Lafaete e pertence a herdeiros de Joaquim Lafaete. A diferença de altitude entre a base do açude e o sangrador é de 6 metros (Tabela 7), permanecendo com água mesmo com longo período de estiagem e alta taxa de evaporação. Estima-se que a bacia hidráulica do açude seja de aproximadamente 40000 m² (160 m de largura x 250 m de comprimento) quando cheio (Figura 9b).

O administrador da área relatou que o açude foi formado com a construção da estrada, posteriormente asfaltada. Segundo relatos de vizinhos, antigamente a água deste açude era utilizada para consumo humano das pessoas da proximidade e até as pessoas que moravam de Monteiro se deslocavam até o açude para buscar água.

O ponto amostrado no município de Riacho de Santo Antônio fica do lado direito da rodovia BR 104 no sentido Alcantil, com entrada há aproximadamente 17 km após a cidade de Queimadas e acesso por estrada de barro com percurso de 5,7 km.

A diferença de altitude entre a base do açude e o sangrador é de 10 metros (Tabela 7), no entanto devido a alta taxa de evaporação, aliada ao consumo e baixa precipitação pluviométrica, o mesmo estava seco até o mês de março (Figura 10a.3). Estima-se que a bacia hidráulica do açude seja de aproximadamente 45500 m² de área (130 m de largura x 350 m de comprimento) quando cheio.

A área onde está localizado o açude é pública e denominada de Sítio Damásio. Segundo relato de moradores, o açude foi construído pelo Estado há aproximadamente 10 anos, e visava suprir a deficiência de água da comunidade. Os mesmos informaram que a água é de boa qualidade quando o reservatório está com

mais de 50% da capacidade de armazenamento, sendo utilizada para fins domésticos, consumo humano e animal.

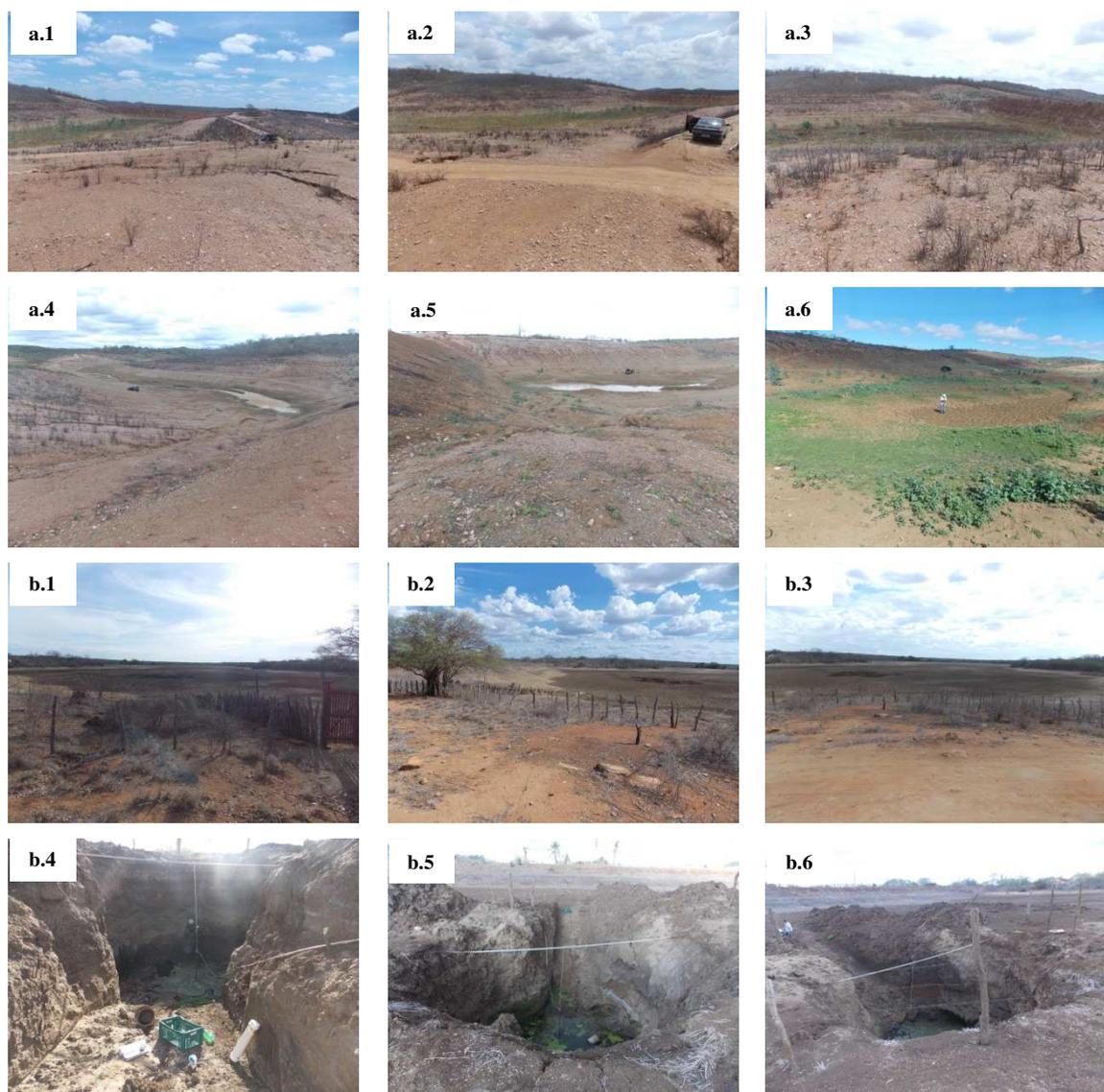


Figura 10. Reservatórios de água na sub-bacia hidrográfica do Alto Paraíba, nos municípios de Riacho de Santo Antônio (a) e Sumé (b) nos meses de janeiro (1), fevereiro (2), março (3), abril (4), maio (5) e junho (6). Campina Grande, 2013

O ponto amostrado no município de Sumé fica do lado direito da rodovia PB 214 no sentido Congo, com entrada há aproximadamente 0,6 km após o trevo com a BR 110 e acesso por estrada de barro com percurso de 8 km.

O açude foi construído na década de 1970 e tem diferença de altitude entre a base e o sangrador de 3 metros (Tabela 7), sendo assim, devido a alta taxa de evaporação, o mesmo permanece seco durante parte do ano (Figura 10b). Quando

cheio, estima-se que a bacia hidráulica do açude seja de aproximadamente 60000 m² de área (150 m de largura x 400 m de comprimento).

A área onde está localizado o açude é denominado de Brava e pertence a José Marinete. De acordo com moradores, a água é de boa qualidade quando o reservatório está cheio, sendo utilizada para consumo humano. Com a diminuição do volume armazenado, a água vai ficando salgada e assim é utilizada para usos domésticos, lavar roupa e consumo animal.

4.3.2.3. Sub-bacia do Médio Paraíba

A Tabela 8 lista os dados geográficos do ponto de coleta de água nos municípios de Aroeiras, Barra de Santana Ponto A e B e Gado Bravo.

As coletas em campo foram realizadas nos dias 27 de janeiro, 24 de fevereiro, 10 de março, 28 de abril, 23 de maio e 30 de junho, do corrente ano.

Tabela 8. Dados de altitude (base e sangrador), latitude e longitude dos açudes amostrados na sub-bacia hidrográfica do Médio Paraíba. Campina Grande, 2013

Município	Altitude (m)		Latitude			Longitude		
	Sangrador	Base						
Aroeiras	358	354	7°	34'	30"	35°	45'	16"
Barra de Santana A	363	361	7°	29'	59"	36°	02'	24"
Barra de Santana B	394	385	7°	31'	19"	35°	59'	12"
Gado Bravo	437	428	7°	34'	29"	35°	50'	22"

O ponto amostrado no município de Aroeiras fica do lado esquerdo da PB 102, aproximadamente 0,3 km após a entrada da cidade de Gado Bravo, no sentido Umbuzeiro.

Segundo José Rosil do Nascimento, a área onde está o açude pertenceu a seu avô - Manuel Marinho do Nascimento (Manoel Catota) e foi construído em 1970. O mesmo relatou que após a construção, permaneceu mais de 10 anos sem secar, devido ao grande volume armazenado. Mencionou que todos os moradores da comunidade utilizavam a água para consumo humano, além de dessedentação dos animais e usos domésticos. No entanto, frisou que ultimamente devido a grande quantidade de solo na bacia hidráulica, o mesmo seca rapidamente e a água não serve para beber devido ao gosto de barro.

A diferença de altitude entre a base do açude e o sangrador é de 4 metros (Tabela 8), e o mesmo permaneceu seco durante o período de coleta (Figura 11a). Quando cheio, estima-se que a bacia hidráulica do açude seja de aproximadamente 15000 m² de área (50 m de largura x 300 m de comprimento).



Figura 11. Reservatórios de água na sub-bacia hidrográfica do Médio Paraíba, nos municípios de Aroeiras (a) e Barra de Santana A (b) nos meses de janeiro (1), fevereiro (2), março (3), abril (4), maio (5) e junho (6). Campina Grande, 2013

O ponto amostrado no município de Barra de Santana A fica do lado direito da BR 104 no sentido Campina Grande, há aproximadamente 1 km após o trevo de acesso a cidade de Barra de Santana. A área onde está localizado o açude pertence a Maura Gomes da Silva.

A diferença de altitude entre a base do açude e o sangrador é de apenas 2 metros (Tabela 8), sendo assim, devido a alta taxa de evaporação, o mesmo permaneceu seco de janeiro a março, armazenando apenas um pouco de água com precipitações nos meses de abril e maio (Figura 11b.4 e 11b.5). Estima-se que a bacia hidráulica do açude seja de aproximadamente 5000 m² de área (50 m de largura x 100 m de comprimento) quando cheio.

Segundo a proprietária, a água que é armazenada com as chuvas é doce, que no entanto o reservatório seca rapidamente devido a evaporação. Diante disso, foi perfurado um poço artesiano na bacia hidráulica do açude para o consumo animal, entretanto, por ser salgada, não pode ser utilizada para consumo humano. A mesma relatou que há muitos anos não revolve o solo na área que drena para o açude, pois desenvolve a atividade ligada a bovinocultura de leite, e sendo assim necessita de pastagem natural para o gado.

O ponto amostrado no município de Barra de Santana B fica do lado direito da estrada que liga o município a Boqueirão, com percurso de 6,5 km após a cidade.

Segundo José Travassos Freire, a área onde está localizado o açude é pública e a comunidade é denominada de Pau de Embira. O mesmo relatou que o açude foi construído na década de 1950 pelo Departamento Nacional de Obras Contra a Seca - DNOCS para minimizar os efeitos da estiagem na região. De acordo com José, quando o açude está cheio a água pode ser utilizada para consumo humano, pois é límpida e doce. Quando está quase seco, se utiliza para dessentação dos animais e usos domésticos.

A diferença de altitude entre a base do açude e o sangrador é de 9 metros (Tabela 8), permanecendo com água mesmo com longo período de estiagem e alta taxa de evaporação. Estima-se que a bacia hidráulica do açude seja de aproximadamente 60000 m² de área (400 m de largura x 150 m de comprimento) quando cheio (Figura 12a).

O ponto amostrado no município de Gado Bravo fica há 10 km da PB 102 e há 7 km após a cidade, com acesso por estrada de barro.

A área onde está localizado o açude é denominado de Sítio Salinas e pertence a José da Silva Irmão, conhecido por Zuzinha. De acordo com o proprietário, o açude foi construído a mais de 30 anos. Conforme o mesmo, quando o açude transborda devido a chuva, a água pode ser utilizada até para consumo humano. O mesmo relatou que inúmeras vezes a água do açude foi utilizada durante os períodos de estiagem,

além de ser vendida para abastecimento de outras comunidades (Figura 12b.3). No mês de março, o caminhão pipa com 7500 litros estava sendo vendido por R\$ 25,00. O proprietário relatou que o reservatório não encheu nos dois últimos invernos, sendo assim a água não está apta para consumo humano.

A diferença de altitude entre a base do açude e o sangrador é de 9 metros (Tabela 8), no entanto devido a grande retirada de água, aliada a alta taxa de evaporação, o mesmo estava quase seco na coleta de junho do corrente ano (Figura 12b.6). Quando cheio, estima-se que a bacia hidráulica do açude seja de aproximadamente 35000 m² de área (70 m de largura x 500 m de comprimento).



Figura 12. Reservatórios de água na sub-bacia hidrográfica do Médio Paraíba, nos municípios de Barra de Santana B (a) e Gado Bravo (b) nos meses de janeiro (1), fevereiro (2), março (3), abril (4), maio (5) e junho (6). Campina Grande, 2013

4.4. Procedimentos de coleta de dados

Em referência a primeira etapa, foram coletadas amostras de 781 fontes em 44 municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, realizando-se um diagnóstico da qualidade da sua água superficial e subsuperficial.

As amostras foram coletadas com um equipamento previamente desenvolvido pela equipe do projeto, confeccionado em tubo de PVC rígido branco, com diâmetro de 100 mm e comprimento de 600 mm, usando-se capas de PVC para vedação, perfurado com brocas de 10 mm em uma das extremidades, em 3 camadas, com um orifício de 20 mm inferior (Figura 13a), para se proceder à descarga de água em funil (Figura 13b). Os pontos foram georreferenciados usando-se um GPS 12 XL (Figura 14a) e fotografados com máquina digital.

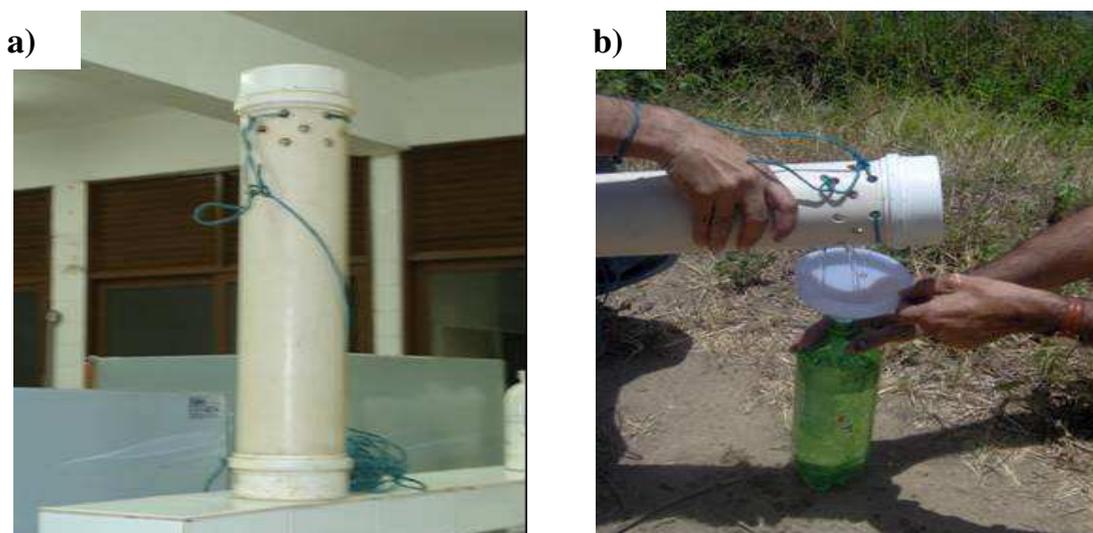


Figura 13. Coletor de água (Barreto, 2007) desenvolvido para o Projeto MAQUASU (a), e enchimento das garrafas com amostras de água para serem levadas ao laboratório (b). Campina Grande, 2013

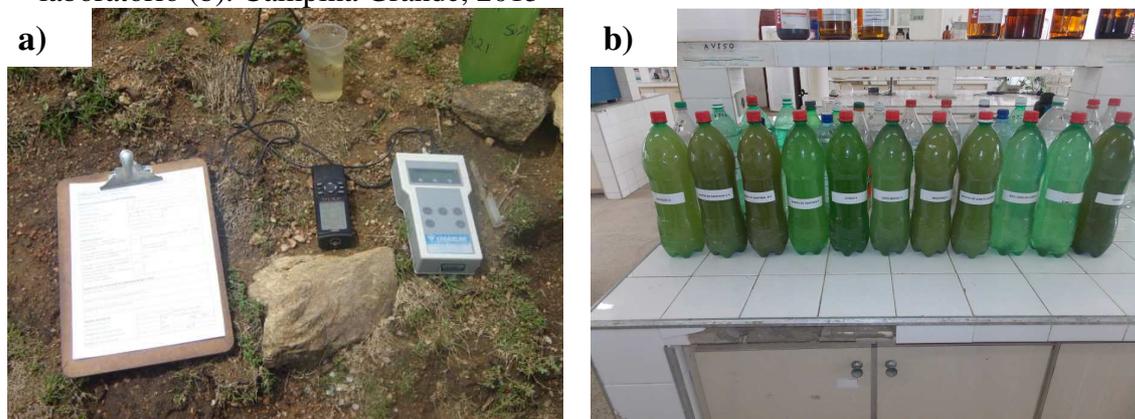


Figura 14. Material de campo (a) e amostras de água para análise no laboratório (b). Campina Grande, 2013

Também foram coletadas amostras e destinadas ao laboratório do PROSAB (Figura 15) visando análise para obtenção de sólidos suspensos, coliformes, pH, turbidez, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD), nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo solúvel (ortofostato) e fósforo total. Esta análise é para desenvolver um Índice de Qualidade da Água para os reservatórios em questão, visando a utilização para consumo humano, animal e irrigação.



Figura 15. Amostras coletadas para análise da qualidade de água. Campina Grande, 2013

4.5. Parâmetros usados para avaliar a qualidade da água

Ao se classificar a água, é conveniente lembrar que, procedente de uma mesma fonte, sua qualidade pode variar com o tempo. As amostras devem ser analisadas o ano inteiro ou durante o período utilizado, com frequência adequada. A água, ao escoar por zonas do solo que possuem grandes quantidades de sais solúveis, tem seu teor de sais aumentado antes do processo de armazenamento e, posteriormente, esses sais serão depositados nos solos irrigados, criando os problemas já citados, para os solos e para o desenvolvimento das plantas.

As águas que se destinam a irrigação devem ser analisadas principalmente sob três aspectos: salinidade, sodicidade e toxicidade de íons, variáveis fundamentais na determinação da sua qualidade agrônômica (RHOADES et al., 1992).

A análise das amostras de água e solo foi realizada no Laboratório de Irrigação e Salinidade da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, do Centro de

Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande (CTRN/UFCG), o qual segue a metodologia desenvolvida pela EMBRAPA (1997).

Na análise de água foram levados em consideração os seguintes parâmetros: Potencial Hidrogeniônico (pH), Condutividade Elétrica (CE), Cálcio (Ca^{++}), Magnésio (Mg^{++}), Sódio (Na^+), Potássio (K^+), Cloreto (Cl^-), Carbonato (CO_3^-) e Bicarbonato (HPO_3^-), além de se calcular a Razão de Adsorção de Sódio (RAS) e tabelar a água por Classificação de uso para irrigação, conforme UCCC (1974). Devido ao detalhamento e falta de equipamentos, não foi determinado os parâmetros para o Sulfato (SO_4^-), analisando apenas se estava presente ou não.

Através dos resultados do laboratório e com a utilização dos softwares MAPINFO e SURFER foram elaborados mapas de qualidade da água para as sub-bacias hidrográficas do Taperoá, Alto Paraíba e Médio Paraíba. Também foram elaborados os gráficos de STIFF e PIPER, usando-se o software QUALIGRAF.

4.6. Mapas de qualidade de água

Com o resultado da análise química da água, realizada no laboratório de irrigação e salinidade da UFCG, usando os resultados da condutividade elétrica e com a utilização dos softwares Mapinfo e Surfer, foram elaborados os mapas de qualidade de água para as sub-bacias hidrográficas do Rio Taperoá (Figuras 16), Alto Paraíba (Figuras 17) e Médio Paraíba (Figuras 18).

4.6.1. Sub-bacia hidrográfica do Rio Taperoá

Na Figura 16 consta a delimitação da sub-bacia hidrográfica do Rio Taperoá, com divisão municipal. De acordo com a AESA (2006), esta sub-bacia é formada pela área territorial total ou parcial de 23 municípios paraibanos, sendo efetuadas coletas em 17 municípios.

Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Bsh, que significa semi-árido quente com chuvas de verão. De acordo com o PERH (2005), a sub-bacia tem uma área de drenagem de 5.668,38 km². Barreto (2010) menciona que o perímetro é de 435,75 km, sendo o Rio Taperoá o mais importante da sub-bacia, possui regime

intermitente, nasce no município de Teixeira, no mesmo estado, e deságua no rio Paraíba, na cidade de Cabaceiras, a montante do Açude Presidente Epitácio Pessoa.

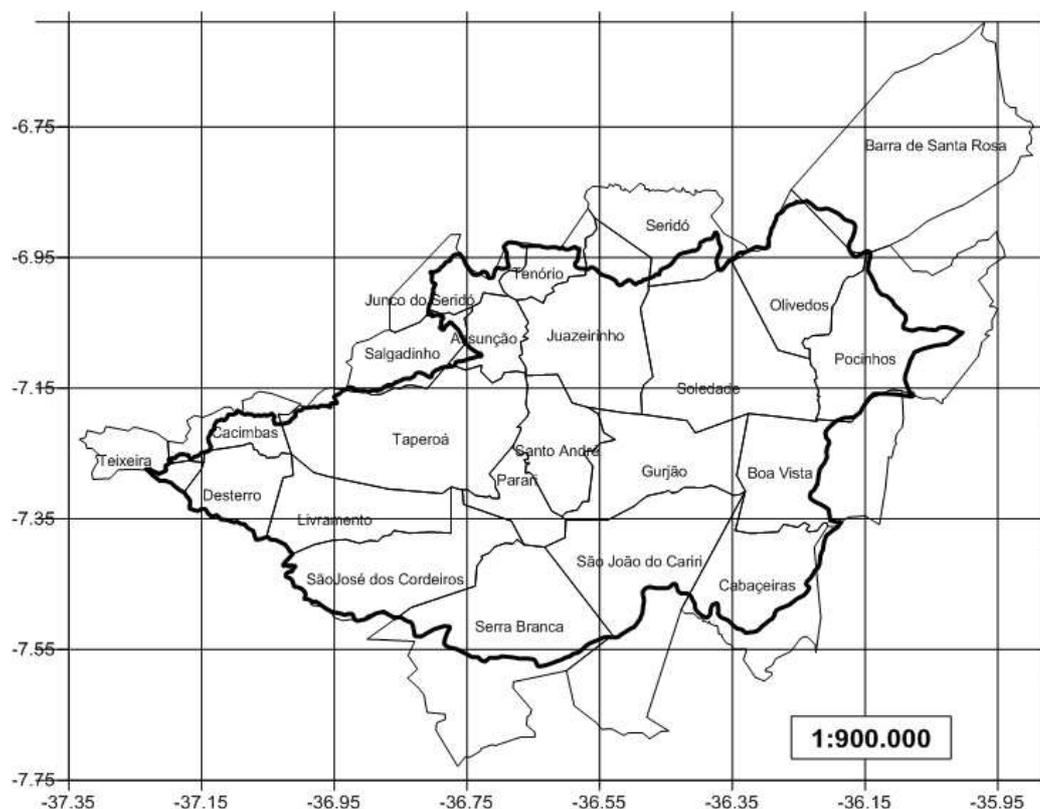


Figura 16. Sub-bacia Hidrográfica do Rio Taperoá, com divisão municipal. Campina Grande, 2013

4.6.2. Sub-bacia hidrográfica do Alto Paraíba

Na Figura 17 consta a delimitação da sub-bacia hidrográfica do Alto Paraíba, com divisão municipal.

De acordo com a AESA (2006), esta sub-bacia é formada pela área territorial total ou parcial de 18 municípios paraibanos, com amostras coletadas em todos os municípios. Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Bsh', que significa semi-árido quente com chuvas de verão.

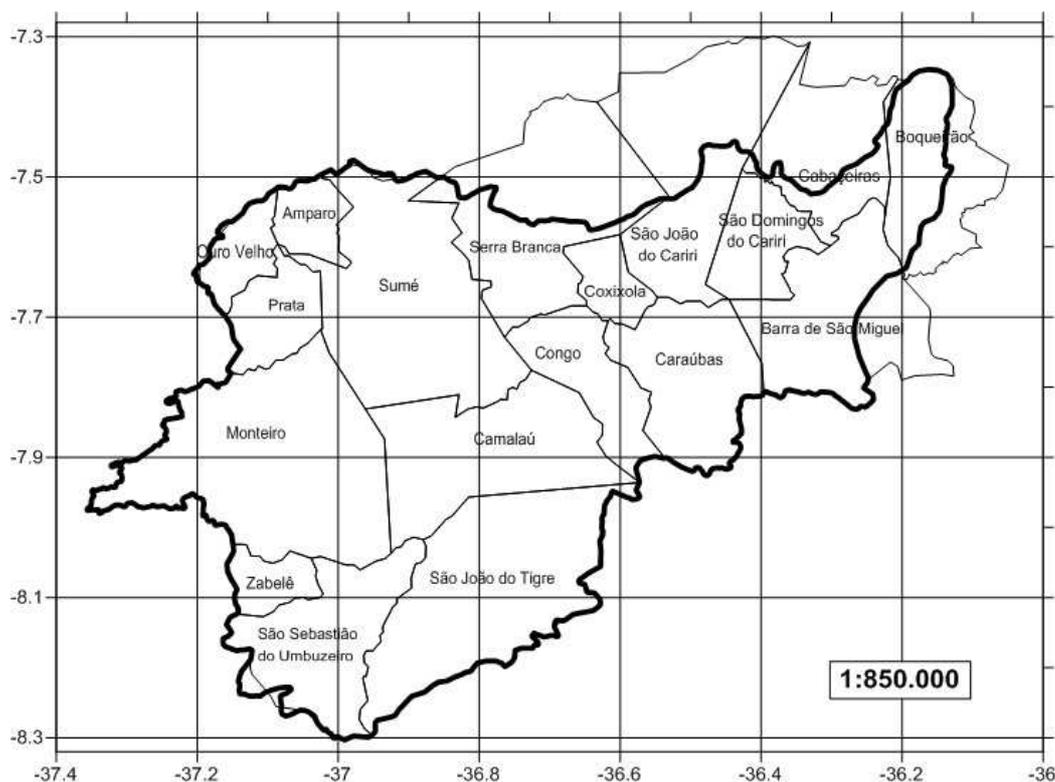


Figura 17. Sub-bacia Hidrográfica do Alto Paraíba, com divisão municipal. Campina Grande, 2013

Segundo o PERH (2005), a sub-bacia tem uma área de drenagem de 6.717,39 km², sendo o rio Paraíba o mais importante na sub-bacia, com regime intermitente, nasce no município de Monteiro, no mesmo estado, e deságua no mar no município de Cabedelo, Paraíba.

4.6.3. Sub-bacia hidrográfica do Médio Paraíba

Na Figura 18 consta a delimitação da sub-bacia hidrográfica do Médio Paraíba, com divisão municipal.

De acordo com a AESA (2006), esta sub-bacia é formada pela área territorial total ou parcial de 19 municípios paraibanos, com amostras coletadas em 16 municípios. Segundo a classificação de Köeppen, o clima é do tipo Bsh', que significa semi-árido quente com chuvas de verão, com áreas no clima do tipo As', denominada de quente e úmido com chuvas de outono e inverno.

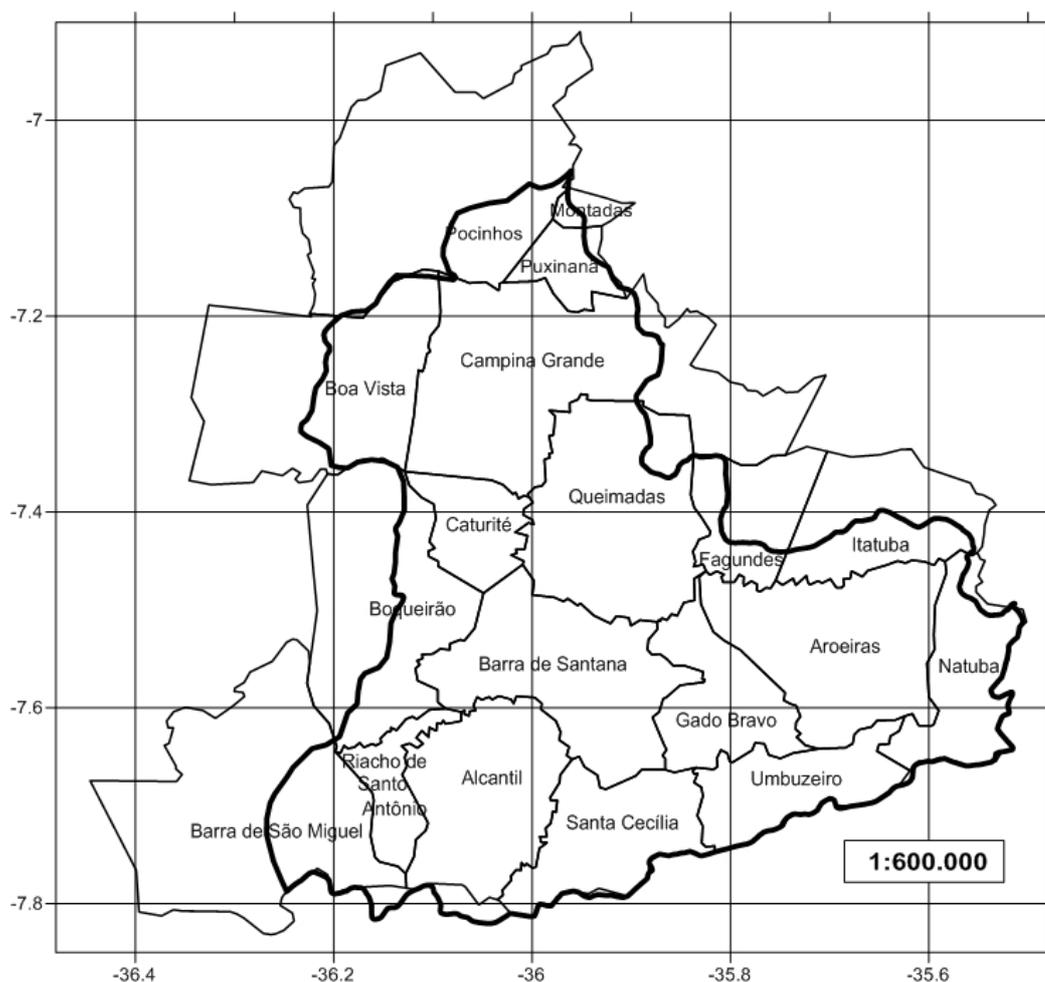


Figura 18. Sub-bacia Hidrográfica do Médio Paraíba, com divisão municipal. Campina Grande, 2013

4.6. Índices de Qualidade de Água

4.6.1. Índice da National Sanitation Foundation (IQA-NSF) adaptado

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) adaptou e vem utilizando os parâmetros e pesos conforme Tabela 9, aliando a Tabela 11 para avaliação e classificação da qualidade água.

Segundo Pereira et al. (2012), para estudos realizados no Brasil, em razão do país estar situado na zona inter-tropical, os valores da variação de temperatura não são significativos para composição do IQA, sendo considerados sua variação zero e sua medida absoluta um valor constante e igual a 25°C. Considerando a informação descrita acima, os parâmetros e pesos para calcular o IQA foram alterados (Tabela 10)

Tabela 9. Parâmetros e Pesos para o Cálculo do IQA-NSF. Campina Grande, 2013

Parâmetros	Peso atribuído
Oxigênio Dissolvido (OD)	0,17
Coliformes Fecais	0,15
pH	0,12
DBO ₅	0,10
Nitrogênio	0,10
Fósforo total	0,10
Temperatura	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos Totais	0,08

Fonte: CETESB

Tabela 10. Parâmetros e pesos alterados para o Cálculo do IQA-NSF. Campina Grande, 2013

Parâmetros	Peso atribuído
Oxigênio Dissolvido (OD)	0,18
Coliformes Fecais	0,16
pH	0,13
DBO ₅	0,11
Nitrogênio	0,11
Fósforo total	0,11
Turbidez	0,10
Sólidos Totais	0,10

Tabela 11. Classificação da Qualidade das Águas. Campina Grande, 2013

Valor	Qualificação	Cor
80-100	Ótima	Azul
52-79	Boa	Verde
37-51	Aceitável	Amarela
20-36	Ruim	Vermelha
0-19	Péssima	Preta

Fonte: CETESB

4.6.2. Índice de Qualidade de Água a ser desenvolvido para a região

Em decorrência dos índices de qualidade de água serem desenvolvidos em regiões úmidas, o presente trabalho objetiva elaborar um IQA para os recursos hídricos das sub-bacias hidrográficas do Taperoá, Alto Paraíba e Médio Paraíba, inseridas na zona semiárida do Estado da Paraíba (Tabela 12), que sofrem grande influência da alta taxa de evaporação existente na região.

Este índice irá ser desenvolvido com base no da Companhia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (IQA_{CETESB}), que adaptou do IQA da National Sanitation Foundation.

Tabela 12. Parâmetros para o Cálculo do IQA da região. Campina Grande, 2013

Elementos	Peso atribuído
pH	0,10
Condutividade elétrica	0,20
Cálcio	0,05
Magnésio	0,05
Sódio	0,15
Potássio	0,05
Bicarbonato	0,05
Cloreto	0,10
Amônio	0,05
Sulfato	0,10
RAS calculada	0,10

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Localização das amostras de água e tipos de fonte

Na tabela 13 estão listados todos os municípios constantes da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba que foram coletadas amostras de água, além de identificar a microrregião, mesorregião e sub-bacia hidrográfica a qual pertence.

Tabela 13. Localização regional dos municípios nas sub-bacias do Rio Taperoá, Alto Paraíba e Médio Paraíba, com a respectiva quantidade de amostras coletadas. Campina Grande, 2013.

Município	Microrregião	Mesorregião	Sub-bacia	Nº Amostras
Alcantil	Cariri Oriental	Borborema	Médio Paraíba	27
Amparo	Cariri Ocidental	Borborema	Alto Paraíba	11
Aroeiras	Umbuzeiro	Agreste	Médio Paraíba	10
Assunção	Cariri Ocidental	Borborema	Rio Taperoá	14
Barra de Santa Rosa	Curimataú Ocidental	Agreste	Rio Taperoá	9
Barra de Santana	Cariri Oriental	Borborema	Médio Paraíba	28
Barra de São Miguel	Cariri Oriental	Borborema	Alto e Médio Paraíba	13
Boa Vista	Campina Grande	Agreste	Rio Taperoá e Médio Paraíba	24
Boqueirão	Cariri Oriental	Borborema	Alto e Médio Paraíba	24
Cabaceiras	Cariri Oriental	Borborema	Rio Taperoá e Alto Paraíba	13
Camalaú	Cariri Ocidental	Borborema	Alto Paraíba	15
Campina Grande	Campina Grande	Agreste	Médio Paraíba	45
Caraúbas	Cariri Oriental	Borborema	Alto Paraíba	22
Caturité	Cariri Oriental	Borborema	Médio Paraíba	11
Congo	Cariri Ocidental	Borborema	Alto Paraíba	17
Coxixola	Cariri Ocidental	Borborema	Alto Paraíba	12
Gado Bravo	Umbuzeiro	Agreste	Médio Paraíba	15
Gurjão	Cariri Oriental	Borborema	Rio Taperoá	22
Juazeirinho	Seridó Oriental	Borborema	Rio Taperoá	5
Livramento	Cariri Ocidental	Borborema	Rio Taperoá	9
Montadas	Esperança	Agreste	Médio Paraíba	7
Monteiro	Cariri Ocidental	Borborema	Alto Paraíba	27
Natuba	Umbuzeiro	Agreste	Médio Paraíba	2
Olivedos	Curimataú Ocidental	Agreste	Rio Taperoá	10
Ouro Velho	Cariri Ocidental	Borborema	Alto Paraíba	5
Parari	Cariri Ocidental	Borborema	Rio Taperoá	29
Pocinhos	Curimataú Ocidental	Agreste	Rio Taperoá e Médio Paraíba	6
Prata	Cariri Ocidental	Borborema	Alto Paraíba	9
Puxinanã	Campina Grande	Agreste	Médio Paraíba	6
Queimadas	Campina Grande	Agreste	Médio Paraíba	17
Riacho de Santo Antônio	Cariri Oriental	Borborema	Médio Paraíba	21
Santo André	Cariri Oriental	Borborema	Rio Taperoá	12
São Domingos do Cariri	Cariri Oriental	Borborema	Alto Paraíba	11
São João do Cariri	Cariri Oriental	Borborema	Rio Taperoá e Alto Paraíba	41
São João do Tigre	Cariri Ocidental	Borborema	Alto Paraíba	20
São José dos Cordeiros	Cariri Ocidental	Borborema	Rio Taperoá	15
São Sebastião do Umbuzeiro	Cariri Ocidental	Borborema	Alto Paraíba	19
Seridó	Seridó Oriental	Borborema	Rio Taperoá	1
Serra Branca	Cariri Ocidental	Borborema	Rio Taperoá e Alto Paraíba	41
Soledade	Curimataú Ocidental	Agreste	Rio Taperoá	18
Sumé	Cariri Ocidental	Borborema	Alto Paraíba	30
Taperoá	Cariri Ocidental	Borborema	Rio Taperoá	16
Umbuzeiro	Umbuzeiro	Agreste	Médio Paraíba	55
Zabelê	Cariri Ocidental	Borborema	Alto Paraíba	17

A maior quantidade de amostras por município foi coletado em Parari - 29, Sumé - 30 e Umbuzeiro - 55, pertencentes as sub-bacias do Taperoá, Alto Paraíba e Médio Paraíba, respectivamente.

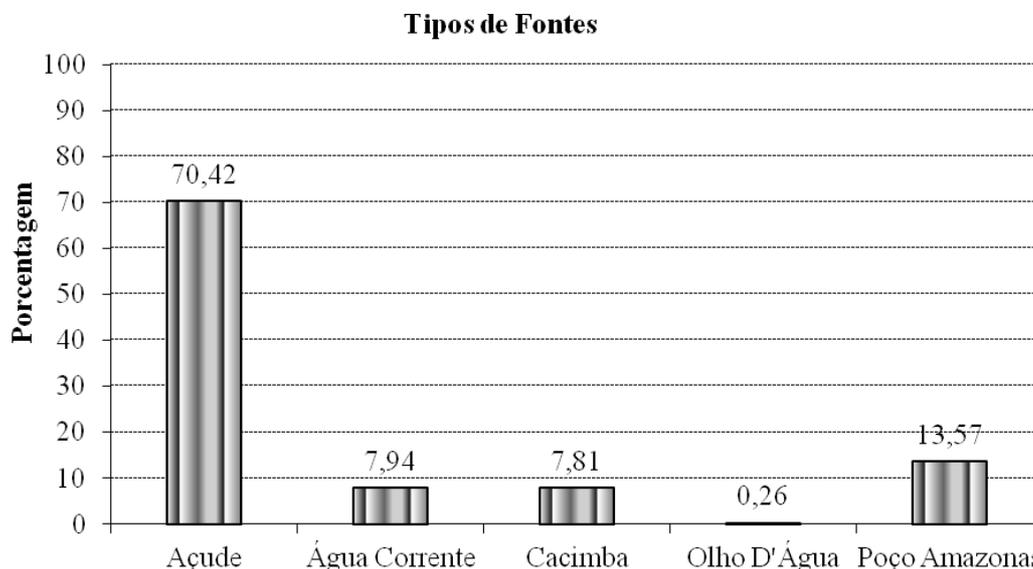


Figura 19. Tipos de fontes hídricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. Campina Grande, 2013

Entre os tipos de fontes encontrados, a maioria é de reservatórios construídos (550 açudes) e apenas dois olhos d'água (Figura 19). O resultado em questão corrobora com Trajano (1999), que menciona o açude como referência hídrica para o semiárido.

Devido ao período coletado coincidir também com a estação chuvosa para a região em questão, também foram coletadas algumas amostras em águas correntes e/ou cacimbas.

5.2. Análise química da água

5.2.1. Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH é uma característica importante a ser controlada em um manancial, visto que influencia nos processos biológicos que ocorrem no meio aquático, e na toxicidade de alguns compostos nele presentes. Existe um padrão de comportamento nas concentrações de sais presentes em águas, o que determina maiores ou menores teores de íons nas águas. Normalmente, as águas naturais são levemente alcalinas devido à

presença de bicarbonatos e carbonatos de metais alcalinos e alcalinos terrosos (SPERLING, 1996).

Branco (1993), relata que os valores de pH da água são influenciados pelas reações físicas, químicas e biológicas que ocorrem na massa da água, e o equilíbrio do pH próximo ao neutro é importante do ponto de vista ecológico visto que, nesta variável, os organismos são sensíveis a grandes amplitudes.

Do total de amostras analisadas na bacia hidrográfica, 97,44% estão aptas para consumo humano. O resultado corrobora com Santos (2008), o qual cita que a precipitação não tem influência direta sobre o valor do pH. Do total de amostras inaptas, destacam-se os municípios de Boa Vista, Congo, Montadas e São João do Cariri com duas amostras cada.

Em vista dos valores normais da água de irrigação o pH está apto para 86,04% das amostras. Classificando a água para uso em irrigação, segundo Ayers & Westcot (1999), conclui-se que 81,82% das amostras têm valores entre 6,5 e 8,4 e podem ser utilizadas.

Os resultados encontrados corroboram com Oliveira e Maia (1998) que ao realizar estudos com água no Rio Grande do Norte, encontraram pH neutro a alcalino.

5.2.2. Condutividade elétrica (CE)

Um dos fatores que influenciam a condutividade elétrica nos corpos de água é a formação geológica da área em questão. Altos índices de condutividade elétrica são ocasionados por meio de fontes não pontuais, como efluentes de áreas residenciais/urbanas, águas de drenagem de sistemas de irrigação e escoamento superficial de áreas agrícolas, principalmente em regiões áridas e semi-áridas, nas quais a evapotranspiração excessiva causa o acúmulo de sais (EMBRAPA, 1998).

Leprun (1983), trabalhando com águas superficiais e sub-superficiais da região semi-árida cristalina, afirma que sua qualidade (composição química e nível de concentração dos sais) se relaciona especificamente com o tipo de rocha e de solo com os quais elas têm contato. As águas dos lençóis são mais concentradas em sais que as de superfície e essas concentrações variam de acordo com as características dos principais tipos de solo. Para esse mesmo autor, em estudos sobre a influência da bacia hidrográfica na composição das águas de vários riachos, encontrou crescimento

positivo dos níveis de salinidade, nas seguintes sequências: Areia Quartzosa, Latossolo Vermelho-Amarelo, Podzólico Vermelho-Amarelo, Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico, Vertissolo, Solo Litólicoeutrófico, Solonetz Solodizado e Planossolo Solodizado.

Molinier et al. (1989), trabalhando em parcelas de solo Bruno não Cálcico na região de Sumé, nos Cariris Velhos da Paraíba, observaram que a água da chuva, após escoamento superficial, tem sua concentração salina aumentada em até quatro vezes; no mesmo solo, após infiltração e coleta a nível dos drenos, esta concentração pode aumentar mais de cinquenta vezes.

Corroborando com os dados de pH, a condutividade elétrica sofreu grande variação entre as amostras, com valor mínimo de 33 uS/cm em Gado Bravo e máximo de 78000 uS/cm em Soledade.

Considerando a classificação para o consumo humano, 65,17% das amostras estão aptas quanto ao cloreto, 71,57% com relação ao sódio e 74,39% quando analisada quanto aos sólidos dissolvidos totais.

Classificando para consumo animal, 73,5% são excelentes, 15,88% muito satisfatória, 4,48% satisfatória para o gado e não satisfatória para as aves, 2,05% de uso limitado para o gado e não apta para as aves, 1,92% de uso limitado e apenas 2,18% das amostras coletas não são recomendadas para utilização.

Segundo a classificação de Richard (1954) para irrigação, 40,72% das amostras foram enquadradas em C1, 19,72% em C2, 20,36% em C3 e apenas 19,21% em C4 (Figura 20). Os dados em questão contrariam Oliveira e Maia (1998), onde constataram que a grande maioria das águas do Rio Grande do Norte é formada de C3 e C4.

Seguindo critérios de classificação da UCCC, 58,64% não tem nenhuma restrição, 26,12% tem restrição baixa e/ou moderada e apenas 15,24% tem severa restrição de uso. O resultado em questão corrobora com trabalho realizado por Dantas Neto et al. (2009) na sub-bacia do Rio Taperoá, que encontrou resultado de 11,10% das amostras com severo grau de restrição.

Analisando as amostras quanto à classificação para infiltração, que leva em consideração a condutividade elétrica e a RAS (Figura 21), 30,35% não apresentam restrição de uso, 35,34% têm restrição baixa e/ou moderada e 34,31% tem restrição elevada. De acordo com o PERH (2005), com base nos valores da RAS e da condutividade elétrica (CE) das águas superficiais de rios e açudes e para águas

subterrâneas, as águas de piores condições para irrigação no Estado da Paraíba se concentram nas sub-bacias do Rio Seridó e do Rio Taperoá. Menciona ainda, que no Alto Paraíba as águas são de qualidade ruim e no Médio Paraíba, as águas são de qualidade média e ruim, com restrições entre pequena e altas.

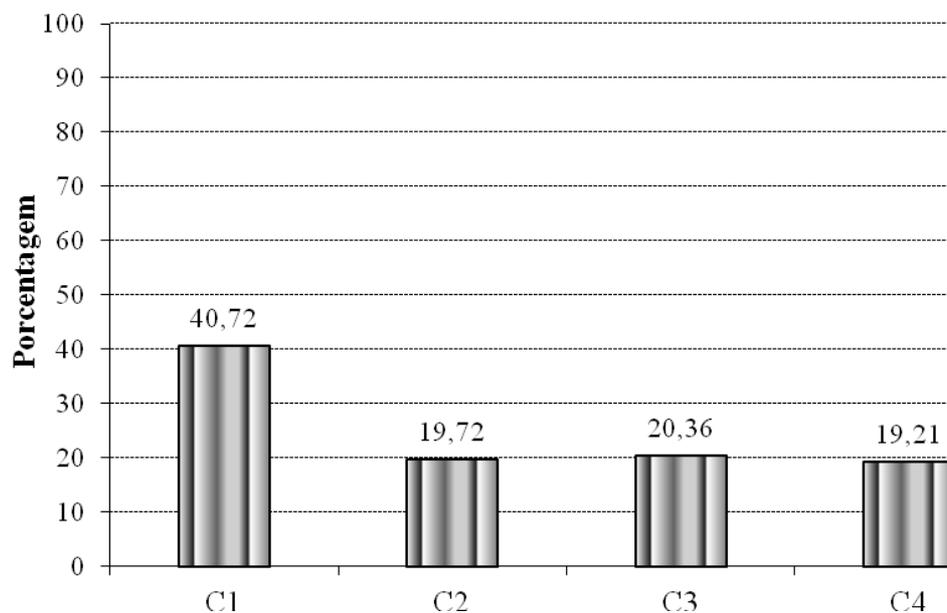


Figura 20. Classificação para irrigação conforme Richards. Campina Grande, 2013

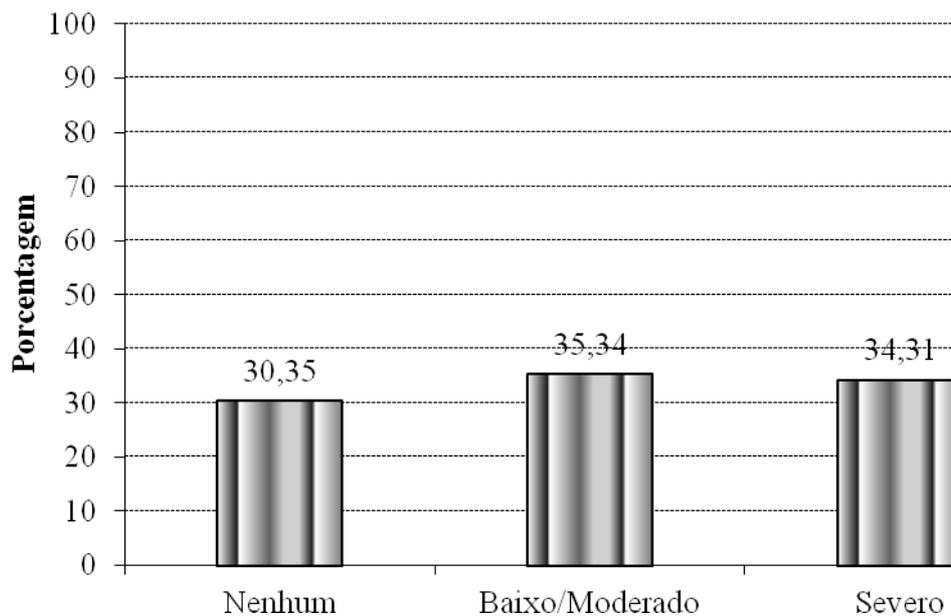


Figura 21. Classificação para infiltração. Campina Grande, 2013

Do total de 781 amostras, constatou-se uma grande variação na qualidade da água quanto a concentração de sais dessas, dado que não permite generalizar as fontes de água da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba como sendo totalmente de qualidade superior, considerando que o conjunto de fontes analisadas possui mediana de 2184 uS/cm.

Oliveira e Maia (1998) realizaram estudos com águas de irrigação, no Rio Grande do Norte, e encontraram que a maior incidência de água com problemas de salinidade (elevada CE) e sódio ocorreu naquela região, proveniente de poços tubulares, que captam água de calcário ou aquíferos abastecidos diretamente pelo lençol freático, diferenciando-se dos resultados obtidos neste trabalho.

5.2.3. Cátions (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+) e Ânions (Cl^- , CO_3 , HCO_3^- e SO_4^{--})

Segundo Yaron (1973) a composição de determinada água está de acordo com o tipo de rocha e do solo sobre o qual ela flui e da composição iônica da rocha matriz onde ela é armazenada.

Com relação aos ânions, em vista dos valores normais da água de irrigação para os elementos cálcio e potássio, 94,49% e 95,01% das amostras estão aptas, respectivamente, quantidade esta muito acima do elemento magnésio em que apenas 72,6% das amostras estão aptas.

Classificando o íon sódio para consumo humano, 71,57% das amostras estão aptas, aumentando para 88,73% quando comparado com os valores normais da água de irrigação. Analisando o sódio com relação ao enquadramento para irrigação superficial (Figura 22), observa-se que apenas 60,05% das amostras não têm restrição, 25,48% têm baixa e/ou moderada restrição e 14,47% têm severa restrição de uso. Usando a mesma classificação no entanto alterando o método para irrigação por aspersão, tem-se que 93,47% das amostras não têm restrição e 6,53% têm restrição baixa e/ou moderada.

Com relação aos ânions, classificando o íon cloreto para consumo humano, 65,17% das amostras estão aptas, aumentando para 83,87% quando comparado com os valores normais da água de irrigação. Classificando o cloreto para irrigação superficial, observa-se que 94,62% das amostras não têm restrição, 3,71% têm baixa e/ou moderada restrição e apenas 1,66% têm severa restrição de uso. Usando a mesma

classificação no entanto alterando o método para irrigação por aspersão, tem-se que 93,09% das amostras não têm restrição e 6,91% têm restrição baixa e/ou moderada (Figura 23).

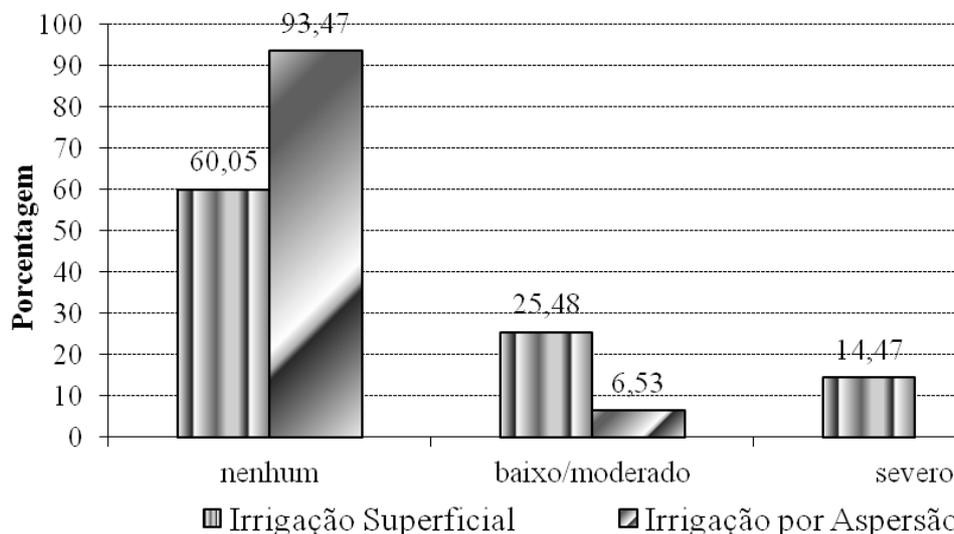


Figura 22. Classificação do íon sódio para irrigação. Campina Grande, 2013

Considerando a classificação que menciona os valores normais da água de irrigação, do total de amostras apenas 34,96% estão aptas para o elemento carbonato, enquanto o bicarbonato tem 97,95% das amostras aptas. Diferenciando-se da classificação anterior, o elemento bicarbonato não apresenta restrição de uso em 45,2% das amostras, restrições baixas e/ou moderadas em 51,98% e apenas 2,82% com severas restrições quando classificado para irrigação. O resultado encontrado contraria Moraes et al., (1998), que analisando a salinidade de 1.077 amostras de água da região Semi-Árida do Estado do Rio Grande do Norte, observaram que 56,22% das mesmas estavam fora dos padrões normais para uso em agricultura irrigada devido à concentração de carbonatos.

Considerando a classificação que menciona os valores normais da água de irrigação, a Razão de Adsorção de Sódio (RAS) que é calculada em função dos valores dos elementos sódio, cálcio e magnésio, tem 94,24% das amostras aptas.

Em uma sequência decrescente e considerando os teores médios dos cátions, tem-se $Na > Mg > Ca > K$ e $Cl^- > HCO_3^-$ e CO_3^- para os ânions. A mesma relação sequencial foi encontrada por Mendes (2007) para a composição aniônica de águas para o município do Congo, PB. Freire (2007) analisando componentes das águas em

bacias hidrográficas do estado do Ceará, cita a mesma sequência para a maioria dos reservatórios hídricos.

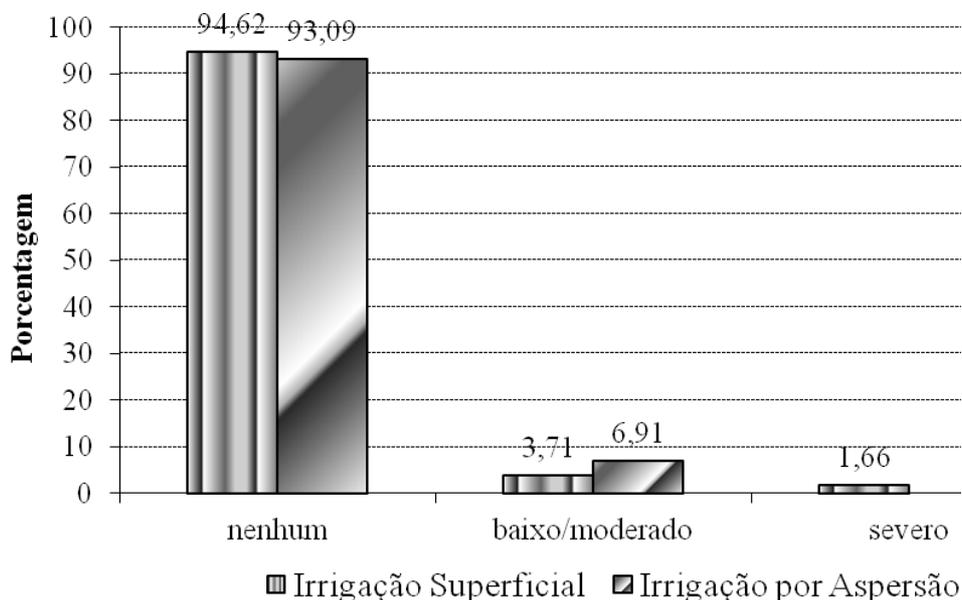


Figura 23. Classificação do íon cloreto para irrigação. Campina Grande, 2013

5.3. Mapas de qualidade de água

5.3.1. Sub-bacia hidrográfica do Rio Taperoá

Conforme mapa georeferenciado (Figura 24), observou-se regiões que apresentam maior ou menor riscos de salinização, no uso técnicas de captação de água superficial e subsuperficial.

Analisando o mapa da sub-bacia hidrográfica do Rio Taperoá, percebe-se que existem áreas com elevada quantidade de sal na água, principalmente entre as latitudes -7° e $-7^{\circ}20'$ e longitudes -36° e $-36^{\circ}20'$ que englobam áreas dos municípios de Pocinhos, Olivedos, Soledade e Boa Vista. A condutividade elétrica encontra-se acima do limite máximo para qualquer utilização, sendo necessário investigação aprofundada de qualquer ponto onde se queira fazer intervenção.

Outro ponto crítico nesta sub-bacia é entre as latitudes -7° e $-7^{\circ}10'$ e longitudes $-36^{\circ}40'$ e $-36^{\circ}60'$, nos municípios de Juazeirinho e Soledade. Também foram identificados pequenos núcleos com alto teor de salinidade nos municípios de Boa Vista, Gurjão, Parari, São José dos Cordeiros e Taperoá.

No entanto, alguns pequenos afluentes das regiões mencionadas poderão apresentar condições favoráveis para construções de obras de captação e armazenamento de água, desde que haja uma investigação pontual.

De modo geral, na maior parte da sub-bacia a água coletada tem níveis de sais abaixo de 3000 uS m^{-1} , sendo de condições satisfatórias para construções de barramentos superficiais e subsuperficiais, pois não têm restrição para os diversos usos.

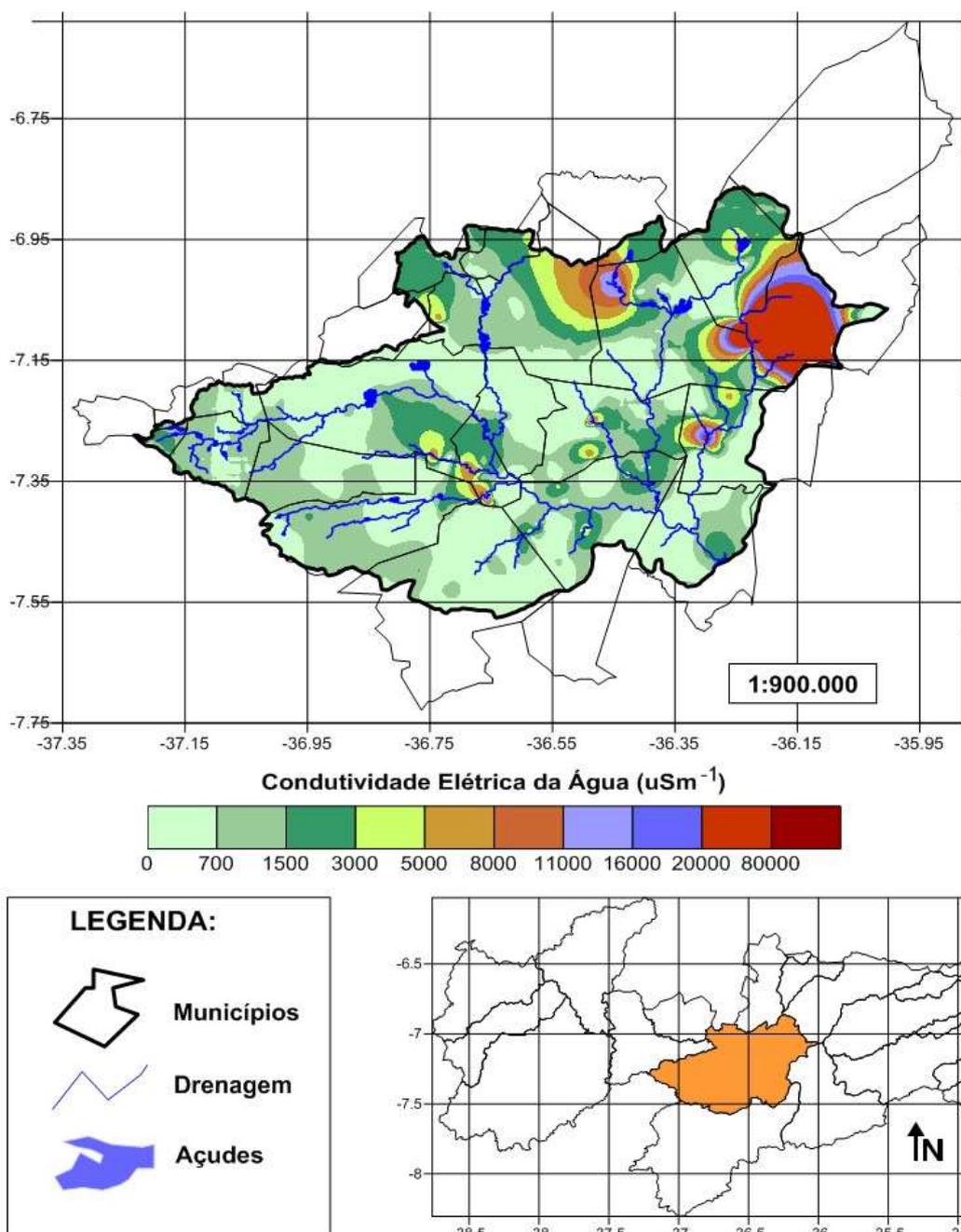


Figura 24. Sub-bacia Hidrográfica do Rio Taperoá, com classificação da água. Campina Grande, 2013

5.3.2. Sub-bacia hidrográfica do Alto Paraíba

Conforme Figura 25, na sub-bacia hidrográfica do Alto Paraíba existem áreas com média quantidade de sal na água, principalmente nos municípios de Barra de São Miguel e São Domingos do Cariri, além de um pequeno núcleo no município de Monteiro.

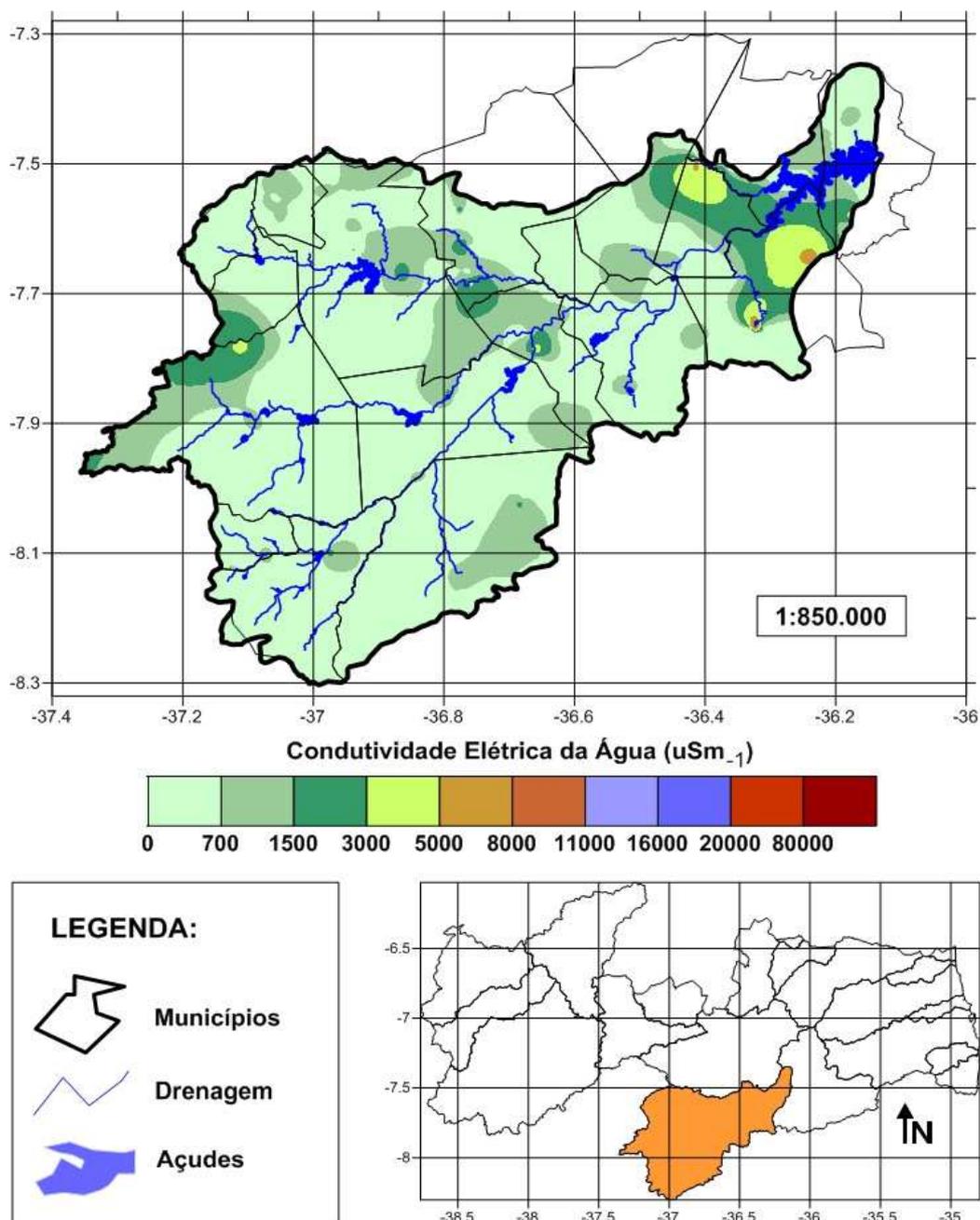


Figura 25. Sub-bacia Hidrográfica do Alto Paraíba, com classificação da água. Campina Grande, 2013

O resultado corrobora com Medeiros (2010), que encontrou núcleo de salinidade nas águas no município de Barra de São Miguel. Também corrobora com o PERH (2005), onde menciona que quanto à qualidade da água, ela apresenta, no seu componente superficial, pequenas restrições para o abastecimento humano, restrições de médias a altas para a irrigação e médias para o abastecimento industrial.

Conforme mapa, na sub-bacia do Alto Paraíba (Figura 25) observou-se poucas áreas com médio risco de salinização, quando do uso técnicas de captação de água superficial e subsuperficial. Entretanto, alguns pequenos afluentes constantes na sub-bacia poderão apresentar condições desfavoráveis para construções de obras de captação e armazenamento de água, necessitando assim investigação pontual nestes casos.

De modo geral, na maior parte da sub-bacia a água coletada tem níveis de sais abaixo de 1500 uS m^{-1} , sendo de condições excelentes para construções de barramentos superficiais e subsuperficiais, pois não têm restrição para os diversos usos.

5.3.3. Sub-bacia hidrográfica do Médio Paraíba

Conforme mapa georeferenciado (Figura 26), observou-se regiões que apresentam maior ou menor riscos de salinização, no uso técnicas de armazenamento para captação de água superficial e subsuperficial.

Analisando o mapa da sub-bacia hidrográfica do Médio Paraíba, percebe-se que existem áreas com elevada quantidade de sal na água, principalmente entre as latitudes $-7^{\circ}10'$ e $-7^{\circ}40'$ e longitudes -36° e $-36^{\circ}20'$ que englobam áreas dos municípios de Boa Vista e Campina Grande. A condutividade elétrica encontra-se acima do limite máximo para qualquer utilização, sendo necessário investigação aprofundada de qualquer ponto onde se queira fazer intervenção.

Outra área crítica nesta sub-bacia é entre as latitudes $-7^{\circ}30'$ e $-7^{\circ}70'$ e longitudes $-35^{\circ}70'$ e -36° , nos municípios de Queimadas, Fagundes, Barra de Santana e Gado Bravo. Também foram identificados núcleos com alto teor de salinidade no município Alcantil. Entretanto, nas áreas mencionadas, alguns pequenos afluentes poderão apresentar condições favoráveis para construções de obras de captação e armazenamento de água, desde que haja uma investigação pontual.

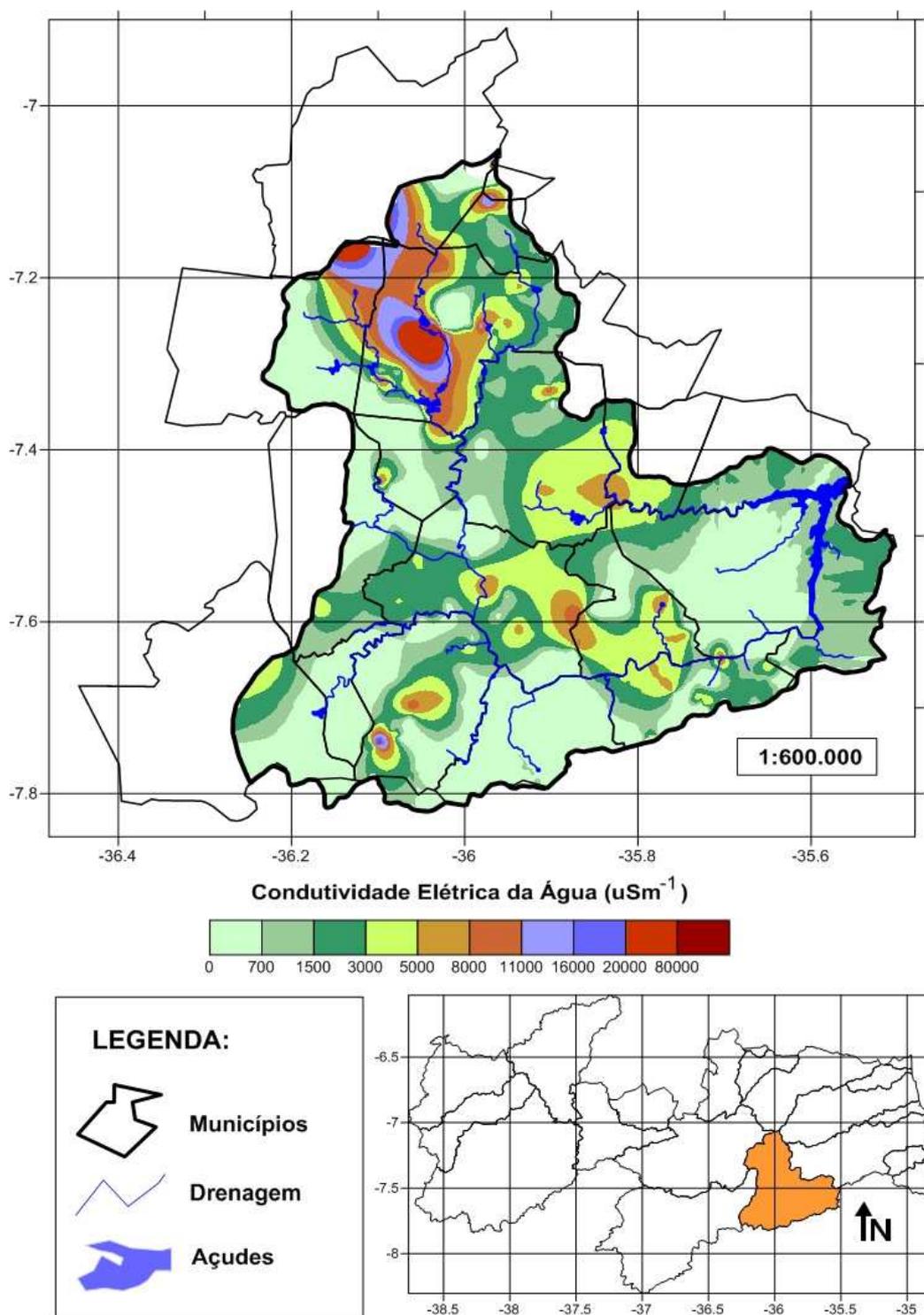


Figura 26. Sub-bacia Hidrográfica do Médio Paraíba, com classificação da água. Campina Grande, 2013

De modo geral, na maior parte da sub-bacia a água coletada tem níveis de sais abaixo de 3000 uS m^{-1} , sendo de condições satisfatórias para construções de barramentos superficiais e subsuperficiais, pois não têm restrição para os diversos usos, o que corrobora com PERH (2005), que atribui pequenas restrições para a

utilização para o abastecimento humano, médias restrições para o abastecimento industrial e restrições muito variáveis para a irrigação nas águas superficiais.

5.4. Precipitação pluviométrica nas fontes hídricas

5.4.1. Sub-bacia do Rio Taperoá

Conforme dados da Agência Executiva das Águas da Paraíba (AESPA, 2013) e se considerando o período de chuvas, de janeiro até junho de 2013 tem-se para o município de Assunção, um somatório de 246; 103,9 milímetros para o município de São João do Cariri; 107,8 milímetros para o município de Serra Branca e 246 milímetros para o município de Taperoá, cujos valores estão representados por mês na Figuras 27.

No município de Assunção, as primeiras precipitações só ocorreram em março, com valor mensal de maior representatividade no mês de abril, com 65,6 mm, sendo suficiente para armazenar água no reservatório. De acordo com Beltrão et al. (2005), 81% da precipitação média anual se concentra entre fevereiro e maio.

Segundo Gomes (2011), a temperatura e a precipitação média anual é de 25°C e 522 mm, respectivamente. Esse mesmo autor apresenta a precipitação mensal para o ano de 2009, com maior valor no mês de abril (225,9 mm). Confrontando a precipitação média histórica com o montante até o mês de junho de 2013 (Figura 27), percebe-se que no ano choveu apenas 32% da média anual.

No município de São João do Cariri, ocorreram chuvas nos meses de fevereiro e março, no entanto as precipitações de maior representatividade ocorrerem no mês de abril, com quantitativo de 61,4 mm. De acordo com Beltrão et al. (2005), no município a estação chuvosa se inicia em janeiro/fevereiro com término em setembro, podendo adiantar-se até outubro.

Segundo Santos (2004), a temperatura e a precipitação média anual é de 26°C e 395 mm, respectivamente. Esse mesmo autor relata que a estação seca é muito longa, com duração superior a oito meses. Relacionando a precipitação média histórica com o montante até o mês de junho de 2013 (Figura 27), percebe-se que no ano choveu apenas 26% da média anual.

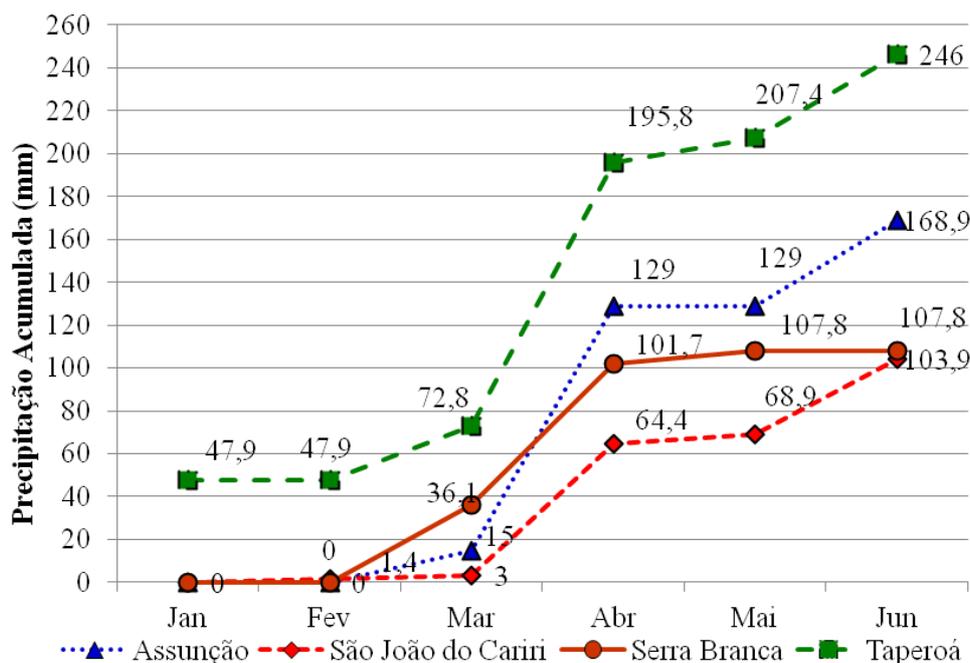


Figura 27. Precipitação mensal acumulada na estação mais próxima ao ponto coletado, na sub-bacia do Rio Taperoá. Campina Grande, 2013

Para o município de Serra Branca, as primeiras precipitações só ocorreram em março, com valor mensal de maior representatividade no mês de abril, com 114 mm, sendo suficiente para armazenar um pouco de água no reservatório. De acordo com o Ministério de Minas e Energia (2005), no município a estação chuvosa se inicia em janeiro/fevereiro com término em setembro, podendo adiantar-se até outubro.

Segundo Andrade (2007), a temperatura média anual é de 23,4°C, e os valores de precipitação e evaporação média são de 738,6 mm e 2328 mm ao ano, respectivamente. Confrontando a média anual com a precipitação registrada no ano (Figura 27), percebe-se que até o mês de junho de 2013 choveu somente 15% do volume anual médio.

Para o município de Taperoá, houve precipitação desde janeiro, com valor mensal de maior representatividade no mês de abril, 123 mm, no entanto não foi suficiente para manter o reservatório pesquisado com água. De acordo com Beltrão et al. (2005), a estação chuvosa se inicia em janeiro/fevereiro com término em setembro, podendo adiantar-se até outubro.

Analisando as informações de precipitação e confrontando com a visita in loco, percebe-se claramente a variação da precipitação na área de abrangência. Fato este comprovado, visto que no mês de abril choveu quantidade representativa no

município, no entanto o reservatório que fica a aproximadamente 3 km do pluviômetro secou entre abril e maio.

Segundo o Ministério da Integração Nacional (2005), a área estudada faz parte do semiárido brasileiro, com média pluviométrica de 505 mm ao ano. Sousa (2011), faz referência a uma precipitação de 558 mm ao ano e temperatura de 26°C para o município de Taperoá. Wanderley (2012) relata uma precipitação média anual de 571,6 mm, analisando séries históricas entre 1978 e 2011.

Levando em consideração o Ministério da Integração Nacional, a precipitação registrada no ano de 2013 até o mês de junho (Figura 27), foi de apenas 49% da média anual. Confrontando com Sousa (2011) e Wanderley (2012), a porcentagem é ainda inferior, sendo de 44% e 43%, respectivamente.

Analisando a Figura 27, nota-se grande variação de precipitação na sub-bacia do Taperoá, no entanto, de modo geral a quantidade de chuvas na sub-bacia fiou bem abaixo da média histórica.

5.5.2. Sub-bacia do Alto Paraíba

Conforme dados da Agência Executiva das Águas da Paraíba (AESPA, 2013) e se considerando o período de chuvas, de janeiro até junho de 2013 tem-se para o município do Congo, um somatório de 87,1 mm; 385,6 milímetros para o município de Monteiro; 136,8 milímetros para o município de Riacho de Santo Antônio e 158,9 milímetros para o município de Sumé, cujos valores estão representados por mês na Figuras 28.

No município do Congo, as primeiras precipitações só ocorreram no mês de março e valor mensal de maior representatividade no mês de abril, com 44,1 mm, sendo insuficiente para armazenar água no reservatório. De acordo com Beltrão et al. (2005), a precipitação média anual é de 431,8 mm, sendo que o período chuvoso se inicia em novembro com término em abril. Confrontando a precipitação média histórica com o montante até o mês de junho de 2013 (Figura 28), percebe-se que no ano choveu apenas 20% da média anual.

No município de Monteiro, ocorreram chuvas em todos os meses de coleta, sendo no mês de março o maior volume, com 95,1 mm precipitados. Segundo Beltrão et al. (2005), a precipitação média anual é de 431,8 mm, sendo que o período chuvoso

se inicia em novembro com término em abril. Para Drumond (2006), a precipitação média anual no município de Monteiro é 620 mm.

Confrontando a precipitação média histórica com o montante até o mês de junho de 2013 (Figura 28), percebe-se que no ano choveu 89% e 62%, conforme Beltrão e Drumond, respectivamente.

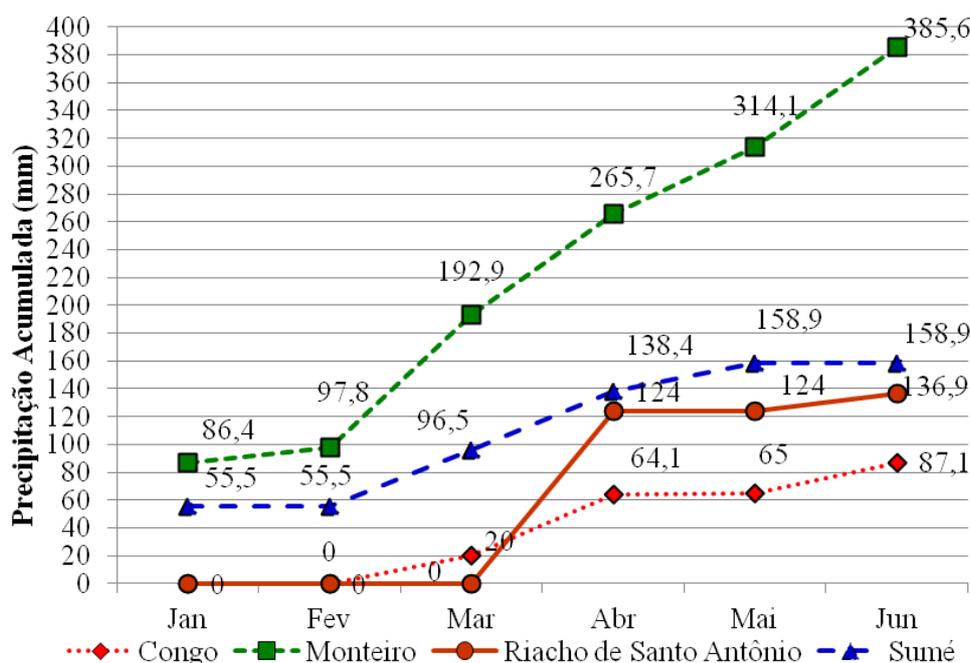


Figura 28. Precipitação mensal acumulada na estação mais próxima ao ponto coletado, na sub-bacia do Alto Paraíba. Campina Grande, 2013

No município de Riacho de Santo Antônio, as primeiras precipitações só ocorreram no mês de abril, e sendo o de maior representatividade, com 124 mm, sendo suficiente para armazenar um pouco de água no reservatório. Segundo Beltrão et al. (2005), a precipitação média anual é de 431,8 mm, sendo que o período chuvoso se inicia em novembro com término em abril. Relacionando a precipitação média histórica com o montante até o mês de junho de 2013 (Figura 28), percebe-se que no ano choveu apenas 32% da média anual.

No município de Sumé, houve precipitação em janeiro, março, abril e maio (Figura 28), com valor mensal de maior representatividade no mês de janeiro, 55,5 mm, no entanto não foi suficiente para armazenar água no reservatório pesquisado.

De acordo com Albuquerque (2002), a temperatura e a precipitação pluviométrica média anual é de 24°C e 695 mm, respectivamente. Confrontando a

precipitação média com o volume de 2013 (Figura 28), observa-se que choveu apenas 23% no período.

Analisando a Figura 28, nota-se grande variação de precipitação na sub-bacia do Alto Paraíba, sendo que apenas no município de Monteiro a precipitação acumulada no ano já se aproximou da média anual. Nos municípios do Congo, Riacho de Santo Antônio e Sumé, a quantidade de chuvas está inferior a média anual.

5.5.3. Sub-bacia do Médio Paraíba

Conforme dados da Agência Executiva das Águas da Paraíba (AESAs, 2013) e considerando o período de chuvas, de janeiro até junho de 2013 tem-se para o município de Aroeiras, um somatório de 246 milímetros; 116,1 milímetros para o município de Barra de Santana e 207,4 milímetros para o município de Gado Bravo, cujos valores estão representados por mês na Figuras 31.

No município de Aroeiras somente no mês de janeiro que não houve precipitação, com quantitativo mensal de maior representatividade no mês de abril, sendo de 75,2 mm, volume este insuficiente para armazenar água no reservatório.

Segundo Beltrão et al. (2005), no município o inverno é chuvoso com início em março e se estende até setembro. Silva et al. (2009), analisando dados climáticos encontrou precipitação anual média de 728,1 +- 238,5 mm para a região agreste da Paraíba.

Contrariando os autores acima citados, no ano de 2013 o inverno foi seco no município de Aroeiras, com apenas 34% da precipitação citada por Silva et al. (2009) até o mês de junho (Figura 29).

Corroborando com os dados pluviométricos do município de Aroeiras, em Barra de Santana também não choveu somente no mês de janeiro e teve precipitações de maior representatividade mês de abril, com quantitativo de 76,6 mm. Souza (2010) relata que no mês de abril e maio de 2009, a precipitação pluviométrica foi de 192,5mm e 176,3 mm, respectivamente.

Segundo Beltrão et al. (2005), no município o inverno é chuvoso com início em março e se estende até setembro. Souto (2012) analisando dados pluviométricos da região onde está o município de Barra de Santana, encontrou precipitação média anual que varia em torno de 450 mm, com maior concentração entre os meses de março e julho,

sendo bastante incomuns nos outros meses do ano. Contrariando os autores acima citados, no ano de 2013 o inverno foi seco no município de Barra de Santana, com apenas 26% da precipitação citada por Souto (2012) até o mês de junho (Figura 29).

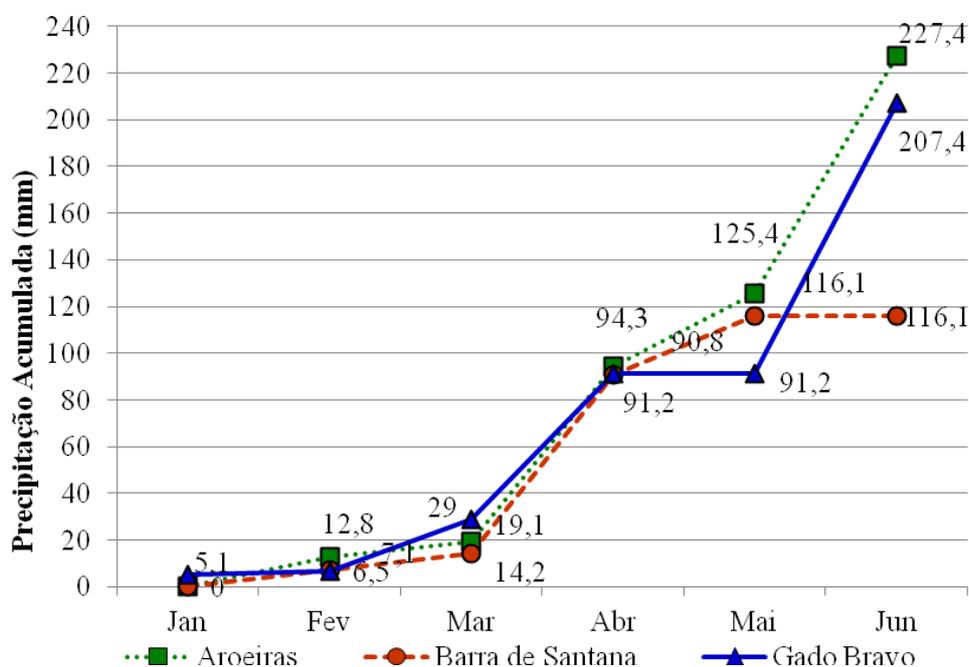


Figura 29. Precipitação mensal acumulada na estação mais próxima ao ponto coletado, na sub-bacia do Médio Paraíba. Campina Grande, 2013

No município de Gado Bravo houve precipitação desde janeiro, no entanto com quantitativo bem baixo, sendo que o mês de junho teve maior representatividade na precipitação, com somatório de 116,2 mm.

Analisando as informações de precipitação e confrontando com a visita in loco, percebe-se claramente a variação da precipitação na área de abrangência. Fato este comprovado, visto que no mês de junho choveu quantidade representativa no município, no entanto o reservatório que fica a aproximadamente 7 km do pluviômetro está secando.

Segundo Beltrão et al. (2005), no município o inverno é chuvoso com início em março e se estende até setembro. Contrariando Beltrão, Souto (2012) analisando dados pluviométricos da região onde está o município de Gado Bravo, encontrou concentração de precipitação entre os meses de março e julho, sendo bastante incomuns nos outros meses do ano.

Contrariando Beltrão et al. (2005), no ano de 2013 o inverno foi seco, e levando em consideração a média anual de precipitação para região que é de 450 mm, percebe-se que choveu apenas 46% até o mês de junho (Figura 29).

Analisando a Figura 29, nota-se grande variação de precipitação na sub-bacia do Médio Paraíba para o ano de 2013 e de um modo geral, a precipitação ficou abaixo dos 50% com relação a média anual para a sub-bacia.

5.6. Análise química da água

Analisando e classificando os pontos de água por sub-bacia, percebe-se que a grande maioria está apta para consumo humano com relação ao pH (Figura 30). Para os elementos cloreto e sódio, na sub-bacia do Médio Paraíba apenas 47,1% e 52,9% das amostras estão aptas, respectivamente, enquanto na sub-bacia do Alto Paraíba 90,5% das amostras estão aptas para ambos. Para os sólidos dissolvidos totais, as mesmas sub-bacias tiveram 90,5% e 47,1% das amostras aptas. Analisando conjuntamente as sub-bacias para consumo humano, percebe-se que na bacia do Rio Paraíba, 98,1% das amostras estão aptas para o pH, 68,5% para cloreto e sódio e 72,2% para sólidos.

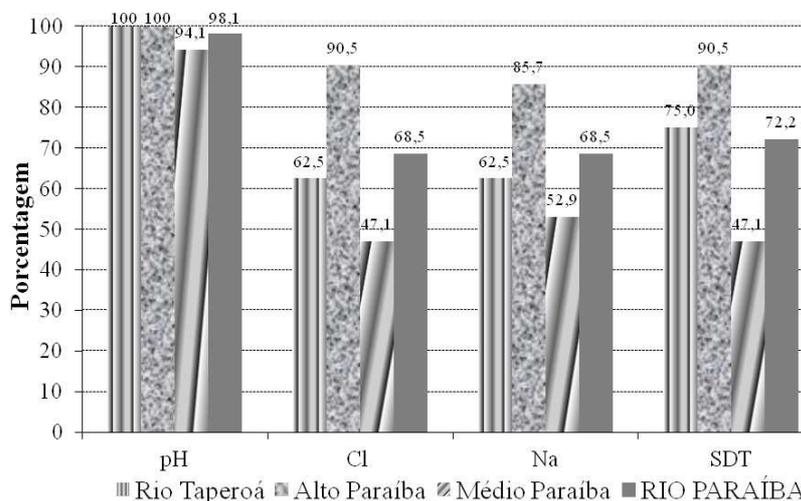


Figura 30. Classificação da água para consumo humano, por sub-bacia. Campina Grande 2013

O resultado para o pH contraria Freire (2012), em trabalho realizado no estado do Ceará. Segundo o autor elevados valores de pH podem promover problemas de toxicidade de íons, propiciar a precipitação de íons de baixa solubilidade, além de atuar

no equilíbrio $\text{HCO}_3^{2-}/\text{CO}_3^{-}$, favorecendo a conversão do bicarbonato em carbonato, este último menos solúvel.

Correlacionando os dados obtidos para classificação de consumo animal (Figura 31), percebe-se discrepâncias entre as sub-bacias. Na sub-bacia do Alto Paraíba 90,5% das amostras são excelentes (A), enquanto que na sub-bacia do Médio Paraíba apenas 47,1% das amostras são excelentes (A) e 52,9% são muito satisfatória (B). Apenas 6,3% das amostras da sub-bacia do Rio Taperoá foram enquadradas como sendo satisfatória para o gado e não satisfatória para as aves (C). Com relação a bacia do Rio Paraíba, 72,2% das amostras são excelentes (A) e 25,9% são muito satisfatória (B). Comparando o resultado entre as duas etapas - Bacia do Rio Paraíba, percebe-se que a similaridade é grande quando para a utilização da água para consumo animal, principalmente relacionada a águas de melhor qualidade. Com relação ao elemento magnésio, todas as amostras estão aptas para dessedentação dos animais.

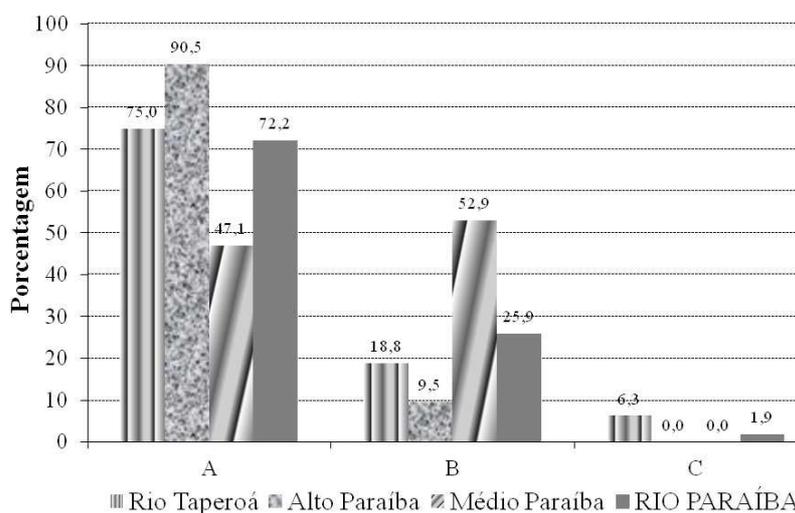


Figura 31. Classificação da água para consumo animal, por sub-bacia. Campina Grande 2013

Analisando quanto a classificação de Richard para irrigação (Figura 32), observa-se que na sub-bacia do Alto Paraíba 57,1% das amostras são de água com salinidade baixa (C1), enquanto que na sub-bacia do Médio Paraíba 29,4% das amostras são de água com salinidade muito alta (C4). Analisando conjuntamente as sub-bacias, percebe-se que na bacia do Rio Paraíba, 44,4% das amostras são de água com salinidade baixa (C1), 9,3% são de água com salinidade média (C2), 27,8% são de água com salinidade alta (C3) e 18,5% são de água com salinidade muito alta. Comparando os resultados entre as duas etapas, percebe-se que a porcentagem de amostras por classe é muito similar.

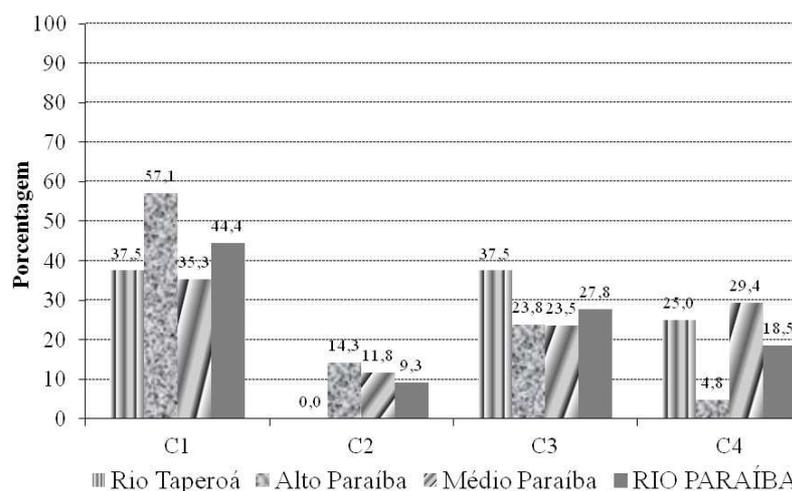


Figura 32. Classificação da água para irrigação por sub-bacia, conforme Richard. Campina Grande 2013

Analisando os resultados quanto a classificação da UCCC para irrigação (Figura 33), observa-se que na sub-bacia do Alto Paraíba 71,4% das amostras não tem restrição de uso, enquanto que na sub-bacia do Rio Taperoá 18,8% das amostras tem severas restrições de uso. Analisando conjuntamente as sub-bacias, percebe-se que na bacia do Rio Paraíba, 53,7% das amostras não tem restrição e apenas 9,3% tem severas restrições de uso.

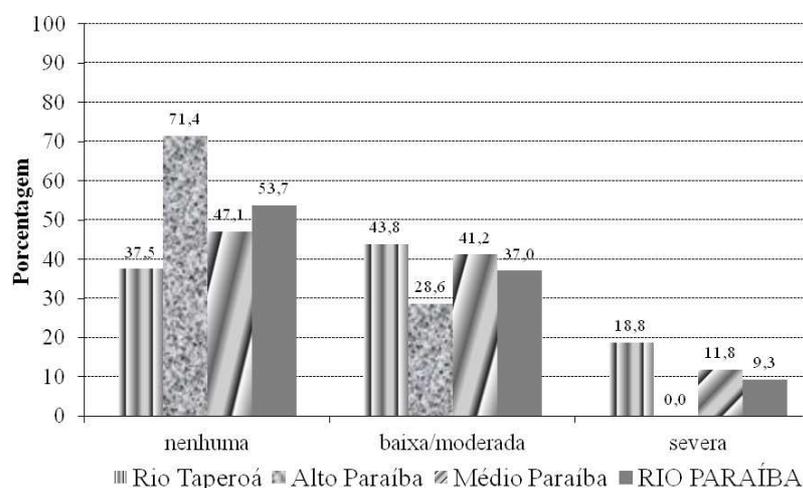


Figura 33. Classificação da água para irrigação por sub-bacia, conforme UCCC. Campina Grande 2013

Correlacionando os dados obtidos com relação ao risco de sodicidade (Figura 34), percebe-se certa homogeneidade entre as sub-bacias quanto ao risco moderado, no entanto para severo risco a sub-bacia do Alto Paraíba tem 57,1%, enquanto na sub-bacia do Médio Paraíba tem apenas 17,6% das amostras. Analisando os dados quanto a

bacia hidrográfica do Rio Paraíba, percebe-se que o risco de sodicidade é severo em 38,9% das amostras.

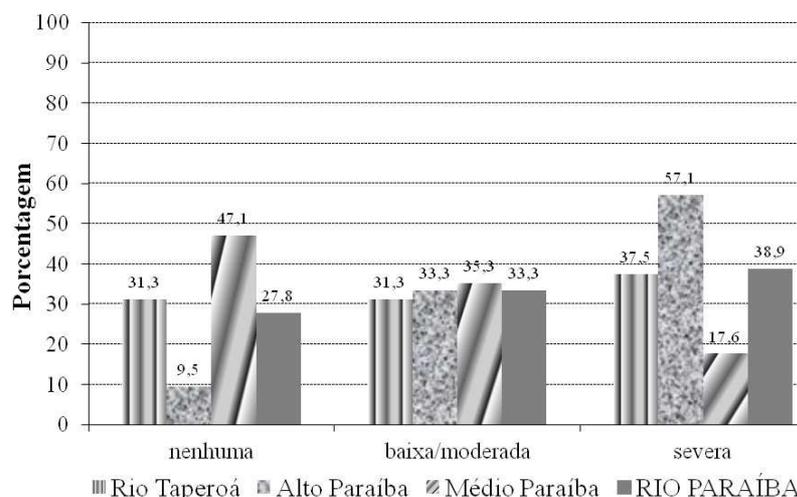


Figura 34. Classificação da água quanto ao risco de sodicidade na irrigação, por sub-bacia. Campina Grande 2013

Qualificando os dados para utilização na irrigação com relação ao pH, vislumbra-se que há grande homogeneidade entre as sub-bacias, sendo que 92,6% das amostras da bacia hidrográfica do Rio Paraíba estão aptas (Figura 35). O resultado em questão é melhor que o valor encontrado na análise da primeira etapa.

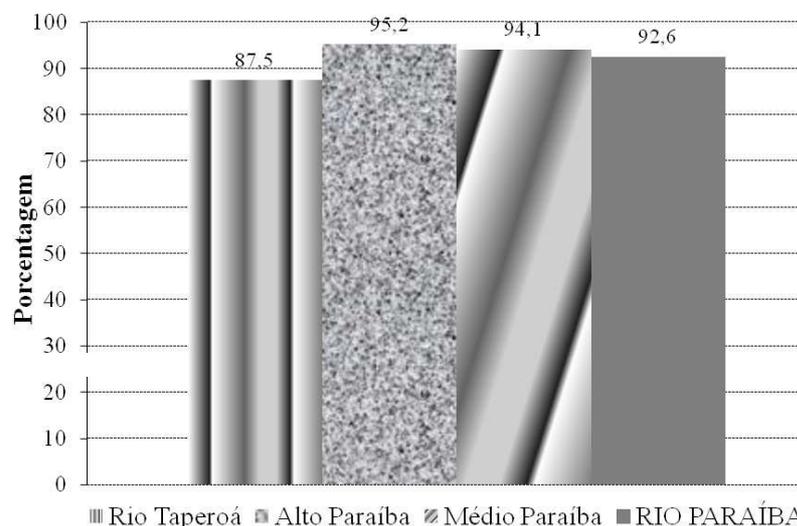


Figura 35. Classificação da água quanto ao risco do pH na irrigação, por sub-bacia. Campina Grande 2013

Através da Figura 36, percebe-se que o elemento sódio não têm grande porcentagem de amostras com severas restrições, quando a água for utilizada na irrigação através do método de superfície. Analisando o mesmo elemento para

irrigação por aspersão, verificou-se que 100% das amostras não tem nenhuma restrição de uso.

Efetuada análise do íon cloreto para utilização da água em irrigação, verificou-se que 100% das amostras não tem nenhuma restrição para os métodos de irrigação superficial e por aspersão.

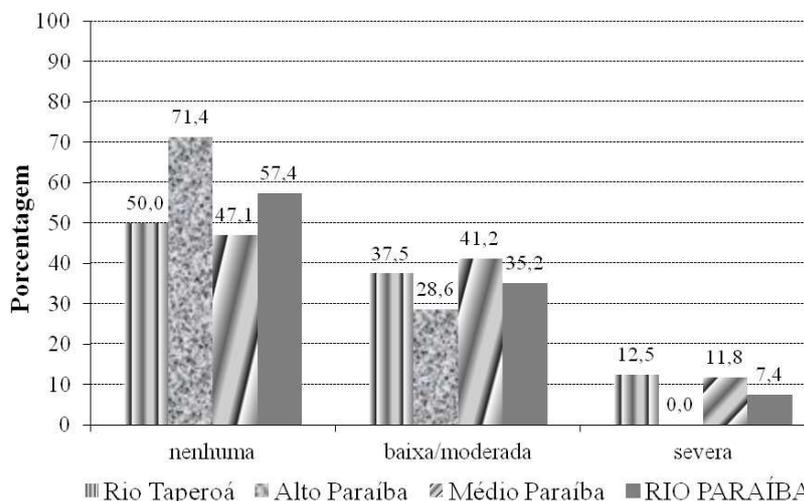


Figura 36. Classificação da água para sódio na irrigação superficial, por sub-bacia. Campina Grande 2013

Classificando o bicarbonato (Figura 37) para utilização da água em irrigação, percebe-se que a sub-bacia do Alto Paraíba é a que tem maior porcentagem de amostras sem nenhuma restrição, 76,2%, em contraponto a sub-bacia do Médio Paraíba é a que tem maior porcentagem de amostras com moderada restrição de uso, 58,8%. De um modo geral, na bacia hidrográfica do Rio Paraíba o bicarbonato não tem restrição para a utilização da água em irrigação.

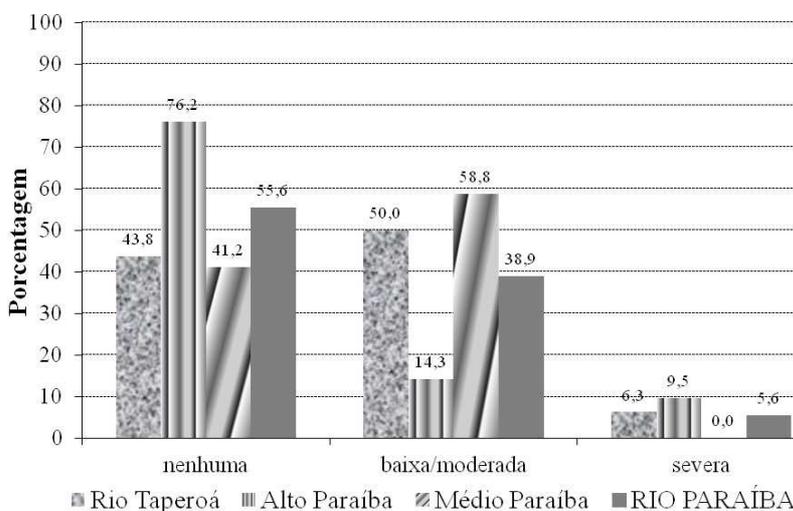


Figura 37. Classificação da água para bicarbonato na irrigação, por sub-bacia. Campina Grande 2013

5.7. Análise hidroquímica

5.7.1. Interpretação da qualidade da água através de Stiff

5.7.1.1. Sub-bacia do Rio Taperoá

O Diagrama de Stiff facilmente detecta águas da mesma família. É a representação gráfica do resultado de uma análise química em que os íons de interesse são expressos em meq/L segundo linha paralela escaladas e os pontos são unidos, formando polígonos. Consiste em projetar a concentração de alguns cátions (sódios + potássio, magnésio e cálcio) do lado esquerdo das três retas que o compõem e a concentração de alguns ânions (cloreto, sulfato e bicarbonato) do lado direito das mesmas retas. Desta projeção resultam os picos que apontam os íons presentes em maior quantidade.

A variação de cátions e ânions nos pontos amostrados é muito grande, conforme as Figuras 38, 39 e 40, ressaltando características pluviométricas contrastantes entre os três pontos.

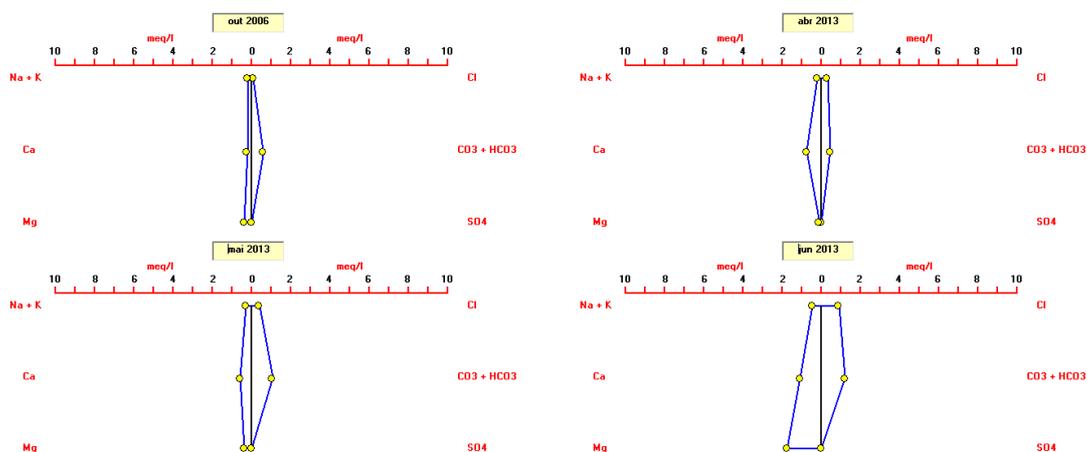


Figura 38. Variação entre os íons nas águas amostradas no município de Assunção, sub-bacia hidrográfica do Rio Taperoá. Campina Grande, 2013

Visualizando a Figura 38, nota-se que os elementos presentes na água do município de Assunção não tem valores elevados. Comparando os teores entre 2006 e 2013, percebe-se pequena variação, mesmo em meses diferentes de coleta. Para o ano de 2013, no mês de abril os parâmetros dos elementos analisados tiveram os menores valores, aumentando gradativamente nos meses subsequentes.

Isso é perfeitamente compreensível, vislumbrando que no mês de abril houve grande precipitação no município, armazenando a água no reservatório. Com a ausência de precipitação no mês de maio e baixa precipitação no mês de junho, aliada

a retirada de água para consumo, evaporação e infiltração, nos meses subsequentes a precipitação o reservatório começou a diminuir a quantidade de água e a concentrar os elementos.

Analisando a Figura 38 e comparando entre os meses de abril, maio e junho, percebe-se claramente que os elementos são facilmente diluídos com a precipitação, concentrando-se quando ha diminuição no volume de água armazenado. Isso é evidente para os elementos cálcio, cloreto e magnésio entre os meses de abril e junho.

Observa-se que, embora a proporção visual da Figura 38 tenha se mantido a mesma, isto é, mesma feição dos diagramas, evidenciando homogeneidade composicional das águas, a concentração dos íons variou, sendo influenciada pelas condições pluviométricas distintas entre os meses de coleta.

Referidos resultados corroboram com Melo Junior et al. (2003), que realizam trabalho em um trecho do Rio Açu – RN. Os resultados em questão contrariam Lopes (2005) que, em trabalho realizado no município de Iguaraci, PE, cita predomínio dos íons bicarbonato e cálcio sobre os demais.

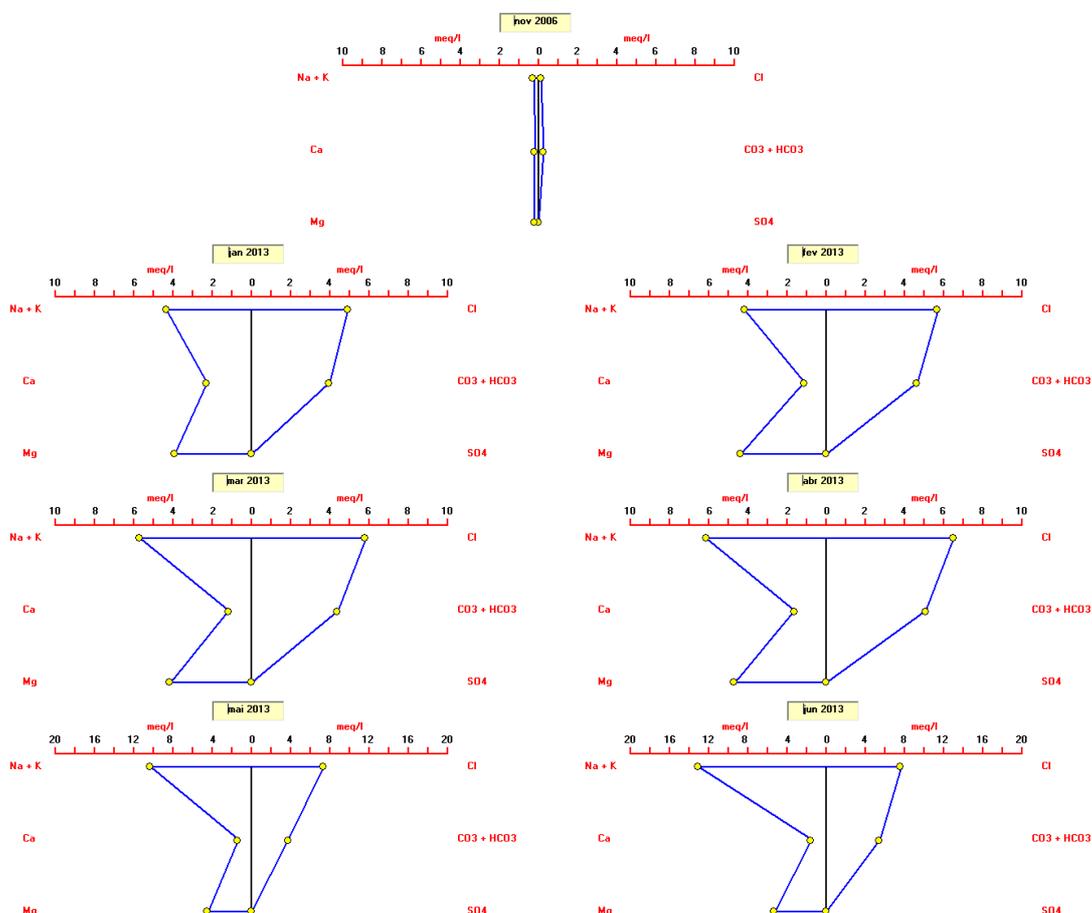


Figura 39. Variação entre os íons nas águas amostradas no município de São João do Cariri, sub-bacia hidrográfica do Rio Taperoá. Campina Grande, 2013

Visualizando a Figura 39, nota-se que os elementos presentes na água do município de São João do Cariri tem valores muito baixo na coleta de 2006 e valores muito alto nas coletas de 2013. Vislumbrando que no município até o mês de junho choveu somente 26% da média anual, a concentração dos elementos é compreensível. Comparando as coletas, nota-se perfeitamente que os elementos foram aumentando gradativamente, principalmente sódio e cloreto, devido a diminuição do volume de água do açude. Infere-se com a situação, que os elementos constantes são facilmente diluídos com a precipitação.

Observa-se na Figura 39, que mesmo com a concentração dos elementos entre as coletas no ano de 2013, foi mantida a mesma feição dos diagramas, evidenciando homogeneidade composicional das águas.

Visualizando a Figura 40, nota-se que os elementos presentes na água do município de Taperoá tem valores muito baixo na coleta de 2006 e valores extremamente alto nas coletas de 2013. Isso pode ser explicado, vislumbrando que no município até o mês de junho choveu somente a metade da média anual.

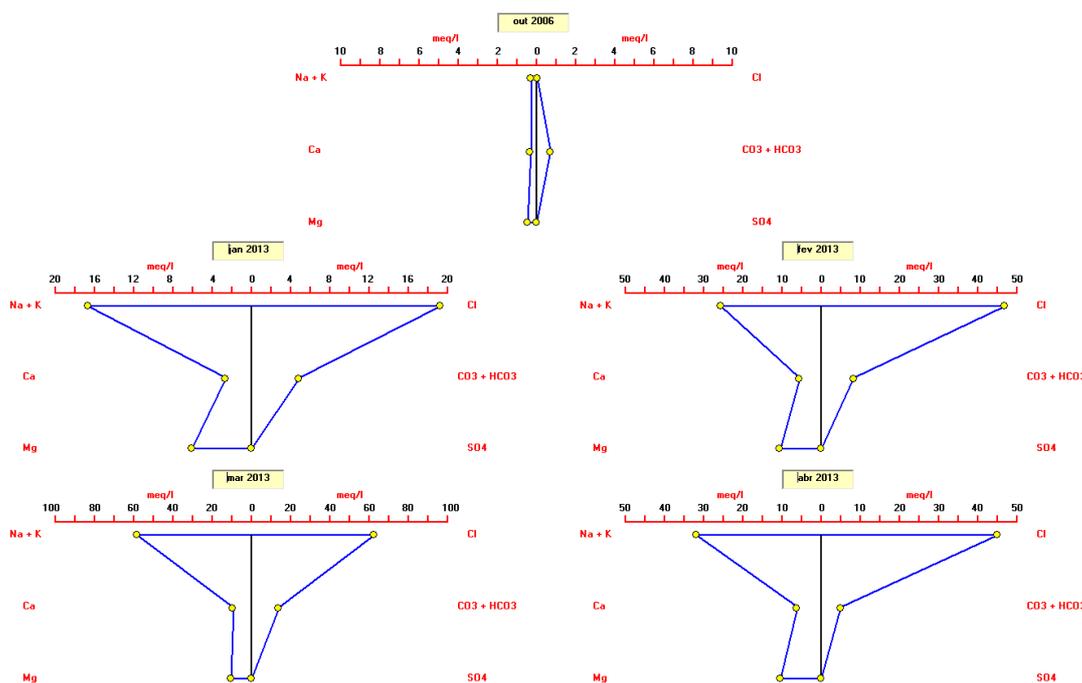


Figura 40. Variação entre os íons nas águas amostradas no município de Taperoá, sub-bacia hidrográfica do Rio Taperoá. Campina Grande, 2013

Comparando as coletas, nota-se perfeitamente que os elementos foram aumentando gradativamente, principalmente sódio e cloreto, devido a diminuição do volume de água do açude. Infere-se com a situação, que os elementos constantes são facilmente diluídos com a precipitação.

Observa-se na Figura 40, que mesmo com a concentração dos elementos entre as coletas no ano de 2013, foi mantida a mesma feição dos diagramas, evidenciando homogeneidade composicional das águas.

5.7.1.2. Sub-bacia do Alto Paraíba

A variação de cátions e ânions nos pontos amostrados é muito grande, conforme as Figuras 41, 42, 43 e 44, ressaltando características pluviométricas contrastantes entre as amostragens.

Visualizando a Figura 41, nota-se que os elementos presentes na água do município do Congo tem valores muito baixo na coleta de 2006 e valores variando entre médio e alto nas coletas de 2013.

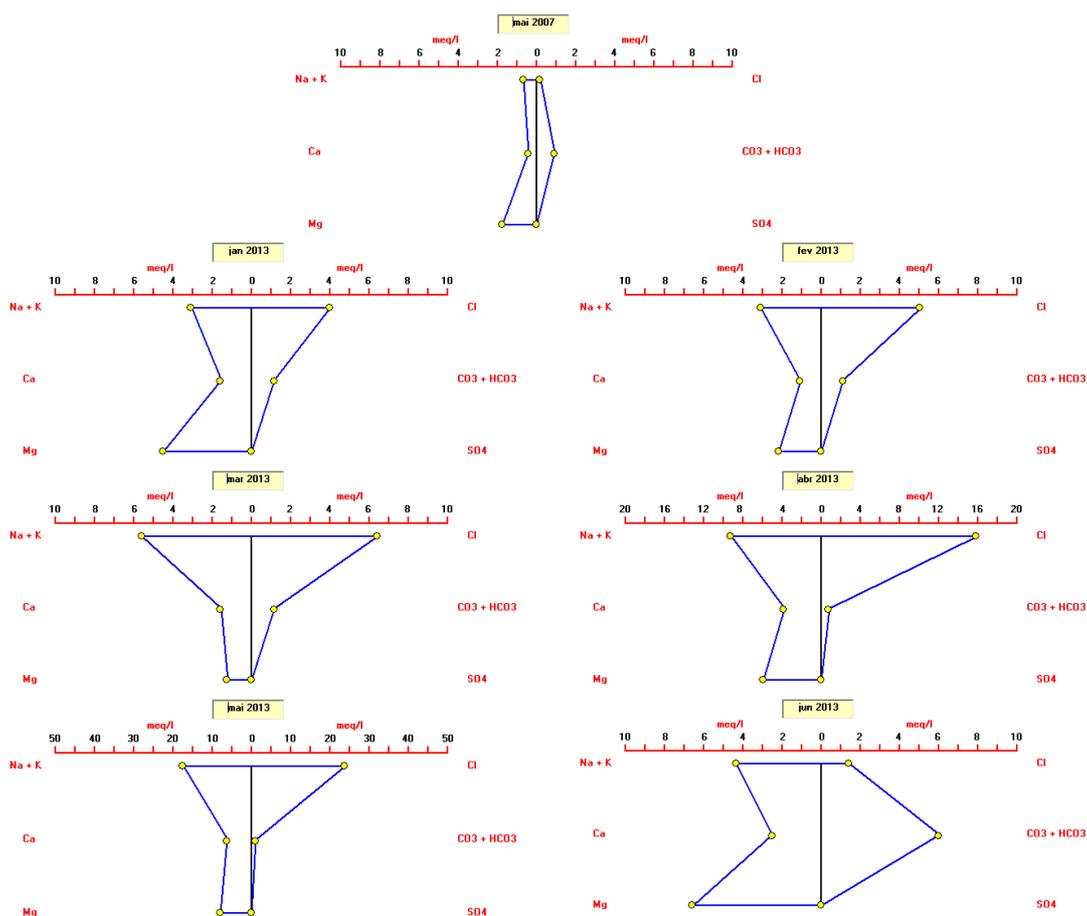


Figura 41. Variação entre os íons nas águas amostradas nos municípios do Congo, sub-bacia hidrográfica do Alto Paraíba. Campina Grande, 2013

Observa-se na Figura 41, que houve variação na concentração dos elementos entre as coletas no ano de 2013, sendo assim, não manteve a mesma feição dos

diagramas, evidenciando heterogeneidade composicional das águas. Essa alteração é mais evidente no íon cloreto e carbonato + bicarbonato, o que pode ser explicado devido a variação na precipitação e/ou através da adição de nutrientes na água, principalmente através da morte de peixes e de fezes de aves (patos). Também pode associada aos eventos climáticos, pois segundo Laraque (1989) a composição da água superficial pode alterar-se sob a influência da precipitação pluviométrica e da evaporação.

Analisando as variações da Figura 41 percebe-se que o reservatório em questão tem problemas relacionados ao acúmulo e variação de cloreto, magnésio e sódio, principalmente com a diminuição do volume, não sendo recomendado para uso.

Visualizando a Figura 42, nota-se que os elementos presentes na água do município de Monteiro tem valores muito baixo em todas as coletas.

Observa-se também que a variação entre as coletas é pouco significativa, sendo assim, manteve a mesma feição dos diagramas, evidenciando homogeneidade na composição da água.

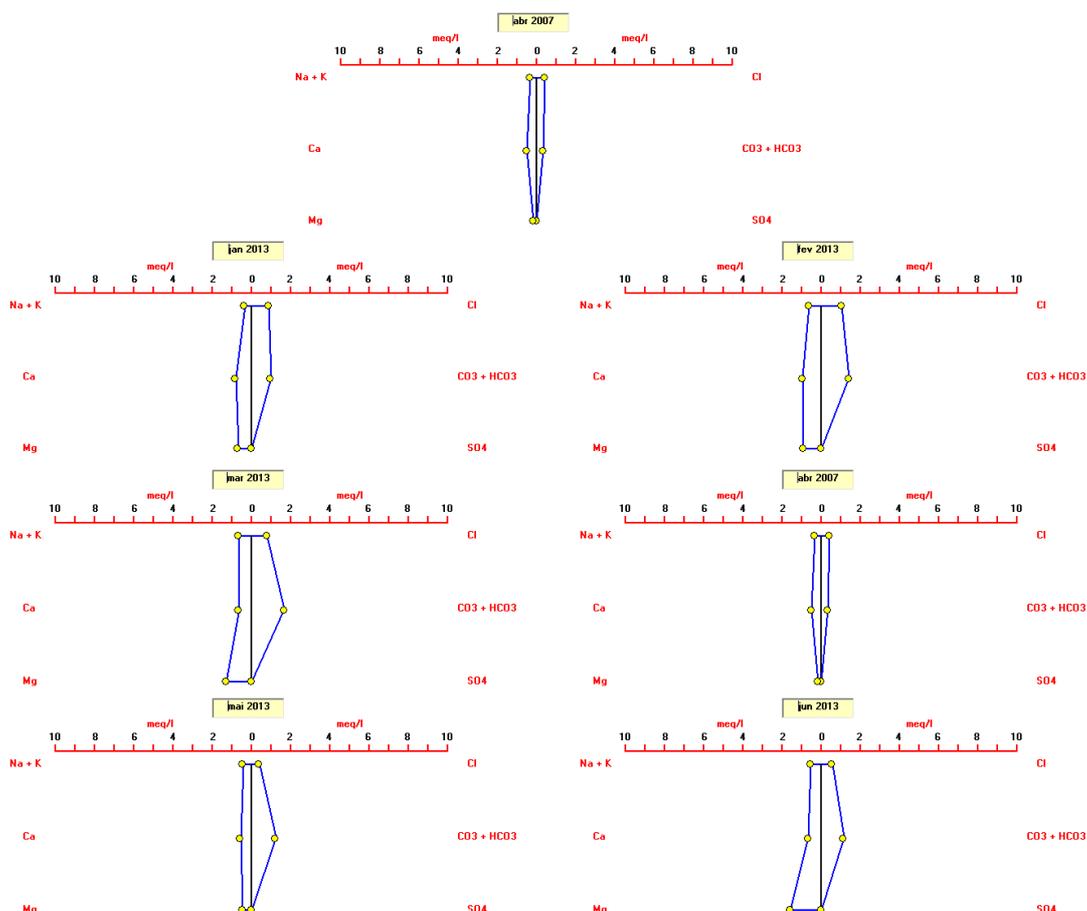


Figura 42. Variação entre os íons nas águas amostradas nos municípios do Monteiro, sub-bacia hidrográfica do Alto Paraíba. Campina Grande, 2013

Analisando as variações da Figura 42 percebe-se que o reservatório em questão não tem problemas relacionados ao acúmulo de elementos que ocasionam a degradação da qualidade da água, sendo assim, com a precipitação os elementos são facilmente diluídos, permanecendo a água com boa qualidade por um período, podendo ser utilizada para vários fins, tanto agrícolas como para dessedentação de animais e pessoas, após prévio tratamento.

Visualizando a Figura 43, nota-se que os elementos presentes na água do município de Riacho de Santo Antônio tem valores baixos em todas as coletas.

Observa-se também que a variação entre as coletas é pouco significativa, sendo assim, manteve a mesma feição dos diagramas, evidenciando homogeneidade na composição da água.

Analisando as variações da Figura 43 percebe-se que o reservatório em questão não tem problemas relacionados ao acúmulo de elementos que ocasionam a degradação da qualidade da água, principalmente sódio e cloreto, sendo assim, com a precipitação os elementos são facilmente diluídos, permanecendo a água com boa qualidade por um período, podendo ser utilizada para fins agrícolas e dessedentação de animais.

Os resultados em questão corroboram com Lopes (2005) que, em trabalho realizado no município de Iguaraci, PE, cita predomínio dos íons bicarbonato sobre os demais.

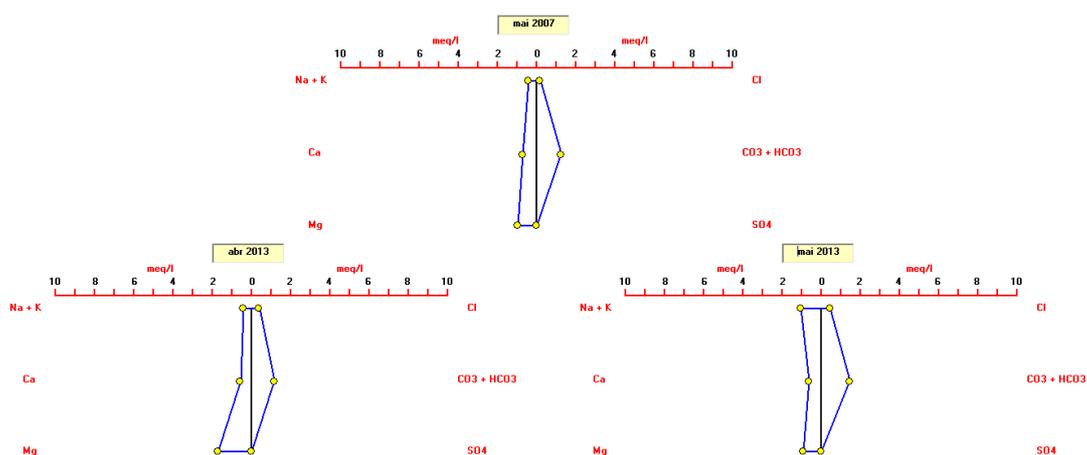


Figura 43. Variação entre os íons nas águas amostradas nos municípios de Riacho de Santo Antônio, sub-bacia hidrográfica do Alto Paraíba, Campina Grande, 2013

Visualizando a Figura 44, nota-se que os elementos presentes na água do município de Sumé tem valores baixos na coleta de 2007 e valores extremamente alto nas coletas de 2013. Observa-se também que ha concentração de elementos entre as

coletas de 2013, no entanto a variação é proporcional, sendo assim, manteve a mesma feição dos diagramas, evidenciando homogeneidade na composição química da água.

Analisando as variações da Figura 44 percebe-se que o reservatório em questão tem problemas relacionados ao acúmulo de elementos que ocasionam a degradação da qualidade da água, principalmente sódio e bicarbonato, sendo assim, há a necessidade de grande volume de precipitação para que estes elementos possam ser diluídos, podendo posteriormente ser utilizada para fins agrícolas, dessedentação de animais e pessoas, após prévio tratamento.

Os resultados em questão corroboram em parte com Lopes (2005) que, em trabalho realizado no município de Igaraci, PE, cita predomínio dos íons cálcio e bicarbonato sobre os demais.

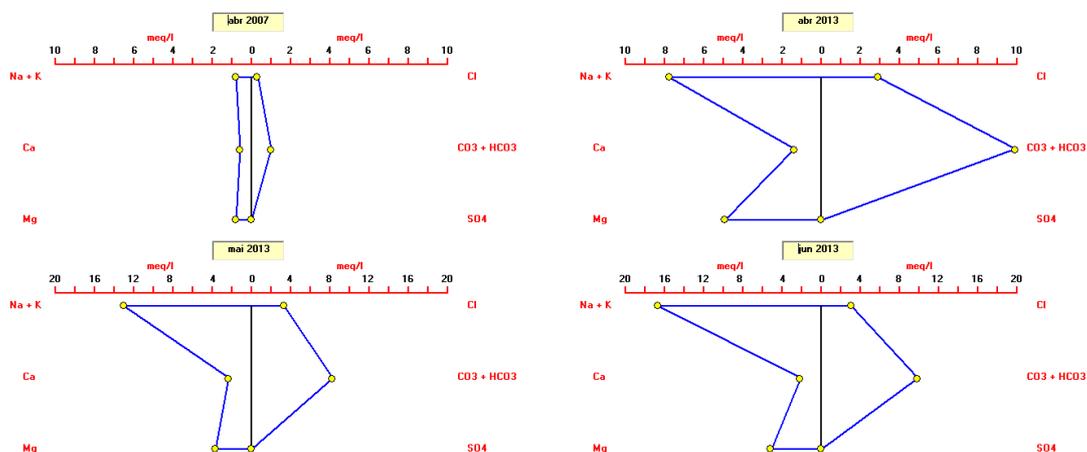


Figura 44. Variação entre os íons nas águas amostradas nos municípios de Sumé, sub-bacia hidrográfica do Alto Paraíba. Campina Grande, 2013

5.7.1.3. Sub-bacia do Médio Paraíba

A variação de cátions e ânions nos pontos amostrados é muito grande, conforme as Figuras 45, 46 e 47, ressaltando características pluviométricas contrastantes entre as três amostragens.

Visualizando a Figura 45, nota-se que os elementos presentes na água do município de Barra de Santana - Ponto A tem valores baixos em todas as coletas.

Observa-se também que a variação entre as coletas é pouco significativa, sendo assim, manteve a mesma feição dos diagramas, evidenciando homogeneidade na composição química da água.

Analisando as variações da Figura 45 percebe-se que o reservatório em questão não tem problemas relacionados ao acúmulo de elementos que ocasionam a degradação da qualidade da água, principalmente sódio e cloreto. Sendo assim, com a precipitação os elementos são facilmente diluídos, permanecendo a água com boa qualidade por um período, podendo ser utilizada para fins agrícolas e dessedentação de animais, levando em consideração o elemento bicarbonato.

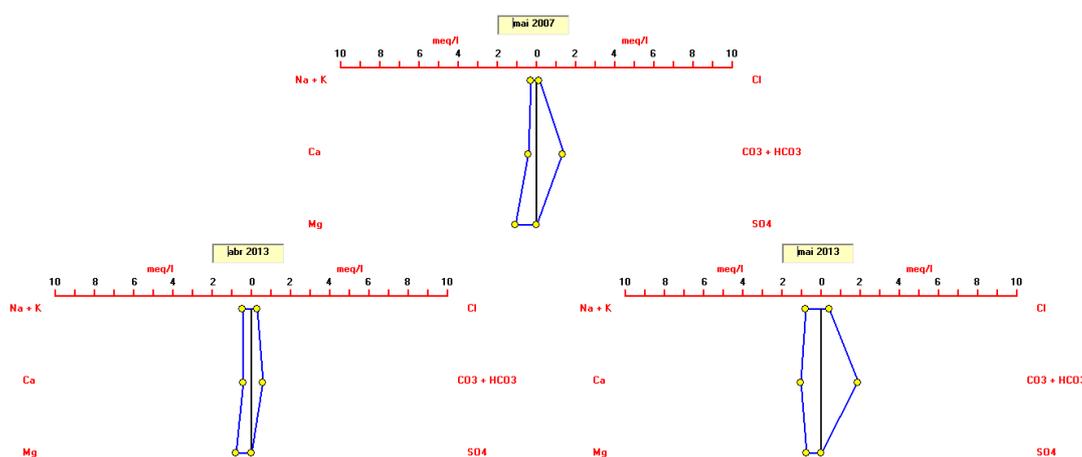


Figura 45. Variação entre os íons nas águas amostradas no município de Barra de Santana A, sub-bacia hidrográfica do Médio Paraíba. Campina Grande, 2013

Referidos resultados corroboram com Melo Junior et al. (2003), que realizam trabalho em um trecho do Rio Açu – RN. Os resultados em questão corroboram com Lopes (2005) que, em trabalho realizado no município de Iguaraci, PE, cita predomínio dos íons bicarbonato sobre os demais.

Visualizando a Figura 46, nota-se que os elementos presentes na água do município de Barra de Santana - Ponto B tem valores que variam de muito baixo a muito alto.

Observa-se também que a variação entre as coletas é bem significativa, sendo assim, manteve a mesma feição dos diagramas para as coletas de janeiro, fevereiro e março de 2013, variando significativamente para os meses subsequentes.

Analisando as variações da Figura 46 percebe-se que o reservatório em questão tem problemas relacionados ao acúmulo de elementos que ocasionam a degradação da qualidade da água, principalmente bicarbonato, cloreto e sódio. Sendo assim, é necessário que grande volume de água seja armazenado para que estes elementos possam ser diluídos, podendo posteriormente ser utilizada para fins agrícolas, dessedentação de animais e pessoas, após prévio tratamento.

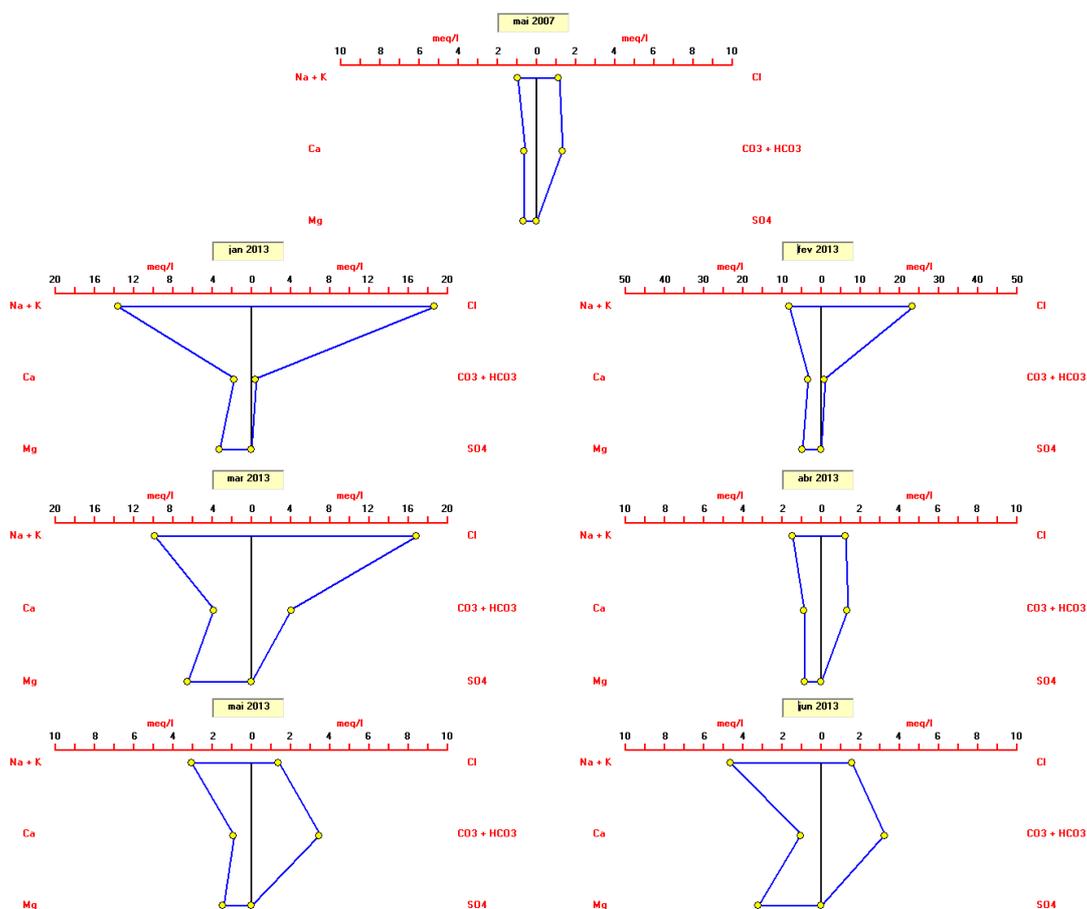


Figura 46. Variação entre os íons nas águas amostradas no município de Barra de Santana B, sub-bacia hidrográfica do Médio Paraíba. Campina Grande, 2013

Conforme Figura 29, com a precipitação que ocorreu entre março e abril, num volume de 76,6 mm, houve diluição significativa dos elementos cloreto e sódio, o que pode-se inferir que os tais elementos são facilmente diluídos.

Visualizando a Figura 47, nota-se que os elementos presentes na água do município de Gado Bravo tem elevados teores nas amostras de 2013. Observa-se também que a variação entre as coletas é bem significativa para os elementos cloreto e sódio.

Comparando as coletas, nota-se perfeitamente que os elementos foram aumentando gradativamente, principalmente cloreto e sódio, devido a diminuição do volume de água do açude, mantendo-se a mesma feição dos diagramas para as coletas de 2013, evidenciando homogeneidade na composição química da água.

Isso é perfeitamente compreensível, vislumbrando que no município até o mês de junho choveu somente 46% da média anual. Comparando as coletas de 2013 com a amostra de 2007, infere-se que os elementos constantes neste reservatório são facilmente diluídos com a precipitação.

Analisando as variações da Figura 47 percebe-se que o reservatório em questão tem problemas relacionados ao acúmulo de elementos que ocasionam a degradação da qualidade da água, principalmente cloreto e sódio. Sendo assim, é necessário que grande volume de água seja armazenado para que estes elementos possam ser diluídos, podendo posteriormente ser utilizada para fins agrícolas e dessedentação de animais e pessoas.

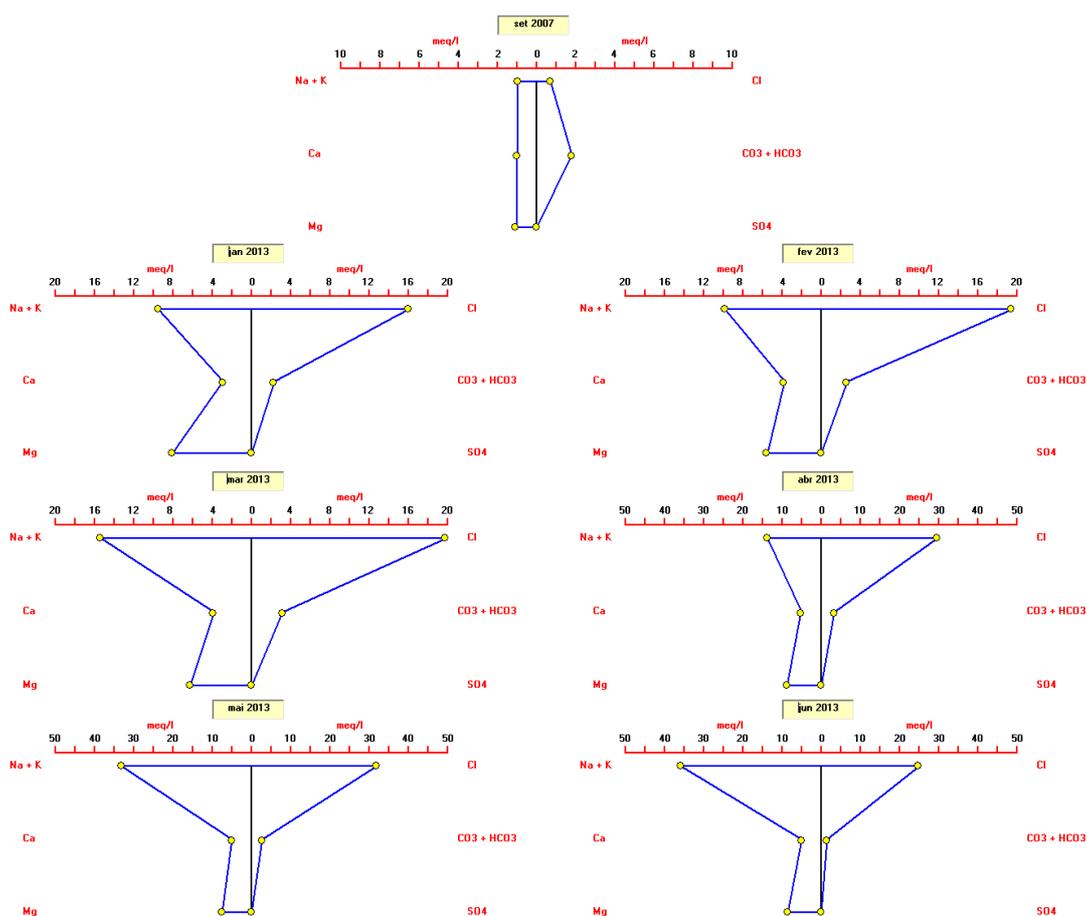


Figura 47. Variação entre os íons nas águas amostradas no município de Gado Bravo, sub-bacia hidrográfica do Médio Paraíba. Campina Grande, 2013

5.7.2. Interpretação da qualidade da água através de Piper

5.7.2.1. Sub-bacia do Rio Taperoá

O Diagrama Triangular de Piper é frequentemente utilizado para classificação e comparação de distintos grupos de águas quanto aos íons dominantes. A representação pode evidenciar possíveis relações entre íons de uma amostra, ou até mesmo ressaltar variações temporais ou espaciais existentes. A representação gráfica é o resultado de análises, constituído de 2 triângulos em cujos vértices estão os íons

principais em %. Trabalha com 6 variáveis em meq/L, três catiônicas (sódio + potássio, magnésio e cálcio) e outras três aniônicas (bicarbonato + carbonato, sulfato e cloreto) proposto por Piper em 1944.

Os restantes chamados elementos menores e traços, em geral, compõem menos de 1% do conteúdo iônico total. Dos constituintes maiores, pode-se dizer que os cátions são abundantes nas rochas, no solo e no manto de alteração sendo facilmente disponíveis para serem incorporados à água circulante. O aumento de concentração de sais na água ou a capacidade de incorporar solutos na água depende, portanto, da disponibilidade ou presença dos ânions Cl^- , SO_4^{2-} e HCO_3^- (HAUSSMAN, 1984).

As amostras da sub-bacia do Rio Taperoá se enquadraram em três classes, sendo que, 37,5% são águas bicarbonatadas calcicas ou magnesianas; 18,75% sulfatadas ou cloretadas calcicas ou magnesianas e 43,75% sulfatadas ou cloretadas sódicas (Tabela 14). Esses dados corroboram com Veríssimo e Feitosa (2002), que relatam predominância de águas cloretadas sódicas em águas sub-superficiais na região de Irauçuba, CE. Em trabalho realizado por Melo Junior et al. (2003) em um trecho do Rio Açu no Rio Grande do Norte, os autores encontraram sais de Na^{++} e HCO^- em todos os pontos analisados.

A maioria dos resultados das águas analisadas compactua com Silva Junior et al. (1999) que estudaram a composição química das águas do nordeste e relatam que os resultados mostraram que, de modo geral, as águas do cristalino do Nordeste brasileiro são cloretadas sódicas com alguma variação independente do nível de salinidade, de acordo com a litologia do local de origem.

Tabela 14. Distribuição dos tipos geoquímicos das águas coletadas na sub-bacia do Rio Taperoá. Campina Grande, 2013

Classificação das águas	Nº de amostras	Frequência relativa %
I - Bicarbonatadas calcicas ou magnesianas	6	37,5
II - Bicarbonatadas sódicas	0	0
III - Sulfatadas ou cloretadas calcicas ou magnesianas	3	18,75
IV - Sulfatadas ou cloretadas sódicas	7	43,75

Leprun (1983) destaca que águas oriundas de regiões sedimentares, de baixa salinidade, são principalmente bicarbonatadas, sulfatadas ou mistas, enquanto nas fissuras das rochas pré-cambrianas do embasamento cristalino, com tendência a águas mais salinas, há predominância unicamente de águas cloretadas de sódio ou magnésio.

Visando classificar as águas superficiais para serem utilizadas nos diferentes usos, os resultados das análises físico-químicas foram plotados em um diagrama de Piper (Figura 48), evidenciando os valores dos íons dominantes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^- e Cl^-) expressos em unidade de meq/L, determinados em laboratório.

Na avaliação da toxicidade com relação aos cátions, verifica-se que a maioria das amostras são de águas sódicas (43,75%) e águas mistas (43,75%). Analisando quanto aos ânions, percebe-se que a maioria das amostras foram enquadradas em águas cloretadas (62,5%), sendo o restante de águas bicarbonatadas. O resultado em questão tem similaridade com Santos (2010), embora este tenha trabalhado com águas subterrâneas da bacia hidrográfica do Rio Jiquiriça - BA. O mesmo autor relata que a grande maioria das águas não se presta para uso agrícola, em função da predominância das classes C4S2, C4S3, C4S4 e C5S2, com alto e muito alto risco de sódio e de salinidade, representando 70% das águas.

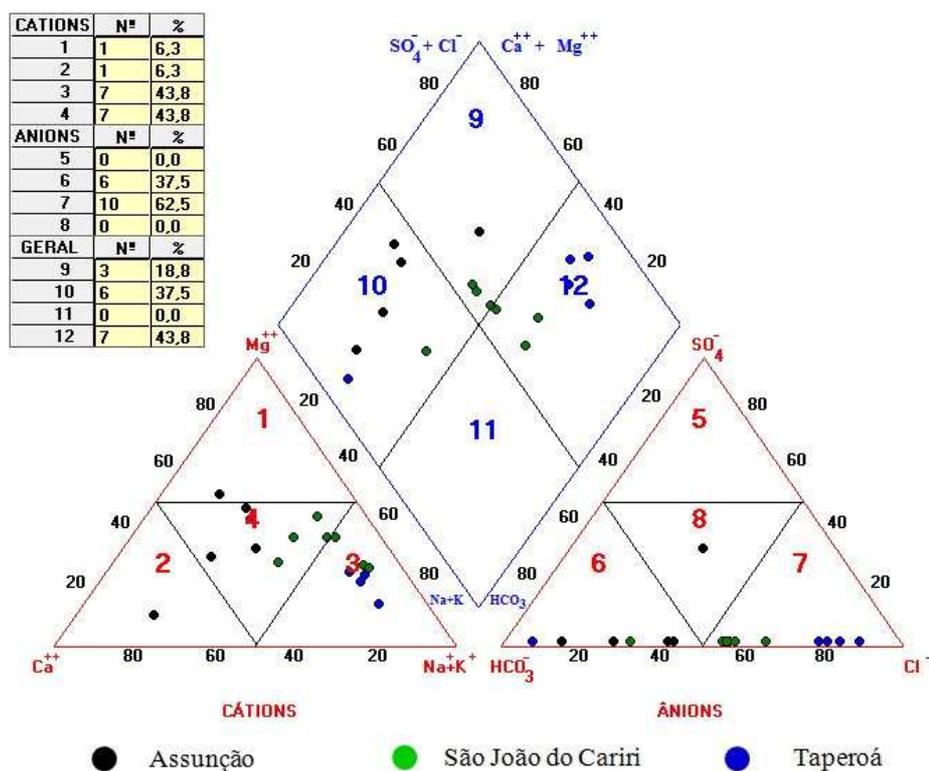


Figura 48. Diagrama de Piper para as amostras de águas coletadas na sub-bacia do Rio Taperoá. Campina Grande 2013

Analisando as amostras por município de coleta, percebe-se que no reservatório de Assunção a água enquadra-se em mista para os cátions e bicarbonatadas para os ânions; em São João do Cariri a água está distribuída entre

mista e sódicas para os cátions e cloretadas para os anions; e em Taperoá a água é sódica e cloretada, para cátions e anions, respectivamente.

Classificando para irrigação as águas da sub-bacia, percebe-se que em todos os meses de coleta o reservatório do município de Taperoá tem sérios riscos para sodificação e salinização, devido a alta concentração do sódio e do cloreto.

Na Figura 49 está apresentada a classificação das águas para a irrigação, baseada nos valores de condutividade elétrica e na razão de adsorção de sódio (RAS), para as águas analisadas (USDA, 1954). Registra-se que a maioria das águas apresenta um perigo excepcionalmente alto e muito alto de salinização do solo (C3 e C4), no entanto a maioria tem baixo perigo alcalinização (S1), indicando baixa concentração de sódio. A exceção fica a cargo do reservatório de Taperoá, onde tem médio e forte risco de sodificação não devendo esta água ser utilizada em qualquer tipo de solo, e não sendo indicada para uso na irrigação (USDA, 1954).

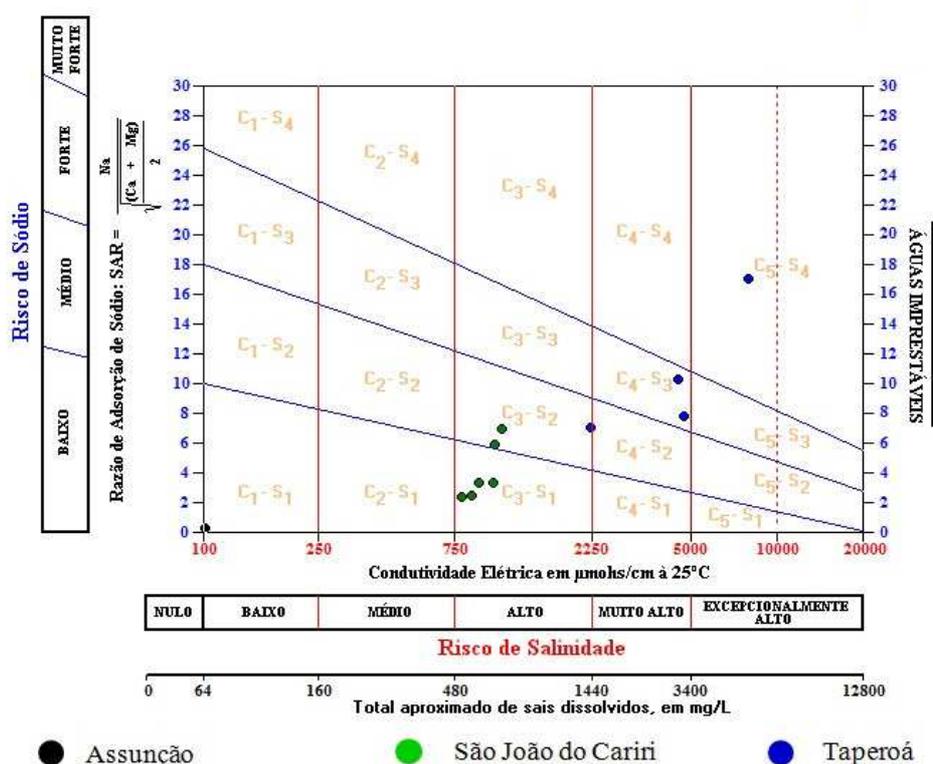


Figura 49. Diagrama da USDA para as amostras de águas coletadas na sub-bacia do Rio Taperoá. Campina Grande 2013

Em trabalho realizado por Almeida (2006), no semi-árido pernambucano, os dados para salinidade se assemelham; entretanto, tem médio risco de alcalinização; conforme este autor, para a região estudada a toxicidade está na alta concentração de

bicarbonatos na reação com cálcio e magnésio de solo. Veríssimo e Feitosa (2002), trabalhando com águas sub-superficiais no Ceará, relatam classificações parecidas quanto à salinidade e sodicidade.

Dentre todas as amostras, apenas a coleta de abril no município de Taperoá foi classificada como água imprestável, não devendo ser utilizada para qualquer finalidade.

5.7.2.2. Sub-bacia do Alto Paraíba

As amostras da sub-bacia do Alto Paraíba se enquadraram nas 4 classes em que, 57,1% são águas bicarbonatadas calcicas ou magnesianas; 14,3% bicarbonatadas sódicas; 19,1% sulfatadas ou cloretadas calcicas ou magnesianas e 9,5% sulfatadas ou cloretadas sódicas (Tabela 15). Santos (2010), relata águas com características semelhantes para águas subterrâneas da bacia do Rio Jiquiriça - BA.

Tabela 15. Distribuição dos tipos geoquímicos das águas coletadas na sub-bacia do Alto Paraíba. Campina Grande, 2013

Classificação das águas	Nº de amostras	Frequência relativa %
I - Bicarbonatadas calcicas ou magnesianas	12	57,1
II - Bicarbonatadas sódicas	3	14,3
III - Sulfatadas ou cloretadas calcicas ou magnesianas	4	19,1
IV - Sulfatadas ou cloretadas sódicas	2	9,5

Visando classificar as águas superficiais para serem utilizadas nos diferentes usos, os resultados das análises físico-químicas foram plotados em um diagrama de Piper (Figura 50), evidenciando os valores dos íons dominantes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO^{3-} , SO^{4-} e Cl^-) expressos em unidade de meq/L, determinados em laboratório.

Na avaliação da toxicidade com relação aos cátions, verifica-se que a maioria das amostras são de águas mistas (57,1%) e águas sódicas (23,8%). Analisando quanto aos ânions, percebe-se que a maioria das amostras foram enquadradas em águas bicarbonatadas (71,4%), sendo o restante de águas cloretadas. O resultado encontrado corrobora com Medeiros (2010), que analisando águas da sub-bacia do Alto Paraíba, classificou como bicarbonatadas 44% das fontes superficiais e sub-superficiais.

Analisando as amostras por município de coleta, percebe-se uma distribuição quanto a cátions e ânions. No entanto fica evidente que o reservatório do Congo, quando fica com pouca água, aumenta significativamente a concentração de cloreto, restringindo seu uso em irrigação.

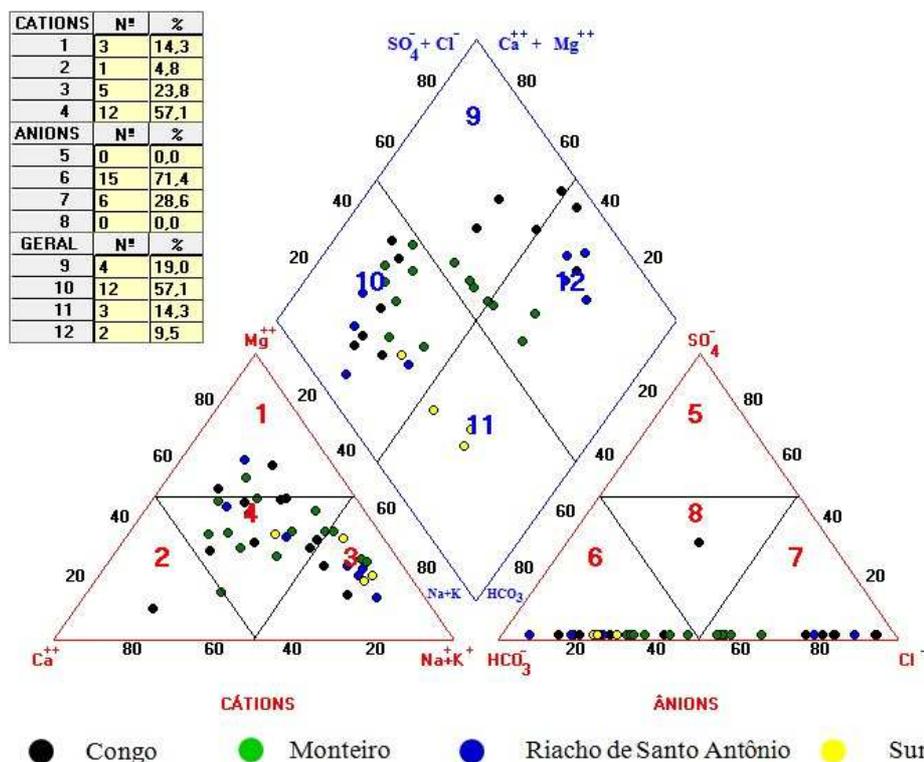


Figura 50. Diagrama de Piper para as amostras de águas coletadas na sub-bacia do Alto Paraíba, Campina Grande 2013

Na Figura 51 está apresentada a classificação das águas para a irrigação, baseada nos valores de condutividade elétrica e na razão de adsorção de sódio (RAS), para as águas analisadas (USDA, 1954).

Através da Figura 51 vislumbra-se que as águas coletadas variam com o reservatório e devido ao mês de coleta. Observa-se no para o município de Sumé todas as coletas de 2013 estão com alto risco de salinidade e médio risco de sodicidade. As coletas do município do Congo enquadram-se em médio, alto e muito alto risco de salinidade, no entanto apenas uma amostra é enquadrada com médio risco de sodicidade. Já para os reservatórios dos municípios de Monteiro e Riacho de Santo Antônio, todas as amostras coletadas tem baixo risco de salinidade e sodicidade, sendo assim são indicados para irrigação em qualquer tipo de solo (USDA., 1954).

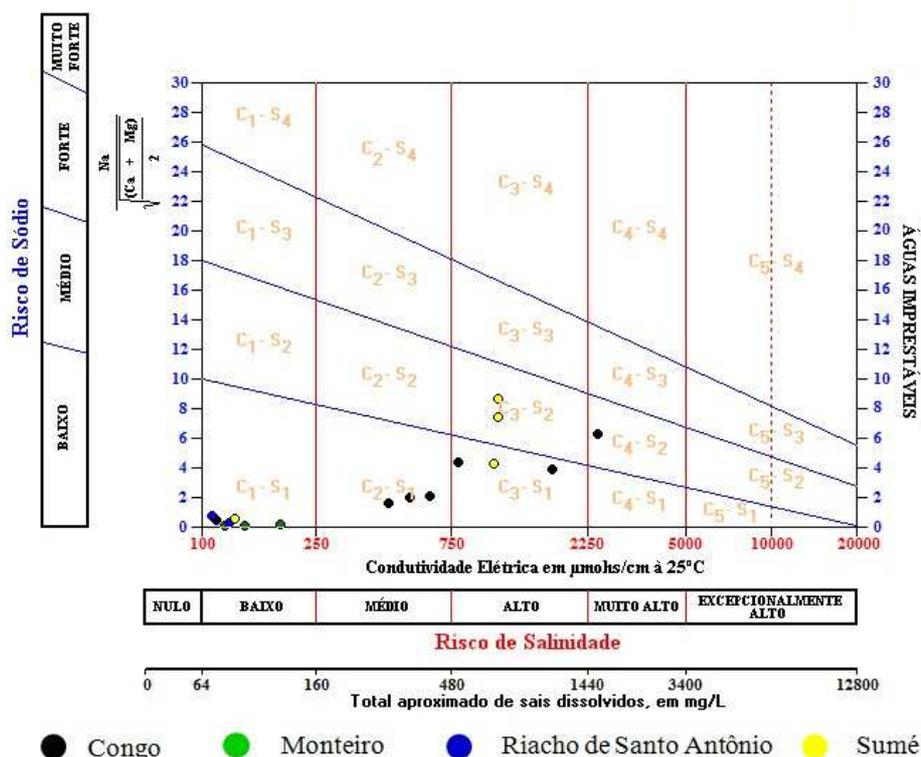


Figura 51. Diagrama da USDA para as amostras de águas coletadas na sub-bacia do Alto Paraíba. Campina Grande 2013

Em trabalho realizado por Almeida (2006), no semi-árido pernambucano, os dados para salinidade se assemelham; entretanto, tem médio risco de alcalinização; conforme este autor, para a região estudada a toxicidade está na alta concentração de bicarbonatos na reação com cálcio e magnésio de solo. Veríssimo e Feitosa (2002), trabalhando com águas sub-superficiais no Ceará, relatam classificações parecidas quanto à salinidade e sodicidade.

5.7.2.3. Sub-bacia do Médio Paraíba

As amostras da sub-bacia do Médio Paraíba se enquadraram nas 4 classes em que, 35,3% são águas bicarbonatadas calcicas ou magnesianas; 11,8% bicarbonatadas sódicas; 11,8% sulfatadas ou cloretadas calcicas ou magnesianas e 41,2% sulfatadas ou cloretadas sódicas (Tabela 16).

Esses dados corroboram com Freire (2007), que relatou predominância de águas cloretadas sódicas nos reservatórios Pacajus e Gavião, que abastecem a região metropolitana de Fortaleza - CE. O resultado em questão contraria Pereira (2006), que

descreve como bicarbonatada mista a maioria das amostras de água dos açudes do município de Aiuaba - CE.

Tabela 16. Distribuição dos tipos geoquímicos das águas coletadas na sub-bacia do Alto Paraíba. Campina Grande, 2013

Classificação das águas	Nº de amostras	Frequência relativa %
I - Bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas	6	35,3
II - Bicarbonatadas sódicas	2	11,75
III - Sulfatadas ou cloretadas cálcicas ou magnesianas	2	11,75
IV - Sulfatadas ou cloretadas sódicas	7	41,2

Visando classificar as águas superficiais para serem utilizadas nos diferentes usos, os resultados das análises físico-químicas foram plotados em um diagrama de Piper (Figura 52), evidenciando os valores dos íons dominantes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^- e Cl^-) expressos em unidade de meq/L, determinados em laboratório.

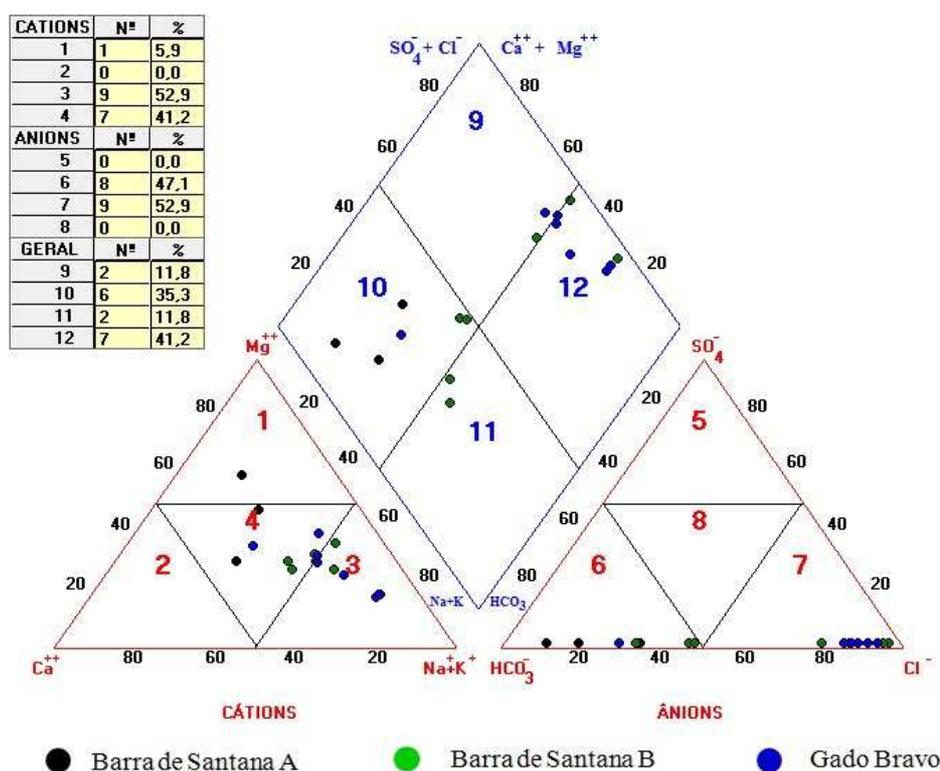


Figura 52. Diagrama de Piper para as amostras de águas coletadas na sub-bacia do Médio Paraíba. Campina Grande 2013

Na avaliação da toxicidade com relação aos cátions, verifica-se que a maioria das amostras são de águas sódicas (52,9%) e águas mistas (41,2%). Analisando quanto

aos anions, percebe-se que a maioria das amostras foram enquadradas em águas cloretadas (52,9%), sendo o restante de águas bicarbonatadas.

Analisando as amostras por município de coleta, percebe-se uma distribuição quanto a cátions e anions. No entanto fica evidente que os reservatórios de Gado Bravo e Barra de Santana B, quando ficam com pouca água, aumenta significativamente a concentração de cloreto, restringindo seu uso em irrigação.

Na Figura 53 está apresentada a classificação das águas para a irrigação, baseada nos valores de condutividade elétrica e na razão de adsorção de sódio (RAS), para as águas analisadas (USDA, 1954).

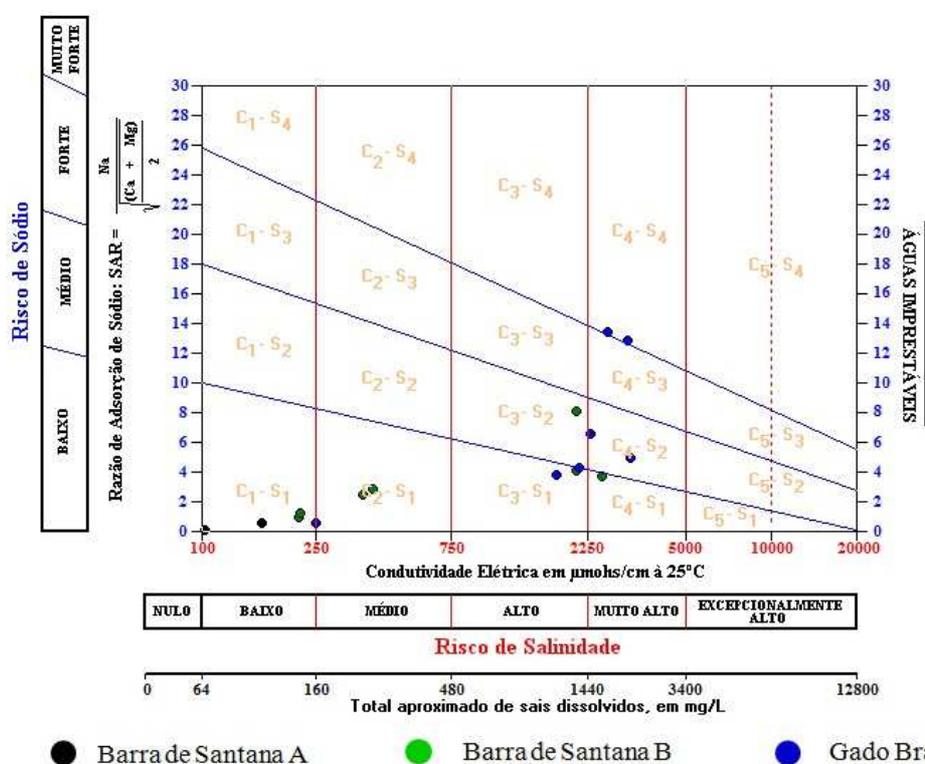


Figura 53. Diagrama da USDA para as amostras de água coletadas na sub-bacia do Médio Paraíba. Campina Grande 2013

Através da Figura 29 vislumbra-se que as águas coletadas variam com o reservatório e devido ao mês de coleta. No reservatório B do município de Barra de Santana, houve grande variação quanto ao risco de salinidade e sodicidade, quando da utilização da água. Tal variação é devido a precipitação que ocorreu, principalmente no mês de abril.

Observa-se que no município de Gado Bravo todas as coletas de 2013 estão com alto e muito alto risco de salinidade e médio a forte e muito forte risco de sodicidade. Essa diferença em relação a coleta realizada em setembro de 2007 é

principalmente devido ao fator climático, aliado a grande utilização da água do reservatório.

Em trabalho realizado por Almeida (2006), no semi-árido pernambucano, os dados para salinidade se assemelham; entretanto, tem médio risco de alcalinização; conforme este autor, para a região estudada a toxicidade está na alta concentração de bicarbonatos na reação com cálcio e magnésio de solo. Veríssimo e Feitosa (2002), trabalhando com águas sub-superficiais no Ceará, relatam classificações parecidas quanto à salinidade e sodicidade.

5.8. Índices de qualidade da água

5.8.1. Índice da National Sanitation Foundation (IQA-NSF) adaptado

Com os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas e através do desenvolvimento do Índice de Qualidade da Água (IQA) das amostras de água superficiais da bacia do rio Paraíba, a água foi qualificada como boa (Tabela 17).

O resultado em questão corrobora com Freire (2012), que desenvolveu um IQA para abastecimento humano na bacia hidrográfica do Rio Jaguaribe - CE, e classificou a água como boa e ótima nos períodos seco e chuvoso, respectivamente. Silva (2012), analisando dados de 111 reservatórios para consumo humano do Estado de Pernambuco, encontrou um IQA entre bom e ótimo para a água bruta.

Tabela 17. Parâmetros e pesos para o Cálculo do IQA adaptado para consumo humano na bacia do Rio Paraíba. Campina Grande, 2013

Parâmetros	Peso atribuído	Média	Valor ponderado
Oxigênio Dissolvido	0,18	0,7865	0,1416
Coliformes Fecais	0,16	0,9271	0,1483
pH	0,13	0,9583	0,1246
DBO ₅	0,11	0,7333	0,0807
Nitrogênio	0,11	0,7292	0,0802
Fósforo total	0,11	0,0000	0,0000
Turbidez	0,10	0,4000	0,0400
Sólidos Totais	0,10	0,8958	0,0896
IQA			0,7049

Importante ressaltar que levando em consideração a Resolução CONAMA nº 357/2005, todos os reservatórios analisados estão com fósforo acima do limite máximo

(Tabela 17), comprometendo assim a qualidade para consumo humano e piscicultura, contribuindo para depreciação do IQA. Lima et al. (2007), analisando reservatórios com capacidade superior a 5 milhões de metros cúbicos de água na bacia hidrográfica do Apodi/Mossoró, encontraram valores de fósforo acima do permitido em 78% das amostras. O resultado encontrado para os reservatórios em questão contrariam Feksa et al. (2007), que analisou indicadores de qualidade de água na bacia do Rio Salitre, na Bahia. Proença et al. (2004), analisando corpos hídricos do estado da Bahia, quando comparado com a Resolução CONAMA nº 20/1986, enquadrou-os como de classe 2, sendo classe inferior a grande maioria encontrada na bacia hidrográfica do Rio Paraíba.

5.8.2. Índice de Qualidade de Água a ser desenvolvido para a região

Com os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas e através do desenvolvimento do Índice de Qualidade da Água (IQA) para a região, levando em consideração os parâmetros e classificações de irrigação para as amostras de águas superficiais da bacia do rio Paraíba, a água foi qualificada como ótima (Tabela 18).

Tabela 18. Parâmetros para o Cálculo do IQA da região. Campina Grande, 2013

Elementos	Peso atribuído	Média	Valor ponderado
pH	0,10	0,9259	0,0926
Condutividade elétrica	0,20	0,7778	0,1556
Cálcio	0,05	1,0000	0,0500
Magnésio	0,05	0,7000	0,0350
Sódio	0,15	0,8000	0,1200
Potássio	0,05	1,0000	0,0500
Bicarbonato	0,05	0,8000	0,0400
Cloreto	0,10	1,0000	0,1000
Amônio	0,05	0,9583	0,0479
Sulfato	0,10	1,0000	0,1000
RAS calculada	0,10	0,5556	0,0556
IQA			0,8467

Analisando a Tabela 18, percebe-se que todas as amostras não tiveram problemas para utilização levando em consideração o cálcio, potássio e cloreto. Percebe-se também que a RAS foi o parâmetro que mais limitou para qualificação no

índice, sendo importante ressaltar com isso, que a salinidade da água é limitante quando associada ao sódio e com baixa capacidade de infiltração no solo.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos dados e no levantamento realizado sobre a qualidade das águas superficiais e subsuperficiais da bacia hidrográfica do Rio Paraíba, concluímos que:

- do total de 781 amostras analisadas, constatou-se que a maioria das fontes hídricas pesquisadas apresentaram-se aptas para consumo humano, animal e irrigação com relação ao pH;
- quanto à sodicidade nas diversas faixas de RAS e CE encontrados nas amostras de água analisada, 58,64% das amostras não provocam problemas de infiltração no solo;
- de um modo geral, a qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio Paraíba deve-se aos fatores naturais, principalmente climáticos e geológicos, observando-se que cerca de 97,95% das fontes superficiais e sub-superficiais, foram classificadas como aptas para o bicarbonato;
- a sobreposição dos mapas municípios x salinidade permite identificar através dos pontos georreferenciados, os locais com maiores riscos de salinização dentro das sub-bacias, orientando nas futuras construções de obras hídricas;
- os efeitos climáticos do biênio 2012-2013 influenciaram na qualidade da água pesquisada no corrente ano;
- esses procedimentos de análise e classificação deverão facilitar no processo de gestão de recursos hídricos, principalmente nas atividades de monitoramento e de utilização das águas;
- através dos gráficos de Stiff percebe-se homogeneidade composicional das fontes hídricas das sub-bacias;
- de um modo geral, analisando as fontes hídricas através dos gráficos de Piper por sub-bacia, percebe-se que as águas em sua maioria são bicarbonatadas calcicas ou magnesianas com toxicidade de sódio, principalmente na sub-bacia do Médio Paraíba;
- o IQA desenvolvido para consumo humano enquadrou a bacia como boa, e o IQA desenvolvido para a região enquadrou a bacia do Rio Paraíba como ótima.

Como recomendações para trabalhos futuros na bacia hidrográfica Rio Paraíba, devem ser desenvolvidos modelos visando acompanhar o movimento de solutos até as fontes hídricas e definir medidas de prevenção e conservação das águas;

O monitoramento de qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio Paraíba deve ser usado como um instrumento para controlar e evitar contaminações futuras, tanto nos aspectos dos recursos hídricos como dos solos;

Recomendamos a repetição desta pesquisa em anos chuvosos, nos mesmos pontos georreferenciados afim de que se possa fazer comparação com respeito a variação temporal da salinidade.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - *Poluição das águas: Terminologia* - NBR 9896. Rio de Janeiro, 1987

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Dados Sobre Perímetro, Geoprocessamento**. 2006. Acessado em 10-06-2013. Disponível em: <http://geo.aesa.pb.gov.br/>

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Dados Sobre Pluviometria**. Acessado em 02-07-2013. Disponível em: <http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/monitoramentoPluviometria.do?metodo=listarMesesChuvvasMensais>

ALBUQUERQUE, A.W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V.S.; SANTOS, J.R. **Parâmetros erosividade da chuva, da enxurrada e da chuva-enxurrada correlacionados com as perdas de solo de um luvissole**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. n.26, p.695-703, 2002

ALBUQUERQUE, F. N. B. de; SOBRINHO, J. F. A geomorfologia do semiárido brasileiro nos livros de geografia do ensino médio: agentes, processos morfogenéticos e formas de relevo. In VI Simpósio Nacional de Geomorfologia. **Anais...** Goiânia, 06 a 10 de setembro de 2006

ALMEIDA, M.A.B.; SCHWARZBOLD, A. **Avaliação sazonal da qualidade das águas do Arroio da Cria Montenegro, RS com aplicação de um índice de qualidade de água (IQA)**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.8, n.1, p.81-97, 2003

ANDRADE, E.M. de; ARAÚJO, L. de F.P.; ROSA, M. de F.; DISNEY, W.; ALVES, A.B. **Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada**. Engenharia Agrícola, v.27, p.683-690, 2007a

APHA - American Public Health Association. **Standard methods for the examination of Water and Wasterwater**. 20th ed. Washington D. C.: American Public Health Association, 1569p. 1998

ARAÚJO, S.M. **Introdução a Ciência do Ambiente**. Universidade Federal da Paraíba, 2000

ASA BRASIL - Articulação no Semiárido Brasileiro. Acessado em 15-11-2012. Disponível em: <http://www.asabrasil.org.br>

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Trad. H. R. Gheyi et al., Campina grande: UFPB, 1999. 153f. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29)

BARRETO, J.F. **Avaliação dos Recursos Hídricos da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Taperoá**. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 87p. 2007

BARRETO, J.F.; DANTAS NETO J.; FARIAS, S.A.R. **Avaliação socioeconômica e hídrica dos municípios da sub-bacia hidrográfica do Rio Taperoá, PB**. Qualitas Revista Eletrônica ISSN 16774280, v.9, n.1, p.1-13, 2010

BELTRÃO, B.A.; MORAIS, F. de; MASCARENHAS, J. de C.; MIRANDA, J.L.F. de; SOUZA JUNIOR, L.C. de; MENDES, V.A. **Diagnóstico do Município de Aroeiras**. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea. Estado da Paraíba. 2005

BELTRÃO, B.A.; MORAIS, F. de; MASCARENHAS, J. de C.; MIRANDA, J.L.F. de; SOUZA JUNIOR, L.C. de; MENDES, V.A. **Diagnóstico do Município de Assunção**. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea. Estado da Paraíba. 2005

BELTRÃO, B.A.; MORAIS, F. de; MASCARENHAS, J. de C.; MIRANDA, J.L.F. de; SOUZA JUNIOR, L.C. de; MENDES, V.A. **Diagnóstico do Município de Barra**

de Santana. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea. Estado da Paraíba. 2005

BELTRÃO, B.A.; MORAIS, F. de; MASCARENHAS, J. de C.; MIRANDA, J.L.F. de; SOUZA JUNIOR, L.C. de; MENDES, V.A. **Diagnóstico do Município de Congo.** Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea. Estado da Paraíba. 2005

BELTRÃO, B.A.; MORAIS, F. de; MASCARENHAS, J. de C.; MIRANDA, J.L.F. de; SOUZA JUNIOR, L.C. de; MENDES, V.A. **Diagnóstico do Município de Gado Bravo.** Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea. Estado da Paraíba. 2005

BELTRÃO, B.A.; MORAIS, F. de; MASCARENHAS, J. de C.; MIRANDA, J.L.F. de; SOUZA JUNIOR, L.C. de; MENDES, V.A. **Diagnóstico do Município de Monteiro.** Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea. Estado da Paraíba. 2005

BELTRÃO, B.A.; MORAIS, F. de; MASCARENHAS, J. de C.; MIRANDA, J.L.F. de; SOUZA JUNIOR, L.C. de; MENDES, V.A. **Diagnóstico do Município de Riacho de Santo Antônio.** Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea. Estado da Paraíba. 2005

BELTRÃO, B.A.; MORAIS, F. de; MASCARENHAS, J. de C.; MIRANDA, J.L.F. de; SOUZA JUNIOR, L.C. de; MENDES, V.A. **Diagnóstico do Município de São João do Cariri.** Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea. Estado da Paraíba. 2005

BELTRÃO, B.A.; MORAIS, F. de; MASCARENHAS, J. de C.; MIRANDA, J.L.F. de; SOUZA JUNIOR, L.C. de; MENDES, V.A. **Diagnóstico do Município de Serra Branca.** Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea. Estado da Paraíba. 2005

BELTRÃO, B.A.; MORAIS, F. de; MASCARENHAS, J. de C.; MIRANDA, J.L.F. de; SOUZA JUNIOR, L.C. de; MENDES, V.A. **Diagnóstico do Município de Taperoá**. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea. Estado da Paraíba. 2005

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de Irrigação**. 8ª ed. Atualizada e Ampliada. Viçosa; UFV, 2007, 625p.

BRANCO, S.M. **Água: origem, uso e preservação**. São Paulo: Moderna, 69p. 1993. (Coleção Polêmica)

CADIER, E. **Hidrologia das pequenas bacias do nordeste semi-árido: Transposição hidrológica**. Recife, SUDENE/DPG/PRN/HME. (Hidrologia, 31). 448p. 1994

CEBALLOS, B.S.O. **Utilização de Indicadores Microbiológicos na Tipologia de Ecossistemas Aquáticos do trópico Semi-árido**. Tese Doutorado – Departamento de Hidráulica e Saneamento. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Paulo. 192p. 1995

CERH – PB. Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba. Governo da Paraíba. **Proposta de Instituição do Comitê das Bacias Hidrográficas do Litoral Sul**. Resolução Nº 1, de 31 de agosto de 2003. Publicado em 2004.

COIMBRA, J. A. A. **O outro lado do meio ambiente**. São Paulo: CETESB, 1995, 204f

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de Março de 2005. **Classes das Águas**. Ministério do Meio Ambiente

COSTA, W. **Água subterrânea e o desenvolvimento sustentável do semi-árido Nordeste**. Brasília, Projeto ÁRIDAS - RH, SEPLAN/PR, 1994.

CRUZ, L.B.S. **Avaliação de um filtro de manta sintética não tecida para irrigação localizada.** 65p. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo. 1996

CURI, W. F & SANTOS, V. da S. **A Bacia Hidrográfica e o Planejamento de Recursos Hídricos.** Livro: Água, Solo & Educação Ambiental - História e Memória, Planejamento e Gestão. 2008. UFCG

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo. Portal. **Distribuição De Água No Planeta.** 2007.

DAKER, A. Irrigação e Drenagem. **A água na agricultura**, 3º Volume 7ª Edição. Rio de Janeiro. Freitas Bastos. 1988

DANTAS NETO J.; BARRETO J.F., FARIAS, S.A.R.; CHAVES, L.H.G. **Qualidade das águas da sub-bacia do Rio Taperoá, para fins de irrigação.** Revista de Biologia e Ciências da Terra, Campina Grande, PB, v.9, n.2, p.138-144, 2009

Diagrama de Piper. Acessado em: 23-07-2013. Disponível em: <http://www.funceme.br/DEHID/qualigraf/Piper.htm>

Diagrama de Stiff. Acessado em: 23-07-2013. Disponível em: <http://www.funceme.br/DEHID/qualigraf/Stiff.htm>

DRUMOND, M.A.; ANJOS, J.B dos; MORGADO, L.B. **Sistema de plantio e produtividade da mamoneira cultivada em área de sequeiro no município de Casa Nova - BA.** In: 2º CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2006, Aracaju - SE, 2006

EMBRAPA. Boletim mensal. 1998. Acessado em: 23-05-2008. Disponível em: <http://www.cnpma.embrapa.br/projetos/ecoagua/eco/princip/rechidro.html>

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análises de Solos.** Serviço Nacional de Conservação do Solo. Rio de Janeiro, 1997

FEKSA, D.P.; TOURINHO, A. de O.; PROENÇA, C. N. de O.; SOUSA, O.; SILVA, M.M.; GONÇALVES, M. do S.; MEDEIROS, Y.D.P. **Seleção de parâmetros para composição de indicadores de qualidade da água: estudo de caso bacia do rio Salitre, Bahia.** In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2007. São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2007. p. 1-18

FERNANDES NETO, S. **Planejamento do Uso Racional dos Recursos Naturais da Microbacia Hidrográfica do Riacho Val Paraíso - PB, Através de Mapeamento Geoambiental.** 2009, 117f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais). Campina Grande. Universidade Federal de Campina Grande, 2009

FREIRE, F.G.C. **Uso de indicadores para avaliação da qualidade da água na bacia do Jaguaribe, CE.** 2012, 80f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Mossoró. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2012

FREIRE, R.H.F. **Contribuição ao conhecimento limnológico de reservatórios do semi-árido brasileiro que abastecem a região metropolitana de Fortaleza: Açudes Pacajus e Gavião.** 2007, 246f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento). São Carlos. Universidade de São Paulo, 2007

GOMES, J.B. **Adubação orgânica na produção de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* (L) Mill.) no Cariri Paraibano.** Patos, UFCG, 2011. 63f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Universidade Federal de Campina Grande, 2011

GOVERNO DO ESTADO DA PARAIBA. **Atlas Geográfico do Estado da Paraíba.** Secretaria do Estado da Paraíba / UFPB. João Pessoa, PB. 100p. 1985.

HAGMAN, G. **Prevention Better than Cure, Reporto on Human and Environmental Disasters in the Third World,** Preparado para a Cruz Vermelha da Suécia, Estocolmo. 1984

HAUSMAN, A. Aspectos da circulação em aquíferos fraturados. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM ROCHAS FRATURADAS, 1., 1984. Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Associação Brasileira de Águas Subterrânea, 1984. p. 33-36

HOLANDA, J. P.; AMORIM, J.R.A. Qualidade de água para irrigação. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.M. (eds) **Manejo e Controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB-SBEA, 1997. Cap.5, p.137-169

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010: população do Brasil é de 190.732.694 pessoas**. Acessado em: 24-05-2013. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estados, Paraíba, Temas, Produto Interno Bruto 2006**. Acessado em: 15-05-2013. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=pb>

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Glossário de Termos Relacionados à Gestão de Recursos Hídricos**. 85 f. 2008.

LARAQUE, A. **Estudo e previsão da qualidade de água de açudes do Nordeste semi-árido brasileiro**. Recife, SUDENE 1989. 59P. (SUDENE. Serie Hidrológica, 26).

LEITÃO, M. de M.V.B.R. **Secas no Semi-Árido do Nordeste**. ABEAS - Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Curso de Desenvolvimento Sustentável Para o Semi-Árido Brasileiro. Modulo 14. 2005

LEMOS, E.C.L.; CAVALCANTE, I.N.; SABADIA, J.A.B.; GOMES, M. da C.R.; MEDEIROS, F.W.; SANTOS, D.M. **Qualidade das águas subterrâneas e doenças de veiculação hídrica na paste sudoeste do município de Fortaleza, Ceará, Brasil**. Revista de Geologia, Vol. 22, nº 2, 151-165, 2009.

LEPRUN, J.C. **Primeira Avaliação das Águas Superficiais do Nordeste: Relatório de fim de Convênio de Manejo e Conservação do Solo do Nordeste Brasileiro**, Recife, SUDENE-DRN, Convênio SUDENE/ORSTOM. pg. 91-141. 1983

LERMONTOV, A.; YOKOYAMA, L.; LERMONTOV, M.; MACHADO, M.A.S. **Aplicação da Lógica Nebulosa na Parametrização de um novo índice qualidade de Água**. Engevista, Brasil, v. 10, n. 2, p.106-125, dez. 2008

LERMONTOV, A.; YOKOYAMA, L.; LERMONTOV, M.; MACHADO, M.A.S. **River quality analysis using fuzzy water quality index: Ribeira do Iguape river watershed, Brazil**. Ecological Indicators. Brasil, v. 9, n. 6, p.1188-1197, nov. 2009.

LOPES, A.V.G. **Caracterização Química das Águas Subterrâneas do Aquífero Fissural do Município de Igaraci, PE**. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005

LUCENA, J.H. de. **Estudo da Variação Espaço – Temporal da Qualidade das Águas, de um trecho do Rio Bodocongó, PB**. 1998, 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal da Paraíba, 1998

LUCENA, L. R. F.; ROSA FILHO, E. F.; BITTENCOURT, A. V. L. **Características hidroquímicas do aquífero Barreiras no âmbito do setor oriental da Bacia do Rio Pirangi-RN**. Revista Águas Subterrâneas, v. 18, p. 29-38, 2004.

LUNA, R.M. **Desenvolvimento do Índice de Pobreza Hídrica para o Semi-Árido Brasileiro**. 2007, ccc f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, Ceará, 2007.

MEDEIROS, J.X. de. **Qualidade das fontes hídricas na região do Alto Curso do Rio Paraíba e análises multivariadas na hierarquização dos componentes principais**. 2010, 131f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Campina Grande. Universidade Federal de Campina Grande, 2010

MELO FILHO, J.F. de; SOUZA, A.L.V.. **O manejo e Conservação do Solo no Semi-Árido Baiano: Desafios Para a Sustentabilidade.** Bahia Agrícola, v. 7, n. 3, pg. 50-60, 2006

MELO JUNIOR, G.; COSTA, C.E.F. de S.; CABRAL NETO, I. **Avaliação Hidroquímica e da Qualidade das Águas de um Trecho do Rio Açu, Rio Grande do Norte.** Revista de Geologia, Vol. 16, nº 2, pg 27-36, 2003

MELLO, A.C.P. de. **Poço Amazonas com anéis de cimento.** 3º Simpósio Brasileiro de Captação da Água da Chuva no Semi-Árido. Campina Grande, PB. 2001.

MENDES, B.V. **Biodiversidade e Desenvolvimento Sustentável do Semi-Árido.** Fortaleza: SEMACE. 108p. 1997

MENDES, B.V. **Recursos Faunísticos.** Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior – ABEAS. Brasília: DF. ABEAS. Campina Grande: UFCG, Curso de Desenvolvimento Sustentável Para o Semi-Árido Brasileiro. Modulo 10. 2006

MENDES, J. da S. **Caracterização de Águas e de Solos do Município de Congo, PB, Microrregião do Cariri Ocidental.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 120p. 2007

MENDIGUCHÍA, C.; MORENO, C.; GALINDO-RIANO, M.D.; GARCÍA-VARGAS, M. **Using chemometric tools to assess antropogenic effects in river water a case study: Guadalquivir river (Spain).** Analytica Chimica Acta, v.515, p.143-149, 2004

MERTEN, G.H.; MINELLA, J.P. **Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: Um desafio atual para a sobrevivência futura.** Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável, v.3, p.33-38, 2002

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL - MI. Secretaria de Políticas Públicas de Desenvolvimento Regional. **Nova delimitação do semi-árido brasileiro**. Brasília, 2005. 35p

MINISTÉRIO DA SAÚDE - MS. (2004). Portaria n° 518, de 25 de março de 2004. *Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seus padrões de potabilidade, e dá outras providências*. Diário Oficial da União, Brasília

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Sistema de Cálculo da Qualidade da Água: Estabelecimento das Equações do Índice de Qualidade das Águas (IQA)**. Relatório I. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de MG: Jun. 2005

MOLINIER, M.; AUDRY, P.; DESCONNETS, J.C.; LEPRUN, J.C. **Dinâmica da Água e das Matérias num Ecossistema Representativo do Nordeste Brasileiro: Condições de Extrapolação Espacial à Escala Regional**, ORSTOM, Recife, 1989

MOLLE, F.; CADIER, E. **Manual do pequeno açude**. Recife: SUDENE/DPG/PRN/DPP/APR, 1992. 523f

MORAES, L.M.; PAULA JÚNIOR, D.R. **Avaliação da biodegradabilidade anaeróbia de resíduos da bovinocultura e da suinocultura**. Engenharia Agrícola, v.24, p.445-454, 2004

MORAIS, E.R.C. de; MAIA, C.E.; OLIVEIRA, M. de. **Qualidade da Água para Irrigação em Amostras Analíticas do Banco de Dados do Departamento de Solos e Geologia da Escola Superior de Agricultura de Mossoró, Mossoró, RN**. Revista Caatinga, Mossoró, Brasil, v.11, pg.75-83 dezembro 1998

MOTA, S. **Preservação de Recursos Hídricos**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária. Rio de Janeiro: ABES, 1995. 185 f.

NAIME, R.; FAGUNDES, R.S. **Controle da Qualidade da Água do Arroio Portão, RS.** Revista em Geociências, 32 (1): pg 27-35, 2005

NORONHA, L.C. **Via Política Informação e Cultura** – Artigos 2006. Acessado em: 25-06-08. Disponível em: http://www.viapolitica.com.br/artigo_view.php?id_artigo=6

OLIVEIRA, M. de; MAIA, C.E. **Qualidade Físico-Química da Água para Irrigação em Diferentes Aquíferos na Área Sedimentar do Estado do Rio Grande do Norte.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.2, pg.17-21, 1998

OLIVEIRA, F. M. de. **Diagnóstico da Qualidade da Água Superficial e Subterrânea na Microbacia do Riacho Angico, Região do Médio Rio Paraíba.** UFCG, 2005. 93 f. (Mestrado em Engenharia Agrícola).

PELEGRINI, N.N. de B.; PATERNIANI, J.E.S; PELEGRINI, R. **Água Para Consumo, Um Bem limitado.** Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) UNICAMP. Centro Superior de Educação Tecnológica (CESET) UNICAMP. Campinas, SP. 2005

PEREIRA, L.; SANTIAGO, M.M.F.; FRISCHKORN, H.; ARAÚJO, J.C. de; LIMA, J.O.G. de. **A salinidade das águas superficiais e subterrâneas na bacia da Gameleira, município de Aiuaba/CE.** Águas Subterrâneas, v.20, n.2, p.9-18, 2006

PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DA PARAÍBA. **PERH – PB** 255p. 2006

PIPER, A.M. **A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses.** Trans. American Geophysical Union, v. 25, pg. 914-9289. 1944

PROENÇA, C.N de O.; MEDEIROS, Y.D.P.; CAMPOS, V.P. **Metodologia para definição de parâmetros de qualidade da água visando o enquadramento de corpos d'água em região semi-árida .** In: VII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 2004, São Luis - MA, 2004

PROENÇA, C.N.O. **Definição dos parâmetros significativos para avaliação da qualidade dos corpos d'água em regiões semi-áridas visando o seu enquadramento.** Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador - BA. 2005. 126 f.

RAYA, A. M. **Degradación de tierras en regiones semiáridas.** In. CONGRESO LATINOAMERICANO DE CIENCIA DO SOLO. 13., 1996. Águas de Lindóia, Anais... Águas de Lindóia: EMBRAPA, 1996. CD-ROM

RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.** Washington, U. S. Salinity Laboratory, (USDA. Agriculture handbook, 60). 1954

RHOADES, J.D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A.M. **Uso de águas salinas para produção agrícola.** Tradução de H.R. Gheyi, J.R. de Sousa, J. E. Queiroz. Campina Grande, UFPB. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 48). 117pg. 1992

SALES, M.C.L. **Evolução dos estudos de desertificação no nordeste brasileiro.** GEOUSP – Espaço e Tempo, São Paulo, n. 11, p.115–126, 2002

SANTOS, C.A.G.; PAIVA, F.M. de L.; NITÃO, I.A. **Modelagem Hidrossedimentológica para as parcelas da bacia experimental de São João do Cariri.** In: VII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 2004, São Luis - MA, 2004

SANTOS, C. B. dos. **Avaliação Hidrogeológica do Alto da Bacia do Rio Jiquiriça - BA.** 2010, 234f. Tese (Doutorado em Geologia). Salvador. Universidade Federal da Bahia, 2010

SHIKLOMANOV, I.A. (ed.), **Assessment of Water Resources and Water Availability in the World, Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World.** 1.ed. Stockholm: Stockholm Environment Institute, 460p. 1997

SILVA, A. de S.; SILVA, C.M.M. de S.; FAY, E.F.; BRITO, L.T.de L. **Indicador de qualidade de uso de água em cisternas no semi-árido brasileiro (IUA-CD)**. 2008. 63f. Projeto de Pesquisa. Petrolina. 2008

SILVA, G. S.; JARDIM, W. F. **Um novo índice de qualidade das águas para proteção da vida aquática aplicada ao rio Atibaia, Região de Campinas/Paulínia – SP**. Química Nova, São Paulo, v. 4, n. 29, p. 689-694, ago. 2006

SILVA, G.L. da; AURELIANO, J.T.; LUCENA, S.V. de O. **Proposição de um índice de qualidade de água bruta para o abastecimento público**. REGA. vol. 9, nº. 1, p. 17-24, jan./jun. 2012

SILVA, L.L. da; COSTA, R.F. da; CAMPOS, J.B. da C.; DANTAS, R.T. **Influência das precipitações na produtividade agrícola no Estado da Paraíba**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.13, n.4, p.454-461, 2009

SILVA, M.A.V.; BRAGA, C.C.; NIETZSCHE, M.H. **Atlas climatológico do Estado da Paraíba**. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1987

SILVA, M.C. da. Estuários - **Crítérios para Uma Classificação Ambiental**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 5, nº1, jan/mar 2000, pág 25-35

SILVA, O.J. da; **Captação de Águas Pluviais na Cidade de Campina Grande, PB. Alternativa Para uma Política de Enfrentamento da Escassez de Água nas Escolas Públicas**. Dissertação de Mestrado, 2003

SILVA, P.C.M. **Avaliação e variabilidade espacial de propriedades químicas do solo da “Extensão Maria Tereza” – Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, Petrolina-PE**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 104p. 2001

SILVA JUNIOR, L.G. de A.; GHEY, H.R.; MEDEIROS, J.F. de. **Composição Química de Águas do Cristalino do Nordeste Brasileiro**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v.3, n.1, pg.11-17, 1999

SPERLING, M.V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias.** Belo Horizonte-MG, Nova Edição, 2005. v.1, 452 p

SPERLING von, M. **Introdução à qualidade das águas ao tratamento de esgotos.** Belo Horizonte, UFMG, Departamento do Engenharia Sanitária e Ambiental. 240p. 1996

SOUSA, C. da S.; MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V. de Sá B.; LIMA, F. de S. **Influências da temperatura de armazenamento e de extratores na determinação de glomalina em solos Paraibanos.** Revista Ciência Agronômica, v. 42, n. 4, , p. 837-841, outubro-dezembro, 2011

SOUSA, R.A de. **Efeitos da salinidade e da composição iônica da água de irrigação sobre o desenvolvimento de plantas de feijão-de-corda cv. pitiúba.** Fortaleza, UFC, 2006. 88f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal do Ceará, 2006

SOUTO, K.G.M. de. **Estado de conservação da mata ripária do Riacho Bodocongó.** Campina Grande, UEPB, 2012. 74f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental), Universidade Estadual da Paraíba, 2012

SOUZA, A.E.F. de. **Ocorrência de patógenos, efeito de produtos naturais sobre o desenvolvimento *in vitro* de *Scytalidium lignicola* e intensidade de podridão escamosa em palma gigante cultivada no semiárido paraibano.** Areia, UFPB, 2010. 108f. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Federal da Paraíba, 2010

SOUZA, R.O. e MOTA, F.S.B. **Qualidade e Conservação da Água, com Vistas ao Desenvolvimento Sustentável no Semi-Árido Nordeste.** ÁRIDAS, SEPLAN/PR. Brasília, 1995

SUASSUNA, J. Reporte Brasil. Artigo – **A má distribuição da água no Brasil**. 2004. Acessado em: 20-01-2008. Disponível em: <http://reportebrasil.org.br/imprimeiphp?escravo=1&id=239>

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE - SUDENE - **O Nordeste Semi-Árido e o Polígono das Secas**. Recife, 2003. Acessado em: 20-07-08. Disponível em: <http://www.sudene.gov.br/nordeste/index.html>

TRAJANO, D.M.A. de; GOMES, H.P. **Citações de Associações de Usuários de Água no Estado da Paraíba**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999. João Pessoa, PB. Anais... João Pessoa, 1999, p. 1079-1087.

TUCCI, C.E.M.; ESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. de M. **A Gestão da Água no Brasil**. Brasília: UNESCO, 156p. 2001

TUCCI, C.E.M.; MARENGO, J.A.; SILVA DIAS, P.L.; COLLISCHONN, W. **Previsão de Vazões na Bacia do Rio São Francisco com Base na Previsão Climática**. Relatório técnico ANEEL/OMM/98/ 00. Porto Alegre: IPHUFGRS. 385p. 2004

TUNDISI, J.G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: RIMA, IIE, 248p. 2003

UNIAGUA – Universidade da Água. **Água no Planeta**. 2007. Acessado em: 13-11-2012. Disponível em: <http://www.uniagua.org.br/website/default.asp?tp=3&pag=aguaplaneta.htm>

UNITED STATES SALINITY LABORATORY STAFF. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. New York: Van Nostrand Reinhold, 497p. 1969

VERISSIMO, L.S.; FEITOSA, F.A.C.; **As Águas Subterrâneas no Nordeste do Brasil. Região de Irauçuba - Estado Do Ceará, Brasil.** XXXII IAH & ALHSUD CONGRESS – Mar Del Plata, Argentina, Anais. 2002

VICENTE, A.; CARNEIRO, H. **A Lei da Seca.** Revista de Biologia, Ano V, pg. 17-22. 1993

VITAL, C.; LIMA, J.M. de; RIBEIRO, M.M.R.; SOUSA, M. de B. de; ANDRADE, M.A. de; BENEVIDES, L.R.C.; CATÃO, A. **Proposta de Instituição do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, Conforme Resolução nº1, de 31 de Agosto de 2003, do Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba.** 84 pg. 2004

VISALEGIS – Legislação em Vigilância Sanitária. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Portaria nº 518, de 25 de março de 2004.** Acessado em: 18-11-2012. Disponível em: <http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=22322&word>

YARON, B. Water suitability for irrigation. In: Yaron, E.; DANFORS, E.; VAADIP, Y. (eds) **Arid zone irrigation.** Berlin: Springer-Verlag, Ecological Studies, 5. pg.71-88. 1973

WANDERLEY, L.S. de; MORETTI, R.C.; SILVA, A.C. da. **Variabilidade pluviométrica e as lavouras sazonais no município de Taperoá, Paraíba.** Revista Geonorte, Edição Especial 2, v.2, n.5, p.1181-1190, 2012

ZONEAMENTO AGROPECUÁRIO DO ESTADO DA PARAÍBA – Universidade Federal da Paraíba. 1978