



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
COPEAG - COORD. DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. AGRÍCOLA



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Tese de Doutorado

**QUALIDADE DAS FONTES HÍDRICAS NA REGIÃO
DO ALTO CURSO DO RIO PARAÍBA E ANÁLISES
MULTIVARIADAS NA HIERARQUIZAÇÃO DOS
COMPONENTES PRINCIPAIS**

JOSINALDO XAVIER DE MEDEIROS

**Campina Grande
Paraíba**



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



JOSINALDO XAVIER DE MEDEIROS

**QUALIDADE DAS FONTES HÍDRICAS NA REGIÃO DO ALTO-
CURSO DO RIO PARAÍBA E ANÁLISES MULTIVARIADAS NA
HIERARQUIZAÇÃO DOS COMPONENTES PRINCIPAIS**

CAMPINA GRANDE – PB

2010

JOSINALDO XAVIER DE MEDEIROS

**QUALIDADE DAS FONTES HÍDRICAS NA REGIÃO DO ALTO
CURSO DO RIO PARAÍBA E ANÁLISES MULTIVARIADAS NA
HIERARQUIZAÇÃO DOS COMPONENTES PRINCIPAIS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), em cumprimento às exigências para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Agrícola.

Orientador(es): Prof. Dr. Hugo O. Carvalho Guerra
Prof. Dr. José Dantas Neto

CAMPINA GRANDE – PB

2010



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCC

- M488q Medeiros, Josinaldo Xavier de.
Qualidade das Fontes Hídricas na Região do Alto Curso do Rio Paraíba e Análises Multivariadas na Hierarquização dos Componentes Principais / Josinaldo Xavier de Medeiros. – Campina Grande, 2010.
123 f.: il. col.
- Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.
Orientadores: Prof. Dr. Hugo Orlando Carvalho Guerra e Prof. Dr. José Dantas Neto.
Referências.
1. Condutividade elétrica. 2. Análise fatorial. 3. Comunalidades. 4. Fontes I. Título.

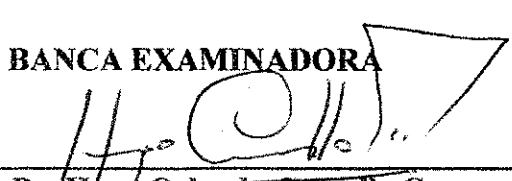
CDU 628.16 (043)

JOSINALDO XAVIER DE MEDEIROS


**QUALIDADE DAS FONTES HÍDRICAS NA REGIÃO DO ALTO
CURSO DO RIO PARAÍBA E ANÁLISES MULTIVARIADA NA
HIERARQUIZAÇÃO DOS COMPONENTES PRINCIPAIS**

APROVADO EM: 02/12/2010

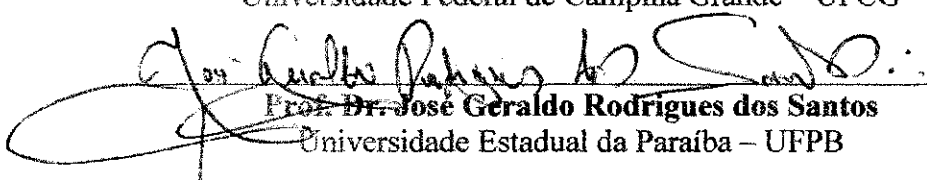
BANCA EXAMINADORA



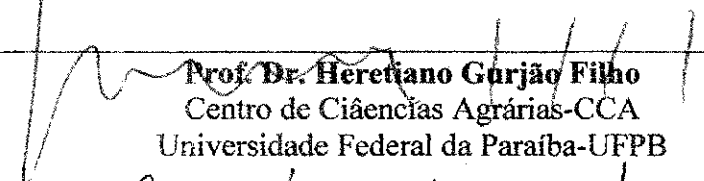
Prof. Dr. Hugo Orlando Carvalho Guerra
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais – CTRN
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG



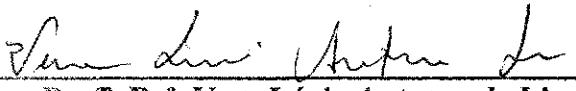
Prof. Dr. José Dantas Neto
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais – CTRN
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



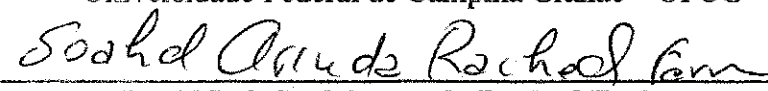
Prof. Dr. José Geraldo Rodrigues dos Santos
Universidade Estadual da Paraíba – UFPB



Prof. Dr. Heretiano Garjão Filho
Centro de Ciências Agrárias-CCA
Universidade Federal da Paraíba-UFPB



Prof.ª Dr.ª Vera Lúcia Antunes de Lima
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais – CTRN
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



Prof.ª Dr.ª Soahd Arruda Rached Farias
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais – CTRN
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

DEDICATÓRIA

Dedico esta vitória de minha vida a Deus, que é o supremo maior; a minha Mãe Josefa Xavier de Medeiros e meu Pai José Medeiros (in memoriam) por tudo que sou, a minha esposa Aline Costa Ferreira por ter sido tão presente em todos os momentos, a meus filhos, Michele e Mitchel, por terem como exemplo este meu título tão sublime.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar coragem e sabedoria para iniciar, e forças para concluir mais uma etapa da vida, tão almejada.

Aos Professores e orientadores Hugo Orlando Carvalho Guerra e José Dantas Neto pelo apoio, força, amizade e incentivo.

Aos Professores José Geraldo de Vasconcelos Baracuhy e José Dantas Neto por terem sido os principais responsáveis por esta vitória, através de incentivo e força.

A Aparecida e a todos os funcionários da Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela atenção, em especial ao Coordenador, Professor Dermeval Araújo Furtado.

A minha família (BUZINA), irmãos, cunhados e cunhada, pela força durante todo o período;

À família Ferreira, por mais uma vitória alcançada na minha vida, em especial a Joana D'Arc e José Ferreira, por terem sido presentes.

Aos meus AMIGOS, em especial a todos (as) que enfrentaram comigo este caminho de tantos altos e baixos, como: Joelma Sales dos Santos, Silvana Silva de Medeiros, Riuzuaní Bezerra Pedroza, Maria Betânia Rodrigues Silva, Nerandi Camerini, Geraldo Moura Baracuhy Neto, Silvana Fernandes Neto e Bruno Soares de Abreu enfim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao meu AMIGO, irmão camarada de tantos caminhos e tantas jornadas, Alamir Carvalho Filho, pela amizade fraterna, em todos os dias e todas as horas.

A Nossa Senhora do Perpétuo Socorro, pelos bens materiais e espirituais, suporte indispensável a esta conquista.

Ao Dr. Pedro Carlos Gama (Embrapa/Petrolina), pela amizade e apoio.

Ao Professor Dr. José Wellington dos Santos (Embrapa/Campina Grande) pela substancial e relevante ajuda na análise estatística.

À Dra. Luiza Teixeira de Lima Brito, pela prestimosa colaboração com a sua Tese.

À Fundação Nacional de Saúde, pelo incentivo financeiro.

RESUMO

Determinar zonas de águas salinas ou não salinas nos leitos de riachos, açudes, poços e cacimbas da sub-bacia da região do alto Paraíba, visando facilitar a localização de obras superficiais (açudes, barragens) e sub-superficiais (barragens subterrâneas, poços) foi o objetivo principal deste trabalho de tese. A sub-bacia do alto Paraíba foi dividida em onze municípios, nos quais foram coletadas amostras de água objetivando-se caracterizar os recursos hídricos da região. As diversas variáveis que indicam alguns aspectos de qualidade das águas foram quantificadas em diferentes fontes hídricas superficiais e subsuperficiais no período das chuvas de 2007 e realizado o monitoramento da qualidade da água. A maioria das fontes hídricas, cerca de 80%, apresentou valores da condutividade elétrica dentro dos limites permitidos para consumo humano, irrigação e dessedentação animal. A análise fatorial permitiu agrupar as variáveis em três fatores principais. Nas fontes pesquisadas os fatores principais no período de chuvas de 2007 explicaram 78,7% da variância total. O Fator 1 (F1) foi responsável por 40,4% desta variância. As variáveis com maior carga fatorial no Fator 1 (F1) foram Dureza Total – DT (0,979), Cálcio-Ca (0,954), sódio - Na (0,934) e Sólidos Dissolvidos Totais – SDT (0,941). Por sua vez, o Fator 2 (F2) responde por 22,7% da variância total e inclui variáveis com altos valores de comunalidades finais como bicarbonato - HCO_3 (93,05%), cloreto-cl (84,12%) e Relação de Adsorção de Sódio-RAS (87,02%), variáveis estas relacionadas com infiltração; por último, o Fator 3 (F3) respondendo por 15,6% da variância total está influenciado pela presença de íons de Carbonato- CO_3 e Potássio-K, com (90,13%) e (35,19%) de comunalidades finais, respectivamente, elementos relacionados aos nutrientes presentes nas águas. As fontes hídricas foram classificadas em quatro classes, de forma que a classe C1 agrupou as fontes de melhor qualidade das águas, cujo valor médio dos SDT foi 86,61mg L⁻¹, representando 57,5% das fontes.

Palavras – chave: condutividade elétrica; análise fatorial; comunalidades; fontes

ABSTRACT

Determine areas of non-saline or saline water in the beds of streams, ponds, wells and ponds in the sub-basin of the upper Paraíba, to facilitate the location of surface works (weirs, dams) and sub-surface (underground dams, wells) was the main objective of this thesis work. The sub-basin of the upper Paraíba was divided into eleven municipalities, which have been collected water samples in order to characterize the region's water resources. The various variables that indicate some aspects of water quality were measured at different surface water sources and sub-surface during the rainy season of 2006, and was conducted the monitoring of water quality. Most water sources, around 80% of the sources of electrical conductivity showed values within the limits permitted for human consumption, irrigation and animal watering. The factor analysis grouped the variables into three main factors. In the sources surveyed major factors in the rainy season of 2006 accounted for 78.7% of total variance. Factor 1 (F1) accounted for 40.4% of the variance. The variables with higher factor loading in Factor 1 (F1) were Total Hardness - TD (0.979), Ca-Ca (0.954), sodium - Na (0.934) and Total Dissolved Solids - TDS (0.941), in turn, Factor 2 (F2) accounted for 22.7% of the total variance and includes variables with high values of communalities and final bicarbonate - HCO_3 (93.05%), chloride-cl (84.12%) and Sodium Adsorption Ratio-RAS (87.02%), variables related to infiltration, and finally, Factor 3 (F3) accounted for 15.6% of the total variance is influenced by the presence of carbonate ions CO_3 -and Potassium-K, with (90, 13%) and (35.19%) of commonalities end, respectively, matters related to the nutrients present in águas. As water sources were classified into four classes, so that the class C1 grouped the best quality sources of water, whose average value of the TDS was 86.61 mg L⁻¹ representando 57.5% of the sources.

Keywords: electrical conductivity; factor analysis; communalities sources

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Diretrizes para Interpretação da Qualidade da Água para Irrigação ¹ , conforme Ayres & Westcot (1999).	29
Tabela 2	Padrão de Aceitabilidade de Água para Consumo Humano - Ministério da Saúde (Brasil 2004.)	31
Tabela 3	Guia de Qualidade de Água para Dessedentação de Gado e Aves ¹	32
Tabela 4	Níveis Sugeridos de Magnésio nas Águas para Dessedentação de Gado e Aves ¹	33
Tabela 5	Municípios da Região do Alto Paraíba e Número de Amostras de Água Coletadas no Período Chuvoso de 2007.	46
Tabela 6	Qualidade da Água para Consumo Humano em Função dos Parâmetros SDT, pH, Sódio e Cloretos – Período Chuvoso 2007.	54
Tabela 7	Qualidade da Água em Relação à Condutividade Elétrica e Sais Dissolvidos Totais no Período Chuvoso do ano de 2007.	56
Tabela 8	Qualidade da Água em Relação ao Sódio e Cloretos considerando os Métodos de Irrigação por Superfície e Aspersão no Período Chuvoso do ano de 2007	58
Tabela 9	Qualidade da Água em Relação às Concentrações de Bicarbonato (HCO ₃) e pH no Período Chuvoso do ano de 2007.	59
Tabela 10	Índices de Qualidade das Águas no Período de Chuvas de 2007 no Município de Amparo.	61
Tabela 11	Georreferenciamento dos Pontos, Tipo de Fonte e da Salinidade da Água para o Município de Amparo	62
Tabela 12	Índices de Qualidade das Águas no Período de Chuvas de 2007 no Município de Barra de São Miguel	65
Tabela 13	Georreferenciamento dos Pontos, Tipo de Fonte e da Salinidade da Água para o Município de Barra de São Miguel.	67
Tabela 14	Índices de Qualidade das Águas no Período de Chuvas de 2007 no Município de Camalaú.	69
Tabela 15	Georreferenciamento dos Pontos, Tipo de Fonte e da Salinidade da Água para o Município de Camalaú.	71
Tabela 16	Índices de Qualidade das Águas no Período de Chuvas de 2007 no Município de Congo.	72
Tabela 17	Georreferenciamento dos Pontos, Tipo de Fonte e da Salinidade da Água para o Município de Congo.	74
Tabela 18	Índices de Qualidade das Águas no Período de Chuvas de 2007 no Município de Monteiro.	75
Tabela 19	Georreferenciamento dos Pontos, Tipo de Fonte e da Salinidade da Água para o Município de Monteiro.	77
Tabela 20	Índices de Qualidade das Águas no Período de Chuvas de 2007 no Município de Ouro Velho.	79
Tabela 21	Georreferenciamento dos Pontos, Tipo de Fonte e da Salinidade da Água para o Município de Ouro Velho.	81

Tabela 22	Índices de Qualidade das Águas no Período de Chuvas de 2007 no Município de Prata.	82
Tabela 23	Georreferenciamento dos Pontos, Tipo de Fonte e da Salinidade da Água para o Município de Prata no Período Chuvoso de 2007.	84
Tabela 24	Índices de Qualidade das Águas no Período de Chuvas de 2007 no Município de São João do Tigre.	85
Tabela 25	Georreferenciamento dos Pontos, Tipo de Fonte e da Salinidade da Água para o Município de São João do Tigre.	87
Tabela 26	Índices de Qualidade das Águas no Período de Chuvas de 2007 no Município de São Sebastião do Umbuzeiro.	88
Tabela 27	Georreferenciamento dos Pontos, Tipo de Fonte e da Salinidade da Água para o Município de São Sebastião do Umbuzeiro no período chuvoso de 2007.	90
Tabela 28	Índices de Qualidade das Águas no Período de Chuvas de 2007 no Município de Sumé.	91
Tabela 29	Georreferenciamento dos Pontos, Tipo de Fonte e da Salinidade da Água para o Município de Sumé.	94
Tabela 30	Índices de Qualidade das Águas no Período de Chuvas de 2007 no Município de Zabelê.	96
Tabela 31	Georreferenciamento dos Pontos, Tipo de Fonte e da Salinidade da Água para o Município de Zabelê.	98
Tabela 32	Cargas Fatoriais e Comunalidades Finais para as Variáveis de Qualidade das Águas Analisadas na Região do Alto Paraíba no Período de Chuvas do ano de 2007.	99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Localização da sub-bacia hidrográfica do Alto Paraíba no Estado da Paraíba (divisão por sub-bacias hidrográficas).	41
Figuras 2	Luvissolo crômico predominante na sub-bacia do alto Paraíba	43
Figuras 3	Relevo predominante na bacia do alto Paraíba.	43
Figuras 4	Vegetação predominante na bacia do alto Paraíba.	44
Figuras 5a	Coletor de água.	45
Figuras 5b	Procedimento de envasamento das amostras para serem levadas ao laboratório.	45
Figura 5c	Ficha de campo, GPS, Condutivímetro portátil.	46
Figura 5d	Amostras de Água para análises em laboratório.	46
Figura 6	Tipos de fontes e número de amostras coletadas nos municípios da região do alto Paraíba.	47
Figura 7	Mapa de condutividade elétrica e rede de drenagem da sub bacia hidrográfica da região do alto Paraíba.	60
Figura 8a	Mapa de condutividade elétrica do município de Amparo.	63
Figura 8b	Mapa das fontes de coleta de água do município de Amparo.	63
Figura 9a	Mapa de condutividade elétrica do município de Barra de São Miguel.	66
Figura 9b	Mapa das fontes de coleta de água do município de Barra de São Miguel.	67
Figura 10a	Mapas de condutividade elétrica do município de Camalaú.	70
Figura 10b	Mapa das fontes de coleta de água do município de Camalaú.	70
Figura 11a	Mapas de condutividade elétrica do município de Congo.	73
Figura 11b	Mapa das fontes de coleta de água do município do Congo.	73
Figura 12a	Mapas de condutividade elétrica do município de Monteiro.	76
Figura 12b	Mapa das fontes de coleta de água do município de Monteiro.	77
Figura 13a	Mapas de condutividade elétrica do município de Ouro Velho.	80
Figura 13b	Mapa das fontes de coleta de água do município de Ouro Velho.	80
Figura 14a	Mapas de condutividade elétrica do município de Prata.	83

Figura 14b	Mapa das fontes de coleta de água do município de Prata.	83
Figura 15a	Mapas de condutividade elétrica do município de São João do tigre.	86
Figura 15b	Mapa das fontes de coleta de água do município de São João do Tigre.	86
Figura 16a	Mapa de condutividade elétrica do município de São Sebastião do Umbuzeiro.	89
Figura 16b	Mapa das fontes de coleta de água do município de São Sebastião do Umbuzeiro.	90
Figura 17a	Mapas de condutividade elétrica do município de Sumé.	93
Figura 17b	Mapa das fontes de coleta de água do município de Sumé.	93
Figura 18a	Mapas de condutividade elétrica do município de Zabelê.	97
Figura 18b	Mapa das fontes de coleta de água do município de Zabelê.	97

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Descrição dos métodos utilizados para as determinações dos parâmetros químicos da qualidade das águas amostradas, conforme EMBRAPA (1997).	48
Quadro 2	Fontes hídricas em que os sólidos dissolvidos totais (SDT) apresentaram média de 86,61 mg L ⁻¹ constituindo a classe C1.	104
Quadro 3	Fontes hídricas em que os sólidos dissolvidos totais (SDT) apresentaram média de 315,81 mg L ⁻¹ constituindo a classe C2.	107
Quadro 4	Fontes hídricas em que os sólidos dissolvidos totais (SDT) apresentaram média de 764,25 mg L ⁻¹ constituindo a classe C3.	108
Quadro 5	Fontes hídricas em que os sólidos dissolvidos totais (SDT) apresentaram média de 86,61 mg L ⁻¹ constituindo a classe C4.	109

5.4.11.	Município de Zabelê.....	95
5.4.12.	Classificação das Fontes Hídricas Utilizando Análise Multivariada.....	98
6.0.	CONCLUSÕES. E RECOMENDAÇÕES.....	110
7.0.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111

SUMÁRIO

1.0.	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos.....	16
1.1.1.	Objetivo Geral.....	16
1.1.2.	Objetivos Específicos.....	16
2.0.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1.	Bacias Hidrográficas.....	17
2.2.	Gerenciamento dos Recursos Hídricos.....	19
2.3.	Agentes de Poluição e Indicadores de Qualidade das Águas.....	22
2.3.1.	Qualidade de Água para Irrigação.....	23
2.4.	Qualidade das Águas para Consumo Humano.....	30
2.5.	Qualidade das Águas para Dessedentação Animal.....	32
2.6.	Análise Multivariada Aplicada aos Recursos Hídricos.....	33
3.0.	MATERIAL E MÉTODOS	41
3.1.	Local da pesquisa.....	41
3.2.	Características Climáticas e Fisiográficas da região do alto Paraíba.....	42
3.2.1.	Clima.....	42
3.2.2.	Geologia.....	42
3.2.3.	Solo.....	42
3.2.4.	Relevo.....	43
3.2.5.	Vegetação.....	44
3.3.	Caracterização das Fontes Hídricas.....	44
3.3.1.	Coleta das Amostras das Águas.....	44
3.3.2.	Caracterização Físico Química das Águas.....	47
3.3.3.	Classificação das Águas para Irrigação.....	48
3.3.4.	Classificação das Águas para Consumo Humano.....	49
3.3.5.	Classificação das Águas para Consumo Animal.....	50
4.0.	Análises Estatísticas.....	50
4.1.	Classificação das Fontes Hídricas Análise dos Componentes Principais (ACP)	50
4.2.	Análise Multivariada.....	50
4.3.	Análise de Agrupamento ou Análise de Cluster.....	53
5.0.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
5.1.	Qualidade de Água para Consumo Humano.....	54
5.2.	Qualidade de Água para Consumo Animal.....	55
5.3.	Qualidade de Água para Fins Agrícolas.....	55
5.4.	Impactos das Atividades Agrícolas na Qualidade das Águas.....	59
5.4.1.	Município de Amparo.....	60
5.4.2.	Município de Barra de São Miguel.....	64
5.4.3.	Município de Camalaú.....	68
5.4.4.	Município de Congo.....	71
5.4.5.	Município de Monteiro.....	74
5.4.6.	Município de Ouro Velho.....	78
5.4.7.	Município de Prata.....	81
5.4.8.	Município de São João do Tigre.....	84
5.4.9.	Município de São Sebastião do Umbuzeiro.....	87
5.4.10.	Município de Sumé.....	91

1.0 INTRODUÇÃO

O crescimento demográfico e o desenvolvimento sócioeconômico ocorridos na segunda metade do século XX impulsionaram aumentos consideráveis na demanda de água no setor agrícola, visando aos aumentos na produção de alimentos para atender às necessidades da população. Para aumentar a produção de alimentos duas alternativas são consideradas de caráter imediato: aumentar a área explorada ou utilizar tecnologias que assegurem este objetivo, como a irrigação. Segundo Christofidis (2001), no período de 1975-97 a área mundial irrigada aumentou em 50,2%, passando de 189.245 mil ha para 267.727 mil ha; no Brasil, este incremento foi de 150% passando de 1.100 mil ha para 2.756 mil hectares, aproximadamente. Aumento na área irrigada implica num maior consumo de água; atualmente, a agricultura irrigada apresenta um consumo médio de 70% da disponibilidade hídrica global e é responsável por cerca de 35% da produção agrícola (BROWN et al., 2000; LIMA et al., 1999); implica, também, em maior demanda por insumos como fertilizantes e defensivos que, se não manejados adequadamente, aumentam os riscos de degradação ambiental, principalmente dos recursos hídricos.

A demanda de insumos aumentou e continuou aumentando significativamente; todavia, os recursos naturais não e à medida em que crescem as necessidades, os ecossistemas se deterioram. A quantidade de água disponível no globo permanece constante há 500 milhões de anos (REBOUÇAS, 1999); no entanto, aumentos no consumo, níveis de poluição crescentes, falta generalizada de políticas que orientem minimizar os desperdícios em diferentes escalas e políticas de reúso de água, contribuem para aumentar os problemas de escassez de água vivenciados em várias partes do mundo, sobretudo em países do Oriente Médio e da África. Os números também são crescentes nos recursos de solos - cerca de 5 a 7 milhões de hectares de áreas cultivadas são abandonados anualmente por meio da degradação; a área cultivada no período citado decresceu em 50%, passando de 0,24 para 0,12 hectares por pessoa, incoerente com a necessidade de aumentar a produção de alimentos. Em nível global, 1,2 bilhão de pessoas apresentam elevados índices de desnutrição, principalmente crianças; esta mesma quantidade não tem acesso à água potável elevando-se assim os índices de doenças em consequência da má qualidade das águas, ocasionando a morte a cerca de 10 milhões de pessoas anualmente (BROWN et al., 2000; RHOADES et al., 2000; CAPELAS JÚNIOR, 2001).

O semiárido brasileiro é um dos maiores e mais populosos do mundo, sendo ecologicamente uma área intensamente devastada devido ao tipo de exploração econômica que moldou uma luta secular, através do enfrentamento da natureza, na tentativa de sobrevivência. O clima é seu elemento mais marcante, com um regime pluviométrico em média de 500 mm/ano, em duas estações bem distintas, uma com chuvas distribuídas temporalmente em 3 a 5 meses, no primeiro semestre do ano chamada inverno, e outra seca que dura de 7 a 9 meses, podendo alongar-se, caracterizando-se uma seca. Devido à grande incidência da insolação a região semiárida do Nordeste possui um dos maiores índices de evaporação do Brasil, alcançando índices ao redor de 2200 mm/ano (ROCHA & KURTZ, 2001). Assim, torna-se difícil a oferta da água no âmbito do semiárido em que pese ser este recurso cada vez mais utilizado como estratégia em projeto de desenvolvimento, administração de conflitos e proteção do meio ambiente.

Essas informações 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 estabelece um equilíbrio entre as demandas hídricas para o consumo humano e animal e a irrigação. Dentre os fatores explorados no manejo de bacias hidrográficas o mais nobre é a determinação de que todos terão igual direito aos recursos hídricos com prioridade para o abastecimento de água para consumo doméstico (ROCHA & KURTZ 2001).

A Sub-Bacia Hidrográfica da Região Alto Curso do Rio Paraíba está inserida no caminho da Transposição das Águas do Rio São Francisco Eixo Leste em que as áreas são tidas como de alta susceptibilidade e ocorrência de processos de desertificação. O Cariri Paraibano, além de sofrer a ação dos fenômenos naturais passa por níveis intensos de antropização no que se refere aos processos de agriculturização e pecuarização, dentre os quais, se destacam o desflorestamento intensivo para ampliação de áreas agrícolas e de pastagem; o uso intensivo do solo; o desrespeito à capacidade de suporte animal nas pastagens nativas e artificiais; a presença acentuada de processos erosivos, assoreamento de cursos d'água e mananciais e o surgimento de núcleos de salinização. Devido às constantes estiagens, tem-se verificado a redução expressiva de disponibilidade das águas superficiais e subterrâneas – esta última em virtude da ocorrência do escudo cristalino que dificulta o armazenamento sem que a população residente na área seja sensibilizada. Esta despreocupação passa pelo descuido com componentes como a conservação da cobertura vegetal e dos solos, onde em que se observam as mais diversas ações impactantes.

A Sub-Bacia Hidrográfica da Região do Alto Paraíba é de grande importância socioeconômica para a Região Nordeste do Brasil, principalmente no contexto do desenvolvimento agrícola, para atender aos mercados interno e externo do nordeste brasileiro.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Determinar áreas livres de problemas de salinidade dos leitos de rios e riachos da sub-bacia Região do Alto Curso do Rio Paraíba, visando facilitar a localização de obras superficiais (açudes e barragens) e sub-superficiais (barragens subterrâneas e poços) no período de chuvas do ano de 2007.

1.1.2. Objetivos específicos

- Analisar a qualidade da água quanto à salinidade para a agricultura irrigada, o consumo humano e animal.
- Georreferenciar fontes de água dos leitos de açudes, rios, riachos, poços amazonas e cacimbas da sub-bacia região do Alto Paraíba.
- Confeccionar mapas com zonas de águas salinas ou não salinas, através de classificação das águas superficiais e sub-superficiais.
- Estudar a variabilidade das características químicas das águas, sua ordenação durante o período hidrológico analisado, utilizando Técnicas Estatísticas de Análise Multivariada de Componentes Principais (ACP) e de Agrupamento ou Cluster, visando auxiliar na definição de medidas de monitoramento e gestão da qualidade das águas.

2.0. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. 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. Usada como área delimitada para manejo e planejamento, é a forma mais tecnicamente adequada 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, e 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 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 do rio Amazonas, Bacia do rio Tocantins, Bacia do Atlântico, Trecho Norte/Nordeste, Bacia do rio São Francisco, Bacia do Atlântico, Trecho Leste, Bacia do rio Paraná, Bacia do rio Uruguai e 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 de dois trechos: Norte e Nordeste. O Trecho Norte corresponde à área de drenagem dos rios que desaguam 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, o que o torna, 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 com as 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. Essas 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 & 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 adequado dos recursos hídricos, em nível 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 semiárido, 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).

Segundo Aesa (2006), 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°51'31" e 8°26'21" Sul e as longitudes 34°48'35" e 37°2'15" 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. Considerada uma das mais importantes do semiárido nordestino, ela é composta pela subbacia 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 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).

A sub-bacia da região do alto curso do rio Paraíba limita-se, ao Sul e a Oeste, com o Estado de Pernambuco, e ao Norte e a Leste com as bacias do rio Taperoá e do médio Paraíba. A sub-bacia está inserida na microrregião homogênea dos Cariris Velhos, contendo total ou parcialmente os municípios: Amparo, Barra de São Miguel, Camalaú, Congo, Monteiro, Ouro Velho, Prata, São João do Tigre, São Sebastião do Umbuzeiro, Sumé e Zabelê (PDRH, Paraíba, 1997).

2.2. Gerenciamento dos Recursos Hídricos

A população mundial estimada para o ano 2030 é de aproximadamente 8 bilhões de habitantes, com uma taxa de crescimento anual em torno de 1,33%; isto significa um aumento de mais de 1,3 bilhão de pessoas nos próximos 20 anos (FORNO, 1999). Este crescimento populacional requer aumentos na produção agrícola, estimados em 40-50%, com consequentes aumentos no consumo de água, principalmente para uso na irrigação, uma vez que a agricultura irrigada responde com 1/3 da demanda de alimentos e fibras da população (FAO, 1988, citada por RHOADES et al., 1999; ONGLEY, 1996; 2001). Segundo a Organização Meteorológica Mundial, o consumo mundial de água aumentou mais de seis vezes em menos de um século, mais do que o dobro das taxas de crescimento da população, mesmo assim, continua a crescer com a elevação do consumo dos setores agrícola, industrial e doméstico. Esses estudos demonstram também que, nos próximos anos, a situação global das reservas hídricas tende a piorar, tanto nos aspectos quantitativos quanto nos qualitativos caso não haja ações enérgicas visando à melhoria da gestão da oferta e da demanda da água para diferentes usos (FREITAS & SANTOS, 1999).

De acordo com Brown et al, (2000), esta situação se tornará mais crítica em 34 países da África e do Oriente Médio, classificados atualmente como hidricamente estressados, onde se localizam grandes bolsões de pobreza, contendo uma população de 1,2 bilhão de pessoas famintas e sem acesso a água potável. Afirmam que o mundo, ao se defrontar com a escassez de água, também se defrontará com a escassez de alimentos, uma vez que são necessárias 1000 toneladas de água para produzir uma tonelada de grãos; portanto, a competição pela água, tão debatida nos fóruns nacionais e internacionais, provavelmente ocorrerá nos mercados mundiais de alimentos.

GLIESSMAN (2000) ressalta que quando novas medidas tecnológicas são utilizadas prioritariamente com base em sua capacidade de aumentar rendimentos e reduzir custos e, apenas secundariamente, para reduzir impactos ambientais, elas têm baixa probabilidade de contribuir com a sustentabilidade em longo prazo, e cita que as políticas contempladas pelos projetos de irrigação, em geral, são implementadas com base na rentabilidade econômica de curto prazo e os impactos ambientais dessas práticas e políticas correntes só se manifestarão após algumas décadas. A sustentabilidade, ao contrário, requer que o planejamento e a tomada de decisões aconteçam num horizonte de tempo muito mais longo do que o considerado pela maioria dos impactos econômicos. O autor afirma, ainda, que é impossível saber, com certeza, se determinada prática ou conjunto de práticas, garante, de fato, a sustentabilidade. Contudo, é possível demonstrar se esta prática está se afastando da sustentabilidade.

REBOUÇAS (1999) afirma que a disponibilidade de água no planeta tem permanecido constante nos últimos 500 milhões de anos não existindo, portanto, problemas de escassez em nível global. Todavia, deve-se ressaltar que este potencial nem sempre está disponível para ser utilizado para consumo humano e desenvolvimento das atividades sócioeconômicas, e que os percentuais disponíveis são mal distribuídos.

A disponibilidade referida não deve considerar aspectos relacionados ao aumento da demanda mundial da água e sua redução pela poluição, principalmente nas últimas décadas. Segundo VIEIRA (1999), entende-se por “disponibilidade de água” a quantidade efetivamente disponível de forma duradoura e permanente.

Segundo MACHADO (2002), a noção de gestão integrada dos recursos hídricos assume várias dimensões e envolve diferentes e complexas conotações: primeiro, no sentido de se considerar os diversos processos de transporte de massa de água do ciclo hidrológico; segundo, é um recurso de usos múltiplos; terceiro, está em constante inter-relacionamento com outros elementos do mesmo ecossistema (solo, flora, fauna); quarto, envolve coparticipação de gestores, usuários e população no planejamento e na gestão desses recursos, e, finalmente, deve atender aos anseios da sociedade de desenvolvimento socioeconômico com preservação ambiental na perspectiva de um desenvolvimento sustentável. Afirma este autor que a prática de uma gestão integrada deve ser orientada pela lógica da negociação sociotécnica, face à complexidade, à heterogeneidade e à diversidade de elementos que compõem um espaço geográfico sendo, portanto, esta negociação, um processo dispendioso do ponto de vista político, financeiro e emocional;

incerto e arriscado. Por outro lado, tem a vantagem de ajustar bem as partes entre si e produzir novas situações e oportunidades.

No contexto da complexidade do planejamento e gestão integrada e sistêmica dos recursos hídricos, CEDRAZ (2002) ressalta a necessidade de discussões e reflexões profundas envolvendo todos os atores partícipes, devendo sempre as ações culminarem com os princípios do desenvolvimento sustentado tão discutido pela sociedade nas últimas décadas, tendo na água o recurso básico da gestão ambiental e suas relações com o desenvolvimento.

Na região semiárida do Nordeste brasileiro, caracterizada por um regime de precipitação irregular, a escassez de água sempre foi um problema não solucionado, apesar dos esforços despendidos pelos governos, durante várias décadas. Nesta região, os fatores climáticos e geológicos têm papel preponderante na renovação das reservas hídricas e, conseqüentemente, nas mudanças da qualidade de suas águas. PORTO et al. (1983) afirmam que apenas dois em cada dez anos são considerados normais quanto à distribuição das precipitações. Associada à escassez, a alta evapotranspiração contribui para reduzir a disponibilidade hídrica e favorecer a concentração de solutos nas fontes hídricas superficiais, contribuindo para a degradação da qualidade das águas, por meio da eutrofização, salinização e concentração de compostos não permissíveis para alguns usos considerados nobres e que exigem rigoroso controle da qualidade da água. No que se refere às fontes subterrâneas nesta região e dado ao predomínio das rochas cristalinas, os sistemas aquíferos são do tipo fissural e de baixa produtividade, onde os poços são rasos e apresentam vazões inferiores a $3,0 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, elevados teores de sólidos dissolvidos totais, em média, $3,0 \text{ g L}^{-1}$, com predominância de cloretos (LEAL, 1999). Este quadro de incertezas quanto à disponibilidade e à qualidade das águas gera insegurança na tomada de decisão de políticas de desenvolvimento agropecuário e socioeconômico para a região necessitando, portanto, de medidas de planejamento e gestão dos recursos hídricos disponíveis visando atender à demanda da população de forma permanente.

Em regiões em que a escassez de água sempre se fez presente, seja devido ao aumento da demanda, da degradação dos recursos hídricos ou em consequência da instabilidade climática, os conflitos pelo uso da água tendem a aumentar. Portanto, buscar soluções para um monitoramento e gerenciamento adequados desses recursos, deverá ser a prioridade dos órgãos gestores, a exemplo da outorga de direito de uso e cobrança pelo uso

da água, com base no conceito usuário-pagador e poluidor-pagador (MMA/SRH, 1997; KETTELHUT et al., 1999). A cobrança pelo uso e/ou poluição dos recursos hídricos deverá induzir o uso racional, estimulando o usuário a adotar medidas para evitar desperdícios e reduzir impactos tanto na quantidade quanto na qualidade dos recursos hídricos, à semelhança da redução do consumo de energia elétrica imposta pelo governo federal, a partir de 04 de junho de 2001 em que, embora pouco perceptível pela população em geral, esta crise energética, deveu-se, principalmente, às baixas disponibilidades hídricas dos reservatórios de água destinados não apenas à geração de energia elétrica mas também a diversos usos.

2.3. Agentes de Poluição e Indicadores de Qualidade das Águas

A poluição dos recursos hídricos pode resultar de fontes pontuais e não pontuais comumente denominadas fontes difusas de poluição (MEYBECK & HELMER, 1997; THOMAS & MEYBECK, 1997). Segundo Manoel Filho (1997), as fontes pontuais dão origem a concentrações elevadas, localizadas em camadas 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.

Os resíduos industriais, tais como 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, tenham, como destino final, os cursos de água, causando sérios impactos à biota, aos recursos hídricos, ao homem e demais componentes do sistema ecológico. As fontes pontuais de poluição são regulamentadas por lei ambiental (Lei nº 6.803 de 02/07/1980) que impõe 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 em virtude das 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 basear-se, principalmente na educação ambiental e em práticas agrícolas e de uso da terra adequadas. Este tipo de poluição está relacionado, muitas vezes, com a ineficiência de alguns sistemas de produção que utilizam insumos de forma inadequada e parte desses insumos retorna como efluentes às águas superficiais e subterrâneas, contendo grandes quantidades de sais, nutrientes, pesticidas e sedimentos, contribuindo para a 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). De vez que esta poluição 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; estabelecimentos 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.

2.3.1. Qualidade de Água para Irrigação

Toda água superficial ou subterrânea contém certo teor de sais em solução, mas em regiões áridas e semiáridas, essa concentração é em geral maior, devido aos períodos secos, que favorecem a evaporação da água e em contrapartida, concentrações de sais nas águas remanescentes dos reservatórios, causando grandes problemas de salinização e sodificação

do solo, quando utilizadas para irrigação. A orientação mais comum consiste em se determinar-se a qualidade da água de irrigação, classificando-a de acordo com a concentração e a composição desses sais presentes (DAKER, 1970).

A adequabilidade da água de irrigação não depende unicamente do teor total de sais, mas também do tipo de sal. À medida em que o conteúdo de sais aumenta os problemas do solo e das culturas se agravam, o que requer o uso de práticas especiais de manejo, quando se deseja manter rendimentos aceitáveis. A qualidade da água quanto a sua adaptabilidade à irrigação é determinada pela gravidade dos problemas que poderão surgir após seu uso, em longo prazo (AYERS e WESTCOT, 1999). A água utilizada na irrigação é responsável pela salinização secundária dos solos e nas áreas irrigadas adjacentes apresentando, na maioria das vezes, uma composição química constituída de sais de sódio, cálcio, magnésio e potássio na forma de cloretos, sulfatos, carbonos e bicarbonatos, em diferentes proporções, dependendo da fonte de água, de sua localização e da época de coleta, dentre outros fatores (RICHARDS, 1954; MEDEIROS, 1992).

As águas de irrigação devem ser avaliadas em especial sob três aspectos: salinidade, sodicidade e toxicidade de íons, variáveis fundamentais na determinação da qualidade agrônômica. O efeito da salinidade é de natureza osmótica podendo afetar diretamente o rendimento das culturas, uma vez que salinidade excessiva reduz o desenvolvimento das plantas, em virtude do aumento de energia que elas precisam despendar para ajustamento bioquímico necessário a fim de absorver água do solo em condições de estresse. A sodicidade, referente ao efeito relativo do sódio da água de irrigação, tende a elevar a porcentagem de sódio trocável no solo (PST), provocando problemas de infiltração da água no solo. A toxicidade diz respeito ao efeito específico de certos íons sobre as plantas, sobretudo o cloreto, o sódio e o boro, afetando seu rendimento, independente do efeito osmótico da salinidade (SOARES, 2001).

Com vista à avaliação da qualidade de água para irrigação, utilizam-se alguns parâmetros básicos, como: acidez (pH), condutividade elétrica (CE), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), potássio (K), cloreto (Cl), sulfato (SO₄), carbonato (CO₃), bicarbonato (HCO₃), boro (B), total de sólidos dissolvidos (TSD), relação de adsorção de sódio (RAS) e porcentagem de sódio trocável (PST). No caso de irrigação localizada faz-se imprescindível a inclusão de mais alguns parâmetros, prevenindo-se quanto a possíveis obstruções de emissores; entre as diversas proposições para classificação da água de

irrigação, tem-se: RICHARDS (1954) e AYERS & WESTCOT (1999) como as mais citadas.

Para salinização de um solo, além da intemperização das rochas e liberação dos sais, é necessário que haja o transporte para outros locais em que se concentram até níveis prejudiciais. O principal agente responsável pela remoção, transporte e acúmulo de sais, é a própria água, a exemplo, uma lâmina de 100 cm de água, com CE de $0,75 \text{ dS m}^{-1}$ leva ao solo cerca de $4,8 \text{ t ha}^{-1}$ de sais (RHOADES et al, 1990).

O conceito de qualidade de água refere-se às características que podem afetar sua adaptabilidade para uso específico, ou seja, é a relação entre a qualidade da água e as necessidades do usuário. A qualidade da água se define por uma ou mais características físicas, químicas e biológicas. Preferências pessoais, como sabor, podem constituir simples avaliação de aceitabilidade porém na avaliação da qualidade da água para a irrigação, deve-se considerar, sobretudo, as características químicas e físicas e poucas são às vezes em que outros fatores são considerados importantes (AYRES & WESTCOT, 1999). Segundo estes autores, a qualidade da água para irrigação está diretamente relacionada aos efeitos prejudiciais aos solos e às culturas requerendo, muitas vezes, técnicas especiais de manejo para controlar ou compensar eventuais problemas associados à sua utilização; desta forma, a conveniência de uma água para irrigação deverá ser avaliada conjuntamente com o estudo das condições locais de uso, tomando-se como base os fatores relacionados à água, solo e planta.

Os sais solúveis que ocorrem no solo e na água se originam, geralmente, a partir da intemperização dos minerais primários constituintes da crosta terrestre (RICHARDS, 1954; FAO/UNESCO, 1973). Para Israelsen & Hansen (1967), a intemperização química envolve processos de hidrólise, hidratação, solução, oxidação e carbonatação, resultando na liberação gradual de íons solúveis que, na ausência de precipitações pluviométricas, em quantidades e frequências suficientes para promover a lixiviação através do perfil do solo se acumulam, atingem níveis restritivos ao desenvolvimento satisfatório das plantas cultivadas; por este motivo, a ocorrência de solos salinos e sódicos está quase sempre associada às regiões áridas ou semiáridas, enquanto a presença de chuvas em áreas litorâneas poderá contribuir significativamente para a redução de sais no solo (BIGGAR et al.1984). Em regiões úmidas, por se tratar de zonas com precipitações elevadas, solos profundos e com relevo ondulado os sais durante a intemperização, são lixiviados até o lençol freático ou eliminados dos locais de origem através das águas superficiais, enquanto

nas regiões áridas e semiáridas, em razão do déficit hídrico ser maior em parte do ano e, na maioria das vezes, por serem solos rasos ou apresentarem camadas impermeáveis no perfil, aliado à existência de topografia relativamente plana esses sais, junto com a água, são depositados em depressões nas quais estarão sujeitos aos processos de evaporação e/ou evapotranspiração podendo, com o tempo, atingir níveis elevados e comprometedores para o crescimento e desenvolvimento das culturas (RICHARDS, 1954; PIZARRO, 1978).

O teor de sais das águas superficiais, embora seja função das rochas predominantes nas nascentes, da zona climática, da natureza do solo em que a água flui, dependerá também de poluição decorrente das atividades humanas. Já no caso de água subterrânea, o teor de sais dependerá da origem da água e do curso sobre a qual ela flui, e sua salinização estará de conformidade com a lei de dissolução, com base no contato entre a água e o substrato que armazena a referida água. As mudanças no teor de sais da água subterrânea no processo de recarga resultam de redução, geralmente de natureza bioquímica, troca catiônica, evapotranspiração e precipitação (MEDEIROS, 1992). Entretanto, atualmente, com a exposição dos solos à agricultura intensiva e à criação de gado e animais em geral, estão ocorrendo, cada vez e com maior frequência, contaminações nos aquíferos, decorrentes de ações antrópicas, destacando-se os nitratos, agrotóxicos, metais pesados e contaminação fecal.

Cruz e Melo (1969) estudando as águas subterrâneas no Nordeste indicaram, como principais fatores que controlam a salinização, em ordem decrescente, o clima, modo de ocorrência das águas (aquíferos livres ou confinados), as condições de circulação (zoneamentos verticais) e a natureza geológica (influência litológica). Por outro lado, Santos et al. (1984), tentando explicar as causas e os processos de salinização das águas subterrâneas de aquíferos fraturados da região cristalina semiárida do Estado do Rio Grande do Norte e mesmo ainda precisando de estudos complementares, consideram a relação entre a salinização das águas e as características das diferentes associações de solos presentes, ou seja, solos salinos – água salgada e solos não salinos - água doce ou salobra.

A composição da água superficial pode alterar-se sob a influência da precipitação pluviométrica e da evaporação (LARAQUE, 1989; MEDEIROS, 1992). Leprun (1983) constatou, para as condições do Nordeste que, em termos médios, a salinização da água para diferentes fontes se situa na seguinte ordem: açude, rios, cacimbões e poços rasos, porém há muitas variações no nível da salinidade para cada fonte. Segundo Shalhevet & Kamburov (1976), a distinção entre as diferentes águas usadas na irrigação depende das condições

geoclimáticas da região, da fonte de água, da localização do curso de água, da época do ano e do desenvolvimento da irrigação.

Pereira et al. (1991) estudaram a qualidade das águas superficiais na microrregião do Seridó, RN, e concluíram que as fontes de águas mais salinas apresentam maior variabilidade que as de baixa salinidade; em geral, a qualidade da água para irrigação variou entre bacias hidrográficas e entre os tipos de fonte e, para determinada fonte, o nível de salinidade é maior na época que coincide com o período de irrigação (o verão ou época seca). Utilizando-se a classificação de águas, proposta por Richards (1954), 71,9 % das fontes de água pesquisadas nessa região apresentaram águas de qualidade entre regular a excelente, para irrigação.

Cruz (1966), & Leprun (1983) constataram que na zona semiárida a salinidade da água aumenta muito da superfície para a profundidade e o maior acréscimo ocorre nos teores de sódio e cloreto. Na zona úmida, a situação é o contrário, visto que a mineralização ocorre com maior intensidade na superfície.

Costa & Gheyi (1984), estudando as águas de irrigação da microrregião homogênea de Catolé do Rocha, PB e utilizando amostras de água de diferentes fontes coletadas nas épocas chuvosas e secas, concluíram que o sódio predomina em relação ao cálcio e ao magnésio; no entanto, na época chuvosa, com a diminuição da concentração de sais nas águas, em algumas fontes pode-se verificar a recíproca, sobretudo onde as concentrações de bicarbonato eram maiores que as do cloreto. Quanto aos ânions, os autores observaram predominância de bicarbonato ou cloreto para águas de concentração de sais abaixo ou acima de $0,75 \text{ dS m}^{-1}$. O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, em sua resolução nº 357, de 17 de março de 2005, trata da classificação dos corpos aquáticos e diretrizes para seu uso. As águas do Território Nacional são classificadas, nas categorias doces, como aquelas com salinidade igual ou menor que 0,5‰; salobras as de salinidade maior que 0,5 e menor que 30‰ e salinas, as águas com salinidade acima de 30‰ e, segundo o objetivo requerido para os seus usos preponderantes, foi dividida em treze classes de qualidade. Para as águas doces classes especial, 1, 2, 3 e 4. Para as águas salobras classes especiais, 1, 2 e 3. Para as águas salinas em classes especiais 1, 2 e 3 (UNIAGUA, 2005).

A Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação (FAO), recomenda a classificação proposta pelo University of California Committee of Consultants (UCCC), que fornece diretrizes para se interpretar a qualidade da água para

irrigação, destacando os parâmetros de salinidade, infiltração e toxicidade de íons específicos (AYERS & WESTCOT, 1999).

Ao se classificar a água é bom lembrar que, sendo procedente de uma mesma fonte, sua qualidade pode variar com o tempo. As amostras deverão ser analisadas o ano inteiro ou durante o período de irrigação, uma frequência adequada. Antes de ser utilizada para irrigação a água passa pelo processo de escoamento e armazenamento, seja nos reservatórios superficiais ou subterrâneos. A água ao escoar por zonas de 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.

Existem vários critérios de classificações da qualidade de água para a irrigação mas a sua generalização é arriscada, uma vez que os fatores que condicionam os critérios de qualidade são tão importantes que, às vezes, podem invalidar, total ou parcialmente, o critério estabelecido. O ideal seria juntar um conhecimento mais profundo na área vegetal para se avaliar a qualidade de uma água específica para determinado cultivo em um ecossistema também específico (PEREIRA & HOLANDA, 1983).

Um dos sistemas de classificação de água propostos para irrigação muito utilizado é o recomendado pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (Richards, 1954) e que tem tido muita aceitabilidade no mundo. É baseado na Condutividade Elétrica como indicadora do perigo de salinização do solo e na Razão de Adsorção de Sódio como indicadora do perigo de alcalinização do solo.

A classificação proposta pelo Comitê dos Consultores da Universidade da Califórnia - UCCC (1974) se baseia no estudo do grau de restrição no uso da água com problemas potenciais, como salinidade, problemas de infiltração e toxicidade de íons específicos, dentre outros (Tabela 1).

Entretanto hoje, as diretrizes de classificação propostas pela FAO (AYERS & WESTCOT, 1999), também são muito recomendadas, sobretudo quando existem níveis elevados de sais.

Tabela 1. Diretrizes para interpretação da qualidade da água para irrigação¹, conforme Ayres e Westcot (1999)

Problema Potencial da Água de Irrigação		Grau de Restrição de Uso		
Unidade		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	0 - 3 e CEa	> 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2
	3 - 6	> 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3
	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 íons específicos				
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	
(Outros íons que afetam culturas sensíveis)				
Nitrogênio (N-(NO ₃) ₆)	mg L ⁻¹	< 5,0	5 - 30	> 30
Bicarbonato (HCO ₃) (apenas aspersão convencional)	meq L ⁻¹	< 1,5	1,5 - 8,5	> 8,5
Ph		Faixa normal: 6,5 - 8,4		

Fonte: Ayres e Westcot, (1999).

¹ Adaptada da UNIVERSITY OF CALIFORNIA COMMITTEE OF CONSULTANTS (1974)

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

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

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

⁵ A 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.

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

Após uma irrigação o teor de sais próximo à superfície do solo é aproximadamente igual ao da água de irrigação e vai aumentando com a profundidade, haja vista que os sais se concentram ali para serem levados para camadas mais profundas do solo, nas próximas irrigações e, posteriormente, lixiviados a maiores profundidades. Devido a esse fator, há a necessidade de se aplicar uma quantidade maior de água, superior ao consumo das plantas, em especial no período vegetativo, para que possibilite o carreamento dos sais para as camadas mais profundas do sistema radicular não afetando, assim, as culturas.

2.4. Qualidade das Águas para Consumo Humano

No Brasil, os portugueses observaram o hábito da população indígena de consumir águas límpidas. Em 1648, William Pies, médico da corte Nassau, escreveu a respeito das águas do Brasil: *“os velhos naturais não menos solertes em distinguir pelo gosto as diferenças das águas, que os nossos em discernir as várias qualidades dos vinhos, acusam de imprudência os que colhem água sem nenhum modo as discriminar. Quanto a eles, buscam as mais tênues e doces, que não deixam nenhum depósito e as conservam ao ar livre em lugares elevados, por dias e noites, em bilhas de barro, onde não obstante os raios a prumo do sol as tornam num momento mui frescas”*.

Talvez seja esta a recomendação mais antiga de critérios sanitários da água no Brasil (BRANCO, 1986).

A poluição orgânica das águas superficiais aumenta a concentração de carboidratos, lipídios e proteínas nos corpos receptores. Esses compostos orgânicos, ao serem degradados pelos organismos decompositores, principalmente bactérias e fungos, liberam ácidos fracos e sais minerais, entre os quais há compostos de nitrogênio e fósforo. A biodegradação aeróbia da matéria orgânica pode gerar elevada demanda de oxigênio (DBO), reduzindo a sua concentração no corpo aquático.

Quando o consumo do oxigênio é alto, a reaeração atmosférica e a atividade fotossintética podem ser insuficientes para repor o oxigênio dissolvido na massa d'água, predominando condições anaeróbias e, em consequência, desaparecem os organismos aeróbios surgindo, em seu lugar, uma biota anaeróbia, que não oxida completamente a matéria orgânica e cujos produtos se acumulam no fundo e, pela continuação do processo de decomposição anaeróbia, ocorre desprendimento de gases com odores desagradáveis (H₂S, mercaptanas, entre outros) que tornam essa água impréstável ao abastecimento e à irrigação (BRANCO, 1986).

Os micro-organismos patogênicos são descarregados na água de forma intermitente e em pequenos números. Seu isolamento, identificação e quantificação são complexos, exigindo pessoal especializado, altos custos e tempo prolongado (em média seis dias) para se chegar ao resultado final. Evidencia-se, deste modo, que até sua detecção a população já terá consumido a água e os alimentos contaminados.

Para avaliar a qualidade microbiológica de uma água ou qualidade sanitária, foram definidas bactérias indicadoras de contaminação fecal destacando-se, entre elas, os

coliformes e, em particular, os fecais ou termotolerantes e os estreptococos fecais como adjuvantes, para discernir a contaminação fecal se coliformes estiverem ausentes ou intermitentes (CEBALLOS, 2001).

A Portaria nº 518, do Ministério de Saúde de 23/03/2004, que disciplina a qualidade de potabilidade da água para consumo humano preconiza no artigo 7º, principalmente no que compete à esfera municipal, que devem ser fiscalizadas as características físicas dos sistemas, as práticas operacionais e o controle da qualidade da água, assim como o histórico da qualidade da água produzida e distribuída para a população.

A avaliação da qualidade da água para fins de consumo humano quanto aos parâmetros físicos e químicos, é apresentada na Tabela 2, segundo os critérios do Ministério da Saúde.

Tabela 2. Padrão de aceitabilidade de água para consumo humano, segundo o artigo 16º da Portaria nº 518/04 do Ministério da Saúde (Brasil 2004)

Parâmetro	Unidade	VMP ⁽¹⁾
Alumínio	mg L ⁻¹	0,2
Amônia (como NH ₃)	mg L ⁻¹	1,5
Cloreto	mg L ⁻¹	250
Cor Aparente	uH ⁽²⁾	15
Dureza Total	mg L ⁻¹	500
Etilbenzeno	mg L ⁻¹	0,2
Ferro	mg L ⁻¹	0,3
Manganês	mg L ⁻¹	0,1
Monoclorobenzeno	mg L ⁻¹	0,12
Odor	-	Não objetável ⁽³⁾
Gosto	-	Não objetável ⁽³⁾
Sódio	mg L ⁻¹	200
Sólidos dissolvidos totais	mg L ⁻¹	1.000
Sulfato	mg L ⁻¹	250
Sulfeto de hidrogênio	mg L ⁻¹	0,05
Surfactantes	mg L ⁻¹	0,5
Tolueno	mg L ⁻¹	0,17
Turbidez	UT ⁽⁴⁾	5
Zinco	mg L ⁻¹	5
Xileno	mg L ⁻¹	0,3

Fonte: Ministério da Saúde, (2004)

Notas: ¹Valor máximo permitido; ²Unidade Hazen (mg Pt-Co/L); ³Critério de referência; ⁴Unidade de turbidez

2.5. Qualidade das Águas para Dessedentação Animal

Segundo Ayres e Westcot (1999), nas regiões áridas e semiáridas o gado, em geral, consome águas de qualidade inferior durante vários meses do ano, provocando desarranjos fisiológicos chegando, às vezes, a provocar a morte de animais. 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 toxidez iônica, sendo o magnésio o íon que poderá provocar mais facilmente diarreia no gado. Após uma avaliação das fontes de água as variações estacionais durante os períodos secos e quentes, a idade e condições dos animais, a composição dos alimentos e a própria espécie animal, e com o fim de evitar perdas econômicas, a Academia Nacional de Ciências dos EUA (1972) citada por Ayers & Westcot (1999), estabeleceu que do ponto de vista da salinidade as águas com condutividade inferior a 5 dS m^{-1} , são satisfatórias para o gado, praticamente em qualquer circunstância, porém nas regiões áridas e semiáridas é necessário muitas vezes, usar as águas que excedam do limite de 5 dS m^{-1} , podendo-se observar, através da tabela 3, alguns limites toleráveis para diversas espécies animais.

Tabela 3. Guia de Qualidade de Água para Dessedentação de Gado e Aves¹

Salinidade de água (dS m^{-1})	Classe	Observações
< 1,5	Excelente	Adequada para todas as classes de gado e aves confinadas.
1,5 – 5,0	Muito Satisfatória	Adequada para todas as classes de gado e aves confinadas. Provoca diarreia temporária em gado não acostumado e excrementos aquosos nas aves.
5,0 – 8,0	Satisfatória para o gado	Pode produzir diarreia temporária ou não ter aceitabilidade por animais não acostumados a ela.
	Não apta para as aves	Provoca frequentemente excrementos aquosos, aumento de mortalidade e redução de crescimento, especialmente em perus.
8,0 – 11,0	De uso limitado para o gado	Adequada com razoável segurança para bovinos de leite, de corte, ovinos, suínos e equinos. Evitá-la para fêmeas prenhas e em lactação.
	Não apta para as aves	Não adequada para aves domésticas.
11,0 – 16,0	De uso limitado	Não adequada para aves e, provavelmente, para suínos. Grande risco para vacas lactentes ou prenhas, ovinos e equinos. Evitar seu uso, embora os ruminantes, cavalos, suínos e aves mais velhos, possam subsistir em certas condições.
> 16,0	Não recomendável	Riscos muito grandes.

Fonte: National Academy of Science (1972; 1974) citado por AYERS e WESTCOT (1999)

Conforme Ayers e Westcot (1999), com exceção do magnésio (Mg), 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 $6,6 \text{ dS m}^{-1}$ (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. Na Tabela 4 são apresentados os níveis toleráveis de magnésio da Australian Water Resources Council (1969) citado por Ayers e Westcot (1999).

Tabela 4. Níveis sugeridos de Magnésio nas Águas para Dessedentação de gado e aves¹

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

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

² A tolerância das aves e suínos ao Mg é desconhecida porém se estima que seja inferior a 250 mg L^{-1}

2.6. Análise Multivariada Aplicada aos Recursos Hídricos

Em estudos de avaliação e monitoramento da qualidade das águas, normalmente é utilizado um grande número de variáveis para sua descrição as quais, por sua vez, são fortemente correlacionadas, dificultando o entendimento de suas inter-relações e a tomada de decisão de medidas a serem implementadas. Com a utilização de técnicas estatísticas é possível reduzir o número de variáveis, definir suas relações, identificar as variáveis que são responsáveis pela dispersão das observações e evidenciar prováveis agrupamentos. A análise fatorial em componentes principais e de agrupamento são métodos estatísticos de análise multivariada que têm, como objetivo, responder a essas proposições (ANDRADE, 1989).

A análise fatorial é uma técnica de análise multivariada que possibilita não só a rotação dos eixos (fatores) que sintetizam as informações contidas na matriz de dados, como, também, o estabelecimento de eixos não-ortogonais que representam o mútuo relacionamento entre fatores que são interdependentes. Esta análise consiste em definir conjuntos de variáveis ortogonais, isto é, não correlacionadas, denominados “fatores” ou

“componentes principais”, a partir da transformação linear realizada em uma matriz formada pelas variáveis observadas (ANDRADE, 1989; BOUROCHE e SAPORTA, 1980).

A análise de agrupamento ou “cluster” tem por finalidade encontrar e separar variáveis em grupos, de acordo com seu grau de similaridade ou dissimilaridade, segundo suas características comuns (BUSSAB et al., 1990; BOUROCHE & SAPORTA, 1980).

Essas técnicas de análise multivariada têm sido empregadas em diferentes áreas do conhecimento científico, como nas áreas agrícolas (Pinare & Oliveira, 1985), sócioeconômicas (Andrade, 1989), de recursos hídricos (Valbuena, 1994; Ceballos, 1995; Silva, 1997; Ortiz-Estarellés et al., 2001; Aguilera et al., 2001; Oliveira et al., 2002; Cruz et al., 2002) e pecuária (Holanda Júnior, 2000), estudos sobre sustentabilidade ambiental (Environmental Sustainability Index, 2002), entre outras.

Países ricos, pobres, emergentes e subemergentes, no total de 142, foram analisados utilizando-se análise de agrupamento visando definir um índice de sustentabilidade ambiental - ISA. Nesses estudos foram analisadas 68 variáveis definidas em 20 indicadores ambientais, sociais, econômicos e institucionais, agrupados em cinco grandes componentes: sistemas ambientais, redução de estresse, redução de vulnerabilidade humana, capacidade social e institucional, e tendências globais. No contexto da qualidade da água quatro variáveis formaram este indicador: oxigênio dissolvido, concentração de fósforo, sólidos suspensos e condutividade elétrica, porém fatores relacionados à poluição das águas provenientes de fontes pontuais e não pontuais como fertilizantes, pesticidas, resíduos industriais e domésticos, estão contemplados no indicador “estresse da água” (ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY INDEX, 2002).

No contexto da qualidade dos recursos hídricos, Silva (1997) avaliou os impactos ambientais do uso dos solos e águas no Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho, em Petrolina, PE, em áreas cultivadas com a cultura do tomate (*Lycopersicon esculentum*, M.), utilizando dados de 15 anos de produção. Nesses estudos foram utilizadas ferramentas de análises de componentes principais e de agrupamento, avaliando-se 115 variáveis correspondendo às características físicas e químicas de 84 perfis de solos definindo, assim, quatro novas variáveis ou fatores principais que, conjuntamente, explicaram 52,84% da variância total: Fator 1 - disponibilidade de nutrientes; Fator 2 - água e componentes orgânicos; Fator 3 - reação do solo e Fator 4 - textura e estrutura dos solos. Por meio da análise de agrupamento os dados foram classificados em quatro grupos: solos, tipo de

agricultores que cultivam o tomate, produtividade, uso de fertilizantes e pesticidas, permitindo, deste modo, a elaboração de mapas de qualidade ambiental e a definição e medidas de redução de impactos ambientais em nível do projeto de irrigação.

MELLO (1998) utilizou técnicas de análise de componentes principais para classificar a qualidade das águas de 59 estações da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, avaliando 40 variáveis e observou-se que a variável condutividade elétrica (CE) apresentou maior carga fatorial (0, 673), indicando grande quantidade de sais dissolvidos na água. No Fator 1, observou predominância de variáveis bioquímicas e, no Fator 2, as variáveis físicas.

ORTIZ-ESTARELLES et al. (2001), com auxílio da análise multivariada, avaliaram 25 variáveis de qualidade das águas de uma estação de tratamento, na Espanha, e recomendam que esta metodologia pode ser automatizada e implementada em análise de rotina de laboratórios, utilizando sistema de alarme, visando prevenir consequências negativas no uso das águas e/ou minimizar custos de análises de variáveis com baixa participação no conjunto de variáveis que definem a qualidade das águas aumentando, assim, a eficiência do sistema.

Em águas costeiras, também na Espanha, índices de qualidade de água foram desenvolvidos por AGUILERA et al. (2001), utilizando procedimentos metodológicos de análise multivariada em dados de amônio, nitrito, nitrato e fósforo, classificaram as águas em três classes quanto ao nível trófico: águas com elevadas concentrações desses compostos foram classificadas no grupo 1, denominadas eutróficas; no grupo 2, as mesotróficas e, no grupo 3, as águas oligotróficas. VALBUENA (1994) aplicou análise de agrupamento para analisar 15 variáveis de qualidade de águas coletadas em 52 estações da bacia hidrográfica do rio Tajo (Espanha), classificando-as em grupos segundo os valores da condutividade elétrica (CE), soma de cátions e de ânions, ressaltando que a condutividade elétrica foi influenciada pela presença de altas concentrações de sulfato e sódio.

OLIVEIRA et al. (2002) empregaram análise fatorial e de agrupamento para definir as variáveis de maior importância no contexto da qualidade das águas e agrupar pontos com características homogêneas, visando definir metodologia de gestão e orientar na tomada de decisões de medidas atenuantes de impactos negativos. Esses estudos, realizados no riacho Vitória, que recebe águas de drenagem do projeto de irrigação Senador Nilo Coelho e deságua no rio São Francisco, em Petrolina, PE, apresentaram,

como variável de maior carga potencial, a condutividade elétrica, seguida da temperatura da água e pelo teor de oxigênio dissolvido.

ANGELO (1985) utilizou a análise dos componentes principais e a análise de agrupamento para propor uma metodologia no estudo da cobertura florestal na propriedade rural, visando identificar grupos homogêneos de imóveis rurais e as variáveis que os afetam (mata nativa, reflorestamento, capoeira, agricultura de subsistência, pastagem e população rural).

MACHADO (1989), visando obter informações ao desenvolvimento do Sistema Brasileiro de Classificação de Estradas Florestais (SIBRACEF), empregou a análise de componentes principais com fins exploratórios e selecionou 11 variáveis relevantes das 17 originais, reduzindo a estrutura dos dados por meio da análise fatorial. As 13 classes essenciais do SIBRACEF foram estabelecidas por meio do uso da análise de agrupamento e avaliadas pela análise discriminante, pela análise de variância e pelo teste de média.

GARICOITIS (1969), com o objetivo de relacionar as características dos solos com parâmetros de crescimento e com o estado nutricional de povoamentos de *Pinus taeda* L., na região de Teiêmaco Borba, PR, utilizou as análises de correlação simples, de componentes principais e de regressão múltipla (STEPWISE) para estudar as relações entre as variáveis de solo, foliares e de crescimento.

GANTZEL (1990) explorou as potencialidades de utilização das técnicas de análise estatística multivariada com a finalidade de estudar as variáveis aleatórias obtidas a partir dos diferentes métodos de medição de áreas. Segundo o autor, a análise de variância multivariada forneceu informações valiosas sobre a estrutura das variáveis aleatórias, dirimindo dúvidas conflitantes dentre os métodos que utilizaram amostragem sistemática.

REMONATTO e RZZII (1993) utilizaram a análise de componentes principais para definir metodologia de monitoramento de recursos hídricos. A análise de componentes principais foi aplicada como modelo de análise das inter-relações entre variáveis e posterior classificação das águas.

CORREIA (1993), com o intuito de estabelecer relações de características do solo entre si e com a produtividade do eucalipto, aplicou análises de trilha, de correlação canônica e de agrupamento, concluindo que referidas técnicas multivariadas se mostraram bastante eficientes no estudo de solos.

A técnica de componentes principais possui os seguintes propósitos: a) examinar as correlações entre caracteres estudados; b) resumir um grande conjunto de caracteres em

outro menor; c) promover a eliminação dos caracteres que pouco contribuem, em termos de variação, no grupo de indivíduos analisados e d) permitir o agrupamento de indivíduos similares, mediante exames visuais em dispersões gráficas no espaço bi ou tridimensional.

Esta técnica é aplicada a um conjunto de p variáveis relativas a n indivíduos. O método consiste na transformação do conjunto original de variáveis em outro conjunto, os componentes principais, de dimensões equivalentes, porém com propriedades importantes, as quais serão descritas adiante. Na realidade, a análise é uma troca de variáveis. As variáveis observadas são trocadas por novas variáveis abstratas, os componentes principais, esperando que os primeiros componentes guardem em si quase toda a informação que possuam as variáveis originais. O objetivo é resumir a informação contida no complexo de variáveis originais, eliminando as informações redundantes existentes em decorrência da correlação entre variáveis proporcionando, assim, simplificação estrutural dos dados, de modo que a diversidade, influenciada a princípio por um conjunto p -dimensional, possa ser avaliada por um conjunto bi ou tridimensional de fácil interpretação geométrica.

Cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais. Portanto, segundo IEZZONI & PRITTS (1991), a análise é sensível somente as relações lineares entre as variáveis. Relações de ordem superior podem não ser detectadas. Os componentes principais são independentes entre si e estimados com o propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo de informação, em termos de variação total, contidas nos dados iniciais (CRUZ, 1990). O coeficiente de uma variável individual representa a contribuição desta variável para o componente principal. Os coeficientes dos componentes principais são também denominados elementos de autovetores e a variância associada a cada componente principal é denominada autovalor.

Os princípios básicos desta técnica são descritos por Morrison (1976), Mardia et al. (1979), Dunteman (1984), Manly (1986), Johnson & Wichern (1988) e Cruz & Regazzi (1994), dentre outros. Esses autores demonstram que cada componente principal retém uma percentagem da variância original e as variâncias são decrescentes do primeiro ao último componente principal, ou seja, o primeiro componente possui a maior variância, o segundo possui a segunda maior e assim sucessivamente. A importância de um componente se avalia por meio da percentagem de variância que o mesmo retém. Assim, o primeiro componente é o mais importante, visto que retém a maior parte da variação total encontrada nos dados originais. A independência ou ortogonalidade (ausência de

correlação) entre os componentes, é propriedade útil, pois significa que esses componentes estão medindo diferentes "dimensões" dos dados (MARDIA et al., 1979; MANLY, 1986).

A consequência é que o somatório das variâncias dos componentes principais (autovalores) corresponde à soma das variâncias das variáveis originais. Na maioria das situações, o número de componentes principais necessário para extrair completamente a informação contida em um grupo de variáveis é igual ao número de variáveis sob consideração mas os primeiros componentes poderão conter a maioria da variação das variáveis originais. Uma questão é quantos componentes reter na análise. Segundo MARDIA et al. (1979) & Dunteman (1984), na maioria dos casos a seleção sobre quantos componentes reter, é baseada em métodos simples e práticos. Um deles consiste em reter componentes que expliquem uma percentagem relativamente alta da variância total, geralmente referida como acima de 80%. A viabilidade de utilização dos componentes principais dependerá da possibilidade de resumir o complexo de informações das variáveis originais em apenas poucos componentes, o que significará ter uma aproximação do comportamento dos indivíduos oriundos de um espaço multidimensional em um espaço h_i ou tridimensional. A variância, antes dispersa entre as variáveis correlacionadas, é agora atribuída, em sua quase totalidade, a um número muito menor de componentes.

A análise de componentes principais é influenciada pela escala das variáveis, sendo os coeficientes dos componentes principais altamente dependentes das unidades de medidas associadas com cada variável. É aconselhável que os caracteres estudados possuam a mesma unidade e dimensões não muito discrepantes, ou seja, variância com semelhantes ordens de magnitude. Como na maioria das vezes isto não ocorre, recomenda-se utilizar as variáveis reduzidas, ou seja, variáveis padronizadas com média igual a zero e variância igual à unidade (ou variáveis padronizadas apenas com a variância igual à unidade). Isto significa que a matriz de covariância é transformada em matriz de correlações antes que a análise de componentes principais seja conduzida. Caso contrário, a variável com maior variância possuiria maior peso na estimação dos componentes, sendo este peso mais em função das unidades de medida do que da estrutura básica das observações (MORRISON, 1976). A padronização das variáveis assegura que todas elas possuam, inicialmente, igual peso na análise (MANLY, 1986).

A análise de agrupamento é uma técnica multivariada que tem por objetivo proporcionar uma ou várias partições na massa de dados em grupos, por algum critério de classificação, de tal forma que exista homogeneidade dentro e heterogeneidade entre

grupos (SNEATH & SOKAL, 1973; MARDIA et al, 1979). Esta técnica constitui um procedimento que procura grupos hierárquicos, ascendentes e excludentes conduzindo, finalmente, à elaboração de um dendograma. Com sua utilização, pode-se realizar a sumarização dos dados reduzindo as informações de um conjunto de n indivíduos para informações de um novo conjunto de g grupos, em que g é significativamente menor que n , o que possibilita a interpretação dos resultados.

Para SOUZA (1989), o objetivo principal das análises de agrupamento é obter uma representação dos dados pela construção de agrupamentos que tenham significado real, isto é, que não sejam meramente teóricos.

Os métodos de agrupamento podem ser classificados em hierárquicos e não-hierárquicos. Nos métodos hierárquicos, os indivíduos são reunidos em grupos e o processo se repete em diferentes níveis, até formar uma árvore de classificação. Podem ser aglomerativos, nos quais, por meio de fusões sucessivas dos n objetos, vão sendo obtidos $n-1$, $n-2$, etc, grupos, e por divisões sucessivas vão sendo obtidos 2, 3, etc, grupos. Os métodos não-hierárquicos são usados para agrupar unidades de dados dentro de uma classificação simples de k grupos, em que k é especificado a priori ou é determinado como parte do método de agrupamento (VAN LAAR, 1987; BUSSAB et al, 1990).

“Cluster análise” é também denominada análise de agrupamento ou análise de conglomeração porém existem, na literatura, técnicas de análise univariada também denominadas “Cluster análise” (SCOTT & KNOTT, 1974; GATES & BILBRO, 1978). Para obter os agrupamentos deve-se estimar uma medida de similaridade ou dissimilaridade entre os indivíduos a serem agrupados e depois adotar uma técnica de agrupamento para formação dos grupos. Segundo GAMA (1980), os algoritmos utilizados para tal finalidade se baseiam na quantificação da distância entre agrupamentos, destacando-se: método de Ward (variância mínima); método de ligação simples; método de ligação completa; método da centróide e método da mediana.

Na literatura são encontradas várias medidas de similaridade ou dissimilaridade. Como exemplo de medidas de similaridade, pode-se citar os coeficientes de comunidade de Jaccard e de Sorensen, a distância binária de Sokal, o coeficiente de correlação etc e, como medidas de dissimilaridade, a distância euclidiana, a distância absoluta e a distância D^2 de Mahalanobis, entre outras.

“Cluster análise” envolve basicamente duas etapas. Em que a primeira se relaciona com a estimação de uma medida de similaridade (ou dissimilaridade) entre indivíduos ou

populações a serem agrupados, e a segunda com a adoção de um método de agrupamento para formação dos conglomerados. A escolha de determinada medida de similaridade ou dissimilaridade tem sido feita em função das unidades amostrais avaliadas, da precisão das estimativas e da facilidade de computação dos dados (CRUZ, 1990).

O princípio das medidas de distância considera que se dois indivíduos são similares e estão próximos um do outro, isto é, eles são comuns em relação ao conjunto de variáveis e vice-versa. Segundo Mardia et al. (1979) e Johnson & Wichern (1988), qualquer medida de distância, $d(P,Q)$, entre dois pontos P e Q, é válida, contanto que satisfaça as seguintes propriedades, sendo R um ponto intermediário:

$$d(P,Q) = d(Q,P):$$

$$d(P,Q) > 0 \text{ se } P \neq Q:$$

$$d(P,Q) = 0 \text{ se e somente se } P = Q;$$

Algumas medidas de distância também possuem a seguinte propriedade:

$$d(P,Q) \leq d(P,R) + d(R,Q) \text{ (desigualdade triangular).}$$

Espera-se que $d(P,Q)$ aumente quando a dissimilaridade entre P e Q aumentar. Assim $d(P,Q)$ é também descrito como coeficiente de dissimilaridade. As medidas de distância mais utilizadas são a distância euclidiana e a distância de Mahalanobis.

A definição do número de agrupamentos é uma das dificuldades dessa técnica. Tal decisão é, na maioria das vezes, feita arbitrariamente. Usualmente, o número de agrupamentos é definido pelo tracejo de uma linha (linha fenon) paralela ao eixo horizontal, interceptando qualquer número de ramos. O número de ramos interceptados é o número de agrupamentos formados; logo, a locação da linha fenon é função das necessidades do pesquisador.

3.0. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local da pesquisa

Esta pesquisa foi realizada na região do alto curso do rio Paraíba (Figura 1) localizada na parte Sudoeste do Planalto da Borborema, no Estado da Paraíba, entre as latitudes de $7^{\circ}20'45''S$ a $8^{\circ}26'21''S$ e entre as longitudes de $36^{\circ}07'36''W$ e $37^{\circ}21'15''W$.

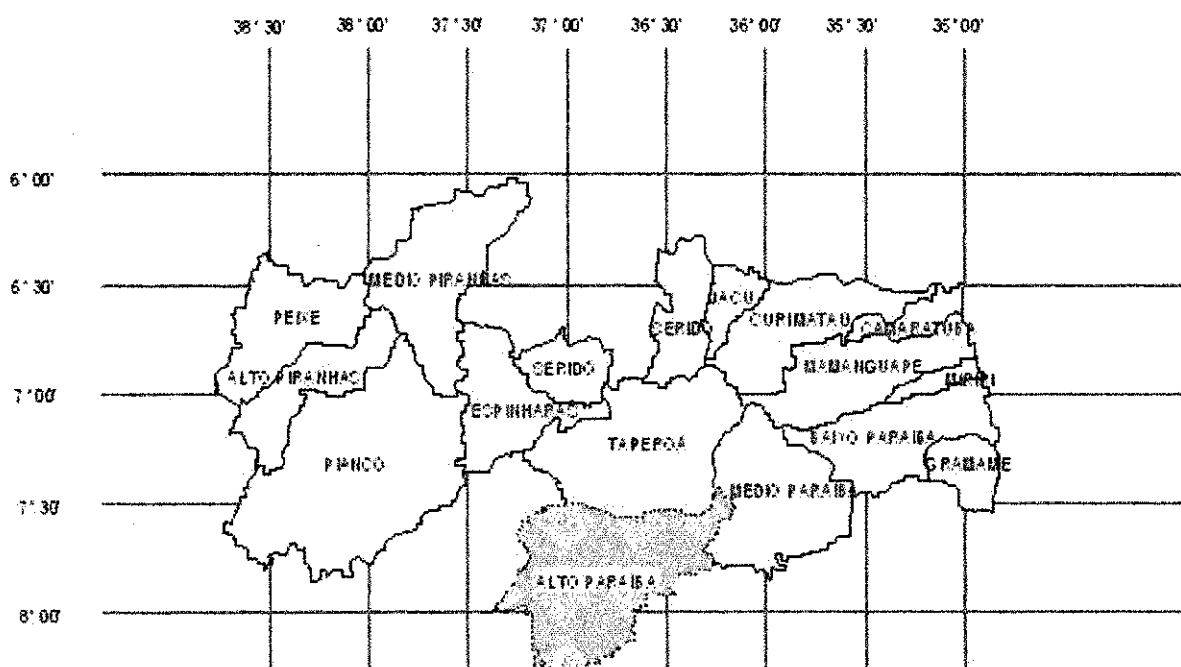


Figura 1: Localização da sub-bacia hidrográfica do alto Paraíba no Estado da Paraíba (divisão por sub-bacias hidrográficas)

Fonte: AESA, 2007

A região limita-se, ao Sul e a Oeste, com o Estado de Pernambuco e, ao Norte e a Leste, com as bacias do Rio Taperoá e do médio Paraíba. Está inserida na microrregião homogênea dos Cariris Velhos contendo, total ou parcialmente, os municípios: Zabelê, Amparo, São Sebastião do Umbuzeiro, Monteiro, Sumé, Congo, Camalaú, Prata, Barra de São Miguel, Ouro Velho e São João do Tigre (PDRH, Paraíba, 1997).

3.2. Características Climáticas e Fisiográficas da Região do Alto Paraíba

3.2.1. Clima

A região do alto curso do rio Paraíba possui clima semiárido quente, com estação seca atingindo um período que compreende de 9 a 10 meses (PDRH, Paraíba, 1997). O regime pluviométrico apresenta precipitação média anual da ordem de 600 mm mas com grande variabilidade interanual (350 a 800 mm). Os totais anuais se concentram em um período de quatro meses (Anexo 5) que, geralmente, corresponde aos meses de fevereiro, março, abril e maio.

3.2.2. Geologia

A geologia da área da bacia do Alto Paraíba é constituída de compartimentos geológicos classificados como formações oriundas do proterozóico e do arqueozóico, notando-se quartzitos, gnaisses e migmatitos, além de micaxistos e litologia associada ao complexo gnáissico. Há também ocorrência de rochas vulcânicas e plutônicas de idades diversas (PDRH, Paraíba, 1997).

3.2.3. Solo

Os solos predominantes na bacia do Alto Paraíba são do tipo Luvissole Crômico, que cobrem todo o cristalino existente na área da bacia. Este tipo de solo se caracteriza por ser pouco espesso (40 cm), pedregoso e com permeabilidade moderada (Figura 2).

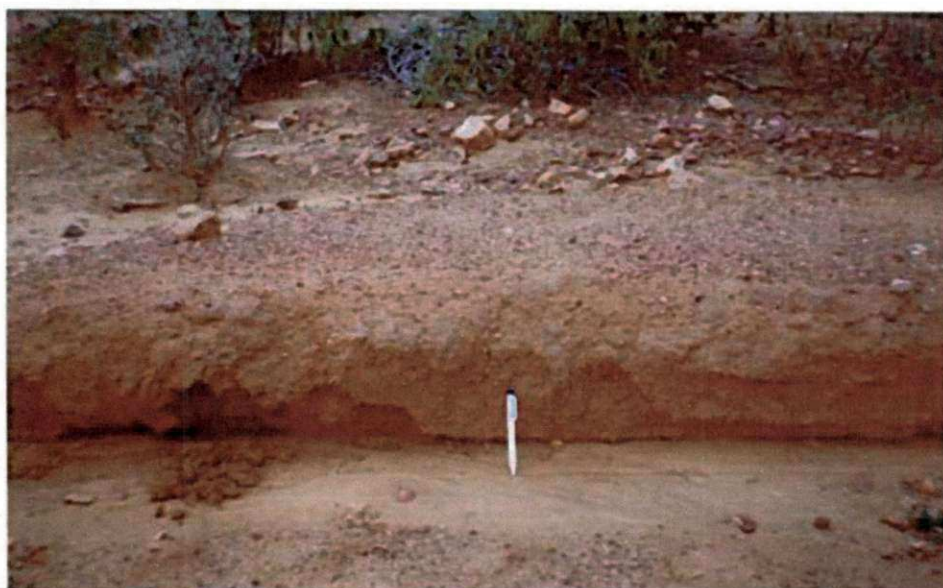


Figura 2. Luvisolo crômico predominante na sub-bacia do alto Paraíba
Fonte: FUNASA, 2007

3.2.4. Relevo

O relevo da bacia do alto Paraíba se encontra inserido na escarpa sudoeste do Planalto da Borborema, apresentando-se com os níveis mais altos superiores a 600 metros em um relevo ondulado (Figura 3), forte ondulado e, em algumas áreas, também montanhoso (PDRH, Paraíba, 1997).



Figura 3. Relevo predominante na região do Alto Paraíba
Fonte: FUNASA, 2007

3.2.5. Vegetação

A vegetação predominante (Figura 4) na região da bacia é a do tipo Caatinga hiperxerófila, floresta caducifólia e subcaducifólia. Esta vegetação se caracteriza pela perda das folhas no verão, exceto em áreas onde existe vegetação rasteira constituída por herbáceos espinhosos, arbustos e aglomerados rasteiros.



Figura 4. Vegetação predominante na região do Alto Paraíba
Fonte: FUNASA, 2007

As espécies dominantes são: Caroá-Catingueira, Coroa de Frade, Faveleiro, Umburana, Umbuzeiro, Juazeiro, Jurema, Macambira, Marmeleiro, Mimoso, Mucumbu, Oiticica, Pinhão Bravo, Velame e Xiquexique. Nas áreas desmatadas e utilizadas na agricultura, predominam as culturas de palma forrageira, agave, algodão, além de milho e feijão (PDRH, Paraíba, 1997).

3.3. Caracterização das Fontes Hídricas

3.3.1. Coleta das Amostras das Águas

Foram coletadas amostras de água em fontes naturais; superficiais, como riachos, barragens e açudes e sub-superficiais, como poços amazonas e cacimbas, no período chuvoso do ano de 2006. Em cada município da região em estudo foi contatado o

Secretário Municipal de Agricultura ou Presidente da Associação de Produtores Rurais, ou outra pessoa com conhecimento da área para acompanhar a equipe.

As amostras de água foram coletadas com um equipamento denominado coletor Falcão, confeccionado em tubo de PVC rígido branco PN 20, com diâmetro de 100 e comprimento de 600 mm, usando-se câpsula para vedação, perfurado com brocas de 10 mm em uma das extremidades, com um orifício de 20 mm inferior (Figura 5a), para proceder à descarga de água na garrafa, através de um funil (Figura 5b).



Figura 5a. Coletor de água utilizado na pesquisa
Fonte: FUNASA, 2007

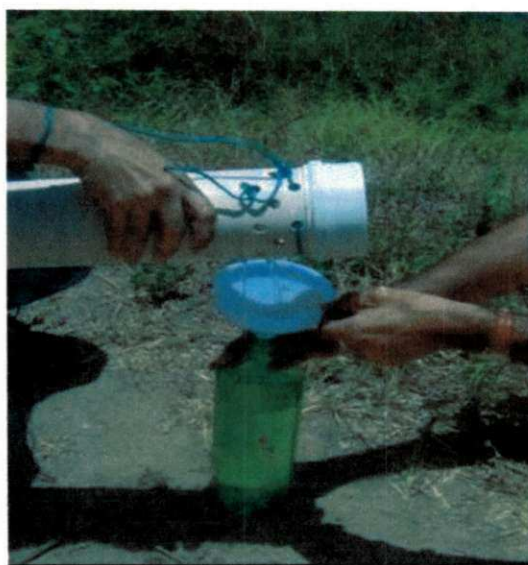


Figura 5b. Procedimento de envasamento.
Fonte: FUNASA, 2007

Os pontos de coleta de água foram georreferenciados através do aparelho de GPS (Figura 5c) 12XL e transferidos para localização em mapa com os dados de localização geográfica, usando-se o programa MAPINFO 7.0, que permitiu a obtenção dos pontos com latitude e longitude em projeção UTM (Universal Transversa de Mercator).

Nas fontes superficiais a sonda multiparâmetro foi colocada diretamente na água, visando obter dados em diferentes profundidades, isto é, caracterizando o perfil da água do reservatório. Sondas multiparamétricas são muito utilizadas para controlar a qualidade da água. Este material de laboratório é capaz de medir até 13 parâmetros de qualidade da água diferentes, sendo oito medidos e cinco calculados. A sonda multiparamétrica pode ser utilizada em águas superficiais, subterrâneas, efluentes e reservatórios, entre outros. As fontes hídricas superficiais e sub-superficiais foram georreferenciadas, permitindo a

elaboração de mapas temáticos para as diferentes classes de águas superficiais e subterrâneas e principais compostos com potencial de poluição das águas.

As águas foram acondicionadas em garrafas plásticas (Figura 5b), previamente lavadas e enxaguadas no momento da coleta, as quais foram totalmente cheias, vedadas e etiquetadas com número de identificação, nome do município e tipo de fonte a qual pertenciam (Figura 5d).



Figura 5c. Ficha de campo, GPS, Condutivímetro portátil utilizado na pesquisa
Fonte: FUNASA, 2007



Figura 5d. Amostras de água para análises em laboratório
Fonte: FUNASA, 2007

O número de amostras de água coletado por município está apresentado na Tabela 5. As coletas foram realizadas aleatoriamente, seja no número de amostra entre municípios e entre fontes de coletas predominando, de modo geral, as coletas em açudes.

Os diferentes números de amostras de água em determinados municípios se deve ao fato desses municípios possuírem maior rede de drenagem ou estarem localizados em solos mais propícios à salinização.

Tabela 5. Municípios da região do Alto Paraíba e Número de Amostras de Água Coletadas no Período Chuvoso de 2007

Município	Nº de amostras
Amparo	11
São Sebastião de Umbuzeiro	19
Ouro Velho	05
Prata	09

Sumé	30
Monteiro	27
Zabelê	16
São João do Tigre	20
Camalaú	15
Congo	05
Barra de São Miguel	13
TOTAL	170

Nos municípios pesquisados o maior número de fontes de água coletado foi em açudes, seguido de poços amazonas (Figura 6).

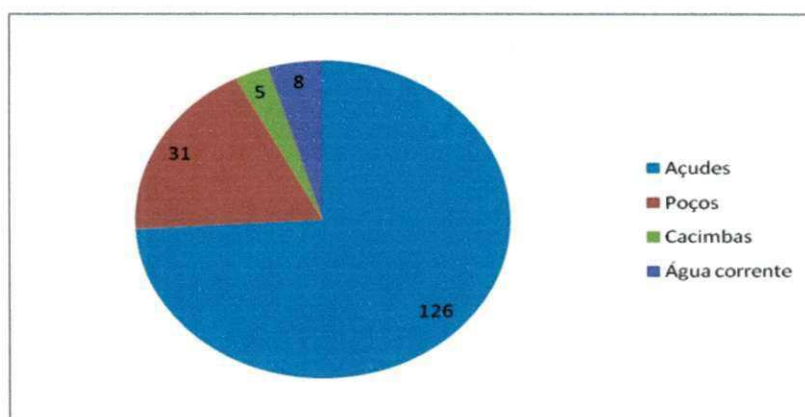


Figura 6. Tipos de fontes e número de amostras coletadas nos municípios da Região do Alto Paraíba
Fonte: MEDEIROS, 2010

A grande quantidade de açudes existentes na Região do Alto Paraíba em relação às outras fontes hídricas, se deve ao fato da necessidade do armazenamento de substancial volume de água para atender não só a população urbana como também a rural, no consumo humano, irrigação e dessedentação animal. Ao mesmo tempo e devido à distribuição de precipitação irregular, os açudes asseguram o abastecimento à população, durante a maior parte do ano.

3.3.2. Caracterização Físico Química das Águas

As garrafas com as amostras de água foram encaminhadas ao Laboratório de Irrigação e Salinidade da UFCG (LIS), onde foram caracterizadas físico-quimicamente, determinando-se a condutividade elétrica, pH, cálcio, magnésio, sódio; potássio, carbonato,

bicarbonato, cloreto e sulfato. A relação de adsorção de sódio (RAS) foi determinada a partir dos resultados obtidos de cálcio, magnésio e sódio.

Para a obtenção dos dados laboratoriais dos parâmetros físicos e químicos avaliados nesta pesquisa, foram utilizadas as metodologias (Quadro 1) propostas pela EMBRAPA (1997). A classificação da água para fins de irrigação foi baseada nos parâmetros estabelecidos pelo Comitê dos Consultores da Universidade da Califórnia UCCC (1974), onde foi classificada quanto ao risco de salinização e sodificação do solo.

Quadro 1. Descrição dos métodos utilizados para as determinações dos parâmetros químicos da qualidade das águas amostradas, conforme EMBRAPA (1997)

PARÂMETRO	MÉTODO
pH	pH-metro e padrões pH 4,7 e 9,0 para calibração e leitura.
Condutividade elétrica	Condutivímetro portátil e de bancada, previamente calibrado, com leitura da temperatura da água para correção.
Sódio (Na ⁺) e Potássio (K ⁺)	Amostra de 20 mL da água e análise em fotômetro de chama MICRONAL B 262, com gradiente ajustado para K ⁺ : calibrado com solução padrão, o qual gera valor 50 no instrumento, e água destilada para zerar (0) o equipamento. Na mesma amostra se calibra leitura de Na ⁺ com solução padrão de Sódio (Na ⁺), a qual gera valor 100 no instrumento, e água destilada para zerar. Para concentração elevada dos íons, foram necessárias diluições da água analisada com água destilada.
Cálcio e Magnésio	Método do Versenato, que utiliza uma amostra de 20 ml adicionando coquetel tampão pH = 10 (cloreto de amônio, hidróxido de amônio, sulfato de magnésio, EDTA, trietanolamina e cianeto de potássio) e indicador negro de Eriocromo (cor vinho) e titulação com EDTA (C ₁₀ H ₁₄ N ₂ O ₈ Na ₂ .2H ₂ O) a 0,025N (Ácido Etilenodiaminotetra acético) (Multi Dosimat), com leitura, para cor azul esverdeada.
Cálcio (Ca ⁺)	20 mL da água amostra com KOH e indicador murexida (róseo claro) e titulação com EDTA (C ₁₀ H ₁₄ N ₂ O ₈ Na ₂ .2H ₂ O) a 0,025N (Multidosimat) gerando resultado para leitura quando atinge a cor uva-morango
Cloretos (Cl ⁻)	20 mL da amostra adicionadas ao indicador cromato de Potássio 5% (amarelo claro) e titulação com Nitrato de Prata (AgNH ₃), a 0,05N (Multidosimat) gerando resultado para leitura quando atinge a cor laranja forte (atijolado).
Carbonatos (CO ₃ ²⁻) e Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	20 mL da amostra adicionados ao indicador Fenofalemina (Roseo claro) a 1% e observada mudança de cor, com titulação de Ácido sulfúrico a 0,01N e leitura quando fica transparente. Utilizando-se a mesma amostra é adicionado o indicador metilorange a 1% (laranja claro) e titulado com ácido sulfúrico a 0,025N (Multidosimat), atingindo a cor avermelhado-laranja, quando pronto para leitura.

3.3.3. Classificação das Águas para Irrigação

Na avaliação da qualidade da água para uso na irrigação quanto aos riscos de salinidade ao solo e aos aquíferos, foi utilizada a metodologia do United States Salinity Laboratory Staff, desenvolvida por Richards, em 1954 (Bernardo, 1989), que classifica as águas com base na condutividade elétrica (CE), a razão de adsorção de sódio (RAS) e as diretrizes para interpretação da água para irrigação, conforme Ayers e Westcot, (1999).

A RAS foi determinada pela equação:

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

donde, Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} são expressos em $meq L^{-1}$ e RAS em $(mmol_c L^{-1})^{1/2}$

AYERS e WESTCOT (1991) apresentam diretrizes para auxiliar na interpretação dos resultados nas análises da água de irrigação com diferentes graus de restrição de uso em função dos problemas que a salinidade das águas pode causar ao solo e às plantas. Essas diretrizes serviram de base no desenvolvimento do trabalho de classificação das águas da região do Alto Paraíba.

3.3.4. Classificação das Águas para Consumo Humano

A classificação das águas para consumo humano foi feita de acordo com os critérios de aceitabilidade de Água para Consumo Humano (Tabela 2), segundo o artigo 16º da Portaria nº 518/04, do Ministério da Saúde (Brasil, 2004).

Para avaliar a dureza total (DT) das águas, foi utilizada a metodologia recomendada em LOGAN (1965) e em RODRÍGUEZ & COVAS (2001), expressa em miligramas por litro de carbonato de cálcio ($mg L^{-1}$ de $CaCO_3$), quando as concentrações de cálcio e de magnésio são determinadas (Eq. 1) em miligramas por litro ($mg L^{-1}$). Quando as unidades destes elementos são determinadas em milimols por litro ($mmol_c L^{-1}$), para se obter a DT em $mg L^{-1}$ de $CaCO_3$, pode-se utilizar a equação 2:

$$DT = Ca^{++} \frac{Ca^{++}CO_3}{Ca^{++}} + Mg^{++} \frac{Ca^{++}CO_3}{Mg^{++}} = Ca^{++} \frac{100}{40} + Mg^{++} \frac{100}{24} = 2,5Ca^{++} + 4,17Mg^{++} \quad \text{Equação 1}$$

$$DT = (ca^{++} + Mg^{++}) * 50 \quad \text{Equação 2}$$

Na literatura existem diversas metodologias de classificação da dureza das águas. Neste trabalho utilizou-se a recomendada por Logan Custódio & Llamas (1983), citados

por Santos (1997), que as classificam como brandas: $DT < 50$; intermediárias: $50 < DT < 100$; duras: $100 < DT < 200$ e muito duras: $DT > 200$ mg L^{-1} de CaCO_3 .

3.3.5. Classificação das Águas para Consumo Animal

A classificação das águas para consumo animal foi feita através dos critérios recomendados pela Academia Nacional de Ciências dos EUA (1972) citados por Ayers e Westcot (1999),

4. Análises Estatísticas

As análises estatísticas das variáveis de qualidade das águas superficiais e subsuperficiais, envolveram vários procedimentos, visando determinar valores máximos, mínimos e médios, coeficiente de variação, desvio padrão e verificar suas inter-relações, pela análise de correlação entre algumas variáveis, no período pesquisado.

4.1. Classificações das Fontes Hídricas através de Análise Multivariada em Componentes Principais (ACP)

As fontes hídricas superficiais e subsuperficiais foram classificadas utilizando-se procedimentos de análise multivariada, envolvendo análise fatorial em componentes principais e de agrupamento, em função do período analisado, visando auxiliar na definição de medidas de gestão dos recursos hídricos.

4.2. Análise Multivariada

Seja X_{ij} a média original (Anexo 1) e seja Z_{ij} a média padronizada (Anexo 2) da j -ésima característica ($j = 1, 2, \dots, p$) avaliada no i -ésimo indivíduo ($i = 1, 2, \dots, n$), $Z_{ij} = X_{ij}/\sigma_j$, em que X_{ij} são valores de cada indivíduo para uma característica, e σ_j o desvio padrão da j -ésima característica. Seja R a matriz de covariâncias (anexo 3) entre essas características padronizadas (ou matriz de correlações entre as características com base nos dados originais), tem-se que:

$$C\hat{ov}(X_j; X_{j'}) = \frac{\left[\sum_{i=j}^n (X_{ij} X_{ij'}) - \left(\sum_{i=j}^n (X_{ij}) \sum_{i=j}^n X_{ij'} \right) / n \right]}{n-1}$$

$$C\hat{ov}(X_j; X_{j'}) = \left[\sigma^2(X_j; X_{j'}) - \sigma^2(X_j) - \sigma^2(X_{j'}) \right] / 2$$

$$r(X_j; X_{j'}) = C\hat{ov}(Z_j; Z_{j'}) = \frac{C\hat{ov}(X_j; X_{j'})}{\sqrt{\sigma^2(X_j) - \sigma^2(X_{j'})}}$$

ou de maneira equivalente:

$$r_{jj'} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_{ij} - X_j)(X_{ij'} - X_{j'})}{\sqrt{\sum_{i=j}^n (X_{ij} - X_j)^2 \sum_{i=j}^n (X_{ij'} - X_{j'})^2}}$$

em que $C\hat{ov}(X_j; X_{j'})$ e $C\hat{ov}(Z_j; Z_{j'})$ são estimadores da covariância entre duas variáveis originais e duas variáveis padronizadas, respectivamente; $r(X_j, X_{j'}) = r_{jj'}$ é a correlação entre duas variáveis originais (coeficiente de correlação momento-produto de Pearson); e X_j é a média para a j -ésima variável (Anexo 4).

Em virtude de as variáveis originais (X_j) que se encontram no Anexo 1 possuírem diferentes unidades, utilizaram-se as variáveis padronizadas (Z_j) que se encontram no Anexo 2, na estimação dos componentes principais. A análise de componentes principais consistiu na transformação do conjunto de p variáveis Z_1, Z_2, \dots, Z_p em um novo conjunto Y_1, Y_2, \dots, Y_p , os componentes principais.

No estudo dos componentes principais as seguintes propriedades foram observadas:

- a) seja Y_j um componente principal; então, Y_j é uma combinação linear de Z_j

$$Y_j = a_1 Z_1 + a_2 Z_2 + \dots + a_p Z_p;$$

- b) os componentes são não-correlacionados, ou seja, são independentes entre si. Seja $Y_{j'}$ outro componente, então:

$$Y_j' = b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + \dots + b_p Z_p$$

$$\sum_{j=1}^p a_j^2 = \sum_{j=1}^p b_j^2 = 1$$

$$\sum_{j=1}^p a_j b_j = 0;$$

- c) entre todos os componentes, Y_1 apresenta a maior variância, Y_2 a segunda maior e assim sucessivamente.

$$\sigma^2(Y_1) > \sigma^2(Y_2) > \dots > \sigma^2(Y_p);$$

d) $\sum_{j=1}^n \sigma^2(Y_j) = \text{Traço}(R) = p$

em que, traço (R) é a soma dos elementos da diagonal ou dos autovalores da matriz de correlação R.

Com base nessas propriedades estudou-se a dispersão dos indivíduos avaliados em sistemas cartesianos, em que o aproveitamento da variabilidade disponível seja maximizado. O problema estatístico consistiu, fundamentalmente, em estimar os coeficientes de ponderação dos caracteres em cada componente, de modo que a variância a ele associada fosse maximizada, observando-se as restrições descritas no item **b**.

Morrison (1976) define o primeiro componente principal como uma combinação linear das variáveis estudadas cujos coeficientes a_j ($j = 1, 2, \dots, p$) são os elementos do vetor característico associado (α_1) com a maior raiz característica λ_1 da matriz de covariância (ou correlação, se for o caso) que se encontra no Anexo 3, das variáveis. Se $\alpha_1' \alpha_1 = 1$, então λ_1 é interpretado como a variância amostral do primeiro componente.

As estimativas dos autovalores (variância associada a cada componente principal) e autovetores (conjunto dos coeficientes dos componentes principais) foram obtidas pela solução dos seguintes sistemas, respectivamente:

$$\det (R - \lambda I) = 0$$

$$(R - \lambda_j I) \alpha_j = \Phi$$

em que: λ_j = raízes características (ou autovalores) da matriz de correlação entre as variáveis originais (ou de covariância entre as variáveis padronizadas). Existem p autovalores correspondentes às variâncias de cada um dos p componentes principais;

α_j = vetor característico (ou autovetor), de dimensão ($p \times 1$), que representa o conjunto de transformações ortogonais pelas quais as variáveis originais padronizadas devem ser multiplicadas para produzir os componentes principais;

I: matriz identidade, de dimensão ($p \times p$);

R: matriz de correlações entre pares de variáveis originais de dimensão ($p \times p$); e,

Φ : vetor nulo, de dimensão ($p \times 1$).

A solução do sistema $(R - \lambda_j I) \alpha_j = \Phi$ deve ser tal que $\alpha_j \neq \Phi$. Para tanto, impõe-se a condição $|R - \lambda I| = 0$, de modo que a solução passou a ser escolhida entre aquelas que satisfaziam a restrição $\alpha_j' \alpha_j = 1$, que é necessária para que exista uma única solução.

A importância relativa de um componente foi avaliada pela porcentagem da variância total que ele explica. A soma dos primeiros k autovalores dividida pela soma de todos os autovalores $(\lambda_1 + \dots + \lambda_k) / (\lambda_1 + \dots + \lambda_p)$ representou a proporção da variância total explicada pelos primeiros k componentes principais, ou seja, a proporção da informação retida na redução de p para k dimensões.

4.3. Análise de Agrupamento ou Análise de Cluster

A análise de agrupamento compreende técnicas e algoritmos iterativos, cujo objetivo é classificar “objetos” em grupos, de acordo com seu grau de similaridade ou de dissimilaridade. Nesta pesquisa os “objetos” foram representados pelas fontes hídricas superficiais e subsuperficiais.

“Cluster análise” tem por finalidade reunir, por algum critério de classificação, os indivíduos (ou objetos, locais, populações, amostras etc.) em vários grupos, de tal forma que exista homogeneidade dentro e heterogeneidade entre estes. A análise estudou as semelhanças ou diferenças entre amostras das águas, independentemente de suas causas. A análise foi utilizada na seguinte situação: dado um conjunto de onze municípios amostrais, avaliado em relação a onze variáveis, determinou-se um esquema para agrupar os municípios segundo algum critério de similaridade ou dissimilaridade, de modo que o conjunto inicial de observações seja dividido em vários grupos homogêneos (MANLY, 1986; CRUZ, 1990).

5.0. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da qualidade das águas superficiais e sub-superficiais da sub-bacia hidrográfica do alto curso do rio Paraíba, foram apresentados e discutidos quanto aos aspectos qualitativos identificando-se, em nível de cada município os impactos das atividades agrícolas e outras ações antrópicas sobre os recursos hídricos. As variáveis de qualidade das águas e as fontes hídricas serão priorizadas e classificadas utilizando-se Análise Multivariada em Componentes Principais e de Agrupamento ou Cluster.

5.1. Qualidade de Água para Consumo Humano

A classificação geral da água para consumo humano de acordo com o total de sólidos dissolvidos (STD), pH, sódio e cloretos, conforme recomendação do Ministério da Saúde, Portaria 518/04 de 25 de março de 2004, encontra-se na Tabela 6.

Foram analisadas 170 fontes de água superficiais e subsuperficiais, em que 145 fontes hídricas foram classificadas como sem restrição para o consumo humano, por não ultrapassarem os valores máximos recomendados pelo Ministério da Saúde, que determina 200 mg/L para sódio, 250 mg/L para cloretos, 1000 mg/L para SDT e pH de 6 a 9,5. Entretanto, 25 das amostras de água coletadas ultrapassaram os limites de tolerância em algum dos quatro parâmetros recomendados pela Portaria 518/04. Estas amostras foram excluídas, de maneira a evitar outra análise, outros tipos de diagnósticos e foram classificadas como águas de uso restrito ao consumo humano.

Nenhuma das amostras de água avaliadas apresentou concentrações superiores à permitida pelo Ministério da Saúde para os quatro parâmetros (STD, pH, sódio e cloretos), simultaneamente.

Tabela 6. Qualidade da Água para Consumo Humano em Função dos Parâmetros SDT, Ph, Sódio e Cloretos no Período Chuvoso do Ano de 2007

Qualidade da água	Nº de Amostras	Parâmetros
Sem restrição	145	SDT, pH, Sódio e Cloretos
Com restrição em algum (s) Parâmetros	25	SDT, pH, Sódio e Cloretos

Fonte: Portaria nº 518/04 do Ministério da Saúde

5.2. Qualidade de Água para Consumo Animal

Visando à classificação da água para consumo animal, foram utilizados os parâmetros da Academia Nacional de Ciências dos EUA (1972) apud Ayers e Westcot (1999).

A maioria das amostras de água analisadas 160 fontes (95%) é de excelente qualidade para o consumo de todos os tipos de animais; possui condutividade elétrica inferior a $1,5 \text{ dSm}^{-1}$ (classe A). Apenas 5 fontes amostradas (3,0%) possuem águas com salinidade de $1,5$ a $5,0 \text{ dSm}^{-1}$, classe B; o consumo dessas águas pode ocasionar diarreia em bovinos e excrementos aquosos nas aves. Apenas uma fonte hídrica de água corrente no município de Barra de São Miguel, apresentou CE de $11,6 \text{ dSm}^{-1}$ (classe E). A água desta fonte não é adequada para aves e, provavelmente, para suínos. Grande risco para vacas lactentes ou prenhas, ovinos e equinos. Deve-se evitar seu uso, embora os ruminantes, cavalos, suínos e aves mais velhos, possam subsistir em certas condições.

Para consumo animal a maioria das águas foi classificada como muito satisfatória, por apresentarem CE entre $1,5$ e $5,0 \text{ dsm}^{-1}$, valores indicados pela Academia Nacional de Ciências dos EUA.

A Resolução nº 357 do CONAMA (2005) recomenda água para consumo animal com pH entre 6 e 9, igual à indicada para consumo humano em águas de classe 3, valores coerentes com o encontrado na presente pesquisa.

Salienta-se que diferentes espécies no reino animal possuem grande diversidade de alimentação e são adaptadas aos seus diversos tipos de habitat, apresentando uma variação pertinente às suas necessidades locais no que se refere à qualidade da água. Neste sentido, o grupo de caprinos e ovinos tem a capacidade de suportar as águas mais salinizadas do que os bovinos e estes, por sua vez em relação aos equinos e suínos; no entanto, as aves apresentam índice menor de tolerância à salinidade.

5.3. Qualidade de água para fins agrícolas

Aplicando-se as diretrizes para avaliação da qualidade da água proposta por AYERS e WESTCOT (1999), Tabela 7, observou-se que 80% das amostras de água não possuem nenhuma restrição de uso com relação à condutividade elétrica (CE) e sais dissolvidos totais (SDT), 19% apresentaram grau de restrição de ligeiro a moderado e

apenas 1% das águas pode ocasionar problemas severos quando utilizada para fins agrícolas.

A partir dos resultados obtidos pode-se observar que em cerca de 80% das fontes hídricas analisada os valores dos sólidos dissolvidos totais (SDT) foram inferiores aos do limite recomendado pelo CONAMA para irrigação (450 mgL^{-1}).

As águas com restrições moderada e severa (18,93% das amostras), com relação à condutividade elétrica, levam para o solo grande quantidade de sais via irrigação, motivo pelo qual, se acumulam na zona radicular das plantas, e tem seus teores aumentados a cada irrigação.

A prática de drenagem é oportuna para evitar a ascensão do lençol freático e, na contrapartida, o acúmulo de sais na superfície do solo durante o período de seca, mais acentuada, nas entressafras.

Os problemas de infiltração relacionados com a qualidade da água de irrigação utilizada, devem ser avaliados pelos valores de CE e RAS. Em geral, a infiltração, aumenta com a salinidade e diminui com a redução desta ou com o aumento no teor de sódio em relação ao cálcio e magnésio (RAS). Desta forma, para avaliar o efeito final da qualidade da água deve-se considerar esses dois fatores (AYERS e WESTCOT, 1999).

Tabela 7. Qualidade da Água em Relação à Condutividade Elétrica e Sais Dissolvidos Totais no Período Chuvoso do ano de 2007.

Características	Grau de Restrição para Uso		Amostras Analisadas	
			Número	%
CE (dS m^{-1})	< 0,7	Nenhuma	135	79,88
	0,7-3,0	Ligeira a Moderada	32	18,93
	> 3,0	Severa	00	00
SDT (mg L^{-1})	< 450	Nenhuma	136	80,47
	450 - 2000	Ligeira a Moderada	32	18,88
	> 2000	Severa	02	1,18

Fonte: Ayers e Westcot, 1999

Nas diversas faixas de RAS e CE encontradas nas amostras de água analisada, 21 amostras (12,4%) não provocam problemas de infiltração no solo, 64 amostras (38,0%) têm grau de restrição de ligeiro a moderado, enquanto 84 amostras (49,6%) possuem restrição severa, conforme Tabela 8. Os resultados obtidos nessa pesquisa são inferiores aos encontrados por MORAIS et al. (1998), no Rio Grande do Norte, que determinaram 55,52% das amostras com nenhum problema de infiltração e 47,35% com problemas de ordem ligeira a moderada.

Os problemas de infiltração são facilmente visualizados pois, quando isto acontece, a água aplicada ao solo, seja artificialmente por irrigação ou naturalmente pela chuva fica sobre o solo por um tempo relativamente longo ou, ainda, ocorre uma infiltração muito lenta e, conseqüentemente, haverá redução na produção em virtude da cultura não receber a quantidade de água necessária; além do mais, ainda ocorrem formação de crostas superficiais e surgimento de problemas de germinação e emergência das plantas.

Conforme os resultados descritos na Tabela 8, a qualidade das águas em relação aos íons de sódio e cloreto, para fins de uso na irrigação por superfície e por aspersão, apresentou resultados variados. Constatou-se que para a irrigação por superfície a maioria das amostras de água (73,37%), não apresentou restrição de uso em relação ao íon sódio, enquanto 21,89% possuem restrição de ligeira a moderada e 4,73% apresentaram restrição severa. Contudo, as águas que não apresentam restrições (73,37%) podem causar problemas, visto que a toxicidade devida aos íons de sódio pode se manifestar, mesmo quando esses íons se encontram em quantidades relativamente baixas. Deve-se lembrar, ainda, que, no geral, os problemas de toxicidade, complicam e complementam os problemas de salinidade e permeabilidade, pois a acumulação dos íons em concentrações tóxicas demora certo tempo e os sintomas visuais dos danos se desenvolvem muito lentamente para serem notados, e o surgimento de tal problema dependerá do tempo, da concentração, da tolerância da cultura e do volume de água transpirada.

Na irrigação por superfície em relação ao íon cloreto, a qualidade da água foi a seguinte: 63,31% sem nenhuma restrição, 14,79% restrição de ligeira a moderada e 8,28% com restrição severa.

Na irrigação por aspersão 73,37% das amostras continham uma concentração de sódio menor que 3 meq L^{-1} , sendo portanto classificadas como sem nenhuma restrição para esse uso, enquanto 26,62% apresentaram restrição de ligeira a moderada. Quanto ao cloreto 75,15% apresentaram nenhuma restrição de uso na irrigação por aspersão, enquanto 24,85% apresentou restrição ligeira a moderada.

Tabela 8. Qualidade da Água em Relação ao Sódio e Cloretos considerando-se os Métodos de Irrigação por Superfície e Aspersão no Período Chuvoso do ano de 2007

Características	Grau de restrição para uso		Amostras Analisadas	
			Número	%
RAS				
Irrigação por Superfície				
Sódio (meq/l)	< 3,0	Nenhuma	124	73,37
	3,0-9,0	Ligeira a Moderada	37	21,89
	> 9,0	Severa	8	4,73
Cloreto (meq/l)	<4,0	Nenhuma	107	63,31
	4,0-10	Ligeira a Moderada	25	14,79
	>10	Severa	14	8,28
Irrigação por Aspersão				
Sódio (meq/l)	< 3	Nenhuma	124	73,37
	>3	Ligeira a Moderada	45	26,62
Cloreto (meq/l)	<3	Nenhuma	127	75,15
	>3	Ligeira a Moderada	42	24,85

Fonte: Ayers e Westcot (1999)

Na Tabela 9 observa-se, para o bicarbonato, que 55,02% das amostras de água, não possuem restrição de uso e 43,78% apresentam problemas classificados como de ligeira a moderada restrição, no entanto, apenas 1,2% apresenta restrição severa.

Apesar de poucas águas apresentarem restrição severa de uso, devido ao teor de bicarbonato, devem ser evitadas, principalmente no sistema de irrigação por aspersão, em razão dos constantes problemas de incrustação que o bicarbonato provoca sobre folhas, frutos e flores, provocando dificuldade na comercialização dos produtos, em virtude da má aparência. Este mesmo problema também pode ser observado em águas com baixos teores de bicarbonato, caso a evaporação seja elevada e a umidade relativa menor que 30% (AYERS e WESTCOT, 1999).

A presença de bicarbonato provoca a formação de camada compactada no solo e conseqüente redução da infiltração e permeabilidade da água através do perfil; este fato ocorre por haver, nas águas ricas em bicarbonato, tendência de precipitação, principalmente do cálcio na forma de carbonato, sempre que a solução do solo se torna mais concentrada, aumentando o risco de sodicidade.

Uma alternativa de minimizar esses problemas é a realização de irrigações noturnas, redução da frequência de irrigações e aumento da velocidade de rotação do aspersor, pois esta velocidade influi na precipitação lançada sobre o terreno em cada instante, ou seja, quanto maior

a velocidade menor será a precipitação instantânea sobre determinado ponto do círculo molhado e conseqüentemente, menor será também o risco de encharcamento e compactação do solo.

Em relação ao pH encontrado nas águas avaliadas observa-se que 90,53% das amostras se encontram com valores normais. O pH é o índice que caracteriza o grau de acidez ou alcalinidade do solo. No caso das águas de irrigação o pH normal se situa entre 6,5 e 8,4 (AYERS e WESTCOT, 1999). As mudanças provocadas por pH anormal da água de irrigação no solo, são lentas e quando isto ocorre, ao invés de se corrigir o pH da água, por não ser prático, faz-se a correção do solo.

Tabela 9. Qualidade da Água em Relação às Concentrações de Bicarbonato (HCO_3) e pH no Período Chuvoso do ano de 2007

Características	Grau de restrição para uso		Amostras Analisadas	
			Número	%
HCO_3 (meq/l)	< 1,5	Nenhuma	93	55,0
	1,5-8,5	Ligeira a Moderada	74	43,8
	> 8,5	Severa	2	1,2
pH	6,5-8,4	Normal	153	90,53

Fonte: Ayers e Westcot, 1999

5.4. Impacto das Atividades Agrícolas na Qualidade das Águas

A qualidade das águas de uma bacia hidrográfica é influenciada por fatores naturais como clima, solos, geologia e fatores antrópicos como as atividades agrícolas, pecuárias, minerais, etc., e pelas interações e transformações que compõem esses sistemas. Para melhor compreensão de como esses processos interagem e causam impactos sobre a qualidade das águas da região do Alto Paraíba (Figura 7), a mesma foi dividida em 11 municípios. Neste processo, foram consideradas suas diferentes características, em particular as relacionadas à irrigação e a outras atividades antrópicas que possam afetar a qualidade das águas.

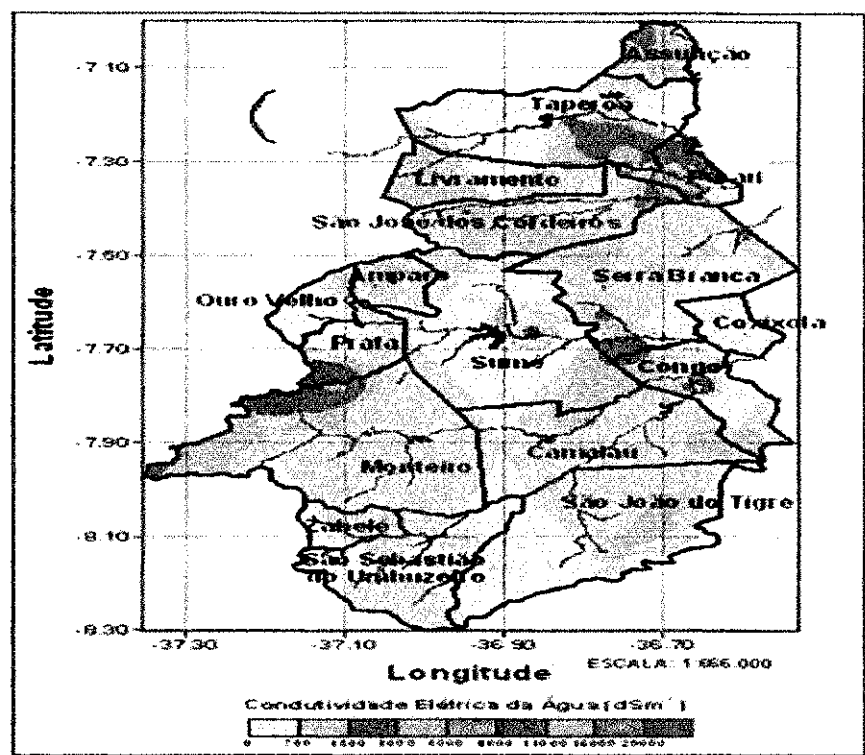


Figura 7. Mapa de condutividade elétrica e rede de drenagem da região do Alto Paraíba

5.4.1. Município de Amparo

O município de Amparo está localizado na Microrregião do Cariri Oriental e na Mesorregião Borborema do Estado da Paraíba, a 635 m de altitude, com área de 122 km², constituindo 0,21% do Estado, 0,008% da região Nordeste e 0,001% do território brasileiro. O acesso é através das rodovias BR230, BR412, PB110 e PB249. Está inserido nas Folhas SUDENE de Prata e Sumé (IBGE, 2006).

Conforme BRASIL (2005), Amparo está inserido na unidade geoambiental do planalto da Borborema, que representa a paisagem típica do semiárido nordestino caracterizada por uma superfície de pediplanação, relevo suave-ondulado, cortada por vales estreitos, com vertentes dissecadas. Elevações residuais, cristas e/ou outeiros. Esse relevo isolado revela os ciclos intensos de erosão que atingiram grande parte da região. A vegetação é composta por Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia.

O clima é do tipo tropical semiárido, com chuvas de verão. O período chuvoso ocorre de novembro a abril, com precipitação média anual de 431,8 mm.

As águas superficiais são encontradas na Bacia Hidrográfica do rio Paraíba, Região do Alto Paraíba. Seus principais tributários são os riachos: da Jureminha, Cariri, dos Caboclos, do Boi, Soberba, Olho d' Água, do Açude Novo e da Barroca. Os principais

corpos d'água são os açudes Escurinho e Pilões (13.000.000 m³). O principal corpo de acumulação de água é a Lagoa do Meio. Os cursos d'água têm regime de escoamento intermitente e padrão de drenagem dendrítico.

Na Tabela 10, são apresentados os índices de qualidade das águas no período de chuvas de 2007, cuja RAS é expressa em (mmolL⁻¹)^{1/2}, a dureza total (DT) em mgL⁻¹, a condutividade elétrica (CE) em dSm⁻¹ e sólidos dissolvidos totais (SDT) em mgL⁻¹, para as 11 fontes de coleta de águas no município.

Tabela 10. Índices de Qualidade das Águas no Período de Chuvas de 2007, no Município de Amparo

FONTES	RAS(mmolL ⁻¹) ^{1/2}	DT(mgL ⁻¹)	CE(dSm ⁻¹)	SDT(mgL ⁻¹)
1	1,93	151,00	0,49	310,40
2	2,57	292,50	0,93	595,20
3	0,43	80,50	0,16	103,68
4	5,96	181,00	1,14	729,60
5	2,06	240,00	0,61	390,40
6	11,64	488,50	2,68	1.715,20
7	0,59	50,50	0,11	72,32
8	2,52	266,00	0,82	524,80
9	0,42	35,00	0,08	49,28
10	5,27	278,00	1,32	844,80
11	2,27	216,00	0,67	428,80

De acordo com dados da Tabela 10 e conforme as diretrizes para a interpretação da qualidade da água para a irrigação (Ayres e Wescot, 1999), relacionadas com infiltração da água no solo, os valores de RAS e CE encontrados em 3 fontes hídricas (27%) não apresentaram restrições para uso na agricultura. No entanto, cinco fontes (45,5%) apresentaram grau de restrição de baixo a moderado e outras 3 fontes (açudes: sítio lagoa do meio, boa vista e jatobá) indicam grau severo de restrição de uso para a irrigação.

Quanto à dureza total (DT), verificou-se que 6 fontes (54,5%) foram classificadas como muito duras (DT > 200 mgL⁻¹), motivo pelo qual provoca incrustações em tubulações de sistemas de irrigação por aspersão localizados e com relação ao uso humano retardamento no cozimento de alimentos, implicando em maior gasto de gás, carvão, lenha, etc.

Na Tabela 11, encontram-se os pontos georreferenciados das fontes hídricas analisadas a partir dos dados laboratoriais do município de Amparo e suas respectivas condutividades elétricas.

Tabela 11. Georreferenciamento dos Pontos, Tipo de Fonte e da Salinidade da Água para o Município de Amparo

Nº	Altitude (m)	Latitude Sul			Longitude Oeste			Fonte de Água	CE (dSm ⁻¹)
		grau	min	seg	grau	min	seg		
1	613	7	33	50	36	58	28	AÇUDE	0,48
2	648	7	32	24,3	36	59	8,3	AÇUDE	0,93
3	653	7	34	12,5	37	1	24,2	AÇUDE	0,16
4	627	7	34	44,7	37	3	15,4	AÇUDE	1,14
5	627	7	34	8,8	37	3	37,4	POÇO	0,61
6	635	7	34	8,3	37	3	41,5	POÇO	2,68
7	608	7	34	23,6	37	3	59,7	AÇUDE	0,11
8	634	7	33	33,3	37	3	14,2	POÇO	0,82
9	636	7	33	28	37	3	18,6	AÇUDE	0,08
10	641	7	32	38,2	37	2	39,8	AÇUDE	1,32
11	660	7	31	35,7	37	1	14,9	AÇUDE	0,67

A qualidade da água foi analisada em 11 fontes (açudes e poços), no município de Amparo. Verificou-se um total de seis fontes sem problemas de salinidade ($CE < 0,7 \text{ dSm}^{-1}$), podendo ser utilizadas para diversos fins, sem qualquer grau de restrição, Figura 8a e Tabela 11. Nos demais pontos de coleta das amostras a água apresentou salinidade entre $0,7$ e $3,0 \text{ dSm}^{-1}$, indicando grau de restrição de uso de baixo a moderado para a irrigação, porém com qualidade de excelente a muito satisfatória para o consumo animal.

Na Figura 8a tem-se o mapa da condutividade elétrica da água em relação às coordenadas geográficas, latitude e longitude no município de Amparo. Como pode ser visto nas cores do mapa, a condutividade elétrica não ultrapassou o limite de $3,0 \text{ dSm}^{-1}$, ficando o intervalo de CE entre $1,5$ e $3,0 \text{ dSm}^{-1}$ restrito a uma pequena área enquanto na área maior a salinidade da água ficou abaixo de $1,5 \text{ dSm}^{-1}$.

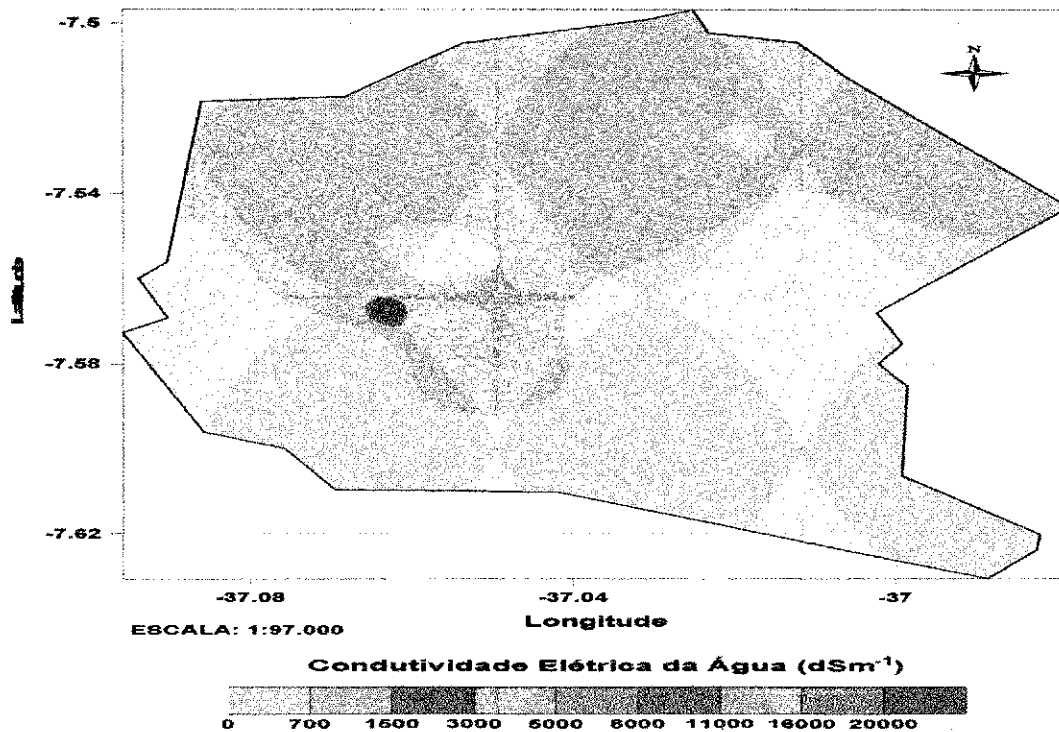


Figura 8a. Mapa de condutividade elétrica do município de Amparo

Os pontos em vermelho da Figura 8b representam as fontes hídricas nas quais foram coletadas as amostras de água. A distribuição desses pontos neste mapa indica, na prática, o destino das águas da rede de drenagem do município em estudo.

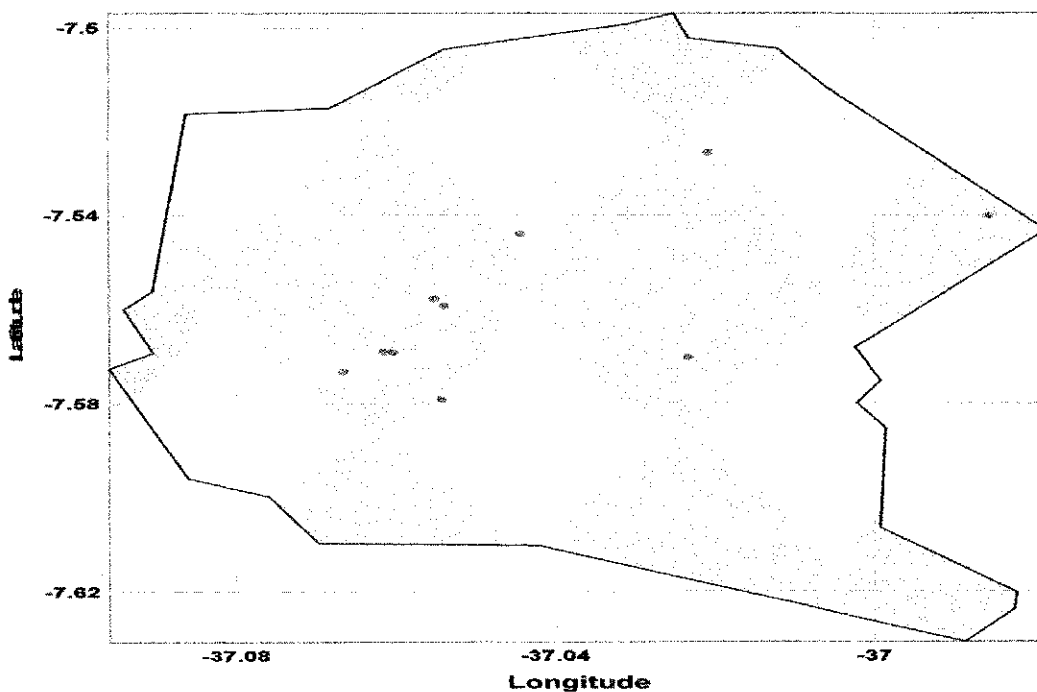


Figura 8b. Mapa das fontes de coleta de água do município de Amparo

5.4.2. Município de Barra de São Miguel

Localiza-se na Microrregião do Cariri Oriental e na Mesorregião Borborema do Estado da Paraíba. Sua área é de 595 km², representando 1,05% do Estado, 0,038% da região Nordeste e 0,007% do território brasileiro. Possui altitude aproximada de 486 m, com distância de 175 km de João Pessoa. O acesso é pelas rodovias BR 230, BR 104 e PB196. Insere-se na Folha SUDENE, de Santa Cruz do Capibaribe (IBGE, 2006).

O município está inserido na unidade geoambiental do Planalto da Borborema, que representa a paisagem típica do semiárido nordestino, caracterizada por uma superfície de pediplanação bastante monótona, relevo predominantemente suave-ondulado, cortada por vales estreitos, com vertentes dissecadas.

Nas elevações residuais cristas e/ou outeiros pontuam a linha do horizonte. Esses relevos isolados testemunham os ciclos intensos de erosão que atingiram grande parte do sertão nordestino. Parte de sua área, a norte, se insere na unidade geoambiental do Planalto da Borborema. A vegetação é basicamente composta por Caatinga Hiperxerófila, com trechos de Floresta Caducifólia nas encostas de serra (BRASIL, 2005).

O clima do município de Barra de São Miguel é do tipo tropical semiárido, com chuvas de verão, em que o período chuvoso ocorre de janeiro a junho e a precipitação média anual é de 431,8 mm. O município está inserido na bacia hidrográfica do Rio Paraíba, região do Alto Paraíba cujos tributários são os riachos Mata, Arapuá, Caraibeiras, Quixaba, da Cachoeira, Canudos, Chocalho, Bolão, das Varas, Doce, do Mulungu, da Barra, São Francisco, do Boi, do Meio, de Santo Antonio, das Almas, Santana, do Brejinho, do Jaques, do Mel, do Baixinho, das Almas e do Poço.

As principais fontes hídricas são o Riacho do Baixinho, Riacho de Santo Antônio e o Açude Público Epitácio Pessoa. Todos esses corpos d'água apresentam regime de escoamento intermitente e padrão de drenagem dendrítico.

Na Tabela 12 são apresentados os índices de qualidade das águas no período de chuvas de 2007, sendo a RAS expressa em $(\text{mmolL}^{-1})^{1/2}$, a dureza total (DT) em mgL^{-1} , a condutividade elétrica (CE) em dSm^{-1} e os sólidos dissolvidos totais (SDT) em mgL^{-1} , para as treze fontes de coleta de águas no município.

Tabela 12 - Índices de Qualidade das Águas no Período de Chuvas de 2007 no Município de Barra de São Miguel

FONTES	RAS($\text{mmol}_e\text{L}^{-1}$) ^{1/2}	DT(mgL^{-1})	CE(dSm^{-1})	SDT(mgL^{-1})
1	0,29	75	0,14	88,32
2	9,73	7209,5	11,60	7424,00
3	3,09	320	1,06	678,4
4	0,04	58	0,05	29,44
5	0,34	31	0,09	57,6
6	0,14	25	0,06	37,76
7	0,21	28	0,06	37,12
8	0,22	68,5	0,12	78,72
9	0,13	31	0,05	35,84
10	0,38	28,5	0,07	43,52
11	0,16	25	0,05	35,84
12	0,16	17,5	0,05	32,64
13	1,94	255,5	0,77	492,8

Considerando-se os valores de RAS e CE, observa-se na tabela 12, que 10 fontes, (77%) podem causar problemas de infiltração, visto que apresentam grau severo de restrição de uso para a irrigação (Ayres e Wescot, 1999), enquanto apenas 3 fontes não apresentam nenhuma restrição de uso.

Em relação à dureza total, verificou-se que 3 fontes (23%) foram classificadas como muito duras ($\text{DT} > 200 \text{ mgL}^{-1}$), motivo pelo qual pode provocar incrustação em tubulações e dificuldade no cozimento de alimentos. Além do mais, a água dura tem sabor desagradável e pode causar efeitos laxativos nos seres humanos.

Na Figura 9a se encontra o mapa da condutividade elétrica da água do município de Barra de São Miguel. Na latitude de $-7^{\circ}45'4,8''$ ($7,76^{\circ}\text{S}$) e longitude $-36^{\circ}19'26,1''$ ($36,39^{\circ}\text{W}$) a condutividade elétrica alcançou o valor de $11,6 \text{ dS/m}^{-1}$ na fonte de água corrente próximo ao açude do “Bixim”, cujas águas foram classificadas salinas (C4). Nas demais fontes as águas não apresentaram problemas de salinidade. Observa-se que o município apresenta, em quase toda a sua extensão água com CE inferior a $1,5 \text{ dSm}^{-1}$ embora com pequenas áreas que podem chegar a $11,6 \text{ dSm}^{-1}$ na parte sul.

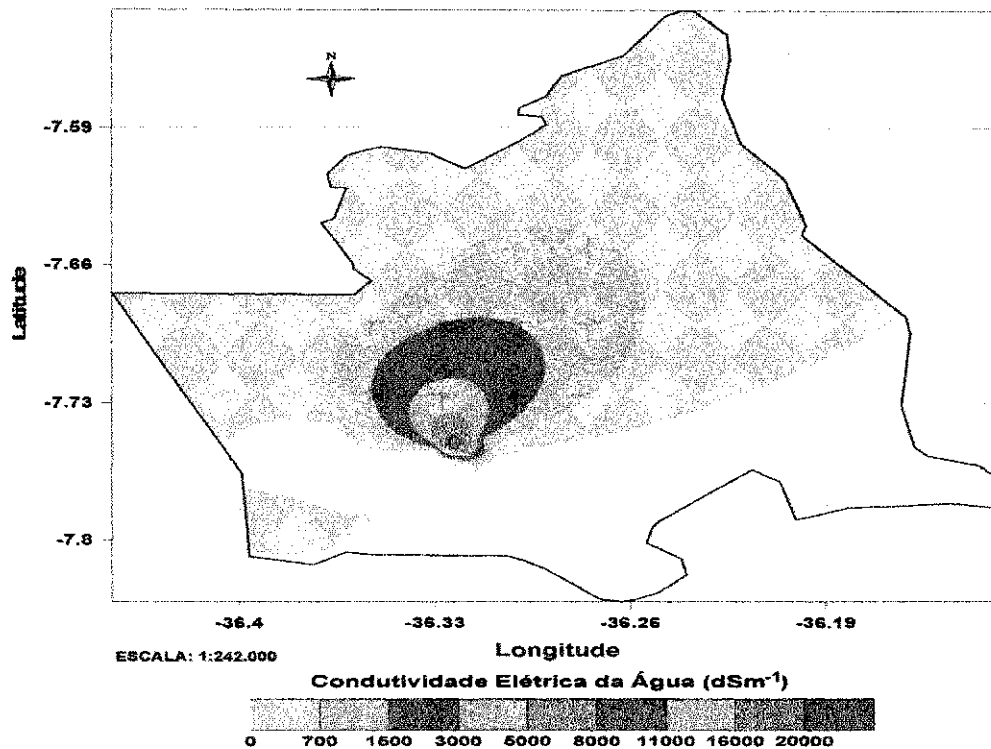


Figura 9a. Mapa de condutividade elétrica do município de Barra de São Miguel

Portanto, de acordo com a Figura 9a e com a Tabela 13, na maioria dos reservatórios (açudes) a água é de boa qualidade, ou seja, não apresenta nenhum grau de restrição de uso para fins de irrigação, consumo humano e animal. Constatou-se apenas, em uma das fontes (água corrente), que a salinidade da água promove risco severo para irrigação, o que a torna inadequada para o consumo humano, devido à elevada $CE = 11,6 \text{ dSm}^{-1}$.

A Figura 9b indica a distribuição representativa dos pontos de coleta para o município de Barra de São Miguel. Não foram coletadas amostras no nordeste do município devido à inexistência de fontes hídricas.

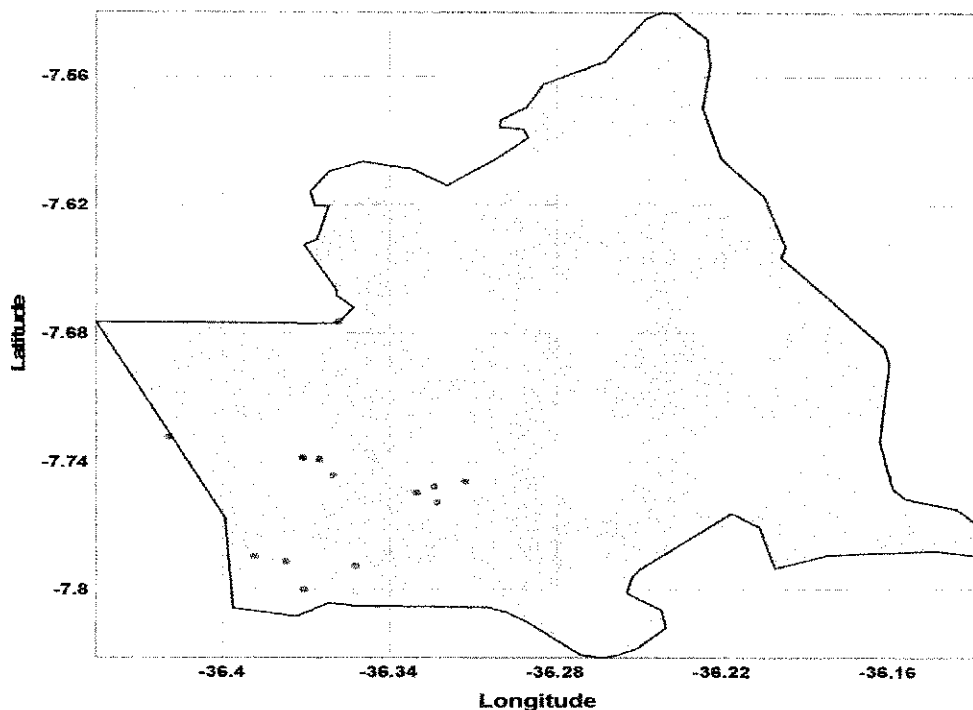


Figura 9b. Mapa das fontes de coleta de água do município de Barra de São Miguel

Tabela 13. Georreferenciamento dos Pontos, Tipo de Fonte e da Salinidade da Água para o Município de Barra de São Miguel

Nº	Altitude (m)	LATITUDE SUL			LONG OESTE			Fonte de Água	CE (dSm ⁻¹)
		grau	min	seg	grau	min	seg		
1	462	7	40	28,4	36	21	30,7	AÇUDE	0,14
2	495	7	45	4,8	36	19	26,1	CORRENTE	11,60
3	498	7	44	57,1	36	18	46,3	AÇUDE	1,06
4	501	7	45	15,7	36	19	49,5	AÇUDE	0,05
5	508	7	44	47	36	21	37,3	AÇUDE	0,09
6	500	7	44	19	36	21	55,1	AÇUDE	0,06
7	493	7	44	16,4	36	22	17,1	AÇUDE	0,06
8	458	7	43	41,9	36	25	11,9	AÇUDE	0,12
9	509	7	47	3,4	36	23	19,6	AÇUDE	0,06
10	532	7	47	12,2	36	22	38,7	AÇUDE	0,07
11	543	7	47	59,8	36	22	15	AÇUDE	0,06
12	530	7	47	19,1	36	21	8,5	AÇUDE	0,05
13	529	7	45	33,3	36	19	23,1	AÇUDE	0,80

5.4.3. Município de Camalaú

Situa-se na Microrregião do Cariri Ocidental e na Mesorregião da Borborema do Estado da Paraíba, a 521 m de altitude, com área de 603 km², representando 1,06% do Estado, 0,038% da região Nordeste e 0,007% do território brasileiro. O acesso é através das rodovias BR 230, BR 412 e PB 224. Está inserido nas Folhas SUDENE de Sumé e Pesqueira (IBGE, 2006).

Localiza-se na unidade geoambiental da Borborema, que representa a paisagem típica do semiárido nordestino caracterizada por uma superfície de pediplanação, relevo ondulado, cortada por vales estreitos, com vertentes dissecadas. Elevações residuais, cristas e/ou outeiros, pontuam a linha do horizonte. Esses relevos isolados indicam os ciclos intensos de erosão que atingiram grande parte do sertão nordestino.

A vegetação é característica de espécies Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia nas áreas de Serra. O clima é do tipo tropical semiárido, com chuvas de verão, em que o inverno acontece de novembro a abril. A precipitação média anual é de 431,8 mm (CPRM, 2005).

O município de Camalaú está inserido nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Paraíba, região do Alto Paraíba. Os principais cursos d'água são: os rios Paraíba, Monteiro e do Umbuzeiro e os riachos do Mel, dos Cavalos, da maniçoba, do Mulungu, Caraibeira, dos Gomes, Grota do Boqueirão, da Cachoeira, do Mamoeiro, da Pintada, da Gangorra, do Garrote, das Araras, do Umbuzeiro, da Ipueira e do Deserto. O principal corpo de acumulação de água é o açude Camalaú (46.437.520 m³). Os cursos d'água possuem regime de escoamento intermitente e padrão de drenagem dendrítico.

Na Tabela 14 são apresentados os índices de qualidade das águas para as 15 fontes de coleta de água no período de chuvas de 2007, sendo a RAS expressa em (mmolL⁻¹)^{1/2}, a dureza total (DT) em mgL⁻¹, a condutividade elétrica (CE) em dSm⁻¹ e os sólidos dissolvidos totais (SDT) em mgL⁻¹, para as quinze fontes de coleta de águas.

Verificou-se que a salinidade das águas de 13 fontes (86,6%), não oferece nenhum grau de restrição de uso, para fins de irrigação e consumo humano, devido ao teor de sais, CE < 0,7 dSm⁻¹ de acordo com a classificação sugerida por Ayres e Wescot (1999). As demais amostras de água foram classificadas como de risco baixo a moderado, para fins de irrigação.

Tabela 14. Índices de Qualidade das Águas no Período de Chuvas de 2007 no Município de Camalaú

FONTES	RAS($\text{mmol}_e\text{L}^{-1}$) ^{1/2}	DT(mgL^{-1})	CE(dSm^{-1})	SDT(mgL^{-1})
01	1,5	146,00	0,37	233,60
02	0,45	93,50	0,15	94,72
03	163	107,50	0,19	125,44
04	0,42	108,00	0,21	133,12
05	1,82	81,00	0,23	147,20
06	3,16	187,50	0,68	435,20
07	2,93	148,00	0,53	339,20
08	0,47	73,00	0,17	108,80
09	3,37	186,00	0,71	454,40
10	1,58	132,00	0,35	224,00
11	2,91	229,50	0,79	505,60
12	0,92	78,50	0,15	96,00
13	7,52	486,50	1,90	1216,00
14	2,58	97,50	0,38	243,20
15	0,13	221,00	1,34	857,60

Observa-se, na Tabela 14, que quatro das quinze fontes podem causar problemas com infiltração pois apresentam grau severo de restrição de uso para a irrigação (Ayres e Wescot, 1999), quando combinado com os valores de RAS e CE. Por outro lado, dez fontes apresentam grau de restrição de uso baixo a moderado e uma apresenta grau severo.

Quanto à dureza total verifica-se que 10 das 15 fontes, ou seja, 67% das fontes hídricas analisadas foram classificadas como sendo duras a muito duras, o que ocasiona problemas nas tubulações hidráulicas e retardo no cozimento de alimentos provocando maior consumo de gás, carvão, lenha, etc. De modo geral, as fontes com maior valor de condutividade são as cacimbas e os poços de água, devido provavelmente, à CE estar associada aos minerais constituintes da rocha matriz. Verifica-se que entre as latitudes de 7,8°S e 7,86°S a condutividade elétrica foi abaixo de 3,0 dSm^{-1} , valor este considerado normal em águas de irrigação.

Na Figura 10a tem-se o mapa da condutividade elétrica da água em relação às coordenadas geográficas, latitude e longitude no município de Camalaú. De acordo com as cores do mapa a condutividade elétrica e a salinidade da água ficou abaixo de 1,5 dSm^{-1} com exceção de uma amostra de água pontual localizada na região norte, que apresentou CE de 1,9 dSm^{-1} .

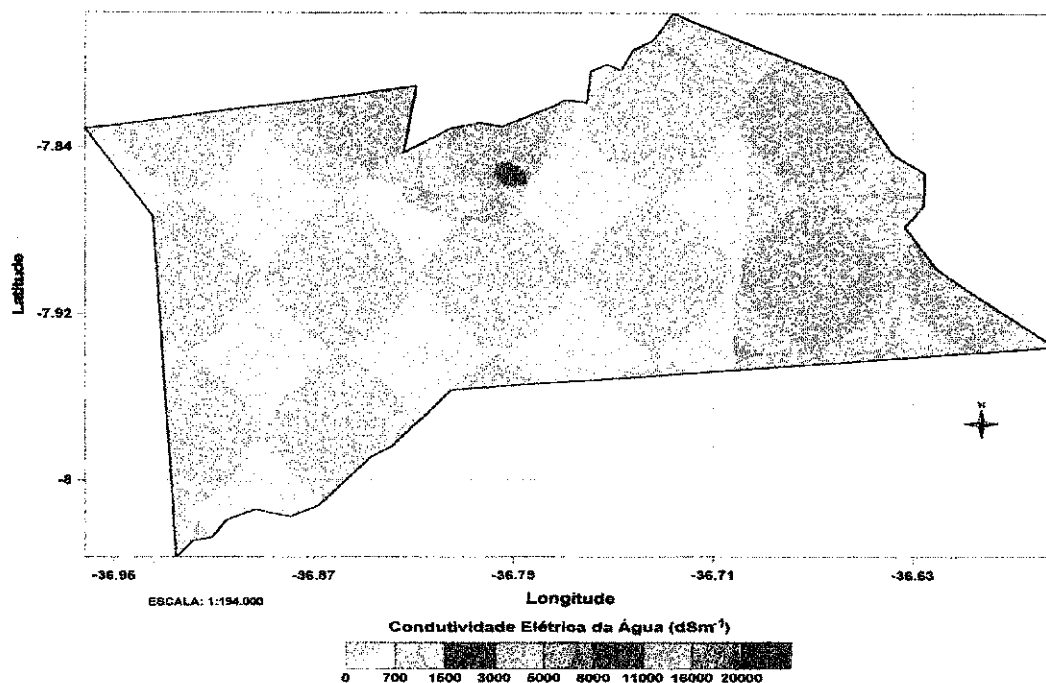


Figura 10a. Mapas de condutividade elétrica do município de Camalaú

Na Figura 10b observa-se a distribuição dos pontos de coleta de água do município em estudo representativos da drenagem local.

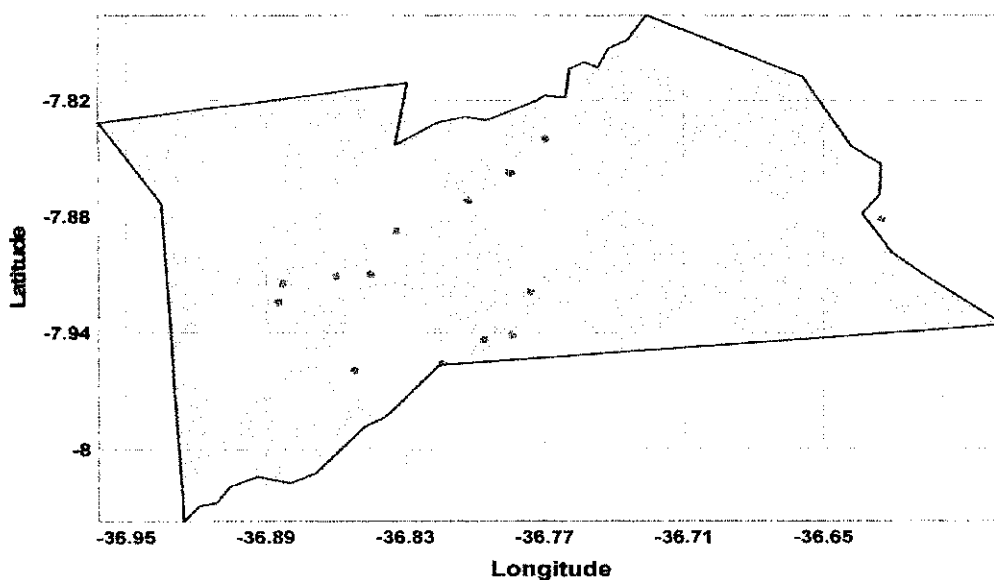


Figura 10b. Mapa das fontes de coleta de água do município de Camalaú

Na Tabela 15, se encontra 15 fontes georreferenciadas, tipo de fonte e condutividade elétrica da água para o município de Camalaú. Observa-se que a maioria das fontes analisadas é de boa qualidade, com CE baixa, principalmente as águas de açudes,

embora a água de um poço tenha CE um pouco elevada ($1,9 \text{ dSm}^{-1}$) o que não impede uso para irrigação e consumo animal.

Tabela 15 - Georreferenciamento dos Pontos, Tipo de Fonte e da Salinidade da Água para o Município de Camalaú

Nº	Altitude (m)	Latitude Sul			Longitude Oeste			Fonte de Água	CE (dSm^{-1})
		grau	min	seg	grau	min	seg		
1	541	7	54	35,6	36	50	41,7	AÇUDE	0,37
2	556	7	54	38,9	36	51	34,6	AÇUDE	0,15
3	567	7	55	26,2	36	53	5	AÇUDE	0,20
4	555	7	54	51,3	36	52	57,9	AÇUDE	0,20
5	586	7	57	33,8	36	51	6,1	AÇUDE	0,23
6	560	7	57	21,7	36	48	50,1	CACIMBA	0,68
7	529	7	56	37	36	47	47	CACIMBA	0,53
8	536	7	56	28,9	36	47	2,5	AÇUDE	0,17
9	534	7	55	9	36	46	33,7	POÇO	0,71
10	541	7	53	14,5	36	50	1,7	AÇUDE	0,35
11	520	7	52	17,9	36	48	10,2	POÇO	0,79
12	524	7	51	27,5	36	47	3,4	AÇUDE	0,15
13	517	7	51	25,7	36	47	6,6	POÇO	1,90
14	510	7	50	22,9	36	46	10,7	AÇUDE	0,38
15	541	7	52	53,2	36	37	29,5	AÇUDE	1,34

5.4.4. Município de Congo

Para o IBGE (2006), este município se localiza na Microrregião do Cariri Ocidental e na Mesorregião da Borborema no Estado da Paraíba. Sua Área é de 274 km^2 , representando 0,48% do Estado, 0,018% da região Nordeste e 0,003% do território brasileiro. Localiza-se a 480 m de altitude, e a 212 km de João Pessoa. O acesso ocorre pelas rodovias BR 230, PB 412 e PB 214.

Inserese na unidade geoambiental da Borborema, que representa a paisagem típica do semiárido nordestino, caracterizada por uma superfície de pediplanação bastante monótona, relevo suave-ondulado, cortada por vales estreitos, com vertentes dissecadas. Elevações residuais, cristas e/ou outeiros pontuam a linha do horizonte (BRASIL, 2005). A vegetação é basicamente composta por Caatinga Hiperxerófila com trechos de mata Caducifólia. O clima é do tipo tropical semiárido, com chuvas de novembro a maio e precipitação de $431,8 \text{ mm/ano}$.

As águas superficiais são encontradas na bacia hidrográfica do Rio Paraíba. Os principais cursos d'água são: os rios Paraíba, Sucuru e Monteiro e os riachos: do Algodão, do Jacaré, Poço do Cipó, da Salina, da Cachoeira, da Ventura, da Areia e do Salgadinho.

Os principais corpos de água são os açudes: Cordeiro e da Tapera, e a Lagoa Tapada, todos com regime de escoamento intermitente e padrão de drenagem dendrítico.

Na Tabela 16 se acham os índices de qualidade das águas no período de chuvas de 2007, sendo a RAS é expressa em $(\text{mmolL}^{-1})^{1/2}$, a dureza total (DT) em mgL^{-1} , a condutividade elétrica (CE) em dSm^{-1} e os sólidos dissolvidos totais (SDT) em mgL^{-1} , para as cinco fontes de coleta de águas.

Observa-se que três fontes podem causar problemas com infiltração, haja vista que, apresentam grau severo de restrição de uso para a irrigação (Ayres e Wescot, 1999), quando combinado os valores de RAS e CE, enquanto duas fontes apresentam grau de restrição de baixo a moderado.

Tabela 16 - Índices de Qualidade das Águas no Período de Chuvas de 2007 no Município de Congo.

FONTES	RAS($\text{mmolL}^{-1})^{1/2}$	CE(dSm^{-1})	DT(mgL^{-1})	SDT(mgL^{-1})
1	0,30	0,08	32,50	49,28
2	0,57	0,24	112,50	152,32
3	3,00	0,26	62,50	167,68
4	0,27	0,07	34,50	48,64
5	0,69	0,11	46,00	71,68

Neste município foram analisadas cinco fontes de água, na maioria açudes, contendo água sem restrição de uso quanto à salinidade, para fins de irrigação, consumo humano e animal, de acordo com a Portaria do Ministério da Saúde, uma vez que a CE é muito baixa. Em relação à dureza total, observa-se que, no Congo, as diversas fontes de água se enquadram como brandas ($\text{DT} < 50 \text{ mgL}^{-1}$), intermediárias ($62,5 \text{ mgL}^{-1}$) e duras ($112,5 \text{ mgL}^{-1}$). Verifica-se, também, que a salinidade das águas não oferece nenhum grau de restrição de uso para fins de irrigação e consumo humano, devido ao teor de sais, $\text{CE} < 0,7 \text{ dS m}^{-1}$ de acordo com a classificação sugerida por Ayres e Wescot (1999).

O mapa do município com a distribuição da CE das águas para as fontes diagnosticadas pode ser observado na Figura 11a. Observa-se que as águas do município, em toda a sua extensão, apresentaram CE inferior a $0,7 \text{ dSm}^{-1}$, podendo ser utilizadas sem restrição para irrigação, consumo humano e animal.

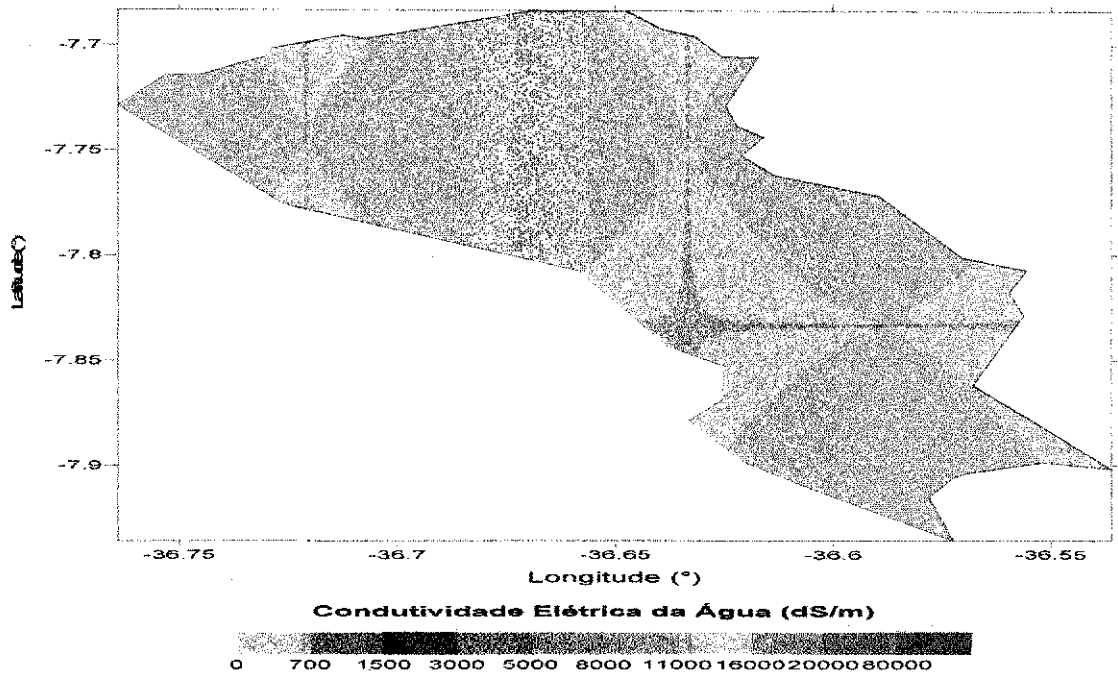


Figura 11a. Mapas de condutividade elétrica do município de Congo

Na figura 11b, verifica-se a distribuição dos pontos de coleta de água georreferenciados

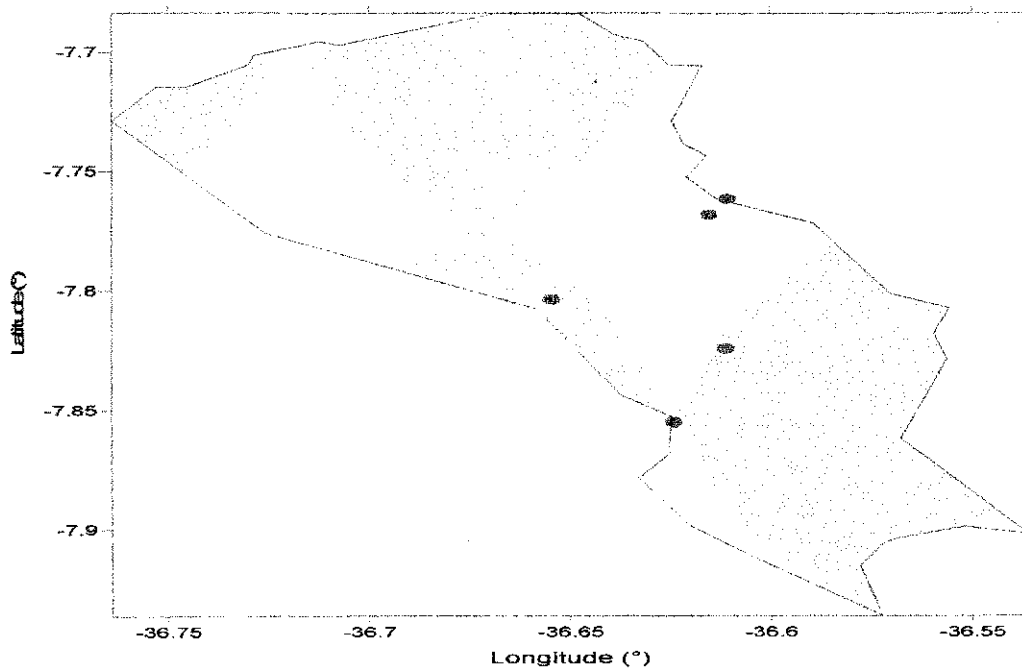


Figura 11b. Mapa das fontes de coleta de água do município do Congo

Na Tabela 17 estão os pontos georreferenciados das fontes hídricas analisadas, tipo de fonte e condutividade elétrica das águas para o município do Congo. Observa-se que as águas são de boa qualidade, com CE variando de 0,08 a 0,26 dSm^{-1} , não apresentando

nenhum grau de restrição de uso para irrigação, consumo humano e animal, independente do tipo de fonte.

Tabela 17. Georreferenciamento dos Pontos, Tipo de Fonte e da Salinidade da Água para o Município de Congo

Nº	Altitude (m)	Latitude Sul			Longitude Oeste			Fonte de Água	CE (dSm ⁻¹)
		grau	min	seg	grau	min	seg		
1	529	7	51	18	36	37	28,5	AÇUDE	0,08
2	506	7	49	27,2	36	36	41,7	AÇUDE	0,24
3	493	7	48	13,3	36	39	17,7	CORRENTE	0,26
4	500	7	46	5,3	36	36	56,3	AÇUDE	0,07
5	493	7	45	41,3	36	36	40	AÇUDE	0,11

5.4.5. Município de Monteiro

O município de Monteiro está localizado na Microrregião do Cariri Ocidental e na Mesorregião da Borborema no Estado da Paraíba. Sua área é de 986 km², correspondendo a 1,74% do Estado, 0,063% da região Nordeste e 0,011% do território brasileiro. Situa-se a uma altitude de 599 m, distando 263 km de João Pessoa. O acesso é realizado pelas rodovias BR 230 e 412. Está inserido nas Folhas SUDENE de Prata, Sertânea e Pesqueira na escala de 1:100.000 (IBGE, 2006).

Pertence à unidade geoambiental do planalto da Borborema, que representa a paisagem típica do semiárido nordestino caracterizada por uma superfície de pediplanação, relevo suave-ondulado, cortada por vales estreitos, com vertentes dissecadas. Elevações residuais, cristas e/ou outeiros, pontuam a linha do horizonte (CPRM, 2005).

A vegetação é basicamente composta, basicamente por Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia. O clima é do tipo tropical semiárido, classificado por Köppen como Bsh, com chuvas de verão. O período chuvoso ocorre de dezembro a maio. A precipitação média anual é de 431,8 mm.

As águas superficiais são encontradas nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Paraíba, região do Alto Paraíba. Os principais tributários são: o Rio Monteiro e os riachos: Santa Catarina, Urucu, Jatobá, Laje Vermelha, da Caiçara, do Mocó, do Fradinho, do Mamoeiro, do Amaro, dos Guedes, do Mulungu, do Tingui, do Catolé, Verde, Baixa do Sílvio, do Pau Ferro, João Mendes, Lagoa Grande, do Angico, do Jabitacá, da Várzea Limpa, da Pitangueira, Mão Beijada e da Quixaba.

Os principais corpos de acumulação são: o açude Poções (29.861.560m³), do Angiquinho, Pau d'Arco, Público do Estado, Tanques, Barra Verde, Camaleão, São

Domingos, Mata Verde, da Bonita, da Malhada, Quixabeira e do Teodósio, além da lagoa da Barriguda. Apresentam regime de fluxo intermitente e padrão de drenagem dendrítico.

Na Tabela 18, tem-se os índices de qualidade das águas no período de chuvas de 2007, em que a RAS é expressa em $(\text{mmolL}^{-1})^{1/2}$, a dureza total (DT) em mgL^{-1} , a condutividade elétrica (CE) em dSm^{-1} e os sólidos dissolvidos totais (SDT) em mgL^{-1} , para as vinte e sete fontes de coleta de águas. Observa-se que águas de 13 das 27 fontes estudadas podem causar problemas de infiltração pois apresentam grau severo de restrição de uso para irrigação (Ayers e Westcot,1999), quando combinado com os valores de RAS e CE.

Com relação a problemas de infiltração (RAS e CE combinados) treze fontes apresentaram grau severo de restrição para irrigação.

De acordo com Molle e Cadier (1992) a concentração de sais em uma água é perceptível ao paladar, quando a CE atinge valores superiores a $0,8 \text{ dSm}^{-1}$. Valores observados maiores que $0,8 \text{ dSm}^{-1}$ foram encontrados para as fontes 8, 13, 16 e 17. Por outro lado se observa no período seco, que essas águas são consumidas pelas comunidades, por falta de água de qualidade melhor.

A dureza total das amostras de água variou de 27,50 a 390 mgL^{-1} , de acordo com a classificação de Sawyer e McCarty (1987) sendo classificadas brandas ($0-75 \text{ mgL}^{-1}$) e muito duras (390 mgL^{-1}). Nas águas de irrigação a dureza pode causar incrustações nos equipamentos de irrigação, danificando-os e até mesmo interrompendo a irrigação.

Tabela 18 - Índices de Qualidade das Águas no Período de Chuvas de 2007 no Município de Monteiro

FONTES	RAS($\text{mmol}_e\text{L}^{-1})^{1/2}$	CE(dSm^{-1})	DT(mgL^{-1})	SDT(mgL^{-1})
1	0,18	0,14	81,00	89,60
2	2,88	0,61	162,00	390,40
3	0,80	0,22	81,00	141,44
4	1,50	0,42	149,50	268,80
5	0,10	0,07	32,50	46,72
6	0,76	0,45	199,50	288,00
7	1,91	0,44	130,00	281,60
8	3,58	1,02	390,00	652,80
9	2,10	0,40	108,00	256,00
10	0,39	0,30	162,50	192,00
11	0,34	0,14	58,50	90,88

12	1,00	0,11	29,50	71,68
13	3,13	0,93	258,50	595,2
14	1,79	0,49	162,50	310,4
15	0,14	0,15	75,00	96,00
16	10,56	3,45	682,00	2208,00
17	3,25	1,01	287,50	646,40
18	0,71	0,24	107,50	153,60
19	0,34	0,16	66,00	102,40
20	1,75	0,50	157,00	320,00
21	0,21	0,06	27,50	36,48
22	0,19	0,18	83,00	116,48
23	0,73	0,19	75,00	121,60
24	0,14	0,10	41,00	62,08
25	0,24	0,12	64,50	79,36
26	0,50	0,10	42,00	66,56
27	0,27	0,17	72,50	110,08

O mapa do município com a distribuição das CE das águas está apresentado na Figura 12a. Observa-se que a grande maioria das águas apresenta CE inferior a $0,7 \text{ dSm}^{-1}$ e uma pequena faixa territorial com águas com CE entre $0,7$ e $1,5 \text{ dSm}^{-1}$, uma área pontual também pequena com CE variando de $1,5$ a $3,0 \text{ dSm}^{-1}$ e uma fonte com CE acima de $3,0 \text{ dSm}^{-1}$.

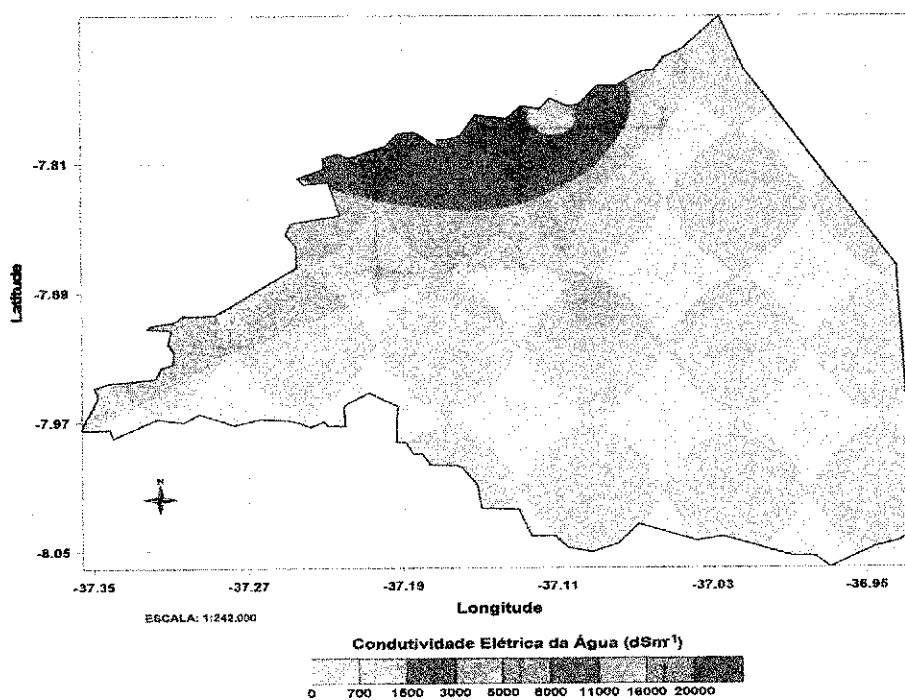


Figura 12a. Mapas de condutividade elétrica do município de Monteiro

Os pontos de coleta das amostras de água estão apresentados na Figura 12b. Na Tabela 19 se encontram o número de pontos georreferenciados, as coordenadas geográficas e tipo de fonte de coleta da água. Verifica-se que a distribuição desses pontos indica que as águas de drenagem tendem a seguir para a área central do município.

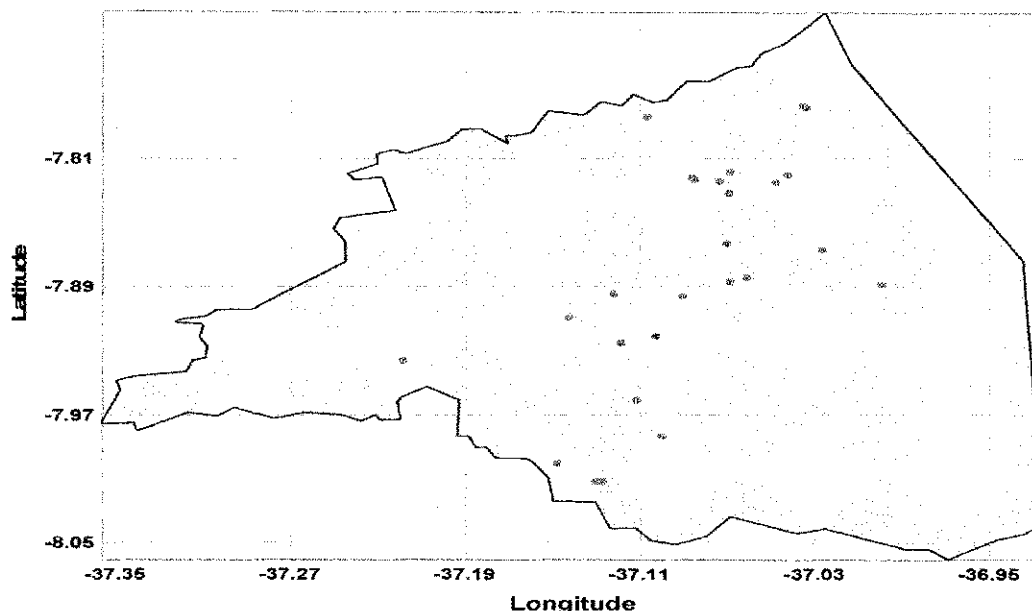


Figura 12b. Mapa das fontes de coleta de água do município de Monteiro.

Na Tabela 19 se encontram os pontos georreferenciados das fontes hídricas e as condutividades elétricas das águas analisadas para o município de Monteiro. Observa-se que 24 fontes apresentam água com CE abaixo de $1,0 \text{ dSm}^{-1}$, consideradas ótimas para utilização na irrigação e para os consumos humano e animal. Em duas fontes pesquisadas a CE das águas gira em torno de $1,0 \text{ dSm}^{-1}$. Apenas uma fonte apresentou água com CE acima de $3,0 \text{ dSm}^{-1}$. Portanto, em geral, a CE das águas analisadas pode ser considerada baixa e ser utilizada sem restrição de uso para fins agrícola, humano e animal.

Tabela 19. Georreferenciamento dos Pontos, Tipo de Fonte e da Salinidade da Água para o Município de Monteiro

Nº	Altitude (m)	Latitude Sul			Longitude Oeste			Fonte de água	CE (dSm^{-1})
		grau	min	seg	grau	min	seg		
1	641	7	49	5,1	37	4	7,8	AÇUDE	0,14
2	635	7	49	26,1	37	4	25,3	AÇUDE	0,61
3	623	7	49	52,6	37	4	10,3	AÇUDE	0,22
4	648	7	56	9,5	37	13	6	AÇUDE	0,42
5	627	7	54	31,6	37	8	33,3	AÇUDE	0,07
6	625	7	53	39	37	7	19,4	AÇUDE	0,45
7	259	7	55	14,2	37	6	11	AÇUDE	0,44
8	616	7	53	44,9	37	5	25,9	CORRENTE	1,02

9	597	7	53	12,2	37	4	7,8	AÇUDE	0,40
10	591	7	53	2,3	37	3	40,2	POÇO	0,30
11	598	7	51	47,5	37	4	14,4	AÇUDE	0,14
12	610	7	49	22,4	37	5	6,6	AÇUDE	0,11
13	657	7	43	20,5	37	5	28	AÇUDE	0,93
14	596	7	46	34,4	37	2	7,1	AÇUDE	0,48
15	596	7	46	39,3	37	2	2,6	AÇUDE	0,15
16	667	7	46	59,3	37	6	25,4	AÇUDE	3,45
17	664	7	49	17,6	37	5	10,7	POÇO	1,01
18	666	7	49	28,7	37	2	53,1	AÇUDE	0,24
19	617	7	49	11,8	37	2	33,8	AÇUDE	0,16
20	577	7	53	18	36	59	58,2	AÇUDE	0,50
21	580	7	52	0,6	37	1	35,8	AÇUDE	0,06
22	630	7	55	29,7	37	7	7,9	AÇUDE	0,18
23	638	7	57	37,3	37	6	42,2	AÇUDE	0,19
24	642	7	58	59	37	6	0,6	AÇUDE	0,10
25	677	8	0	42	37	7	39,8	AÇUDE	0,12
26	680	8	0	41	37	7	50,4	AÇUDE	0,10
27	687	7	59	59,4	37	8	52,7	AÇUDE	0,17

5.4.6. Município de Ouro Velho

Ouro Velho está localizado na Microrregião do Cariri Ocidental e na Mesorregião da Borborema no Estado da Paraíba, a 591 m de altitude, com área de 129 km², correspondendo a 0,22% do Estado, 0,008% da região Nordeste e 0,0015% do território brasileiro. O acesso é realizado pelas rodovias BR 230, BR 412 e PB 110. Insere-se na Folha SUDENE de Prata na escala de 1:100.000 (IBGE, 2006).

Quanto aos aspectos fisiográficos, insere-se na unidade geoambiental do Planalto da Borborema, que representa a paisagem típica do semiárido nordestino caracterizada por uma superfície de pediplanação, relevo suave-ondulado, cortada por vales estreitos, com vertentes dissecadas. Elevações residuais, cristas e/ou outeiros pontuam a linha do horizonte.

A vegetação é composta por Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia nas áreas de serra. O clima é do tipo tropical semiárido, com chuvas de verão, Bsh de acordo com a classificação de Köppen. O período chuvoso ocorre de dezembro a maio. A precipitação média anual é de 431,8 mm (CPRM, 2005).

As águas superficiais estão na bacia hidrográfica do Rio Paraíba, região do Alto Paraíba. Seus principais tributários são os riachos: da Jureminha, da Borboleta, dos Oitis, Soberba, Betânia, Pantaleão, dos Zuzas e dos Barões. Os principais corpos de acumulação

são as lagoas: do Luis, Pau do Leite, da Pimenta e Grande. Todos os cursos d'água possuem regime de escoamento intermitente e padrão de drenagem dendrítico.

Na Tabela 20 são apresentados os índices de qualidade das águas, no período de chuvas de 2007, de 5 açudes do município, sendo a RAS expressa em $(\text{mmolL}^{-1})^{1/2}$, a dureza total (DT) em mgL^{-1} , a condutividade elétrica (CE) em dSm^{-1} e os sólidos dissolvidos totais (SDT) em mgL^{-1} , para as cinco fontes de coleta de águas.

Verifica-se, na Tabela 20, que as fontes podem causar problemas com infiltração pois apresentam grau severo de restrição de uso para a irrigação (Ayres e Wescot, 1999), quando combinado com os valores de RAS e CE.

Tabela 20 - Índices de Qualidade das Águas no Período de Chuvas de 2007, no Município de Ouro Velho

FONTES	RAS($\text{mmolL}^{-1})^{1/2}$	DT(mgL^{-1})	CE(dSm^{-1})	SDT(mgL^{-1})
1	0,50	67,00	0,13	85,12
2	0,11	93,50	0,13	81,92
3	0,24	55,50	0,13	81,92
4	0,49	78,00	0,17	112,64
5	0,46	56,00	0,11	69,12

A CE da água de todos os açudes é baixa, menor que $0,2 \text{ dS m}^{-1}$, adequada para todos os fins de uso, sem nenhum grau de restrição. Os valores da dureza total permitem o uso das águas para consumo humano, animal e agrícola, variando de 55,5 a 93,5 mgL^{-1} , uma vez que o valor máximo permitido é de 500 mgL^{-1} .

Na Figura 13ª se encontra o mapa da condutividade elétrica, das águas das fontes distribuídas no município de Ouro Velho. Observa-se que todas as águas coletadas apresentam CE inferior a $0,7 \text{ dSm}^{-1}$ em toda a extensão territorial do município.

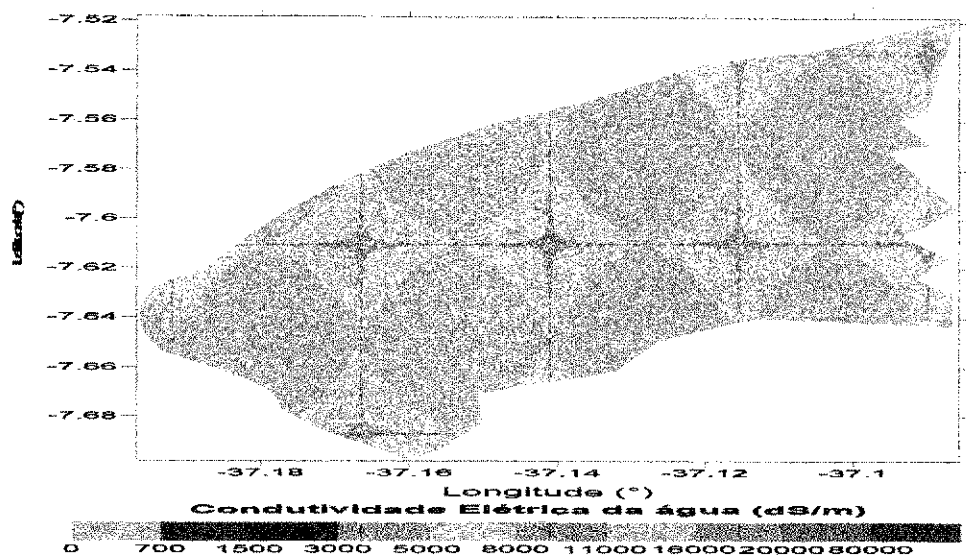


Figura 13a. Mapa da condutividade elétrica do município de Ouro Velho

Os pontos em vermelho da Figura 13b representam as fontes hídricas nas quais foram coletadas as amostras de água analisadas. A distribuição desses pontos neste mapa indica, na prática, o destino das águas da rede de drenagem do município de Ouro Velho que fluem para a zona sul do município.

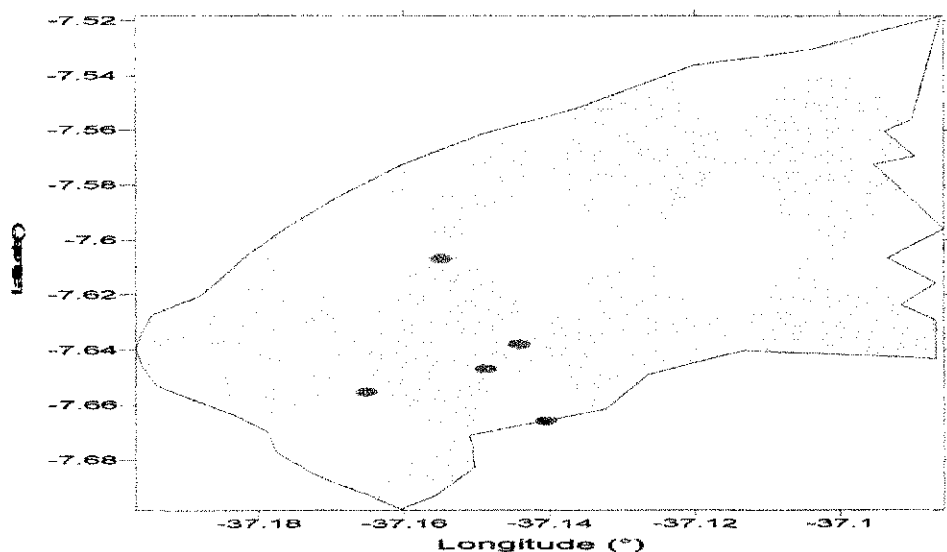


Figura 13b. Mapa das fontes de coleta de água do município de Ouro Velho

Na Tabela 21 se encontram os pontos georreferenciados das fontes hídricas e as condutividades elétricas das águas analisadas para o município de Ouro Velho. Observa-se que todas as águas coletadas apresentam CE menor que $0,2 \text{ dSm}^{-1}$, não havendo diferenciação significativa quanto ao tipo de fonte, sendo consideradas ótimas para qualquer tipo de atividade agropecuária e consumo humano.

Tabela 21. Georreferenciamento dos Pontos, Tipo de Fonte e da Salinidade da Água para o Município de Ouro Velho

Nº	Altitude (m)	Latitude Sul			Longitude Oeste			Fonte de Água	CE (dSm ⁻¹)
		grau	min	seg	grau	min	seg		
1	605	7	39	57,3	37	8	26,3	AÇUDE	0,13
2	605	7	38	49,3	37	8	56	POÇO	0,13
3	620	7	39	19,4	37	9	55	AÇUDE	0,13
4	608	7	36	24,8	37	9	17,5	AÇUDE	0,17
5	604	7	38	17,7	37	8	39,4	AÇUDE	0,11

5.4.7. Município de Prata

Localiza-se na Microrregião do Cariri Ocidental e na Mesorregião Borborema, no Estado da Paraíba, a 577 m de altitude, com área territorial de 192 km², correspondendo a 0,34% do Estado e 0,012% da região Nordeste e 0,002% do território brasileiro. O acesso é feito pelas rodovias BR 239, BR 412 e PB 110. O município está inserido na Folha SUDENE de Prata, na escala de 1:100.000 (IBGE, 2006).

Está inserido na unidade geoambiental do Planalto da Borborema, que representa a paisagem típica do semiárido nordestino caracterizada por uma superfície de pediplanação bastante monótona, relevo predominantemente suave-ondulado, cortada por vales estreitos, com vertentes dissecadas. As elevações residuais, cristas e/ou outeiros, pontuam a linha do horizonte.

A vegetação é composta por Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia. O clima é do tipo tropical semiárido. O período chuvoso ocorre de novembro a maio, com precipitação de 431,8 mm/ano (CPRM, 2005).

As águas superficiais estão inseridas nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Paraíba, região do Alto Paraíba (CPRM, 2005). Seus principais tributários são os riachos: da Jureminha, dos Olhos d' Água, da Catingueira, do Acauã, do Descanso, da Boa Vista, do Zuzas, dos Barões, São Francisco, da Prata, da Várzea, da Lapa, Boa Sorte e Santa Catarina. Os principais corpos de acumulação são os açudes: da Lapa e da Barra, além da lagoa Panati. Os cursos d'água possuem regime de escoamento intermitente e padrão de drenagem dendrítico.

Na Tabela 22, são apresentados os índices de qualidade das águas no período de chuvas de 2007, sendo a RAS expressa em (mmolL⁻¹)^{1/2}, a dureza total (DT) em mgL⁻¹, a condutividade elétrica (CE) em dSm⁻¹ e os sólidos dissolvidos totais (SDT) em mgL⁻¹, para as nove fontes de coleta de águas. Observa-se que podem causar problemas de infiltração

(fontes 1,2,3,5,7, e 9) por apresentarem grau severo de restrição de uso para irrigação (Ayers e Westcot, 1999), quando considerados os valores de RAS e CE; 2 fontes apresentam baixo grau a moderado (fontes 4 e 8). Salienta-se que as águas apresentam CE variando de 0,07 a 0,75 dSm⁻¹ consideradas baixas, podendo ser utilizadas para qualquer atividade e consumo humano. Os valores da dureza total variaram de 27,5 a 222 mgL⁻¹, indicando sua utilização para fins agrícola, humano e animal, de vez que estão abaixo do valor máximo permitido (500,0 mgL⁻¹), segundo Brasil, 2004.

Tabela 22. Índices de Qualidade das Águas no Período de Chuvas de 2007, no Município de Prata

FONTES	RAS(mmol_eL⁻¹)^{1/2}	DT(mgL⁻¹)	CE(dSm⁻¹)	SDT(mgL⁻¹)
1	0,10	43,50	0,07	47,36
2	0,35	62,50	0,11	71,68
3	0,42	81,00	0,20	128,00
4	0,73	122,50	0,31	198,40
5	0,40	50,00	0,01	63,36
6	1,05	222,00	0,75	480,00
7	0,27	27,50	0,07	47,36
8	1,63	210,00	0,57	364,80
9	0,26	37,50	0,09	55,04

Na Figura 14^a se apresenta o mapa da condutividade elétrica das águas em relação às coordenadas geográficas, do município de Prata. Observa-se que a grande maioria das águas do município de Prata apresenta CE inferior a 0,7 dSm⁻¹, ocupando quase toda a extensão do município enquanto em apenas uma pequena área, que pode ser considerada pontual, a CE é superior a 0,7 dSm⁻¹.

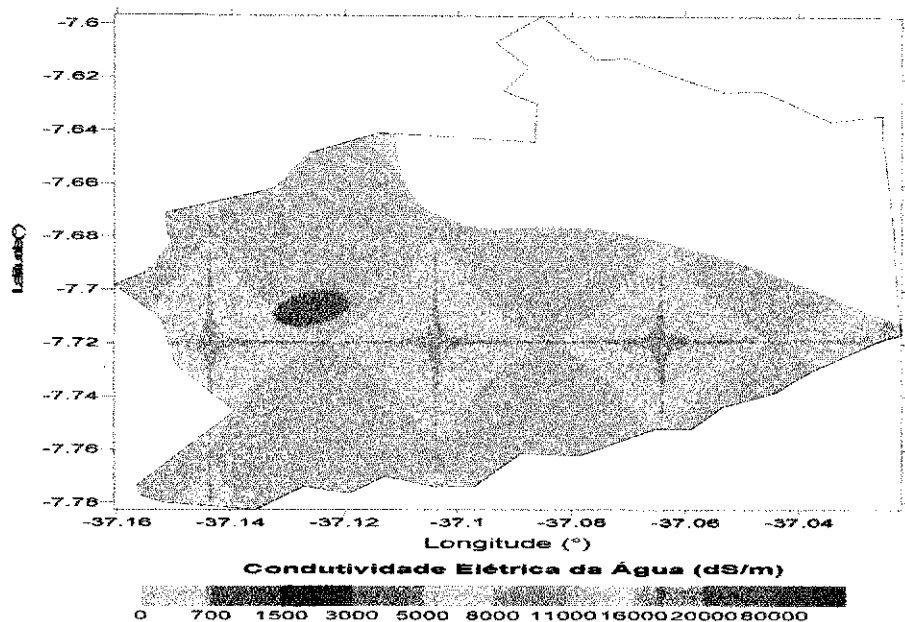


Figura 14a. Mapa da condutividade elétrica do município de Prata

Os pontos em destaque na Figura 14b, representam as fontes hídricas nas quais foram coletadas as amostras de água. Observa-se que as fontes de coleta se localizam na região central do município, indicando o sentido do fluxo de drenagem.

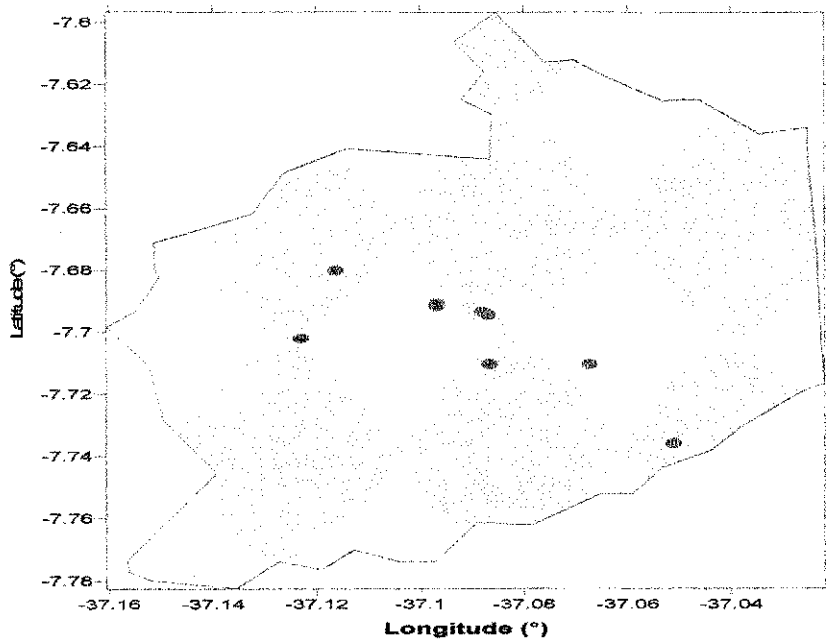


Figura 14b. Mapa das fontes de coleta de água do município de Prata

Na Tabela 23 se encontram os pontos georreferenciados das fontes hídricas e as condutividades elétricas das águas analisadas para o município de Prata. Observa-se que todas as fontes coletadas apresentam CE inferior a $0,8 \text{ dSm}^{-1}$, não havendo distinção entre as fontes, sendo consideradas ótimas para as atividades agropecuária e humanas.

Tabela 23. Georreferenciamento dos Pontos, Tipo de Fonte e da Salinidade da Água para o Município de Prata no Período Chuvoso de 2007

Nº	Altitude (m)	Latitude Sul			Longitude Oeste			Fonte de Água	CE (dSm ⁻¹)
		grau	min	seg	grau	min	seg		
1	599	7	44	9,3	37	3	4,8	AÇUDE	0,07
2	602	7	42	37,1	37	4	3,1	AÇUDE	0,11
3	584	7	41	39,7	37	5	13,7	AÇUDE	0,20
4	589	7	41	36,4	37	5	17,7	AÇUDE	0,31
5	622	7	40	48,5	37	6	59,4	AÇUDE	0,10
6	609	7	42	7,3	37	7	23,1	POÇO	0,75
7	610	7	41	26,9	37	5	49	AÇUDE	0,07
8	617	7	41	30,2	37	5	49,3	POÇO	0,57
9	611	7	42	37,2	37	5	12,4	AÇUDE	0,08

5.4.8. Município de São João do Tigre

São João do Tigre se situa na Microrregião do Cariri Ocidental e na Mesorregião da Borborema no Estado da Paraíba, a 557 m de altitude, com área de 816 km², representando 1,4% do Estado, 0,052% da região Nordeste e 0,009% do território brasileiro. O acesso é feito por João Pessoa, pelas rodovias BR 230, BR 412, PB 224 e PB 196. Insere-se nas Folhas SUDENE de Pesqueira e Sumé na escala de 1:100.000 (IBGE, 2006).

Está inserido na unidade geoambiental do Planalto da Borborema, que representa a paisagem típica do semiárido nordestino caracterizada por uma superfície de pediplanação bastante monótona, relevo suave-ondulado, cortada por vales estreitos, com vertentes dissecadas. Apresenta, também elevações residuais, cristas e/ou outeiros que pontuam a linha do horizonte (CPRM, 2005).

A vegetação é do tipo Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta subcaducifólia nas áreas de serra. O clima é do tipo tropical semiárido, com chuvas de verão Bsh pela classificação de Köppen. O período chuvoso ocorre de novembro a abril.

As águas superficiais estão na bacia hidrográfica do Rio Paraíba, região do Alto Paraíba. Seus principais tributários são: os rios do Umbuzeiro e do Salão, além dos riachos: do Fundão ou Santa Maria, Cascavel, do Deserto, da Areia, do Meio, do Mulungu, da Oiticica, da Pintada, do Limpo Grande, do Tigre, Cacimbas, Comprido, do Campo Grande, Pintura, do Saco Grande, Baixio, Santo André e do Juazeiro. Todos os cursos d'água têm regime de escoamento intermitente e padrão de drenagem dendrítico (CPRM, 2005).

Na Tabela 24 são apresentados os índices de qualidade das águas no período de chuvas de 2007, em que a RAS é expressa em (mmolL⁻¹)^{1/2}, a dureza total (DT) em mgL⁻¹,

a condutividade elétrica (CE) em dSm^{-1} e sólidos dissolvidos totais (SDT) em mgL^{-1} , para as vinte fontes de coleta de águas.

Observa-se que sete das vinte fontes podem causar problemas com infiltração, visto que apresentam grau severo de restrição de uso para a irrigação (Ayres e Wescot, 1999), quando combinado o dos valores de RAS e CE. Dez fontes apresentam grau de restrição de baixo a moderado e três sem nenhum grau de restrição. Quanto à dureza total, a fonte 7 (cacimba no sítio Roncadeira) foi classificada como muito dura, motivo pelo qual é imprópria para consumo humano, pois apresentou o valor de $526,5 \text{ mgL}^{-1}$ superior ao valor máximo permitido de $500,0 \text{ mgL}^{-1}$.

Tabela 24. Índices de Qualidade das Águas no Período de Chuvas de 2007 no Município de São João do Tigre

FONTES	RAS($\text{mmol}_e\text{L}^{-1}$) ^{1/2}	DT(mgL^{-1})	CE(dSm^{-1})	SDT(mgL^{-1})
1	0,47	105,00	0,19	121,60
2	0,40	110,00	0,22	143,36
3	0,42	52,50	0,08	53,12
4	0,57	143,50	0,31	195,20
5	2,84	183,00	0,64	409,60
6	0,68	250,00	0,52	332,80
7	5,61	526,50	2,00	1280,00
8	3,97	223,50	0,93	595,20
9	0,93	268,50	0,58	371,20
10	0,62	38,50	0,09	57,60
11	3,92	197,50	0,86	550,40
12	2,44	225,00	0,79	505,60
13	2,34	58,50	0,28	179,20
14	5,72	78,00	0,65	416,00
15	3,12	200,00	0,55	352,00
16	1,69	40,50	0,18	115,20
17	0,21	58,00	0,09	60,16
18	0,19	65,00	0,01	62,08
19	0,20	62,50	0,01	62,72
20	3,01	300,00	0,97	620,8

Na Figura 15a se apresenta o mapa da CE da água em relação às coordenadas geográficas para o município de São João do Tigre. Observa-se que na maior parte do município, a CE das águas coletadas é abaixo de $0,7 \text{ dSm}^{-1}$, em seguida a uma área menor onde a CE é superior a $0,7 \text{ dSm}^{-1}$.

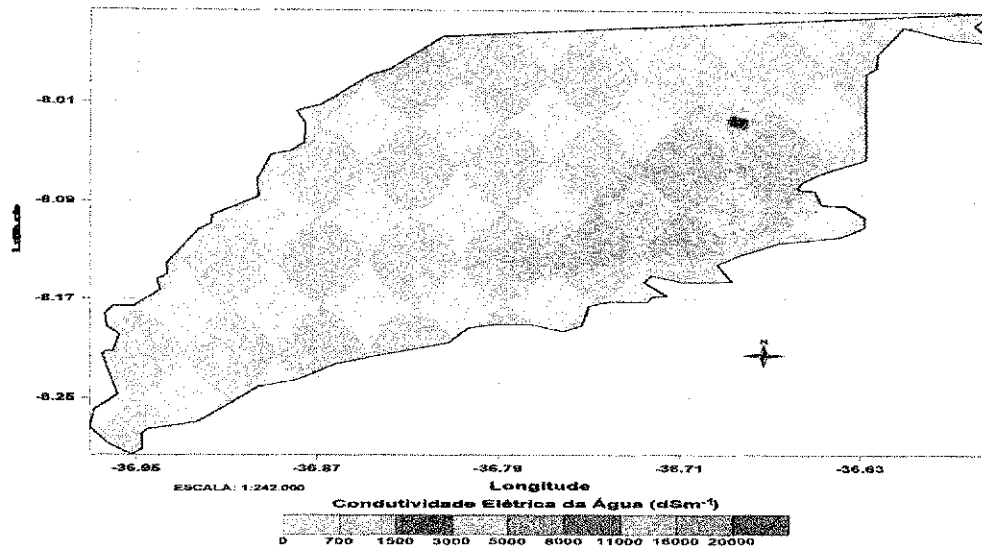


Figura 15a. Mapa da condutividade elétrica do município de São João do Tigre

Os pontos de coleta das amostras de água estão apresentados na Figura 15b. Observa-se que a distribuição desses pontos indica que as águas de drenagem seguem na direção central e nordeste do município.

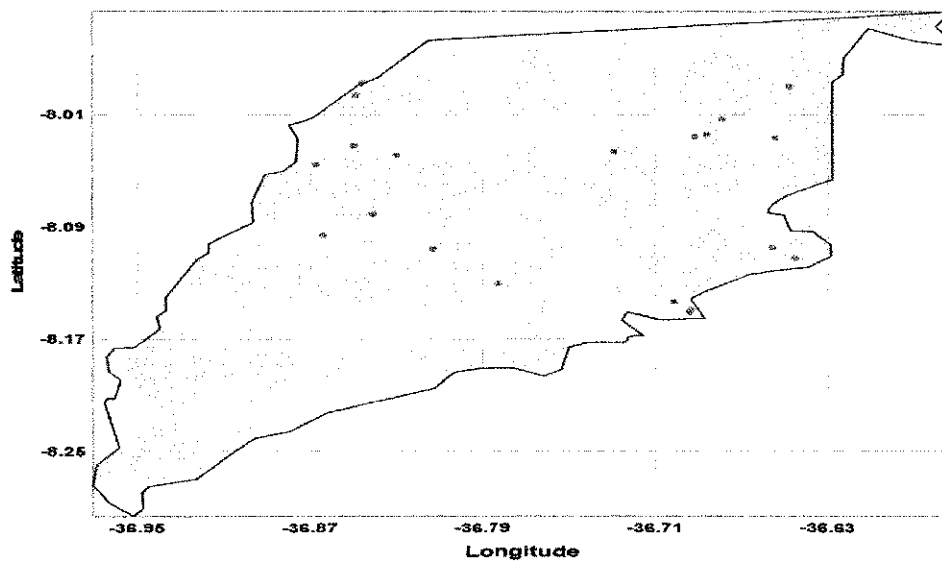


Figura 15b. Mapa das fontes de coleta de água do município de São João do Tigre

Tabela 25 - Georreferenciamento dos Pontos, Tipo de Fonte e da Salinidade da Água para o Município de São João do Tigre

Nº	Altitude (m)	Latitude Sul			Longitude Oeste			Fonte de Água	CE (dSm ⁻¹)
		grau	min	seg	grau	min	seg		
1	607	8	5	44,6	36	51	51,2	AÇUDE	0,19
2	610	8	1	55,6	36	50	59,3	AÇUDE	0,22
3	563	8	2	18,4	36	49	48,5	AÇUDE	0,08
4	646	7	59	24,9	36	38	53,1	AÇUDE	0,31
5	675	8	1	34,6	36	39	15,9	AÇUDE	0,64
6	642	8	0	47,4	36	40	45,6	CACIMBA	0,52
7	629	8	1	25,8	36	41	10,6	CACIMBA	2,00
8	620	8	1	31,7	36	41	30,4	POÇO	0,93
9	606	8	2	10,2	36	43	45,8	POÇO	0,58
10	612	8	6	20,3	36	48	48,6	AÇUDE	0,09
11	638	8	7	50,4	36	46	59,6	AÇUDE	0,86
12	841	8	6	16,8	36	39	21,4	POÇO	0,79
13	970	8	6	44,9	36	38	43,2	AÇUDE	0,28
14	1096	8	8	36,1	36	42	5	AÇUDE	0,65
15	1115	8	8	57,6	36	41	37,5	CORRENTE	0,55
16	1125	8	9	3,2	36	41	38,8	AÇUDE	0,18
17	594	8	4	50,8	36	50	27,8	AÇUDE	0,09
18	569	8	2	43	36	52	3,2	AÇUDE	0,10
19	552	7	59	46,1	36	50	55,9	AÇUDE	0,10
20	525	7	59	16	36	50	45,6	CORRENTE	0,97

5.4.9. Município de São Sebastião do Umbuzeiro

Localiza-se na Microrregião do Cariri Ocidental e na Mesorregião da Borborema do Estado da Paraíba, com altitude de 594 m e área de 461 km², representando 0,81% do Estado, 0,0296% da região Nordeste e 0,005% do território brasileiro. O acesso é feito pelas rodovias BR 230, BR 110 e PB 264. O município está inserido nas Folhas SUDENE de Sertânia e Pesqueira na escala de 1:100.000 (IBGE, 2006).

O município se situa na unidade geoambiental do Planalto da Borborema, que representa a paisagem típica do semiárido nordestino caracterizada por uma superfície de pediplanação, relevo suave-ondulado, cortada por vales estreitos, com vertentes dissecadas. Também ocorrem elevações residuais, cristas e/ou outeiros, pontuam a linha do horizonte (BRASIL, 2005).

A vegetação é do tipo Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia. O clima é do tipo tropical semiárido, com chuvas de verão. O período chuvoso ocorre de novembro a maio.

As águas superficiais estão na bacia hidrográfica do Rio Paraíba, região do Alto Paraíba. Seus principais tributários são: os rios do Umbuzeiro e do Salão, além dos riachos: Cacimbas, Mão Beijada, Sant'Ana, Zabelê, Boa Vista, do Meio, da Baixa Cupira, Salgado, do Deserto, Dois Riachos, Capitimbó, Boa Sorte e do Juazeiro. O principal corpo de acumulação é o Açude Santo Antônio. Os cursos d'água têm regime de escoamento intermitente e padrão de drenagem dendrítico.

Na Tabela 26 se encontram os índices de qualidade das águas no período de chuvas de 2007, em que a RAS é expressa em $(\text{mmolL}^{-1})^{1/2}$, a dureza total (DT) em mgL^{-1} , a condutividade elétrica (CE) em dSm^{-1} e os sólidos dissolvidos totais (SDT) em mgL^{-1} , para as dezenove fontes de coleta de águas. Observa-se que 13 fontes podem causar problemas com infiltração, visto que apresentam grau severo de restrição de uso para a irrigação (Ayres e Wescot, 1999), quando combinado com os valores de RAS e CE. Outrossim, 5 fontes apresentaram grau de restrição de baixo a moderado e 1 fonte, nenhuma restrição. Com relação à dureza total, apenas a fonte 14 foi classificada como muito dura.

Tabela 26. Índices de Qualidade das Águas no Período de Chuvas de 2007, no Município de São Sebastião do Umbuzeiro

FONTES	RAS($\text{mmolL}^{-1})^{1/2}$	DT(mgL^{-1})	CE(dSm^{-1})	SDT(mgL^{-1})
1	0,37	81,00	0,13	81,92
2	0,33	53,50	0,15	74,24
3	0,49	77,50	0,18	116,48
4	0,94	72,00	0,21	136,96
5	0,39	62,50	0,13	85,12
6	2,09	171,00	0,54	345,60
7	2,00	187,50	0,62	396,80
8	5,66	262,00	0,13	83,84
9	0,09	36,00	0,06	40,32
10	0,50	37,0	0,13	80,64
11	0,63	70,00	0,18	113,28
12	0,13	28,00	0,06	35,84
13	3,22	123,50	0,42	268,80
14	7,75	562,50	2,20	1.408,00
15	0,30	81,00	0,15	98,56
16	2,00	187,50	0,52	332,80
17	0,31	70,50	0,14	88,96
18	0,22	81,00	0,13	83,20
19	0,19	54,50	0,10	62,72

5.4.10. Município de Sumé

Localiza-se na microrregião do Cariri Ocidental e na Mesorregião da Borborema, no Estado da Paraíba. Encontra-se a uma altitude de 532 m e a uma distância de 150 km de João Pessoa. O acesso é feito pelas BRS 230 e 412 (IBGE, 2006).

Nos aspectos fisiográficos se insere na unidade geoambiental do planalto da Borborema, que representa a paisagem típica do semiárido nordestino caracterizada por uma superfície de pediplanação e relevo suave-ondulado, cortada por vales estreitos, com vertentes dissecadas. Elevações residuais, cristas e/ou outeiros, pontuam a linha do horizonte (BRASIL, 2005).

A vegetação é caracterizada por Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia. O clima é do tipo tropical semiárido, com período chuvoso de novembro a abril. A precipitação média anual é de 500 mm.

As águas superficiais se situam nos domínios da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba, Região do Alto Paraíba. Os tributários são o Rio Sucuru e os riachos: riacho da Barroca, Camaúba, Feline, Pedra Comprida, Oiti, Fundo e do Xinxó.

Na Tabela 28 são apresentados os índices de qualidade das águas no período de chuvas de 2007, sendo a RAS expressa em $(\text{mmolL}^{-1})^{1/2}$, a dureza total (DT) em mgL^{-1} , a condutividade elétrica (CE) em dSm^{-1} e os sólidos dissolvidos totais (SDT) em mgL^{-1} , para as trinta fontes de coleta de águas. Observa-se que das 30 fontes pesquisadas, as águas podem causar problemas de infiltração, em virtude de apresentarem grau severo de restrição de uso para irrigação (Ayers e Westcot, 1999), quando combinadas com as dos valores da CE e RAS; águas de 14 fontes apresentam grau de restrição de uso de baixo a moderado e 7 fontes não apresentam grau de restrição de uso. Quanto à dureza total pode-se afirmar que nenhuma fonte hídrica ultrapassou $500,0 \text{ mgL}^{-1}$, valor máximo permitido (Brasil, 2004), motivo pelo qual não apresenta restrição nesse aspecto.

Tabela 28. Índices de Qualidade das Águas no Período de Chuvas de 2007, no Município de Sumé

FONTES	RAS($\text{mmol,L}^{-1})^{1/2}$	DT(mgL^{-1})	CE(dSm^{-1})	SDT(mgL^{-1})
1	1,63	125,00	0,23	148,48
2	7,62	473,00	2,04	1.305,60
3	4,94	317,50	1,32	844,80
4	5,20	270,00	1,22	780,80
5	0,97	102,50	0,25	158,72
6	0,62	206,50	0,37	233,60

7	6,70	132,50	0,80	512,00
8	2,28	193,00	0,50	320,00
9	0,50	95,50	0,15	93,44
10	0,48	91,00	0,15	93,44
11	4,05	194,52	1,16	742,40
12	2,91	368,50	1,06	678,40
13	2,23	152,50	0,50	320,00
14	0,13	76,00	0,10	66,56
15	5,77	228,50	1,22	780,80
16	0,10	75,50	0,13	82,56
17	4,66	313,50	1,35	864,00
18	1,48	125,00	0,35	220,80
19	1,68	86,00	0,25	160,00
20	0,52	73,00	0,16	104,96
21	0,74	93,50	0,21	136,96
22	3,61	317,00	1,08	691,20
23	3,67	379,50	1,28	819,20
24	0,93	75,00	0,18	115,20
25	2,11	257,00	0,69	441,60
26	2,25	202,50	0,57	364,80
27	1,47	170,00	0,40	256,00
28	0,18	100,00	0,10	61,44
29	0,53	67,00	0,10	83,20
30	0,19	86,50	0,13	82,56

O mapa da CE em relação às coordenadas geográficas é apresentado na Figura 17a notando-se que grande parte da área municipal tem águas com CE inferior a $0,7 \text{ dSm}^{-1}$, uma pequena área com águas cuja CE se encontra entre $0,7$ e $1,5 \text{ dSm}^{-1}$, e uma área pontual em que a CE é superior a $1,5 \text{ dSm}^{-1}$, mais precisamente $2,0 \text{ dSm}^{-1}$.

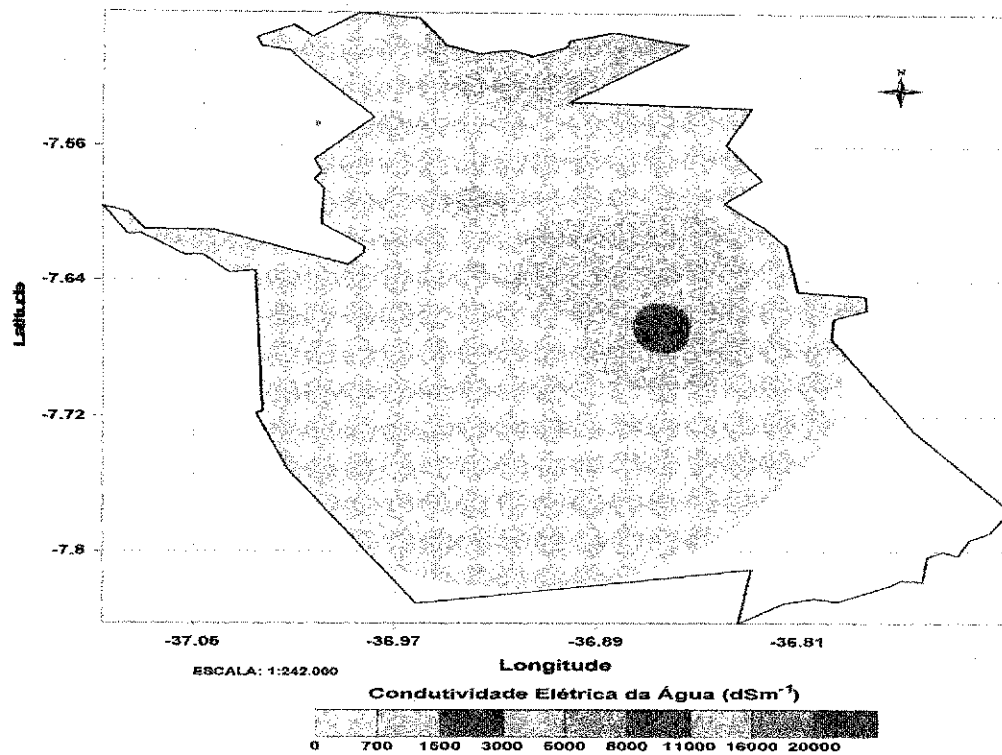


Figura 17a. Mapas de condutividade elétrica do município de Sumé

A distribuição do número de pontos georreferenciados de coleta das amostras de água do município de Sumé, é encontrada na Figura 17b. Observa-se que os pontos de coleta são distribuídos na região mais central do município, indicando que as águas de drenagem fluem para essa direção.

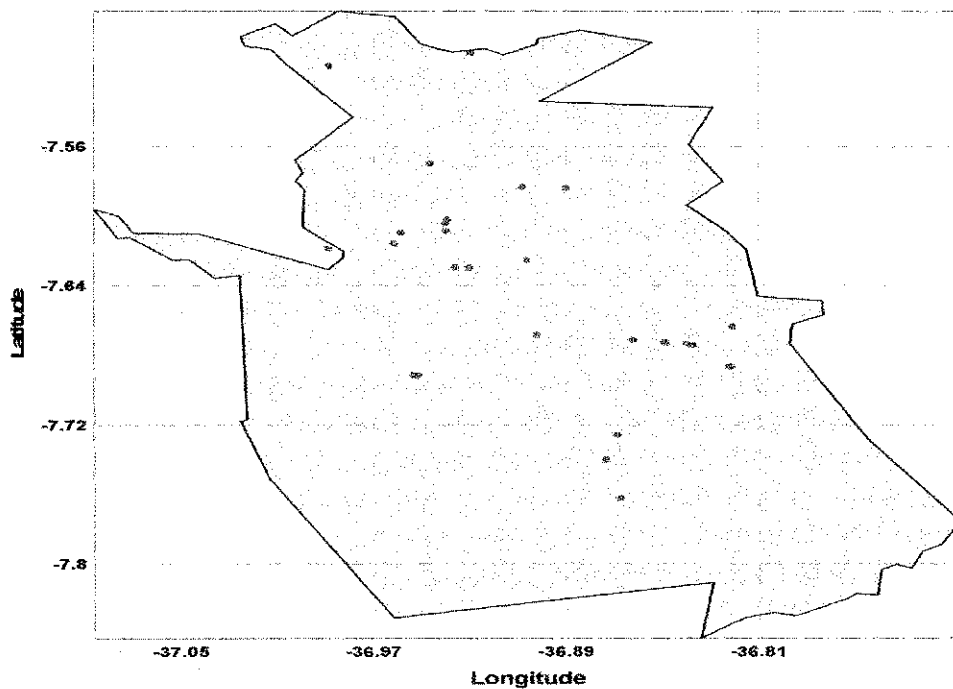


Figura 17b. Mapa das fontes de coleta de água do município de Sumé

Na Tabela 29 estão os pontos georreferenciados, as coordenadas geográficas e as CE das águas pesquisadas no município de Sumé, no período das chuvas do ano de 2007. Observa-se que 18 fontes de águas apresentam CE inferior a $0,5\text{dSm}^{-1}$; 3 fontes com CE entre 0,5 e $1,0\text{dSm}^{-1}$; 8 fontes com CE entre $1,0$ e $1,5\text{dSm}^{-1}$ e apenas 1 fonte com CE igual a $2,04\text{dSm}^{-1}$. Portanto, todas as águas são indicadas para consumo humano e animal, sem restrição de uso, com exceção da fonte cuja CE foi igual a $2,04\text{dSm}^{-1}$. As águas com CE elevadas são originadas de poços e cacimbas.

Tabela 29. Georreferenciamento dos Pontos, Tipo de Fonte e da Salinidade da Água para o Município de Sumé

Nº	Altitude (m)	Latitude Sul			Longitude Oeste			Fonte de Água	CE (dSm^{-1})
		grau	min	seg	grau	min	seg		
1	526	7	39	49,2	36	49	16,2	AÇUDE	0,23
2	518	7	40	16,8	36	51	44,4	CACIMBA	2,04
3	522	7	40	22	36	50	55,6	POÇO	1,32
4	520	7	40	21	36	50	58,7	POÇO	1,22
5	510	7	41	12,1	36	49	18,5	POÇO	0,25
6	496	7	41	12	36	49	20,9	POÇO	0,37
7	556	7	37	45,8	36	56	10,3	POÇO	0,80
8	554	7	37	47,9	36	55	50	POÇO	0,50
9	564	7	37	46	36	55	50,1	AÇUDE	0,15
10	571	7	36	29,5	36	56	24,1	AÇUDE	0,15
11	573	7	36	7	36	56	22,4	AÇUDE	1,16
12	573	7	36	14,7	36	56	25,4	POÇO	1,06
13	589	7	34	11	36	56	47,5	AÇUDE	0,50
14	663	7	30	49,1	36	59	18,9	AÇUDE	0,10
15	682	7	30	22,1	36	55	46,9	AÇUDE	1,22
16	592	7	34	59,3	36	54	30,4	AÇUDE	0,13
17	541	7	37	31,2	36	54	23,7	AÇUDE	1,35
18	574	7	35	2,2	36	53	24,7	AÇUDE	0,34
19	579	7	36	33,9	36	57	31,2	AÇUDE	0,25
20	570	7	36	56,9	36	57	41,8	AÇUDE	0,16
21	568	7	37	6,4	36	59	20,4	AÇUDE	0,21
22	519	7	40	27,6	36	50	14,5	POÇO	1,08
23	518	7	40	24,9	36	50	23,5	POÇO	1,28
24	539	7	41	28,8	36	57	12,7	CORRENTE	0,18
25	535	7	41	29,9	36	57	6,6	POÇO	0,69
26	540	7	41	30,7	36	57	8	POÇO	0,57
27	536	7	40	5,6	36	54	9,4	AÇUDE	0,40
28	534	7	43	33,2	36	52	8,6	AÇUDE	0,09
29	535	7	44	24,5	36	52	25,1	AÇUDE	0,13
30	542	7	45	44,3	36	52	3,6	AÇUDE	0,13

5.4.11. Município de Zabelê

Localiza-se na Microrregião do Cariri Ocidental e na Mesorregião da Borborema no Estado da Paraíba. Possui extensão territorial de 109 km², sendo 0,19% do Estado, 0,007% da região Nordeste e 0,0013% do território brasileiro. A sede do município está a 632 m de altitude. O acesso ocorre pelas rodovias BR 230, BR 110 e PB 264. Está inserido na Folha SUDENE de Sertânia, na escala de 1:100.000 (IBGE, 2006).

Inserese na unidade geoambiental do Planalto da Borborema, que representa a paisagem típica do semiárido nordestino caracterizada por uma superfície de pediplanação e relevo suave-ondulado, cortada por vales estreitos, com vertentes dissecadas e elevações residuais, cristas e/ou outeiros que pontuam a linha do horizonte (CPRM, 2005). Para Brasil (2005), a vegetação é composta por Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia. O clima é do tipo tropical semiárido, com chuvas de verão. O período chuvoso é de novembro a abril, com precipitação média anual de 450 mm.

As águas superficiais estão localizadas nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Paraíba, região do Alto Paraíba. Seus tributários são os riachos: do Fernando, Tanques, Zabelezinho, Sant'Ana, Papagaio, Mão Beijada e Zabelê. Os principais corpos de acumulação são os açudes Santa Luzia e São Domingos. Os cursos d'água no município têm regime de escoamento intermitente e padrão de drenagem dendrítico (CPRM, 2005).

Na Tabela 30 são apresentados os índices de qualidade das águas no período de chuvas de 2007, onde a relação de adsorção de sódio (RAS) é expressa em $(\text{mmolL}^{-1})^{1/2}$, a dureza total (DT) em mgL^{-1} , a condutividade elétrica (CE) em dSm^{-1} e sólidos dissolvidos totais (SDT) em mgL^{-1} , para as dezessete fontes de coleta de águas. Observa-se que as águas de 12 fontes (1,2,5,7,8,11,12,13,14,15,16,17) podem causar problemas de infiltração por apresentarem grau de restrição de uso severo (Ayers e Westcot, 1999), considerando-se os valores de RAS e CE; águas de 3 fontes apresentam grau de restrição de uso de baixo a moderado (fontes 3,4 e 6) e águas de 2 fontes não apresentam qualquer restrição de uso para irrigação (fontes 9 e 10). Quanto à dureza total apenas a fonte 4 (poço amazonas) localizado no Sítio Sussuarana, apresentou restrição de uso, de acordo com o padrão de aceitabilidade para consumo humano ($500,0 \text{ mgL}^{-1}$) do Ministério da Saúde (Brasil, 2004). As demais águas não apresentaram restrição de uso para irrigação não provocando, portanto, incrustação nas tubulações.

Tabela 30 - Índices de Qualidade das Águas no Período de Chuvas de 2007 no Município de Zabelê

FONTES	RAS($\text{mmol}_e\text{L}^{-1})^{1/2}$	DT(mgL^{-1})	CE(dSm^{-1})	SDT(mgL^{-1})
1	0,09	86,00	0,13	80,64
2	0,24	92,50	0,14	88,32
3	0,51	107,00	0,21	136,96
4	2,26	592,50	1,46	934,40
5	0,41	78,50	0,15	94,08
6	2,57	147,00	0,45	291,20
7	0,32	93,00	0,18	114,56
8	0,45	95,50	0,13	81,92
9	1,08	310,00	1,20	768,00
10	0,60	104,50	0,22	140,80
11	0,16	85,00	0,12	74,24
12	0,06	97,50	0,10	61,44
13	0,34	85,50	0,14	88,32
14	0,13	88,00	0,14	90,88
15	0,06	57,50	0,09	55,04
16	0,03	77,50	0,11	70,40
17	0,22	96,00	0,16	102,40

O mapa do município com a distribuição das CE das fontes hídricas pesquisadas é apresentado na Figura 18a . Observa-se que em quase todo o município as fontes hídricas apresentam CE inferior a $0,7 \text{ dSm}^{-1}$, com exceção de uma pequena área, em que a CE varia de $0,7$ a $1,5 \text{ dSm}^{-1}$. No entanto, deve-se considerar que a pesquisa foi realizada no período de inverno, quando as águas são diluídas pela precipitação pluviométrica reduzindo a condutividade elétrica.

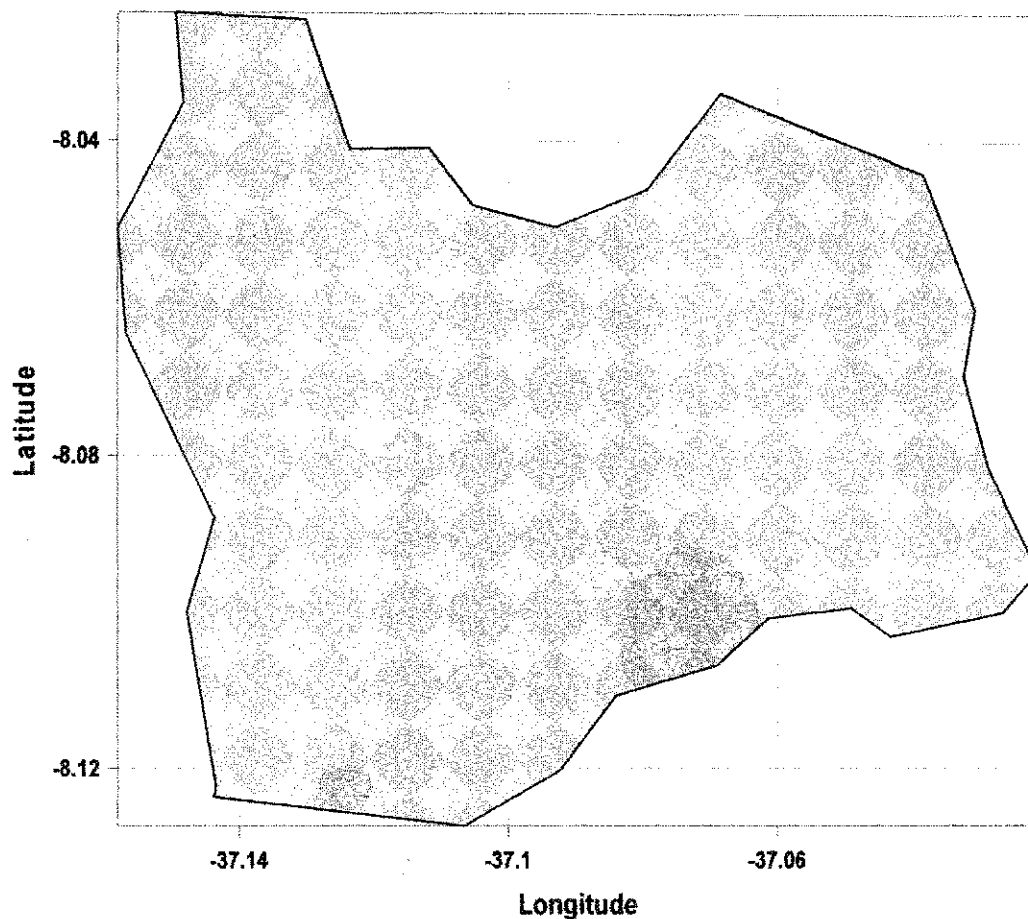


Figura 18 a. Mapas de condutividade elétrica do município de Zabelê

Observa-se, na Figura 18b, que o número de pontos georreferenciados das fontes hídricas em Zabelê foi distribuído com maior intensidade no sul do município, seguido de localidades ao noroeste. A disposição dos pontos no mapa indica o sentido e a direção do fluxo de drenagem da região.

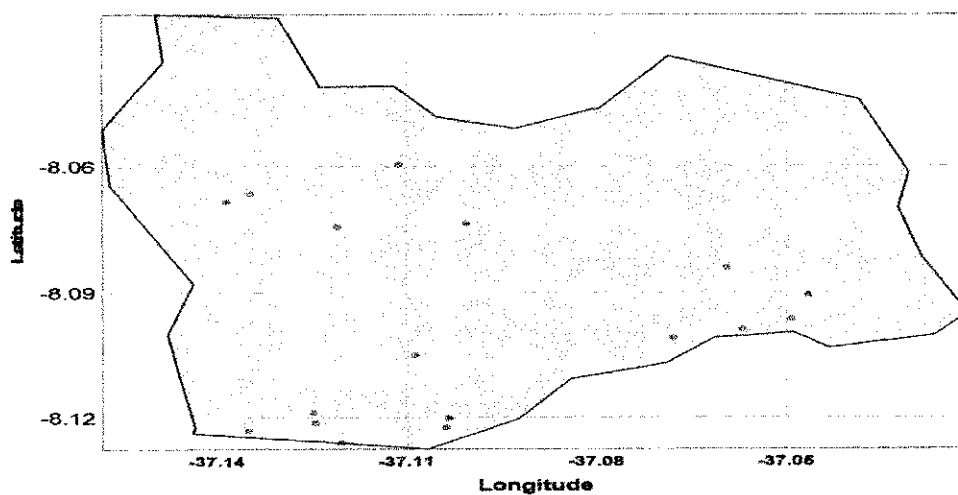


Figura 18b. Mapa das fontes de coleta de água do município de Zabelê

Na Tabela 31 se encontram os pontos georreferenciados, as coordenadas geográficas e as CE das águas pesquisadas no município de Zabelê, no período das chuvas do ano de 2006. Observa-se que 15 fontes hídricas (açudes) apresentam CE inferior a $0,7 \text{ dSm}^{-1}$ e 2 fontes (poços) com CE variando entre $0,7$ a $1,5 \text{ dSm}^{-1}$. Portanto, todas as águas analisadas se prestam para atividades agrícolas, consumo humano e animal, sem restrição de uso, com exceção das águas com CE $1,20 \text{ dSm}^{-1}$ e $1,46 \text{ dSm}^{-1}$ para o consumo humano.

Tabela 31. Georreferenciamento dos Pontos, Tipo de Fonte e da Salinidade da Água para o Município de Zabelê

Nº	Altitude (m)	Latitude Sul			Longitude Oeste			Fonte de Água	CE (dSm^{-1})
		grau	min	seg	grau	min	seg		
1	649	8	4	24,8	37	6	2,2	AÇUDE	0,13
2	637	8	6	18,2	37	6	31,5	AÇUDE	0,14
3	648	8	7	7,5	37	7	29,1	AÇUDE	0,21
4	652	8	7	16,3	37	7	28,3	POÇO	1,46
5	655	8	7	23,1	37	8	6,5	AÇUDE	0,15
6	640	8	7	33,5	37	7	13,6	POÇO	0,45
7	638	8	7	20,3	37	6	13,8	AÇUDE	0,18
8	633	8	7	12,2	37	6	12,3	AÇUDE	0,13
9	611	8	6	3,1	37	4	4,6	POÇO	1,20
10	651	8	3	34,3	37	6	40,3	AÇUDE	0,22
11	654	8	4	27,9	37	7	15,3	AÇUDE	0,12
12	657	8	3	59,1	37	8	4,9	AÇUDE	0,10
13	664	8	4	6,1	37	8	18,6	AÇUDE	0,14
14	620	8	5	3,2	37	3	34	AÇUDE	0,14
15	625	8	5	26,8	37	2	47,4	AÇUDE	0,09
16	620	8	5	47,2	37	2	57,2	AÇUDE	0,11
17	624	8	5	55,7	37	3	24,9	POÇO	0,16

5.4.12. Classificação das Fontes Hídricas Utilizando-se Análise Multivariada

Técnicas de análise fatorial dos componentes principais e de agrupamento foram aplicadas ao conjunto de 11 variáveis de qualidade das águas dos municípios da região do Alto Paraíba.

A partir da análise de correlação aplicada às variáveis de qualidade das águas, observou-se que a maioria é fortemente correlacionada com alta significância ($P \leq 0,01$). Nessas análises foram considerados somente três fatores (Tabela 32), para não se obter variáveis fatoriais com percentuais de explicação da variância total muito baixos, porém, a

variância total acumulada obtida no período pesquisado (de chuvas do ano de 2007) foi elevada.

Tabela 32. Cargas Fatoriais e Comunalidades Finais para as Variáveis de Qualidade das Águas Analisadas na Região do Alto Paraíba no Período de Chuvas do ano de 2007

Variáveis	SALINIDADE	ALCALINIDADE	TOXICIDADE	CF (%) [*]
Dureza Total	0.979	-0.08560	-0.12174	98,17
Ca	0.954	-0.16423	-0.18204	96,98
Sólidos dissolvidos Totais	0.941	0.25710	0.18377	98,52
Na	0.934	0.26129	0.18602	97,55
HCO ₃	0.06346	0.93514	0.22791	93,05
Cl	0.21377	0.84302	0.29133	84,12
RAS	0.67378	0.54855	0.33961	87,02
pH	0.06784	-0.61868	0.34994	50,98
Mg	0.45065	0.17263	0.33883	34,77
CO ₃	-0.21557	-0.00584	0.92454	90,13
K	0.25067	0.19209	0.50224	35,19
σ (%)**	40,4	22,7	15,6	
σ_{Λ} (%)***	40,4	63,1	78,7	

* Comunalidade Final), ** Variância, *** Variância acumulada

A análise em componentes principais aplicada aos dados de qualidade das águas obtidos no período das chuvas do ano 2007, condensou as variáveis analisadas em três fatores, explicando 78,7% da variância total. Fator 1: componente de salinidade; Fator 2: componente de alcalinidade e Fator 3: toxicidade, nesta ordem de prioridade.

O Fator 1 (Salinidade) foi responsável por 40,4% desta variância. As variáveis com maior carga fatorial no Fator 1 foram: dureza total (0,979), cálcio (0,954), sólidos dissolvidos totais (0,941) e sódio (0,934) e, embora algumas outras variáveis também apresentem forte relação com este fator, dado aos altos valores das cargas fatoriais e das comunalidades finais, esta representa o quanto da variância da variável é reproduzida pelos fatores comuns (Tabela 32).

O Fator 2 (Alcalinidade) responde por 22,7% da variância total. As variáveis com maior carga fatorial no Fator 2 foram: HCO₃ (93,05%), cloreto (84,12%) e relação de adsorção de sódio- RAS (87,02%), variável esta relacionada com a infiltração da água no solo.

Finalmente, o Fator 3 (Toxicidade) respondendo por 15,6% da variância total está influenciado pela presença de íons de carbonato- CO_3 e potássio-K, com (0,92454 e 0,50224) de carga fatorial, respectivamente, elementos esses relacionados aos nutrientes presentes nas águas.

A análise de agrupamento aplicada aos dados de qualidade das águas permitiu agrupar os municípios em quatro grupos distintos, G1, G2, G3 e G4, de acordo com as similaridades e dissimilaridades entre eles, conforme é apresentado na Figura 18. As similaridades entre municípios são representadas na Figura 18, pelas ramificações dos ramos da árvore (dendograma).

Dendograma de agrupamento dos Municípios da região do Alto Paraíba obtido através da Análise de Cluster

Agrupamento de Município

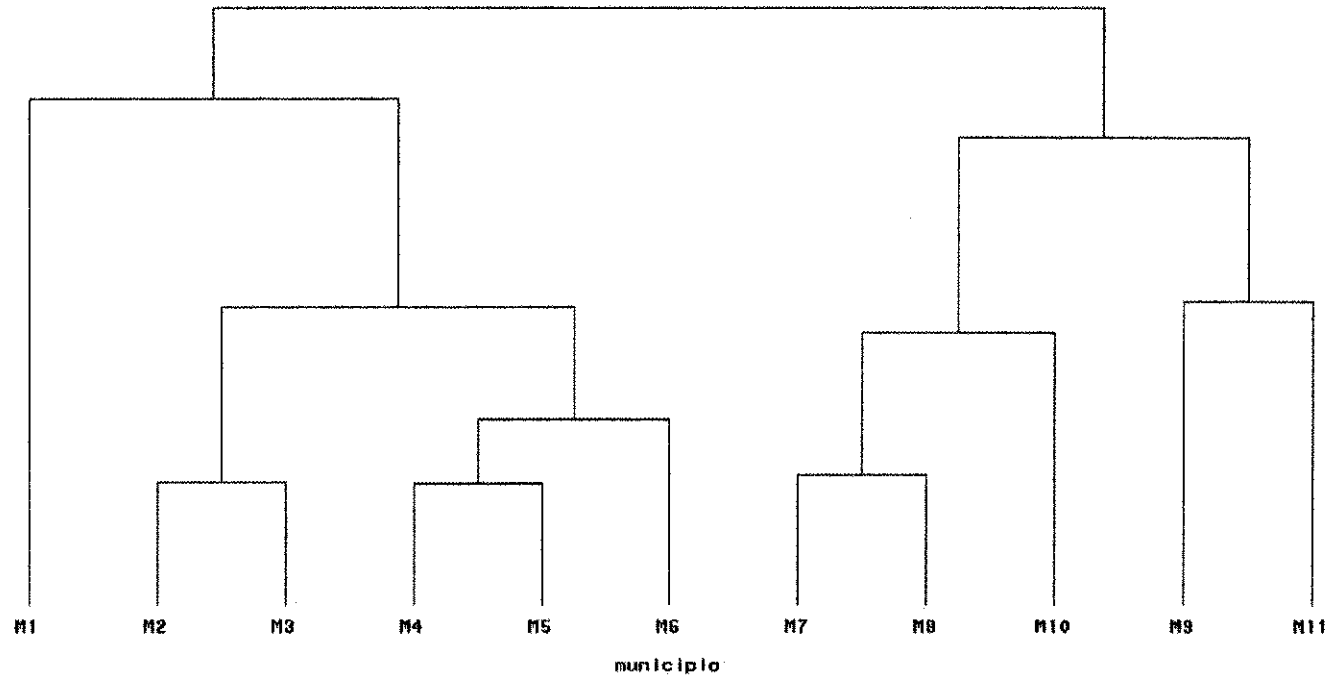


Figura 19. Dendograma de agrupamento dos Municípios da região do Alto Paraíba obtido através da Análise de Cluster

M1- Congo
M6- Sumé
M11- Amparo

M2- Monteiro
M7- Prata

M3- São Sebastião de Umbuzeiro
M8- Ouro velho

M4- São João do Tigre
M9- Zabelê

M5- Camalaú
M10- Barra de São Miguel

O grupo G1 é formado pelo município do Congo (M1).

O grupo G2, pelos municípios de Monteiro e São Sebastião de Umbuzeiro (M2 e M3), caracterizado pelo alto grau de similaridade entre municípios relacionados às suas variáveis, conforme observado na Figura 17.

O grupo G3 concentra os municípios de São João do Tigre, Camalaú e Sumé (M4+M5+M6), cuja distinção em relação ao grupo G2 é refletida pelo alto grau de dissimilaridade entre suas variáveis; no entanto apresentam, entre si, uma substancial **similaridade intragrupo**.

O grupo G4 concentra os municípios de Prata, Ouro Velho e Zabelê (M7+M8+M10), sendo que a similaridade entre os dois primeiros é demonstrada pela distância mínima entre suas variáveis, enquanto o município de Zabelê, com baixo grau de similaridade, é refletido pelas concentrações de Mg, Na, Cl, RAS e DT.

Por último, o grupo G5, constituído pelos municípios de Barra de São Miguel e Amparo, caracterizado pela elevada distância mínima em relação ao Grupo G1, consequência da salinidade de suas águas.

A análise das amostras de fontes hídricas aplicada aos dados de qualidade das águas referente ao período das chuvas do ano de 2006 na região do alto Paraíba, permitiu classificá-las em quatro classes distintas, obtendo-se valores médios das variáveis para cada classe. Em função desses valores e se tendo, como base, a concentração de sais na água, representada pelos sólidos dissolvidos totais (SDT), as classes foram hierarquizadas, em ordem crescente do valor médio de cada classe: Classe C1, Classe C2, Classe C3 e Classe C4, para padronizar a classificação.

A Classe C1, considerada de melhor qualidade das águas, foi formada por 98 fontes hídricas (Quadro 2), correspondendo a 57,5% das fontes. Nesta classe o valor médio de Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) foi de 86,61 mg.L⁻¹. A Classe C2 foi formada por 40 fontes hídricas (Quadro 3) correspondendo a 23,5% das fontes. Nesta classe, o valor médio dos sólidos dissolvidos totais (SDT) foi de 315,81 mg.L⁻¹. Na sequência, a Classe C3 concentra 30 fontes hídricas (Quadro4), o equivalente a 17% do total de fontes analisadas e os sólidos dissolvidos totais apresentaram uma média de 764,25 mg.L⁻¹. Por último, a Classe C4 com apenas 3 fontes hídricas (Quadro5), cuja média dos sólidos dissolvidos totais foi de 3.782,4 mg.L⁻¹.

Quadro 2. Fontes hídricas em que os sólidos dissolvidos totais (SDT) apresentaram média de 86,61 mg L⁻¹, constituindo a classe C1

MUNICÍPIO	PROPRIEDADE	TIPO DE FONTE	Classe
CONGO	SÍTIO SALINA	AÇUDE	C1
CONGO	SÍTIO RIACHÃO	AÇUDE	C1
CONGO	SÍTIO LAGOA DO JUAZEIRO	AÇUDE	C1
CONGO	FAZENDA TAPERA	AÇUDE	C1
MONTEIRO	SÍTIO ANGIQUINHO	AÇUDE	C1
MONTEIRO	SÍTIO ANGIQUINHO	AÇUDE	C1
MONTEIRO		AÇUDE	C1
MONTEIRO	SÍTIO DO MEIO	AÇUDE	C1
MONTEIRO	PANASTICO	AÇUDE	C1
MONTEIRO	FAZENDA JATOBÁ	AÇUDE	C1
MONTEIRO		AÇUDE	C1
MONTEIRO		AÇUDE	C1
MONTEIRO	FAZENDA CARNAUBINHA	AÇUDE	C1
MONTEIRO		AÇUDE	C1
MONTEIRO	FAZENDA INUMAR	AÇUDE	C1
MONTEIRO	COMUNIDADE JOSÉ GOMES	AÇUDE	C1
MONTEIRO	SÍTIO VARZEA LIMPA	AÇUDE	C1
MONTEIRO	SÍTIO VARZEA LIMPA	AÇUDE	C1
MONTEIRO	SÍTIO BARRO VERMELHO	AÇUDE	C1
S. S.UMBUZ.		AÇUDE	C1
S. S.UMBUZ.	SÍTIO JARDIM	AÇUDE	C1
S. S.UMBUZ.	ASSENT. ESTRELA D'ALVA	AÇUDE	C1
S. S.UMBUZ.	SÍTIO RAMADA	AÇUDE	C1
S. S.UMBUZ.	FAZENDA PITOMBA	AÇUDE	C1
S. S.UMBUZ.	CACIMBÃO DE AGENOR	ÁGUA CORRENTE	C1
S. S.UMBUZ.		AÇUDE	C1
S. S.UMBUZ.	SÍTIO LUA BONITA	AÇUDE	C1
S. S. UMBUZEIRO		AÇUDE	C1
S. S.UMBUZ.	SÍTIO BALANÇA	AÇUDE	C1
S. S.UMBUZ.	AÇUDE DA EMERGENCIA	AÇUDE	C1
S. S.UMBUZ.	SÍTIO DESERTO	AÇUDE	C1
S. S.UMBUZ.		AÇUDE	C1
S. S.UMBUZ.	AÇUDE II	AÇUDE	C1
S. J. DO TIGRE	AÇUDE PÚBLICO (NOVO)	AÇUDE	C1
S. J. DO TIGRE	CIDADE	AÇUDE	C1

S. J. DO TIGRE	SÍTIO AÇUDINHO	AÇUDE	C1
S. J. DO TIGRE	SÍTIO CAPIM GROSSO	AÇUDE	C1
S. J. DO TIGRE	AÇUDE ÁGUA AZIL	AÇUDE	C1
S. J. DO TIGRE		AÇUDE	C1
S. J. DO TIGRE	SÍTIO CORREDOR	AÇUDE	C1
CAMALAU	AÇUDE NOVO	AÇUDE	C1
CAMALAU	AÇUDE DA CACHOEIRINHA	AÇUDE	C1
CAMALAU	SÍTIO PALMATÓRIA	AÇUDE	C1
CAMALAU	SÍTIO RAJADA	AÇUDE	C1
CAMALAU	SÍTIO DO MEIO	AÇUDE	C1
CAMALAU	SÍTIO SALGADINHO	AÇUDE	C1
SUMÉ	FAZENDA JACU	AÇUDE	C1
SUMÉ	PERÍMETRO IRRIGADO - LOTE 43	POÇO AMAZONAS	C1
SUMÉ	FAZENDA SHALON	AÇUDE	C1
SUMÉ	SITIO GREGÓRIO	AÇUDE	C1
SUMÉ	FAZENDA MATA	AÇUDE	C1
SUMÉ	GROTA FUNDA	AÇUDE	C1
SUMÉ	MACAMBIRA	AÇUDE	C1
SUMÉ	MACAMBIRA	AÇUDE	C1
SUMÉ	RIACHO DA ROÇA	AÇUDE	C1
SUMÉ	SITIO PITOMBEIRA (BACIA DO AÇUDE)	RIO TEMPORÁRIO	C1
SUMÉ	PINHÕES	AÇUDE	C1
SUMÉ	BRAVA	AÇUDE	C1
SUMÉ	SINCHO	AÇUDE	C1
PRATA		AÇUDE	C1
PRATA		AÇUDE	C1
PRATA		AÇUDE	C1
PRATA		AÇUDE	C1
PRATA		AÇUDE	C1
PRATA		AÇUDE	C1
OURO VELHO	BOA VISTA DOS NUNES	AÇUDE	C1
OURO VELHO		POÇO AMAZONAS	C1
OURO VELHO	BOA VISTA DO ZUZA*	AÇUDE	C1
OURO VELHO		AÇUDE	C1
OURO VELHO		AÇUDE	C1
BARRA S. MIGUEL		AÇUDE	C1
BARRA DE SÃO MIGUEL		AÇUDE	C1

BARRA DE SÃO MIGUEL	MULUNGU DOS PINTOS	AÇUDE	C1
BARRA DE SÃO MIGUEL	MULUNGU PINTO	AÇUDE	C1
BARRA DE SÃO MIGUEL	MULUNGU PINTO	AÇUDE	C1
BARRA DE SÃO MIGUEL	PEDRA D'ÁGUA	AÇUDE	C1
BARRA DE SÃO MIGUEL	SÍTIO ÁGUA BRANCA	AÇUDE	C1
BARRA DE SÃO MIGUEL	SÍTIO ARRUDA	AÇUDE	C1
BARRA DE SÃO MIGUEL	MALHADA	AÇUDE	C1
BARRA DE SÃO MIGUEL	SÍTIO GABRIEL	AÇUDE	C1
ZABELÊ		AÇUDE	C1
ZABELÊ		AÇUDE	C1
ZABELÊ	SÍTIO SUSSUARANA	AÇUDE	C1
ZABELÊ	SÍTIO DIVISÃO	AÇUDE	C1
ZABELÊ	FAZENDA SANTA LUZIA	AÇUDE	C1
ZABELÊ	FAZENDA SANTA LUZIA	AÇUDE	C1
ZABELÊ		AÇUDE	C1
ZABELÊ		AÇUDE	C1
ZABELÊ	SÍTIO ZABELEZINHO	AÇUDE	C1
ZABELÊ	FAZENDA ZABELEZINHO	AÇUDE	C1
ZABELÊ	SÍTIO BARREIROS	AÇUDE	C1
ZABELÊ	SÍTIO BELÉM	AÇUDE	C1
ZABELÊ	SÍTIO BELÉM	AÇUDE	C1
ZABELÊ	BARREIRA	POÇO AMAZONAS	C1
AMPARO	SITIO LAGOA DO MEIO	AÇUDE	C1
AMPARO	BOA VISTA	AÇUDE	C1
AMPARO	SITIO JATOBÁ	AÇUDE	C1

Quadro 3. Fontes hídricas em que os sólidos dissolvidos totais (SDT) apresentaram média de 315,81 mg L⁻¹, constituindo a classe C2

MUNICÍPIO	PROPRIEDADE	TIPO DE FONTE	Classe
CONGO3		ÁGUA CORRENTE	C2
MONTEIRO	SÍTIO ANGIQUINHO	AÇUDE	C2
MONTEIRO4		AÇUDE	C2
MONTEIRO	PÚBLICO	AÇUDE	C2
MONTEIRO	PÚBLICO	AÇUDE	C2
MONTEIRO	PÚBLICO	AÇUDE	C2
MONTEIRO	SÍTIO SANTANA	POÇO AMAZONAS	C2
MONTEIRO	FAZENDA JATOBÁ	AÇUDE	C2
MONTEIRO	POÇÕES	AÇUDE	C2
S. S. UMBUZ.	FAZENDA PITOMBA	POÇO AMAZONAS	C2
S. S. UMBUZ.	FAZENDA SALGADO	AÇUDE	C2
S. S. UMBUZ.	SÍT. SANTO ANTÔNIO	POÇO AMAZONAS	C2
S. S. UMBUZ.	AÇUDE PÚBLICO SANTOANTONIO	AÇUDE	C2
S. S. UMBUZ.	COMUNIDADE CACIMBINHA	AÇUDE	C2
S. S. UMBUZ.	SÍTIO MULUNGU	AÇUDE	C2
S. S. UMBUZ.	CACIMBA NOVA	CACIMBA	C2
S. S. UMBUZ.	SÍTIO ANGIQUINHO	POÇO AMAZONAS	C2
S. S. UMBUZ.	AÇUDE SANTA MARIA	AÇUDE	C2
S. S. UMBUZ.	AÇUDE DO QUATI	AÇUDE	C2
S. S. UMBUZ.	SÍTIO CAPIM GROSSO	ÁGUA CORRENTE	C2
CAMALAÚ	AÇUDE JOVENCIO	AÇUDE	C2
CAMALAÚ	SÍTIO DO MEIO	CACIMBA	C2
CAMALAÚ	SÍTIO DO MEIO	CACIMBA	C2
CAMALAÚ	SÍTIO ROÇA VELHA	POÇO AMAZONAS	C2
CAMALAÚ		AÇUDE	C2
CAMALAÚ	AÇUDE IPUEIRAS	AÇUDE	C2
SUMÉ6	PERÍM. IRRIG. - LOTE 42	POÇO AMAZONAS	C2
SUMÉ8	FAZENDA SHALON	POÇO AMAZONAS	C2
SUMÉ13	SÍTIO DA BANANEIRA	AÇUDE	C2
SUMÉ17	PASSAGEM RASA I E II	AÇUDE	C2
SUMÉ24	SÍTIO PITOMBEIRA (BACIA DO AÇUDE)	POÇO AMAZONAS	C2
SUMÉ25	SÍTIO PITOMBEIRA (BACIA DO AÇUDE)	POÇO AMAZONAS	C2
SUMÉ26		AÇUDE	C2
PRATA4		AÇUDE	C2
PRATA	SÍTIO SÃO FRANCISCO	POÇO AMAZONAS	C2
PRATA	RIACHO DA PRATA	POÇO AMAZONAS	C2
ZABELÊ	SÍTIO SUSSUARANA	POÇO AMAZONAS	C2

ZABELÊ	SÍTIO POÇO ESCURO	AÇUDE	C2
ZABELÊ	ZONA URBANA	POÇO AMAZONAS	C2
ZABELÊ	LOGRADOURO	AÇUDE	C2

Quadro 4. Fontes hídricas em que os sólidos dissolvidos totais (SDT) apresentaram média de 764,25 mg L⁻¹, constituindo a classe C3

MUNICÍPIO	PROPRIEDADE	TIPO DE FONTE	Classe
MONTEIRO	PASSAGEM MOLHADA	ÁGUA CORRENTE	C3
MONTEIRO	FAZENDA QUIXABEIRA	AÇUDE	C3
MONTEIRO	SÍTIO BATISTA	POÇO AMAZONAS	C3
S.S.UMBUZEIRO	SÍTIO SANTO ANTÔNIO	ÁGUACORRENTE	C3
S.J. DO TIGRE	SÍTIO RONCADEIRA	CACIMBA	C3
S.J. DO TIGRE	CACIMBA NOVA	POÇO AMAZONAS	C3
S.J. DO TIGRE	SÍTIO VERMELHÃO	AÇUDE	C3
S.J. DO TIGRE	SÍTIO SANTA MARIA	POÇO AMAZONAS	C3
S.J. DO TIGRE	COMUNIDADE PASSAGEM	ÁGUA CORRENTE	C3
CAMALAUÁ	SÍTIO BARAÚNAS	POÇO AMAZONAS	C3
CAMALAUÁ	SÍTIO SALGADINHO	POÇO AMAZONAS	C3
SUMÉ	PERÍMETRO IRRIGADO - LOTE 13	CACIMBA	C3
SUMÉ	PERÍM. IRRIG. - LOTE	POÇO AMAZONAS	C3
SUMÉ	PERÍMETRO IRRIGADO	POÇO AMAZONAS	C3
SUMÉ	PEDRA D'ÁGUA DE CIMA	POÇO AMAZONAS	C3
SUMÉ	FAZENDA GREGÓRIO	AÇUDE	C3
SUMÉ	FAZENDA GREGÓRIO	POÇO AMAZONAS	C3
SUMÉ	OLHO D'ÁGUA BRANCO	AÇUDE	C3
SUMÉ	FAZENDA LAGOA DA COBRA	AÇUDE	C3
SUMÉ	PERÍMETRO IRRIGADO - LOTE 25	POÇO AMAZONAS	C3
SUMÉ	PERÍMETRO IRRIGADO - LOTE 25	POÇO AMAZONAS	C3

BARRA S. MIGUEL	AÇUDE DO "BIXIM"	AÇUDE	C3
BARRA S. MIGUEL	BARRA VELHA	AÇUDE	C3
ZABELÊ	SÍTIO SUSSUARANA	POÇO AMAZONAS	C3
ZABELÊ		POÇO AMAZONAS	C3
AMPARO	FAZENDA CAIÇARA NOVA	AÇUDE	C3
AMPARO	SÍTIO JATOBÁ	POÇO AMAZONAS	C3
AMPARO	AÇUDE OLHO D'ÁGUA DOS CABOCLOS	AÇUDE	C3

Quadro 5. Fontes hídricas em que os sólidos dissolvidos totais (SDT) apresentaram média de 86,61 mg L⁻¹, constituindo a classe C4

MUNICÍPIO	PROPRIEDADE	TIPO DE FONTE	Classe
MONTEIRO	ASSENTAMENTO	AÇUDE	C4
BARRA DE SÃO MIGUEL		ÁGUA CORRENTE	C4
AMPARO	SÍTIO AMPARO	POÇO AMAZONAS	C4

6.0. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados da qualidade das águas superficiais e subsuperficiais da sub-bacia hidrográfica da região do Alto Curso do Rio Paraíba, concluiu-se que:

- do total de 170 amostras analisadas 80% das fontes hídricas pesquisadas apresentaram excelente qualidade de água, de acordo com os limites permitidos para consumo humano, irrigação e consumo animal;
- a sobreposição dos mapas municípios x salinidade permite identificar, através dos pontos georreferenciados, as áreas com águas salinas ou não salinas orientando nas futuras construções de obras hidráulicas;
- os efeitos antrópicos sobre a qualidade das águas da sub-bacia hidrográfica do Alto Paraíba não foram significativos em nível de municípios.
- a análise fatorial em componentes principais permitiu classificar as variáveis de maior significância na qualidade das águas, priorizando aquelas relacionadas com salinidade, enquanto a análise de agrupamento classificou os municípios em cinco grupos, definidos em função do grau de similaridade ou dissimilaridade entre suas variáveis;
- como recomendações para trabalhos futuros na sub-bacia hidrográfica do Alto Curso do 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 sub-bacia hidrográfica do alto curso do rio Paraíba, deve ser usado como instrumento para controlar e evitar contaminações futuras, tanto nos aspectos dos recursos hídricos como nos solos;
- recomenda-se a repetição desta pesquisa nos mesmos pontos georreferenciados a fim de que se possa fazer comparação com respeito à variação temporal da salinidade.

7.0. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Dados Sobre Perímetro e Geoprocessamento**. 2006. Disponível em: <http://geo.aesa.pb.gov.br/>. Acessado em 10-08-2010.
- AGUILERA, P. A.; CASTRO, H.; RESCIA, A.; SCHMITZ, M. F. Methodological development of an index of coastal water quality: application in a tourist area. **Environmental management**, New York, v. 27, n. 2, p. 295-301, 2001.
- ANAIS XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, abril 2005, INPE, p. 2511-2518. Disponível em: marte.dpi.inpe.br Acessado em 07-08-2010.
- ANDRADE, T. A. Métodos estatísticos e econométricos aplicados à análise regional. In: HADDAD, P. R.; FERREIRA, C. M. de C.; BOISIER, S.; ANDRADE, T. A. (Ed.). **Economia regional: teorias e métodos de análise**. Fortaleza: BNB-ETENE, 1989. p. 427-507.
- ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica. Ministério das Minas e Energia. **Bacias Hidrográficas do Brasil**. 2006. Acessado em: 07-08-2010. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/107.htm>.
- ANGELO, H. **A cobertura florestal na propriedade rural: um método de análise**. Curitiba: UFPR, 1985. 84p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, 1985.
- AYERS, R.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. “Water Quality for Agriculture”. FAO. Tradução Gheyi. H. R. & Medeiros, JF de, UFPB. Campina Grande-PB, 217p. 1999.
- BIGGAR, J. W.; ROLSTON, D. E. e NIELSEN, D. R. **Transformation of salinity by water**. Clif. Agric., 38(10):10-1, 1984.

- BRANCO, S. M. **Hidrobiologia Aplicada À Engenharia Sanitária**. 3ª Ed. São Paulo, CETESB/ASCETESB, 1986. 640p.
- BROWN, L.; FLAVIN, C.; FRENCH, H. **Estado do mundo 2000**. Tradução H. MALLET. Salvador: UMA Editora, 2000. 288 p.
- BUSSAB, W. de O.; MIAZAKI, E. S.; ANDRADE, D. F. de. **Introdução à análise de agrupamentos**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA. São Paulo: ABE, 1990. 106 p.
- CEBALLOS, B. S. O. **Microbiologia Sanitária**. In: Lagoas de Estabilização e Aeradas Mecanicamente. 2001.
- CEDRAZ, M. Gestão de recursos hídricos em regiões semiáridas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL CYTED-XVII, 2., 2002, Salvador, BA. **Resumos...** Salvador:
- CERH - PB. Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba. Governo da Paraíba. 2004. **Proposta de instituição do comitê das bacias hidrográficas do litoral sul**.
- CHRISTOFIDIS, D. Os recursos hídricos e a prática da irrigação no Brasil e no mundo. **Item**. Fortaleza: ABID. n. 49, p. 8-13, 2001.
- CORREIA, J.R. **Uso de técnicas multivariadas no estudo das interrelações de características do solo e a produtividade do eucalipto**. Viçosa: UFV, 1993. 106p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1993.
- COSTA, R. G & GHEYI, H. R. Variação da qualidade da água de irrigação da microrregião homogênea de Catolé do Rocha – PB. **Pesq. Agrop. Bras.**, Brasília, 19(8):1021 –1025 ago. 1984.
- CRUZ, C. D. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas**. Piracicaba. ESALQ. Tese de Doutorado. 1990.

- CRUZ, W. B. & MELO, F. A. C. F. de. Zoneamento químico e salinização das águas subterrâneas do Nordeste do Brasil. In: **Boletim de Recursos Naturais** – SUDENE. 7(1/4):7-40. Jan/dez. 1969.
- CRUZ, W. B. da. Recursos de água subterrânea em Simplíssimo Mendes – PI. **Água Subterrânea**, Recife, 2(5):1-16, jan/mar, 1966.
- DAKER, A. **Irrigação e Drenagem** 4ª ed. Rio de Janeiro. Liv. Freitas Bastos S.ª 1970, 453p. (A Água na Agricultura 3ª edição).
- DUNTEMAN, G. H. **Introduction to multivariate analysis**. Beverly Hills, SAGE.1984.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA) **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FORNO, D. A. Sustainable development starts with agriculture. In: FAIRCLOUGH, A. J. (Ed.). **Sustainable agriculture solutions: the actions report of the sustainable agriculture initiative**. London: The Novello Press, 1999. cap. 1, p. 8-11.
- FREITAS, M. A. V. de, SANTOS, A. H. M. Importância da água e da informação hidrológica. In: FREITAS, M. A. V. de. (Ed.). **O estado das águas no Brasil; perspectivas de gestão e informações de recursos hídricos**. Brasília: ANEEL/MME/MMA-SRH/OMM, 1999. p. 13-16. il.
- GAMA, M. P. **Bases da análise de agrupamentos (“Cluster Analysis”)**. Brasília. Dissertação (Mestrado em Estatística e Métodos Quantitativos). Universidade de Brasília, 1980. 229p.
- GANTZEL, O.T. **Análise da eficiência e precisão das técnicas de medição de áreas: uma simulação florestal**. Curitiba: UFPR, 1990. 133p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Paraná, 1990.

- GARICOITIS, L. S. L. **Estado nutricional e fatores do solo limitantes do crescimento de Pinus taeda L. em Telêmaco Borba (PR).** Floresta, Curitiba, v.20, n.112, p108, 1990. (Resumo).
- GATES, C. E. & BILBRO, F. J. Illustration of cluster analysis method for mean separation. *Agron.*, 70: 462-5. 1978 J.
- GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; BATISTA, M. A. F. **Prevenção Manejo e Recuperação dos Solos Salino Sódico.** Mossoró - RN – Jan. 1992. 70p.
- GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável.** Tradução M. J. Guazzelli. Porto Alegre: Editora Universitária/UFRGS, 2000. 653 p. il.
- HESPANHOL, I. Água e saneamento básico – uma visão realista. In: REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Ed). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** São Paulo: USP/ABC, Escrituras Editoras, 1999. cap.8. p. 249-303.
- IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – **Delimitação de limites municipais.** Base operacional, PB. Rio de Janeiro: Edição Revisada, 2006.
- IEZZONI, A. F. & PRITTS, M. P. **Applications of principal component analysis to horticultural research.** *HortScience*, 26: 334-8. 1991.
- ISRAESEN, D. W. e HANSEN, V. E. **Irrigation principles and practices.** 3ª edição New York: John Wiley and Sons, Ing. 1967, 447p.
- KETTELHUT, J. T. S.; RODRIGUEZ, F. A.; GARRIDO, R. J.; PAIVA, F.; CORDEIRO NETO, O.; RIZZO, H. Aspectos legais, institucionais e gerenciais. In: FREITAS, M. A. V. de. (Ed.). **O estado das águas no Brasil; perspectivas de gestão e informações de recursos hídricos.** Brasília: ANEEL-SRH/MME/MMA-SRH/OMM, 1999. p. 21-34. il.
- LARAQUE, A. **Estudo e previsão da qualidade de água de açudes do Nordeste semiárido brasileiro.** Recife, SUDENE 1989. 59P. (SUDENE. Serie Hidrológica, 26).

LEAL, A. de S. As águas subterrâneas no Brasil: ocorrências, disponibilidade e usos. In: FREITAS, M. A. V. de. (Ed.). **O estado das águas no Brasil**; perspectivas de gestão e informações de recursos hídricos. Brasília: ANEEL-SRH/MME/MMA-SRH/OMM, 1999. p. 139-164. il.

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

LEPRUN, J. C. **Primeira avaliação das águas superficiais do Nordeste**. Relatório de fim de convenio de manejo e conservação do solo do Nordeste brasileiro. Recife, SUDENE, 1983. 91-141P.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. O uso da irrigação no Brasil. In: FREITAS, M. A. V. de. (Ed.). **O estado das águas no Brasil**: perspectivas de gestão e informações de recursos hídricos. Brasília: ANEEL-SRH/MME/MMA-SRH/OMM, 1999. p. 73-82. il.

LOGAN, J. **Interpretação de análises químicas de águas**. Tradução A. M. de LEMOS. Recife: U.S. Agency for International Development, 1965. 75 p.

MACHADO, C.C. **Sistema brasileiro de classificação de estradas florestais (SIBRACEF): desenvolvimento e relação com o meio de transporte florestal rodoviário**. Curitiba: UFPR, 1989. 188p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, 1989

MACHADO, C. J. S. Por uma negociação sociotécnica na gestão integrada dos recursos hídricos. **ABRH-Notícias**, Porto Alegre, v. 7, p. 20-21, 2002.

- MANLY, B. F. J. **Multivariate statistical methods: A primer.** London, Chapman and hall. 1986.
- MANOEL FILHO, J. Contaminação das águas subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C; MANOEL FILHO, J. (Ed.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** Fortaleza: CPRM/LABHID/UFPE, 1997. p. 109-132.
- MARDIA, K V.; KENT, J. T. & BIBBY, J. M. **Multivariate analysis.** London, Academic Press. 1979.
- MEDEIROS, J. F. de. **Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo "GAT" nos Estados do RN, PB e CE.** Campina Grande, UFPB, 1992. 173p. (Dissertação de Mestrado).
- MELLO, C. J. B. de. **Classificação das estações de medição de qualidade de água do rio Paraíba do Sul utilizando a análise de componentes principais.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICO. 1998, Gramado. Disponível em: < <http://www.abrg.org.br/eventos> >. Acesso em: 7 fev 2010.
- MEYBECK, M.; HELMER, R. An introduction to water quality. In: CHAPMAN, D. (Ed.). **Water quality assessments.** 2 ed. London: Unesco; WHO; UNEP; E&FN SPON, 1997. cap.1, p. 1-22.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E A AMAZÔNIA LEGAL. **Política Nacional de Recursos Hídricos.** Lei n° 9.433 de 08 de janeiro de 1997. Brasília, 1997
- MORRISON, D. F. **Multivariate statistical methods.** 2. ed. New York, McGraw Hill. 1976.
- OLIVEIRA, C. **Serviço de esgoto mal chega a 50% da população.** São Paulo, 2002. 2p. Disponível em: < <http://www.aguaonline.com.br> >. Acesso em: 3 set 2010.
- OMS-ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD: **Guias para la calidad del agua potable.** 2ª Ed. Ginebra, 195p.,1995.

ONGLEY, E. D. **Control of water pollution from agriculture**. FAO: Roma, 1996. 101 p.
(FAO. Irrigation e Drainage; 55).

ORGANIZACIÓN METEOROLOGICA MUNDIAL/ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES
UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, **Hay suficiente agua en el Mundo?** OMM - n.º 857.
1997. 22p.

ORTIZ-ESTARELLES, O.; BIOSCA, Y. M.; HERNANDEZ, M. J. M.; SAGRADO, S.;
DOMINGO, E. B. Multivariate data analysis of quality parameters in drinking water.
Analyst, v. 126, p. 91-96, 2001.

PDRH. Plano Diretor de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba, Diagnóstico do Estado
Estudos de Base da Bacia do Alto Paraíba. 1997. SCIENTEC. João Pessoa/PB. Em CD-
ROM.

PEREIRA, F. A. M.; HOLANDA, J. S.; MEDEIROS, J. D. F. e BRITO, R. A. L. Qualidade de Água
para Irrigação no Seridó – RN. **Anais do IX Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem,**
Natal – RN, 25 a 29 de novembro de 1991. Vol. V p 543-562.

PEREIRA, F. A. M. e HOLANDA, J. S. **Água para Irrigação**. Caicó-RN:
EMBRAPA/EMPARN. 1983 (S.D.) 20 p.

PINARE, A. G. V.; OLIVEIRA, C. A. V. **Uso da função discriminante linear na
classificação dos fatores que determinam o êxodo rural**. Petrolina, PE: Embrapa-
CPATSA, 1985. 30p. (EMBRAPA – CPATSA Documentos; 30).

PIZARRO, F. **Drenagy agrícola y recuperacion de suelos salinos**. Madri: Editora Agrícola
Española, S. A, 1978. 521 p.

PORTO, E. R.; GARAGORRY, F. L.; SILVA, A. de S.; MOITA, A. W. **Risco climático:**
estimativa de sucesso da agricultura dependente de chuva para diferentes épocas de plantio I.

Cultivo do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Petrolina, PE: EMBRAPA-CPATSA, 1983. 129 p. (EMBRAPA-CPATSA Documentos; 23).

REBOUÇAS, A. da C. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Ed.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: USP/ABC, Escrituras Editoras. 1999. cap. 1, p. 1-36.

REMONATTO, T. R., RIZZI, N. E. **Monitoramento de recursos hídricos pela utilização da técnica de análise multivariada de componentes principais**. in: congresso florestal panamericano, 1 e congresso florestal brasileiro, 7, 1993, Curitiba. Anais ... Curitiba: SBS/SBEF, 1993. p.66-70.

RHOADES, J.; CHANDUVI, F.; LESCH, S. **Soil salinity assessment: methods and interpretation of electrical conductivity measurements**. Rome: FAO, 1999. 150 p. (FAO. Irrigação e Drenagem; 57).

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: United States Salinity Laboratory, 1954. 160 p. (Agriculture Handbook, 60)

ROCHA, J. S. M.; KURTZ, S. J. M. **Manejo integrado de bacias hidrográficas**. 4ª Edição. Santa Maria: UFSM, 2001. 302p.

RODRIGUES N. M.; COVAS, G. **Calidad de agua y agroquímicos**. Buenos Aires, 2001. 27p. il. Disponível em: < <http://www.agronort.com> >. Acesso em: 20 out. 2001.

SAGARDOY, J. A. Una visión global de la contaminación del agua por la agricultura. In: **Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines. Proceedings...** FAO Expert Consultation, Santiago: FAO, 1992. Roma. 1993. p. 19-26. (Water Paper 1).

SANTOS, A. C. Noções de hidroquímica. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Recife: CPRM/LABHID. 1997. cap. 5, p. 81-108.

SANTOS, J. P.; AZEVEDO, S. G. de e MISTREITA, G. M. **Novos aspectos da salinização das águas subterrâneas do cristalino do Rio Grande do Norte**. São Paulo, IPT, 1984. 27p. (Comunicação Técnica, 314).

SCOTT, A. J. & KNOTT, M. (1974). Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics*, 30: 507-12

SHALHEVET, J. e KAMBUROV, J. **Irrigation and salinity**: A world-wide survey. New Delhi, International Commission on Irrigation and Drainage, 1976. 106p.

SNEATH, P. H. A., SOKAL, R. R. **Numerical taxonomy**. The principles and practice of numerical classification. San Francisco: W. H. Freeman, 1973. 573p.

SOUZA, A. L. **Análise multivariada para manejo de florestas naturais**: alternativas de produção sustentada de madeira para serraria. Curitiba: Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, 1989. 255p.

THOMAS, R.; MEYBECK, M. The use of particulate material. In: CHAPMAN, D. (Ed.). **Water quality assessment**: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. London: UNESCO/WHO/UNEP/E & FN SPON, 1997. cap. 4. p. 127-174.

UNIAGUA – Universidade da Água. **Classes das Águas**. Ministério do Meio Ambiente. Resolução Nº 357 de 17 de Março de 2005. CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente. Acessado em: 17-08-2010. Disponível em: <http://www.uniagua.org.br/website/default.asp?tp=3&pag=classe.htm>

VALBUENA, R. B. **Aplicación de la taxonomía numérica en las aguas de la cuenca del río Tajo**. 1994. 151 f. Tese (Doutorado) - Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.

VAN LAAR, A. Multivariate analysis a way to better understanding of complexity. **South African Forestry Journal**, v. 141, p. 34-41, 1987.

VIEIRA, V. P. P. B. Água doce no semiárido. In: REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Ed.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** São Paulo: USP/ABC Escrituras Editoras, 1999. cap. 15, p. 509-532.

ANEXOS

ANEXO 1 - MÉDIAS DOS INDICES DE QUALIDADE DA FONTE HIDRICA, POR MUNICÍPIO

Município	pH	Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl	RAS	DT	SDI
CONGO	8.90	0.47	0.68	0.75	0.13	0.48	0.72	0.42	0.97	57.60	96.0
MONTEIRO	7.69	1.28	1.51	2.44	0.35	0.74	1.46	2.70	1.46	140.20	288.0
SÃO S. UMBUZEIRO	7.61	1.16	1.25	2.27	0.19	0.31	1.88	2.33	1.45	120.97	204.8
SÃO JOÃO DO TIGRE	7.38	1.34	1.84	2.72	0.23	0.29	1.93	3.25	1.97	159.30	326.4
CAMALAU	7.54	1.20	1.87	3.13	0.18	0.19	2.27	2.84	2.23	153.90	313.6
SUMÉ	7.59	1.49	14.98	3.66	0.27	0.61	2.12	2.34	2.34	181.58	384.0
PRATA	7.43	0.85	1.05	1.07	0.20	0.66	1.43	0.58	0.58	95.16	160.0
OURO VELHO	7.26	0.67	0.73	0.29	0.32	0.28	1.06	0.36	0.36	70.00	83.2
BARRA DE S. MIGUEL	7.81	6.68	5.89	7.13	0.26	0.16	1.08	1.29	2.40	628.65	697.6
ZABELÉ	7.58	1.01	1.68	1.43	0.11	0.23	1.49	1.20	1.20	108.16	179.2
AMPARO	7.89	1.53	2.61	5.56	0.30	0.75	2.44	3.24	3.24	207.18	524.8

ANEXO 2 - DADOS PADRONIZADOS

mun	pH	Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl	RAS	DT	SDI
CO	2.74465	-0.66328	-0.57679	-0.97333	-1.31050	0.23275	-1.65256	-1.28629	-0.78755	-0.74514	-1.07226
MO	-0.01869	-0.19087	-0.37889	-0.15828	1.54662	1.38043	-0.30197	0.73883	-0.22382	-0.21994	-0.04364
SSU	-0.20138	-0.26086	-0.44088	-0.24026	-0.53128	-0.51766	0.46457	0.41019	-0.23532	-0.34221	-0.48937
SJT	-0.72665	-0.15588	-0.30021	-0.02324	-0.01181	-0.60595	0.55583	1.22735	0.36292	-0.09850	0.16209
CA	-0.36125	-0.23753	-0.29305	0.17450	-0.66115	-1.04736	1.17637	0.86318	0.66204	-0.13283	0.09351
SU	-0.24706	-0.06840	2.83279	0.43011	0.50767	0.80659	0.90260	0.41907	0.78859	0.04317	0.47067
PR	-0.61246	-0.44166	-0.48857	-0.81900	-0.40141	1.02730	-0.35673	-1.14418	-1.23623	-0.50632	-0.72938
OV	-1.00070	-0.54664	-0.56487	-1.19518	1.15702	-0.65009	-1.03202	-1.33958	-1.48933	-0.66630	-1.14083
BSM	0.25536	2.95853	0.66544	2.10362	0.37780	-1.17979	-0.99552	-0.51355	0.85762	2.88580	2.15075
ZA	-0.26990	-0.34834	-0.33836	-0.64538	-1.57024	-0.87080	-0.24722	-0.59349	-0.52294	-0.42366	-0.62652
AM	0.43806	-0.04507	-0.11661	1.34644	0.89728	1.42457	1.48664	1.21846	1.82402	0.20594	1.22499