



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

LUCIANA GONÇALVES CARDOSO CREÃO

**INDICADORES FÍSICO-QUÍMICOS DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS
E SUBTERRÂNEAS, DA MICROBACIA DO RIO CAPITÃO POCINHO, CAPITÃO
POÇO – PA**

BELÉM-PA
2012



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

LUCIANA GONÇALVES CARDOSO CREÃO

**INDICADORES FÍSICO-QUÍMICOS DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS
E SUBTERRÂNEAS, DA MICROBACIA DO RIO CAPITÃO POCINHO, CAPITÃO
POÇO – PA**

**Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do curso de Pós-graduação em Ciências Florestais, Área de Concentração em Manejo de Ecossistemas Florestais, para obtenção do título de Mestre.
Orientador: Francisco de Assis Oliveira**

BELÉM-PA
2012

Creão, Luciana Gonçalves Cardoso

Indicadores físico-químicos da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, da microbacia do Rio Capitão Pocinho, Capitão Poço-Pa./ Luciana Gonçalves Cardoso Creão. - Belém, 2012.

78 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2012.

1. Águas – Análise fatorial – Capitão Poço 2. Índice de Qualidade de Água (IQA) 3. Rios – Poluição - Pará 4. Recursos hídricos – Pará I. Título

CDD – 363.739409811



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

LUCIANA GONÇALVES CARDOSO CREÃO

**INDICADORES FÍSICO-QUÍMICOS DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS
E SUBTERRÂNEAS, DA MICROBACIA DO RIO CAPITÃO POCINHO, CAPITÃO
POÇO – PA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais: área de concentração Manejo de Ecossistemas Florestais, para obtenção do título de Mestre.

Aprovada em maio de 2012

BANCA EXAMINADORA

Francisco de Assis Oliveira, Orientador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

Juliana Feitosa Felizzola, 1º Examinador (a)
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL

Edson Marcos Leal Soares Ramos, 2º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

Adriano Marlison Leão de Sousa, 3º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

A G R A D E C I M E N T O S

A Deus, por seu amor, por me fazer mais forte do que realmente eu sou, por não me deixar cair nunca...por estar ao meu lado sempre. Obrigada Senhor!

Aos meus pais Jorge e Lúcia, pelo amor, carinho e incentivo ao estudo.

Ao meu irmão João Henrique, pelos momentos de descontração.

Ao meu noivo Bruno Menezes, pela atenção, companheirismo, amor e amizade.

Ao professor Francisco de Assis Oliveira, por me orientar neste estudo, e por ter sido tão paciente.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

À professora Vanessa Mayara Souza Pamplona, pela grande ajuda nas análises estatísticas.

À Engenheira Química Ana Lúcia Augusto, pela grande ajuda nas correções e pelo apoio nessa jornada.

Ao apoio logístico da Empresa de Citros do Pará - CITROPAR, em nome de Júnior Zamperlini.

Às pesquisadoras, Therezinha Xavier Bastos e Nilza Araújo Pachêco, pelo aprendizado de vida e disciplina, pela oportunidade de aprender e crescer.

A todos os amigos do mestrado, em especial, Bruno Wendell, Clenes Lima e Helaine Pires, pelos momentos de companheirismo e apoio.

Aos amigos, Jefferson Padilha e Olivar Ribeiro pelo apoio na visita de campo, e pelos momentos de diversão.

Aos professores do Curso de Mestrado em Ciências Florestais, pelos conhecimentos transmitidos.

À secretária do Curso de Mestrado em Ciências Florestais, Mylena Rodrigues, pela atenção e amizade.

Aos membros da banca de qualificação, Juliana Feitosa Felizzola, Rodrigo Otávio Rodrigues de Melo Souza e Adriano Marlison Leão de Souza, pelas sugestões construtivas.

Muito Obrigada!

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Formas de Carbono Inorgânico em diferentes níveis de pH.	23
Figura 2. Mapa de localização da área de estudo, município de Capitão Poço, PA.	34

LISTA DE TABELAS

		Pág.
Tabela 1.	Precipitação acumulada do município de Capitão Poço – PA, para os meses de janeiro, março, maio, julho, setembro e novembro de 2009.	36
Tabela 2.	Parâmetros físico-químicos utilizados para análise da qualidade da água da microbacia do Rio Capitão Pocinho.	37
Tabela 3.	Classificação para aplicação da Análise Fatorial pela medida KMO.	41
Tabela 4.	Níveis de qualidade de água.	44
Tabela 5.	Transformações utilizadas para normalização dos dados dos parâmetros físico-químicos das águas superficiais coletados na microbacia do Rio Capitão Pocinho.	45
Tabela 6.	Transformações utilizadas para normalização dos dados dos parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas coletados na microbacia do Rio Capitão Pocinho.	46
Tabela 7.	Matriz de correlação para os parâmetros físico-químicos referentes às coletas de água superficial no período chuvoso.	47
Tabela 8.	Matriz de Correlação Anti-imagem para os parâmetros físico-químicos referentes às coletas de água superficial no período chuvoso.	48
Tabela 9.	Resultado da Medida de Kaiser-Meyer-Olkin e do Teste de Esfericidade de Bartlett para os parâmetros físico-químicos referentes às águas superficiais no período chuvoso.	48
Tabela 10.	Autovalor e Percentual de Variância Explicada pelos Fatores para os parâmetros físico-químicos referentes às águas superficiais no período chuvoso.	49
Tabela 11.	Matriz de Cargas Fatoriais não rotacionadas para os parâmetros físico-químicos referentes às águas superficiais no período chuvoso.	49
Tabela 12.	Matriz de correlação para os parâmetros físico-químicos referentes às coletas de água superficial no período seco.	50
Tabela 13.	Matriz de Correlação Anti-imagem para os parâmetros físico-químicos referentes às coletas de água superficial no período seco.	50
Tabela 14.	Resultado da Medida de Kaiser-Meyer-Olkin e do Teste de Esfericidade de Bartlett para os parâmetros físico-químicos referentes às águas superficiais no período seco.	51
Tabela 15.	Autovalor e Percentual de Variância Explicada pelos Fatores para os parâmetros físico-químicos referentes às águas superficiais no período seco.	51
Tabela 16.	Matriz de Cargas Fatoriais não rotacionadas para os parâmetros físico-químicos referentes às águas superficiais no período seco.	51
Tabela 17.	Matriz de correlação para os parâmetros físico-químicos referentes às coletas de água subterrânea no período chuvoso.	52
Tabela 18.	Matriz de Correlação Anti-imagem para os parâmetros físico-químicos referentes às coletas de água subterrânea no período chuvoso.	52
Tabela 19.	Resultado da Medida de Kaiser-Meyer-Olkin e do Teste de Esfericidade de Bartlett para os parâmetros físico-químicos referentes às águas subterrâneas no período chuvoso.	52
Tabela 20.	Autovalor e Percentual de Variância Explicada pelos Fatores para os parâmetros físico-químicos referentes às águas subterrâneas no período chuvoso.	53
Tabela 21.	Matriz de Cargas Fatoriais após Rotação Ortogonal pelo método Varimax para os parâmetros físico-químicos referentes às águas subterrâneas no período chuvoso.	53

Tabela 22.	Matriz de correlação para os parâmetros físico-químicos referentes às coletas de água subterrânea no período seco.	55
Tabela 23.	Matriz de Correlação Anti-imagem para os parâmetros físico-químicos referentes às coletas de água subterrânea no período seco.	55
Tabela 24.	Resultado da Medida de Kaiser-Meyer-Olkin e do Teste de Esfericidade de Bartlett para os parâmetros físico-químicos referentes às águas subterrâneas no período seco.	55
Tabela 25.	Autovalor e Percentual de Variância Explicada pelos Fatores para os parâmetros físico-químicos referentes às águas subterrâneas no período seco.	56
Tabela 26.	Matriz de Cargas Fatoriais não rotacionadas para os parâmetros físico-químicos referentes às águas subterrâneas no período seco.	56
Tabela 27.	Valores dos escores fatoriais originais e padronizados e índice de qualidade de água, obtidos através dos dados referentes às águas superficiais no período chuvoso (jan., mar. e mai.) de 2009.	58
Tabela 28.	Valores dos escores fatoriais originais e padronizados e índice de qualidade de água, obtidos através dos dados referentes às águas superficiais no período seco (jul., set. e nov.) de 2009.	59
Tabela 29.	Estatística descritiva para os IQA's das águas superficiais nos períodos chuvoso e seco.	60
Tabela 30.	Valores dos escores fatoriais originais e padronizados e índice de qualidade de água, obtidos através dos dados referentes às águas subterrâneas no período chuvoso (jan., mar. e mai.) de 2009.	62
Tabela 31.	Valores dos escores fatoriais originais e padronizados e índice de qualidade de água, obtidos através dos dados referentes às águas subterrâneas no período seco (jul., set. e nov.) de 2009.	63
Tabela 32.	Estatística descritiva para os IQA's das águas subterrâneas nos períodos chuvoso e seco.	64

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

	Pág.
1	CONTEXTUALIZAÇÃO..... 13
2	REVISÃO DA LITERATURA..... 16
2.1	GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS..... 16
2.2	FONTES DE CONTAMINAÇÃO..... 18
2.3	INDICADORES FÍSICO-QUÍMICOS..... 20
2.3.1	Potencial Hidrogeniônico..... 21
2.3.2	Condutividade Elétrica..... 21
2.3.3	Alcalinidade e Bicarbonato..... 22
2.3.4	Compostos Nitrogenados..... 23
2.3.5	Sódio e Cloreto..... 24
2.3.6	Fluoreto..... 25
2.3.7	Brometo..... 25
2.3.8	Sulfato..... 26
2.3.9	Fosfato..... 26
2.3.10	Cálcio e Magnésio..... 26
2.3.11	Potássio..... 27
2.4	ANÁLISE FATORIAL..... 27
2.5	ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA (IQA)..... 30
3	MATERIAL E MÉTODOS..... 33
3.1	DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA..... 33
3.1.1	Localização..... 33
3.1.2	Vegetação..... 33
3.1.3	Geologia e Geomorfologia..... 33
3.1.4	Pedologia..... 35

3.1.5	Características Climáticas.....	35
3.2	MONITORAMENTO DOS DADOS.....	36
3.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	38
3.3.1	Análise Fatorial.....	38
3.3.2	Teste de Normalidade de Kolmogorov-Smirnov.....	38
3.3.3	Extração dos Fatores.....	39
3.3.4	Rotação dos Fatores	39
3.3.5	Número de Fatores a Extrair	40
3.3.6	Medida de Kaiser-Meyer-Olkin e Teste de Esfericidade de Bartlett	40
3.3.7	Matriz Anti-imagem	42
3.3.8	Índice de qualidade de água (IQA).....	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4.1	ANÁLISE FATORIAL.....	45
4.1.1	Água Superficial.....	46
4.1.1.1	Período Chuvoso.....	46
4.1.1.2	Período Seco.....	50
4.1.2	Água Subterrânea.....	52
4.1.2.1	Período Chuvoso.....	52
4.1.2.2	Período Seco.....	54
4.2	ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA (IQA).....	57
4.2.1	Índice de Qualidade de Água Superficial – Período Chuvoso.....	57
4.2.2	Índice de Qualidade de Água Superficial – Período Seco.....	59
4.2.3	Índice de Qualidade de Água Subterrânea – Período Chuvoso.....	61
4.2.4	Índice de Qualidade de Água Subterrânea – Período Seco.....	63
5	CONCLUSÕES.....	66
	REFERÊNCIAS.....	68
	ANEXO.....	74

RESUMO

A avaliação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas da microbacia do rio Capitão Pocinho, localizada no município de Capitão Poço/PA, foi realizado considerando as seguintes variáveis: pH, condutividade elétrica, alcalinidade, fluoreto, cloreto, brometo, nitrito, nitrato, fosfato-p, fosfato-total, sulfato, bicarbonato, sódio, potássio, cálcio, magnésio e amônio. Este rio situa-se entre as fazendas CITROPAR I e II, o qual sofre elevada possibilidade de erosão e fluxos de agroquímicos no deflúvio. Os dados empregados neste estudo foram coletados bimestralmente de janeiro a novembro de 2009, em dez estações de coleta de água superficial e dezesseis estações de coleta de água subterrânea (poços de monitoramento). A técnica da análise fatorial com extração de fatores por análise da componente principal (AF/ACP) foi aplicada com o objetivo de selecionar as variáveis mais significativas para a variabilidade total dos dados. Para uma melhor abordagem do efeito da precipitação nas concentrações dos parâmetros estudados, os dados referentes às águas superficiais e subterrâneas foram subdivididos em dois períodos, sendo: período chuvoso correspondente aos meses de janeiro, março e maio de 2009, e período seco, correspondente aos meses de julho, setembro e novembro de 2009. Para as águas superficiais, no período chuvoso, a técnica AF/ACP proporcionou a redução de 16 parâmetros em 5, sendo Cl^- , Alc, CE, Na^+ e Mg^{2+} , os quais explicaram 86,29% da variância total dos dados, sendo caracterizada como componente mineral, relacionada ao intemperismo geológico da região. Para as águas superficiais, no período seco, a técnica proporcionou a redução de 16 parâmetros em 4, Cl^- , CE, Alc e NO_2^- , os quais explicaram 66,30% da variância total dos dados, sendo caracterizada como componente orgânica, relacionada a contaminação por despejo de esgoto doméstico. Para as águas subterrâneas, no período chuvoso, a técnica proporcionou a redução de 16 parâmetros em 5, sendo NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{-3} , Ca^{2+} e Alc, os quais explicaram 89,86% da variância total dos dados primários. A primeira componente (Alc e NO_3^-), contendo 45,31% da variância total, foi caracterizada como componente temporal, sendo relacionada com o tempo de permanência na água. A segunda componente (NO_2^- , Ca^{2+} e PO_4^{-3}), contendo 44,58% da variância total, foi caracterizada como componente mineral, relacionada à utilização de defensivos e fertilizantes agrícolas. Para as águas subterrâneas, no período seco, a técnica proporcionou a redução de 16 parâmetros em 5, sendo Alc, CE, Ca^{2+} , K^+ e HCO_3^- , os quais explicaram 71,76% da variância total dos dados, sendo caracterizada como componente geológica, relacionada ao intemperismo geológico da região. A segunda etapa do estudo consistiu na elaboração do índice de qualidade de água (IQA) a partir dos parâmetros selecionados na análise fatorial. O IQA apresentou uma boa adequação para avaliação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas da microbacia do rio Capitão Pocinho. De um modo geral, as águas superficiais e subterrâneas apresentaram qualidade em nível ruim no ano de 2009 para consumo da comunidade residente na Vila Capitão Pocinho, bem como, pelas fazendas da empresa CITROPAR.

Palavras-chave: Análise fatorial, IQA, poluição e recursos hídricos.

ABSTRACT

The evaluation of the quality of surface water and groundwater in the river basin Capitão Pocinho, in the municipality of Capitão Poço / PA was held on the following variables: pH, electrical conductivity, alkalinity, fluoride, chloride, bromide, nitrite, nitrate, phosphate -p, total phosphate, sulphate, soda, sodium, potassium, calcium, magnesium and ammonium. The river is located between farms CITROPAR I and II, which undergoes a high possibility of erosion and flows agrochemical water streams. The data used in this study were collected bimonthly from January to November 2009, at ten sampling stations and sixteen surface water sampling stations of groundwater (wells). The technique of factor analysis with factor extraction by principal component analysis (FA / PCA) was applied in order to select the most significant variables for the total data variability. To better address the effects of precipitation in the concentrations of the parameters studied, the data on surface and groundwater were subdivided into two periods, as follows: corresponding to the rainy season months of January, March and May 2009, and the dry period, corresponding to July, September and November 2009. For surface waters in the rainy season, the technique FA / PCA provided a reduction of 16 parameters in 5, and Cl⁻, Alc, CE, Na⁺ e Mg²⁺, which explained 86.29% of the total variance and is characterized as a mineral component, related to geological weathering in the region. For surface waters in the dry period, the technique provided a reduction of 16 parameters in 4 Cl⁻, CE, Alc e NO₂⁻, which explained 66.30% of the total variance, is characterized as organic component, related contamination by domestic sewage. For groundwater, the rainy season, the technique provided a reduction of 16 parameters in 5, and NO₂⁻, NO₃⁻, PO₄⁻³, Ca²⁺ e Alc, which explained 89.86% of the total variance of primary data. The first component (Alc e NO₃⁻), containing 45.31% of the total variance, time component was characterized as being related to the time of permanence in water. The second component (NO₂⁻, Ca²⁺ e PO₄⁻³), containing 44.58% of total variance, was characterized as a mineral component, related to the use of pesticides and fertilizers. For groundwater in the dry period, the technique provided a reduction of 16 parameters in 5, and Alc, CE, Ca²⁺, K⁺ e HCO₃⁻, which explained 71.76% of the total variance and is characterized as a component geological related to weathering of the geological region. The second stage of the study consisted of developing the water quality index (WQI) using the parameters selected in the factor analysis. The WQI showed a good fit to assess the quality of surface water and groundwater in the watershed of the river Capitão Pocinho. In general, surface water and groundwater quality showed in bad level in 2009 to use the community resident in Captain Pocinho town, as well as by the company's farms CITROPAR.

Key words: Factor analysis, WQI, pollution and water resources.

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Os problemas ambientais no meio rural aumentam à medida que novas técnicas de agricultura, apoiadas no emprego de defensivos agrícolas, fertilizantes e intensificação da mecanização, vêm sendo empregadas desordenadamente. Além disso, o desmatamento da vegetação nativa para a utilização do solo acarreta a extinção da fauna local, alteração do regime das chuvas e no curso dos rios (CARNEIRO NETO *et al.*, 2008). Acrescenta-se, ainda, a este cenário, o crescimento desordenado da população rural, fazendo com que os níveis de poluição de origem antrópica aumentem.

O motivo principal para se estudar e monitorar os recursos hídricos é a premissa básica de que a qualidade da água reflete a natureza dinâmica da bacia hidrográfica, espelhando, também, as contínuas inter-relações entre os processos geoquímicos, hidrológicos e sedimentológicos naturais e aquelas atividades associadas com a ocupação e uso humanos (CUNHA, 2000).

Quando se utiliza o termo "qualidade de água", é necessário compreender que esse termo não se refere, necessariamente, a um estado de pureza, mas simplesmente às características químicas, físicas e biológicas, e que, conforme essas características são estipuladas diferentes finalidades para a água (MERTEN e MINELLA, 2002). Os fatores que controlam a qualidade da água de uma determinada microbacia, segundo Arcova, Cesar e Cicco (1998) fazem parte de um frágil equilíbrio, motivo pelo qual alterações de ordem física, química ou climática, podem modificar a qualidade da água de uma microbacia hidrográfica.

No Brasil, embora a água seja considerada recurso abundante, existem áreas muito carentes a ponto de transformá-la em um bem limitado às necessidades do homem (DONADIO, GALBIATTI e DE PAULA, 2005). Normalmente, a sua escassez é muito mais grave em regiões onde o desenvolvimento ocorreu de forma desordenada, como já mencionado, provocando a deterioração das águas disponíveis, devido ao lançamento indiscriminado de esgotos domésticos, despejos industriais, agrotóxicos e outros poluentes (MOITA e CUDO, 1991).

Nesse contexto, o nordeste paraense abriga a maior densidade demográfica do estado do Pará e possui investimentos intensivos em agropecuária, além de ser caracterizado como o local de colonização mais antiga da Amazônia, datada do século XVII (ROSÁRIO, 2000), o que contribui para a intensa exploração que os recursos naturais vem sofrendo nessa região.

Neste estudo, é dado enfoque ao município de Capitão Poço, o qual vem se destacando como um dos maiores produtores de citros do país, com destaque para a Empresa de Cítricos

do Pará – CITROPAR, possuidora de aproximadamente 2.000 hectares de área plantada. A Empresa possui três áreas: Fazendas CITROPAR I e II (no município de Capitão Poço) e CITROPAR III (no município de Garrafão do Norte) (ARAÚJO, 2011).

Na última década, partes das Fazendas CITROPAR I e II situada nas nascentes da microbacia hidrográfica do rio Capitão Pocinho foram utilizada como área de pesquisa científica. Naquela região, ocorre uma possível interação entre a utilização dos recursos aplicados na citricultura e a disponibilidade hídrica, assim como a qualidade das águas que alimentam os subsistemas socioambientais da população residente na vila Capitão Pocinho. Vale ressaltar que, a citricultura é uma atividade agrícola de elevado custo com o tratamento fitossanitário de pomares, em decorrência, principalmente, dos requisitos dos mercados de produção de suco de fruta in natura (FERRACINI *et al.*, 2005).

Nesta localidade, a forma de captação da água para o consumo humano, feita pelos seus habitantes, ocorre de diversas maneiras: eventualmente na superfície, no canal de escoamento do curso do rio Capitão Pocinho e/ou captação subterrânea por meio de poços caseiros rasos (ARAÚJO, 2011).

Na região norte, especificamente no estado do Pará, há poucos sistemas de monitoramento, e conseqüentemente, poucas informações sobre o estado de seus corpos d'água, principalmente devido as suas dimensões, dificuldade de acesso e magnitude dos problemas de poluição. Estes fatos indicam a necessidade do País desenvolver sua tecnologia de redes de monitoramento, qualificando e quantificando os recursos hídricos, reconhecendo a importância desse investimento, a fim de otimizar e ampliar seus bancos de dados no setor (CUNHA, 2000).

Desse modo, para identificação dos parâmetros físico-químicos mais importantes para a variabilidade da qualidade da água no rio Capitão Pocinho, referentes à adição de insumos agrícolas e de origem antrópica, elaborou-se a seguinte questão: ***Quais os parâmetros físico-químicos que exercem maior influência na qualidade das águas superficiais e subterrâneas na microbacia do rio Capitão Pocinho?***

Para responder ao problema, considerou-se a seguinte hipótese: ***a utilização de insumos agrícolas, sob diferentes sistemas de manejo do solo, associados à pluviometria da região, bem como a descarga de poluentes de origem antrópica, introduzirão substâncias tóxicas na matriz do sistema hidroquímico. Assim, a análise dos parâmetros físico-químicos, pode esclarecer o problema em evidência, e contribuir para a gestão dos recursos hídricos do local.***

O objetivo geral deste estudo foi identificar, dentre os parâmetros físico-químicos, os mais importantes para a determinação da qualidade das águas, superficiais e subterrâneas, da microbacia do rio Capitão Pocinho, a partir da técnica de análise multivariada denominada análise fatorial, com extração por análise de componentes principais, os quais, posteriormente, foram utilizados na elaboração do índice de qualidade da água (IQA), que avaliou sua condição para consumo humano.

O estudo será conduzido para alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Identificar os principais parâmetros físico-químicos que irão compor os fatores determinados pela técnica da análise fatorial;
- Elaborar um índice de qualidade de água a partir dos escores fatoriais dos fatores extraídos pela técnica da análise fatorial.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

A gestão de recursos hídricos no Brasil, que esteve por longo tempo reduzida à avaliação quantitativa das reservas hídricas, especialmente para fins de produção de energia, resultado do modelo de gestão centralizado então em vigor, basicamente voltado às necessidades de planejamento estratégico do setor de hidroeletricidade (MUÑOZ, 2000). Na década de 90 a Política Nacional de Recursos Hídricos, foi estabelecido por instrumento legal, Lei Nº 9.433, de 08/01/1997, e criado o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

Este instrumento veio resgatar a omissão histórica de uma política específica para os recursos hídricos, incorporando princípios, normas, e padrões de gestão universalmente aceitos, e praticados em muitos países (CUNHA, 2000), fundamentada nos seguintes princípios básicos: a água é um bem de domínio público; a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico; em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais; a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas; a bacia hidrográfica e a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos; a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Na visão de Costa e Silva *et al.* (2000, p. 3), a Lei 9.433/97 trata-se:

[...] de uma Lei de Organização Administrativa para o setor caracterizada por uma descentralização de ações contrária à concentração de poder. Envolve, assim, o conceito de gestão compartilhada pelo conjunto de municípios que fazem parte de uma bacia ou sub-bacia hidrográfica pertinentes ou não a mesmo Estado, os quais podem formar um Consórcio Intermunicipal. Também integram o esquema organizacional da Lei, o Sistema Nacional de Gerenciamento, o Conselho Nacional, os Comitês, as Agências e Organizações Cíveis.

Contudo, estes princípios não vêm sendo seguidos criteriosamente, tornando a água doce, um recurso escasso em determinadas regiões do país, principalmente pelo aumento populacional, pela deterioração da qualidade e pela diminuição da quantidade da água devido aos impactos das atividades humanas sobre os recursos ambientais, caracterizando a gestão dos recursos hídricos e sua conservação, um dos principais desafios para do desenvolvimento sustentável (CAROLO, 2007).

Na região amazônica, as bacias hidrográficas foram alvo de políticas públicas nacionais que incentivaram a ocupação do solo e a exploração dos recursos naturais desde a década de 70 do século XX as quais repercutem até os dias atuais (AB'SABER, 2004).

No estado do Pará, a garantia da oferta hídrica depende, a médio e longo prazos, do monitoramento de suas águas, pois os dados quali-quantitativos são escassos e não permitem ao gestor público avaliar o real volume de água utilizado por setor e como esta água retorna ao sistema em termos de sua qualidade (LIMA *et al.*, 2010).

Para os mesmo autores, as dificuldades de implementação da política hídrica da região norte do país estão relacionadas, em diversos segmentos, seja no social ou institucional, a falta de cultura da gestão preventiva da oferta hídrica. Realizá-la, portanto, implica em definir um conjunto de ações que direcione o rumo das intervenções que o território sofrerá em termos de políticas públicas e investimentos econômicos. Ainda, ressaltam que a questão hídrica está intimamente relacionada a diversos conflitos econômicos e sofre uma pressão constante em direção a problemas de oferta de qualidade e de quantidade de água.

Para Rocha, Pereira e Silva (2003), a problemática da água abarca duas questões capitais:

[...] de um lado temos a inerência do uso múltiplo da água no processo de reprodução e sobrevivência da humanidade, e de outro, a intensificação da valorização da natureza como mercadoria. Nas áreas de maior concentração populacional e de uso diversificado e intenso dos recursos hídricos, regiões industriais dos países centrais e de países como o Brasil a escassez torna-se cada vez mais evidente. A distribuição irregular dos recursos hídricos acentua ainda mais a problemática da água.

Entretanto, a manutenção da qualidade ambiental de um sistema hídrico é difícil e oneroso, normalmente os países estabelecem normas contendo parâmetros básicos de classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento (ESCHRIQUE *et al.*, 2011).

No Brasil, cabe ao Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA estabelecer normas de qualidade ambiental, dentre as quais podemos citar as resoluções do CONAMA Nº 357/05 para águas superficiais, e 396/08 para águas subterrâneas, as quais dispõem sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento e dão outras providências. Destaca-se também, a Portaria 2.914/11, lançada pelo Ministério da Saúde, a qual dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Para Ramos (2007), a universalização dos serviços de água e esgoto, gestão participativa e atribuição de valor econômico da água, são algumas das soluções para os

problemas que afetam os recursos hídricos. Desta forma, a gestão integrada dos recursos hídricos no Pará, relativo às águas superficiais e subterrâneas deve ter suas base no ordenamento do uso do solo, envolvendo políticas públicas e metas de desenvolvimento econômico, conjugadas e planejadas segundo o melhor aproveitamento das águas (LIMA *et al.*, 2010).

Para Tundisi e Strakraba (1995), os princípios gerais do gerenciamento da oferta hídrica devem considerar:

[...] a dinâmica do ecossistema; a sensibilidade das bacias hidrográficas às entradas externas de material; utilização do conhecimento das interações entre fatores abióticos e bióticos, retendo as estruturas naturais e protegendo a biodiversidade, respeitando a sustentabilidade do desenvolvimento; a bacia hidrográfica como parte de um todo e adotar uma visão sistêmica; avaliar opções de longo prazo e os efeitos globais do gerenciamento; confrontar usos conflitantes; e determinar a capacidade assimilativa do sistema e não excedê-la. Estes pressupostos permitem considerar que o gerenciamento dos recursos hídricos no contexto amazônico, por exemplo, necessita de uma abordagem articulada ao problema da bacia hidrográfica como unidade e da água como bem finito de usos múltiplos e dotada de valor econômico.

A necessidade da regulação dos bens naturais, de consumo essencial, é inquestionável e aceita por todos (PEREIRA e JOHNSON, 2004). Contudo, a apropriação em benefício próprio, a partir da exploração dos mananciais superficiais e/ou subterrâneos, bem como a adição de efluentes químicos e esgotos domésticos, embasam a *tragédia dos comuns* se distanciando do objetivo geral da gestão que é atender, dentro de princípios de justiça social e com base nas limitações econômicas e ambientais, às necessidades de água da sociedade, a partir de uma disponibilidade limitada (MAGALHÃES, AFONSO e CLEPS JÚNIOR, 2010). A principal dificuldade está no entendimento de seu funcionamento, potencialidades derivadas, limitações e capacidade de auto-recuperação (LIMA e PONTE, 2009).

2.2 FONTES DE CONTAMINAÇÃO

A bacia hidrográfica é um sistema aberto, cujo funcionamento e estabilidade relativa refletem as taxas de influxo, bem como os ciclos de energia da água e materiais ao longo do tempo, logo a qualidade de uma determinada água é função das condições naturais e do uso e da ocupação do solo na bacia hidrográfica (ODUM, 1988). Assim, mesmo com a bacia hidrográfica preservada nas suas condições naturais, a qualidade das águas é afetada pelo escoamento superficial e pela infiltração no solo, resultantes da precipitação pluviométrica.

Segundo Von Sperling (1996), poluição das águas, é a adição de substâncias ou de formas de energia que, diretamente ou indiretamente, alteram a natureza do corpo d'água de uma maneira que prejudiquem os legítimos usos que dele são feitos.

A interferência do homem quer de uma forma concentrada, como na geração de despejos domésticos ou industriais, quer de uma forma dispersa, como na aplicação de defensivos agrícolas no solo, contribui na introdução de compostos na água, afetando a sua qualidade (SPERLING, 1997).

A diversidade e o número de fontes existentes e o potencial de contaminação química dos corpos d'água são bem grandes. Holt (2000) aponta que se por um lado à industrialização e urbanização, juntamente com a intensificação das atividades agrícolas, têm resultado no aumento da demanda da água, por outro lado aumentam a contribuição de contaminantes nos corpos d'água. As maiores e mais significativas rotas de contaminação são ocasionadas por emissões diretas e indiretas dos esgotos tratados e não tratados, escoamento e deposição atmosférica e pelo processo de lixiviação do solo.

Para Lima (2001) e Brito (2003), a poluição dos recursos hídricos pode resultar de duas grandes classes: pontual e difusa. Os resíduos domésticos e industriais constituem o grupo das fontes pontuais por se restringirem a um simples ponto de lançamento, o que facilita o sistema de coleta através de rede ou canais. Em geral, a fonte de poluição pontual pode ser reduzida ou eliminada por meio de tratamento apropriado para posterior lançamento em um corpo receptor.

As fontes pontuais dão origem a concentrações elevadas, localizadas em plumas que podem permanecer estratificadas em um aquífero por longo tempo. Já as fontes difusas caracterizam-se por apresentarem múltiplos pontos de descarga resultantes do escoamento em áreas urbanas e/ou agrícolas e ocorrem durante os períodos de chuva, atingindo concentrações bastante elevadas dos poluentes. A redução dessas fontes geralmente requer mudanças nas práticas de uso da terra e na melhoria de programas de educação ambiental.

Embora não seja o único agente responsável pela perda da qualidade da água, a agricultura, direta ou indiretamente, contribui para a degradação dos mananciais. Isso pode dar-se por meio da contaminação dos corpos d'água por substâncias orgânicas ou inorgânicas, naturais ou sintéticas e, ainda, por agentes biológicos. Amplamente empregadas, muitas vezes de forma inadequada, as aplicações de defensivos, de fertilizantes e de resíduos derivados da criação intensiva de animais são tidos como as principais atividades relacionadas à perda da qualidade da água nas áreas rurais (RESENDE, 2002). Toledo e Nicoletta (2002) ressaltam que a poluição oriunda das práticas agrícolas tem sido objeto de atenção em muitos países

devido à dificuldade de se estabelecer procedimentos de avaliação de impactos ambientais e de adoção de padrões aceitáveis.

Embora a poluição das fontes hídricas esteja diretamente relacionada às atividades antrópicas, a presença de alguns constituintes em altas concentrações nas águas naturais, muitas vezes ocorre como resultado de processos físicos, químicos e climáticos na área de abrangência destas fontes, contribuindo para mudanças na qualidade de suas águas. Contudo, conforme Faust e Aly (1981), a natureza destes constituintes normalmente é função do tipo de geologia e de sua distribuição no espaço e dos processos físico-químicos atuantes, definindo a qualidade das águas naturais.

O comprometimento da qualidade da água para fins de abastecimento doméstico é decorrente de poluição causada por diferentes fontes, como efluentes domésticos, efluentes industriais e deflúvio superficial urbano e agrícola, conforme Merten e Minella (2002):

- Os efluentes domésticos são constituídos basicamente por contaminantes orgânicos, nutrientes e microorganismos, que podem ser patogênicos;
- Os efluentes industriais são decorrentes das matérias-primas e dos processos industriais utilizados, podendo ser complexa, devido à natureza, concentração e volume dos resíduos produzidos;
- O deflúvio superficial, em bacias hidrográficas com topografia acentuada, exploradas por agricultura intensiva (culturas anuais, por exemplo) apresenta grande energia para desagregar o solo exposto e de transportar sedimentos para os corpos de água. Estes sedimentos são capazes de carregar, adsorvidos na sua superfície, nutrientes como o fósforo e compostos tóxicos, como agroquímicos.

2.3 INDICADORES FÍSICO-QUÍMICOS

Para Donadio, Galbiatti e De Paula (2005) o uso de indicadores físico-químicos da qualidade da água consiste no emprego de variáveis que se correlacionam com as alterações ocorridas na microbacia, sejam essas de origem antrópica ou natural. Na visão de Eschrique *et al.* (2011), os indicadores constituem-se em instrumentos de avaliação, que devem ser adequados às diferentes realidades ambientais e sócio-econômicas da região a ser avaliada).

Definir indicadores ambientais é compor um método para avaliação e desempenho de políticas públicas não somente para as questões de meio ambiente, mas também para revelar as dimensões econômicas (VEIGA, 2010).

Não há um indicador de qualidade de água único e padronizável para qualquer sistema hídrico. Uma forma de avaliar objetivamente essas variações é a combinação de parâmetros de diferentes dimensões, em índices que os reflitam conjuntamente em uma distribuição amostral no espaço e no tempo (TOLEDO e NICOLELLA, 2002).

2.3.1 Potencial Hidrogeniônico

Expressa o balanço entre ácidos e bases nas águas, a partir da concentração de hidrogênio neste meio. Por influir em diversos equilíbrios químicos que ocorrem naturalmente ou em processos unitários de tratamento de águas, o pH é um parâmetro importante em muitos estudos no campo do saneamento ambiental (CETESB, 2009).

No Brasil, ecossistemas aquáticos continentais com baixo pH são encontrados em grande número na região de terra firme da Amazônia central, no litoral (especialmente na faixa de restingas) e em regiões de turfeiras. Estes ecossistemas têm como característica comum a cor escura da água (cor de café ou chá). Na Amazônia, estes corpos d'água foram intensamente estudados por Sioli (1975).

De acordo com este pesquisador, os valores mais baixos de pH são encontrados nos corpos d'água localizados na região de sedimentos da Formação Barreiras, da terra firme, que apresentam valores variando entre 4,0 e 5,5. Estes valores de pH fornecem indício da ausência de substâncias tamponadoras (bicarbonato e carbonato) em solução. Em contrapartida, Machado (2006) afirma que, em ambientes aquáticos onde os valores de pH encontram-se entre 8,3 e 4,4, ocorre a presença de apenas íons bicarbonatos. O'Neill (1995), ressalta que acidez da água pode estar associada também com a decomposição da matéria orgânica presente no curso d'água.

2.3.2 Condutividade Elétrica

Pode ser definida como a capacidade que um corpo hídrico tem em conduzir corrente elétrica, em função da presença de íons dissolvidos. Desta forma, deve-se esperar que, em águas puras ou recém precipitadas, o valor da condutividade elétrica seja baixo. Por outro lado, quanto maior a entrada de matéria no curso hídrico tende-se a obter valores elevados para a condutividade. Assim sendo, as concentrações dos íons em água são dependentes dos seguintes fatores: geologia, a área de drenagem dos efluentes e do regime de chuvas (MACHADO, 2006).

Ainda, segundo o mesmo autor, o valor da condutividade elétrica pode fornecer informações sobre a magnitude da concentração iônica. Então, aqueles íons que mais contribuem para o valor da condutividade elétrica, em águas interiores, são denominados macronutrientes, ou seja, cálcio, potássio, magnésio, sódio, carbonato, sulfato, cloreto entre outros. Poderá ter alta influência o íon amônio quando presente em altas concentrações. Já o nitrato, nitrito tem pouca influência.

Outro fator que pode influenciar na concentração de íons em solução seria o pH das águas; com valores de pH menores que 5 unidades, o cátion hidrogênio torna-se o maior responsável pelo valor da condutividade. Também, para um pH maior que 9 unidades pode-se creditar os valores da condutividade elétrica aos íons hidroxila. Ainda, alguns compostos orgânicos podem ionizar-se e também contribuir para o valor da condutividade. Para a água, em seu estado puro, o valor esperado para a condutividade seria de alguns centésimos de micromhos.cm⁻¹ (ESTEVEES, 1998).

Para Fittkau (1971), a região Amazônica é classificada em três regiões distintas, baseada na geologia e no valor da condutividade:

Na Amazônia Central, os valores para a condutividade elétrica oscilam em torno de 5-10 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, portanto baixos, estas águas têm origem em áreas de geologia caracterizada por sedimentos terciários de material provenientes dos escudos pré-cambriano altamente lixiviados, e, portanto, geoquimicamente pobres. Na região periférica oeste, oscilam os maiores valores entre 30-200 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, cujas águas provêm de sedimentos pleistocênicos com origem no intemperismo andino, portanto mais rica em termos de geoquímica. E, nas regiões periféricas sul e norte, os valores de condutividade elétrica oscilam entre 10-20 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, as águas seriam provenientes de sedimentos antigos relativamente pobres, do período mesozóico, terciário e pleistocênicos, sem o grau de intemperismo do primeiro.

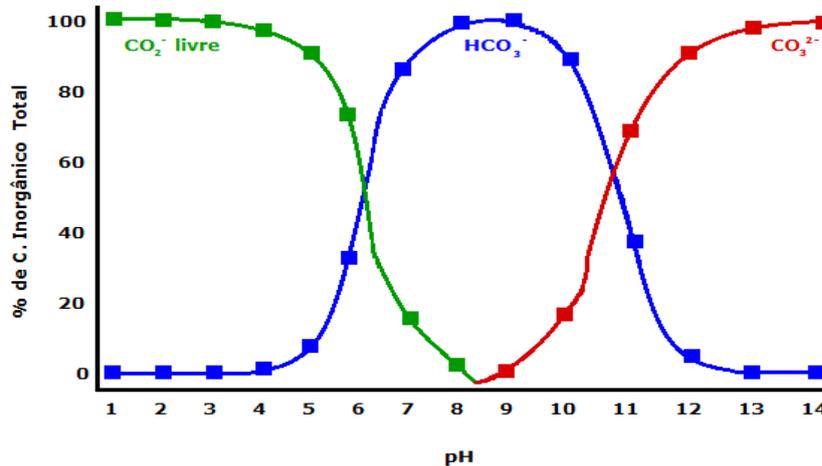
2.3.3 Alcalinidade e Bicarbonato

A alcalinidade representa a capacidade que um sistema aquoso tem de neutralizar ácidos. Esta capacidade depende de alguns compostos, principalmente bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, sendo que este último ânion é raro na maioria das águas naturais, ocorrendo geralmente em águas cujo pH é superior a 10. A alcalinidade reflete, em última instância, a capacidade que um ecossistema aquático apresenta em neutralizar (tamponar) ácidos a ele adicionados. (ESTEVEES, 1998)

Para Machado (2006), quando o pH é maior que 9,4 ocorre a presença dos íons hidróxidos e carbonatos, quando o pH está entre 9,4 e 8,3, ocorre a presença de íons carbonatos e bicarbonatos e quando esta entre 8,3 e 4,4 ocorre a presença apenas dos íons bicarbonato, ou seja, na maioria dos ambientes aquáticos a alcalinidade é devida à presença

dos íons bicarbonatos (Figura 1). O mesmo autor ressalta que processos intempéricos das rochas contribuem para a liberação de íons bicarbonatos e carbonatos, os quais associados com o pH faz com que na maioria das águas naturais predominam o íon bicarbonato.

Figura 1. Formas de Carbono Inorgânico em diferentes níveis de pH.



Fonte: Adaptado de Golterman, Clymo e Ohnstad (1978).

Para Sperling (1997), valores elevados da alcalinidade estão associados ao processo de decomposição da matéria orgânica e a alta taxa respiratória dos microorganismos, com a liberação e dissolução do gás carbônico na água. A maioria das águas naturais apresenta valores de alcalinidade na faixa de 30 a 500 mg.L⁻¹ de CaCO₃. No entanto, para Chapman e Kimstach (1997), águas que apresentam baixa alcalinidade, com valores menores que 24 mg.L⁻¹ de CaCO₃, possui uma baixa capacidade de tamponamento, podendo ser susceptível a qualquer alteração de pH.

2.3.4 Compostos Nitrogenados

O nitrogênio é um dos elementos mais importantes no metabolismo de ecossistemas aquáticos. Esta importância deve-se principalmente à sua participação na formação de proteínas, um dos componentes básicos da biomassa. Quando presente em baixas concentrações pode atuar como fator limitante na produção primária de ecossistemas aquáticos (ESTEVEZ, 1998).

Para Machado (2006), a entrada de compostos nitrogenados pode estar em função da precipitação, do material orgânico e inorgânico de origem alóctone, e também, fixado da própria atmosfera junto ao meio líquido. Este elemento químico pode, ainda, se apresentar sob

as formas químicas de nitrato (forma oxidada do nitrogênio), nitrito (forma intermediária do processo de oxidação - forte instabilidade), amônia (forma reduzida do nitrogênio) e na forma do íon amônio (forma reduzida do nitrogênio, encontrado em condições de ausência de oxigênio).

Cetesb (2009), relaciona a idade da poluição com as formas de nitrogênio, ou seja, se for coletada uma amostra de água de um rio poluído e as análises demonstrarem predominância das formas reduzidas significa que o foco de poluição se encontra próximo; se prevalecer nitrito e nitrato denota que as descargas de esgotos se encontram distantes. Nas zonas de autodepuração natural em rios, distinguem-se as presenças de nitrogênio orgânico na zona de degradação, amoniacal na zona de decomposição ativa, nitrito na zona de recuperação e nitrato na zona de águas limpas.

Os esgotos sanitários constituem, em geral, a principal fonte de nitrogênio orgânico devido à presença de proteínas e nitrogênio amoniacal, pela hidrólise da uréia na água (CETESB, 2009). A atmosfera também é uma fonte importante devido a diversos mecanismos como a biofixação desempenhada por bactérias e algas. Já nas áreas agrícolas, o escoamento das águas pluviais pelos solos fertilizados também contribui para a presença de diversas formas de nitrogênio.

Vale ressaltar que a ingestão de água com elevada concentração de nitrato pode causar graves doenças como a metahemoglobinemia, que pode ser letal para crianças, e a carcinogênese que pode contribuir para o surgimento de câncer gástrico.

2.3.5 Sódio e Cloreto

Na maioria das águas, sódio e cloreto estão intimamente ligados. Ambos originados de unidades naturais de rochas e de transporte de entradas oceânicas e de ampla variedade de fontes antropogênicas (CUNHA, 2000).

Todas as águas naturais contêm algum sódio já que é um dos elementos mais abundantes na Terra e seus sais são altamente solúveis em água, encontrando-o na forma iônica (Na^+), e nas plantas e animais, já que é um elemento ativo para os organismos vivos. O aumento dos níveis na superfície da água pode provir de esgotos (CETESB, 2009).

Concentrações de sódio na superfície natural das águas varia consideravelmente, dependendo das condições geológicas do local, descargas de efluentes e uso sazonal de sais em rodovias. Valores podem estender-se de 1 mg.L^{-1} ou menos até 10 mg.L^{-1} ou mais em salmoura natural. Muitas águas superficiais, incluindo aquelas que recebem efluentes, tem

níveis bem abaixo de 50 mg.L^{-1} . As concentrações nas águas subterrâneas frequentemente excedem 50 mg.L^{-1} . Embora a concentração de sódio na água potável geralmente seja menor que 20 mg.L^{-1} , esse valor pode ser excedido em alguns países, porém concentração acima de 200 mg.L^{-1} pode dar à água um gosto não aceitável (CETESB, 2009).

O cloreto é o ânion Cl^- que se apresenta nas águas subterrâneas, oriundo da percolação da água através de solos e rochas. Nas águas superficiais, são fontes importantes de cloreto as descargas de esgotos sanitários, sendo que cada pessoa expele através da urina cerca 4 g de cloreto por dia, que representam cerca de 90 a 95% dos excretos humanos. O restante é expelido pelas fezes e pelo suor (WHO, 2011).

Cetesb (2009), ressalta que, em águas superficiais, valores acima de 15 mg.L^{-1} denotam contaminação antropogênica (urina humana).

2.3.6 Fluoreto

O flúor é um elemento que ocorre naturalmente e em pequenas quantidades nas águas naturais ($0,1$ a $2,0 \text{ mg.L}^{-1}$). É produto do intemperismo de minerais no qual é elemento principal ou secundário: fluorita, apatita, flúor-apatita, turmalina, topázio e mica. O flúor liberado pelo intemperismo destes minerais passa para as soluções aquosas supergênicas na forma do íon fluoreto, de alta mobilidade. Diversamente de outros halogênios ele pode formar complexos estáveis com elementos como Al, Fe, B e Ca. Desta forma no ciclo geoquímico o flúor pode ser removido das águas pela coprecipitação com óxidos secundários de Fe, podendo também ser complexado tanto com o Fe como com o Al na forma de fosfatos (ZIMBRES, 2011).

Em pequenas quantidades o flúor é benéfico à saúde humana, promovendo o endurecimento da matriz mineral dos dentes e esqueleto, além de ser o agente químico mais eficiente na prevenção da cárie dentária. Contudo, segundo Zimbres (2011), acima de certos teores, passa a ser prejudicial, causando fluorose dental e esquelética, tanto em seres humanos como em animais, a qual se caracteriza pelo escurecimento dos dentes e a perda de resistência dos dentes e ossos.

2.3.7 Brometo

Segundo Davis, Whittemore e Fabryka-Martin (1998), o íon brometo é oriundo de regiões salinas (mar), ou que sofrem influência delas por meio da precipitação. Em regiões

distantes do mar, o íon brometo pode surgir, em pequenas quantidades, em águas naturais em contato com solos argilosos. Pode ser encontrado também em águas próximas a áreas rurais onde se faz uso de defensivos agrícola a base de brometo.

2.3.8 Sulfato

O sulfato é um dos íons mais abundantes na natureza. Em águas naturais, a fonte de sulfato ocorre a partir da dissolução de solos e rochas e pela oxidação de sulfeto, por intermédio das reações químicas de decomposição dos minerais como pirita, calcopirita, galena, blenda (MACHADO, 2006). Pode, também, ser oriundo da decomposição da matéria orgânica, em condições de anaerobiose, bem como, pelo metabolismo bacteriano, gerando como produtos compostos de odorização desagradável. As principais fontes antrópicas de sulfato nas águas superficiais são as descargas de esgotos domésticos e efluentes industriais (CETESB, 2009).

2.3.9 Fosfato

O íon fosfato pode ser de origem natural, ou seja, dissolução de rochas (principalmente a apatita), carreamento do solo, decomposição da matéria orgânica e chuva. Também pode ser de origem antropogênica pelo uso de fertilizantes químicos, agrotóxicos e efluentes, seja de origem industrial (laticínios, abatedouros) e de esgotos, na forma de detergentes superfosfatados e matéria fecal (ALVES *et al.*, 2008). Em geral, pode ser encontrado na forma orgânica, tanto solúvel (matéria orgânica solúvel dissolvida) como particulado (biomassa de microorganismo). Ainda, pode ser encontrado na forma inorgânica solúvel (sais de fósforo) e inorgânica particulada (compostos minerais) (MACHADO, 2006).

2.3.10 Cálcio e Magnésio

Cálcio é o mais comum cátion encontrado em águas superficiais, sendo principalmente uma função das especificidades geológicas onde depósitos de carbonatos ou gesso estão presentes (CUNHA, 2000). Conforme Zimbres (2011), as principais fontes de cálcio são os plagioclásios cálcicos, calcita, dolomita, apatita, entre outros. O carbonato de cálcio é muito pouco solúvel em água pura, logo o cálcio ocorre nas águas na forma de bicarbonato e sua solubilidade está em função da quantidade de gás carbônico dissolvido, o que por sua vez dependerá da temperatura e da pressão.

O magnésio é um elemento cujo comportamento geoquímico é muito parecido com o do cálcio e, em linhas gerais, acompanha este elemento. Diferentemente do cálcio, contudo, o magnésio forma sais mais solúveis. Os minerais mais comuns fornecedores de magnésio para as águas subterrâneas são: biotita, anfibólios e piroxênios. Estes minerais são mais estáveis diante do intemperismo químico, do que os minerais fornecedores de cálcio, por isso seu teor nas águas subterrâneas é significativamente menor do que aquele. Em região de rochas carbonáticas, o mineral dolomita é um importante fornecedor de Mg (ZIMBRES, 2011).

As concentrações de magnésio não são fortemente influenciadas por atividades antropogênicas e, portanto o magnésio não é utilizado como um indicador de tensão de poluição (CUNHA, 2000).

2.3.11 Potássio

Conforme Cetesb (2009), o potássio é encontrado em baixas concentrações nas águas naturais, usualmente menores que 10 mg.L^{-1} , já que rochas que contenham potássio são relativamente resistentes às ações do tempo.

Minerais ligados a potássio, na maioria das vezes feldspato e mica, são abundantes, mas pouco solúveis. As concentrações naturais de potássio em rios são muito baixas ($< 5 \text{ mg.L}^{-1}$). Mesmo se pensando que o potássio possa ser afetado por uso de fertilizante, ele nunca alcança níveis de concentração que alteram as características da qualidade da água (CUNHA, 2000).

2.4 ANÁLISE FATORIAL

Uma das primeiras decisões do pesquisador é definir as variáveis mais significativas na determinação da qualidade da água para retratar o problema. Assim, torna-se necessário o emprego de técnicas que possam resumir, sistematicamente, a correlação significativa existente entre as muitas variáveis (HAIR JR. *et al.*, 2009).

A técnica de estatística multivariada, denominada Análise Fatorial, minimiza tais dificuldades, sendo empregada em diversas áreas, como por exemplo, no estudo de fenômenos hidrológicos, hidrometeorológicos e hidroquímicos (HELENA *et al.*, 2000; ALMEIDA e SCHWARZBOLD, 2003; ANDRADE, SILVEIRA E AZEVEDO, 2003; PALÁCIO, 2004, GIRÃO *et al.*, 2007).

Para Fávero *et al.* (2009), a análise fatorial é uma técnica multivariada que busca identificar um número relativamente pequeno de fatores comuns que podem ser utilizados para representar relações entre um grande número de variáveis inter-relacionadas. O propósito geral da técnica de análise fatorial é encontrar um modo de condensar a informação contida em diversas variáveis originais em um conjunto menor de novas dimensões compostas ou variáveis estatísticas com uma perda mínima de informação (GORSUCH, 1983; RUMMEL, 1970 *apud* HAIR JR. *et al.*, 2009).

O método de extração via componentes principais consiste essencialmente em reescrever as coordenadas das variáveis em outro sistema de eixo mais conveniente para a análise dos dados. Em outras palavras, as n -variáveis originais gera, por meio de suas combinações lineares, n -componentes principais, cuja principal característica, além da ortogonalidade, é que são obtidas em ordem decrescente de máxima variância, ou seja (ANDRADE *et al.*, 2007):

$$\text{VAR CP}_1 > \text{VAR CP}_2 > \dots > \text{VAR CP}_n \quad (1)$$

Onde,

VAR: Variância;

CP: Componente principal.

São calculadas de forma que a primeira componente principal explique o máximo da variabilidade total dos dados; a segunda explique o máximo da variabilidade total restante dos dados, sendo não correlacionada com a primeira; a terceira explique o máximo da variabilidade total restante dos dados, sendo não correlacionada com a primeira e a segunda componentes, e assim sucessivamente até que o número de componentes principais seja no máximo igual ao número de variáveis (ANDRADE *et al.*, 2007).

Palácio (2004) relata que nestas últimas décadas a análise de fatores tem sido usada, extensivamente, em muitas regiões do mundo para investigar os mecanismos hidrológicos, hidrometeorológicos e fenômenos hidroquímicos, devido sua importância para a agricultura, indústria e economia. Ressalta ainda que, com o aumento cada dia maior da demanda de água no mundo, o gerenciamento e manejo dos recursos hídricos têm se tornado uma necessidade em várias regiões do planeta, logo, a utilização da técnica da análise fatorial vem tornando-se uma importante ferramenta para facilitar o monitoramento deste recurso.

Esta técnica vem sendo empregada nas avaliações de parâmetros físico-químicos referentes ao monitoramento e a qualidade da água, conforme alguns estudos de Palácio

(2004), Brito *et al.* (2006), Andrade *et al.* (2007), Girão *et al.* (2007), Andrade *et al.* (2009), Monteiro *et al.* (2010).

Brito *et al.* (2006), em estudo de variabilidade da qualidade das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do rio Salitre - BA, utilizaram as técnicas de análise multivariada referente à análise fatorial em componentes principais e de agrupamento, para detectar as fontes que apresentam características semelhantes, visando a subsidiar medidas de monitoramento e gestão da qualidade das águas da bacia. A análise fatorial permitiu agrupar as variáveis em três fatores principais que explicaram 86,99%; 72,08% e 68,33% da variância total acumulada em 1984 e 2001, nos períodos de chuvas e sem chuvas, respectivamente. As variáveis priorizadas estão relacionadas com a salinidade das águas, logo, medidas de melhoria da qualidade das águas nessa bacia devem necessariamente priorizar a salinidade das águas, a qual está associada à sua geologia. As fontes hídricas foram classificadas em três classes, de forma que C1 agrupou as fontes de melhor qualidade das águas, totalizando 25,0%; 74,3% e 61,7% das fontes hídricas.

Andrade *et al.* (2007), estudando a qualidade das águas superficiais na bacia do Baixo Acaraú, identificou, a partir do emprego da AF/ACP, que o modelo de melhor ajuste para expressar a qualidade das águas na referida bacia foi aquele composto por quatro fatores, explicando 82,1% da variância total, sendo que os mesmos haviam analisados 25 parâmetros físico-químicos e bacteriológicos. Desse modo, o primeiro fator representou a componente de sólidos em suspensão, expressando o processo de erosão e escoamento superficial; o segundo fator foi definido por uma componente de nutrientes associados aos esgotos sanitários, às áreas agrícolas e a outras fontes de poluição difusa; o terceiro fator foi indicativo da ação antrópica (componente orgânica), e o quarto fator representou os sais solúveis que expressam o processo natural do intemperismo das rochas. Os autores ressaltaram, ainda, que a análise fatorial não resultou em grande redução no número de variáveis, uma vez que o melhor ajuste do modelo ocorreu com a inclusão de 18 das 25 variáveis analisadas.

Girão *et al.* (2007), aplicaram a técnica de estatística multivariada (Análise Fatorial/Análise de Componentes Principais – AF/ACP) para identificar os fatores e as variáveis de maior significância na qualidade das águas do trecho perenizado do rio Jaibaras, Ceará. Observaram que no início do trecho perenizado, a qualidade da água relaciona-se com três fatores, explicando 80% da variância total. O primeiro fator expressa uma componente mineral. Importância secundária teve a poluição orgânica, seguida pela presença de detergentes e esgotos domésticos. Na confluência do rio Jaibaras com o rio Acaraú, dois fatores explicaram 81% da variância total dos dados. Neste ponto, a qualidade da água

recebeu uma maior influência da ação antrópica (dejetos dos balneários, fertilizantes nitrogenados e esgotos domésticos).

Andrade *et al.* (2009), estudando os fatores e as variáveis de maior significância, e a variabilidade temporal na qualidade das águas do açude Ayres de Souza, Ceará, a partir das técnicas de estatística multivariada (Análises de Agrupamento Hierárquico – AAH e Análise Fatorial/Análise da Componente Principal – AF/ACP), observaram que a qualidade da água relaciona-se com dois fatores, explicando 82% da variância total. O primeiro fator explica 58% da variância total, estando relacionada à ação antrópica, sendo K^+ , PO_4^{3-} , Ca^{2+} e DBO, foram os elementos de maior peso nesse fator. O segundo fator (24% da variância), de menor importância, relaciona-se aos processos de mineralização natural das águas pelos solos, provenientes das áreas à montante da bacia hidráulica ou dos aerossóis, sendo o Na^+ o elemento de maior peso.

Monteiro *et al.* (2010), utilizaram as técnicas de análise das componentes principais e de agrupamentos como alternativa no tratamento de dados, bem como mostraram sua aplicação e resultados na identificação de águas com características hidroquímicas semelhantes. O estudo foi realizado na região sudeste da Bacia Sedimentar do Parnaíba em águas do aquífero Cabeças. Os autores verificaram a presença de três grupos: Grupo 1 – Águas cloretadas sódicas e cloretadas sódico-magnesianas, com condutividade elétrica média de $103 \mu S \cdot cm^{-1}$, ácidas, brandas, de boa qualidade para agricultura; Grupo 2 - Águas sulfatadas magnesiano-sódicas e cálcico-sódicas, além das sulfatadas sódicas, condutividade elétrica média, medindo $879 \mu S \cdot cm^{-1}$, neutras, duras a muito duras e com limite ao cultivo de espécies, com baixa tolerância à salinidade; Grupo 3 - Águas bicarbonatadas, predominantemente cálcico-magnesianas, condutividade elétrica média de $348 \mu S/cm$, geralmente alcalinas, duras a muito duras, boas para agricultura, respeitando os riscos de salinidade e sódio.

2.5 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA - IQA

Os índices de qualidade das águas são úteis quando existe a necessidade de sintetizar informações sobre vários parâmetros físicos, químicos e biológicos, visando informar o público leigo e orientar as ações de gestão da qualidade da água (ANA, 2005). Entre as vantagens do uso de índices destacam-se a facilidade de comunicação com o público não técnico e o fato de representar uma média de diversas variáveis em um único número. Em

contrapartida, a principal desvantagem consiste na perda de informação das variáveis individuais e da interação entre elas (CETESB, 2009).

Para Pineda e Schäfer (1987), torna-se necessária à utilização de métodos simples e que deem informações objetivas e interpretáveis, e que possibilitem considerar características peculiares dos recursos hídricos. Neste aspecto, o uso de índices de qualidade de água é uma tentativa que todo programa de monitoramento da qualidade da água prevê como forma de acompanhar, por meio de informações resumidas, a possível deterioração dos recursos hídricos ao longo da bacia hidrográfica ou ao longo do tempo.

Segundo Toledo e Nicolella (2002), um dos métodos usados na formulação de índices de qualidade de água baseia-se na técnica multivariada da análise fatorial, a qual representa uma forma exploratória de conhecer o comportamento dos dados a partir de uma dimensão reduzida do espaço original dos parâmetros. Estes autores ressaltam ainda que, esta técnica permite selecionar as variáveis mais representativas do corpo hídrico, favorecendo a definição de indicadores mais sensíveis, tanto para adoção de um programa de monitoramento como para avaliação das alterações ocorridas nos recursos hídricos.

Haase, Krieger e Possoli (1989) cita a importância das técnicas estatística para a determinação dos indicadores mais característicos do corpo de água em estudo, embora não permitam generalizações para todos os corpos de água, já que cada sistema hídrico, em princípio, possui sua característica peculiar. Toledo e Nicolella (2002) ressaltam a aplicabilidade dos índices como um instrumento de avaliação ao longo do tempo ou do espaço, permitindo o acompanhamento das alterações ocorridas no eixo hidrográfico.

Os mesmos autores, estudando a avaliação da qualidade da água em microbacias sob diferentes usos (agrícola e urbano), a partir do uso da técnica de análise fatorial e do método de Bartlett, obtiveram resultados que indicaram diferença entre os valores de IQA para as estações estudadas, com valores médios de -1,757 a montante e 2,35 a jusante. Pela análise fatorial, oxigênio dissolvido, fósforo total, amônia e condutividade elétrica foram as variáveis que mais contribuíram na determinação do IQA. Os três primeiros fatores explicaram 71% da variância dos dados. O primeiro fator explicou 47% da variância dos dados e foi utilizado na construção do IQA.

Haase e Possoli (1993) estudaram a utilização da técnica de análise fatorial na elaboração de um índice de qualidade de água, comparando dois regimes hidrológicos diferentes no Rio Grande do Sul. Os índices que, foram comparados com uma classificação segundo déficit de oxigênio e com uma análise de similaridade baseada em critérios morfológicos, físico-químicos e biológicos, mostraram resultados compatíveis entre si.

Palácio (2004) estudando a qualidade das águas para a parte baixa da bacia hidrográfica do rio Trussu, desenvolveu um índice de qualidade de água utilizando a técnica da análise multivariada, denominada análise da componente principal com o objetivo de selecionar as variáveis mais significativas para a variabilidade total dos dados. A ACP proporcionou a redução de 13 variáveis em duas componentes que explicaram 83,44% da variância total. A primeira componente expressou o processo do intemperismo, identificada como uma componente de mineralização das águas do rio Trussu. A segunda componente foi alusiva à contaminação orgânica, indicou uma componente representativa da ação antrópica. O IQA indicou uma grande variabilidade espacial na qualidade das águas subterrâneas, existindo pontos em que a água é inadequada ao consumo humano, inferior a 30; as águas superficiais mostraram-se adequadas ao consumo humano ao longo de todo o período estudado, apresentando média de IQA acima de oitenta.

Almeida e Schwarzbald (2003) avaliaram a qualidade das águas da microbacia do Arroio da Cria, por meio de um índice de qualidade de água, teste de aleatorização e estatística multivariada. O IQA variou entre 44,8 e 72,9, evidenciando diferenças na qualidade da água com relação à natureza e densidade de ocupação, com predomínio de despejos orgânicos e industriais.

Espera-se, portanto, que a partir da técnica da análise fatorial, seja possível identificar os elementos, dentro dos parâmetros físico-químicos, de maior variabilidade no estudo da qualidade das águas superficiais e subterrâneas da microbacia do rio Capitão Pocinho.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA

3.1.1 Localização

A área de estudo está localizada na microbacia do rio Capitão Pocinho, afluente do rio Santa Luzia, nas proximidades da rodovia PA-253 (km 4), no município de Capitão Poço – PA (Figura 2), entre as coordenadas 01°49'43.87"S e 01°48'37.57"s e 47°12'09.69"W e 47°09'46.22"W.

O uso da terra na área da microbacia é definido pelos domínios das laranjeiras, com os agroecossistemas de *Citrus sinensis* L (laranjeiras pera rio), e ecossistemas sucessionais ripários em vários estágios serais, ao longo das margens da microbacia, que deságua na bacia do rio Santa Luzia, médio rio Guamá, NE. Logo, esta área encontra-se sob intensa descarga de efluentes de origem agrícola (defensivos e fertilizantes), devido a uma extensa área de cultivo de citros, bem como de origem orgânica (antrópica), por conta da vila situada ao longo do rio capitão pocinho.

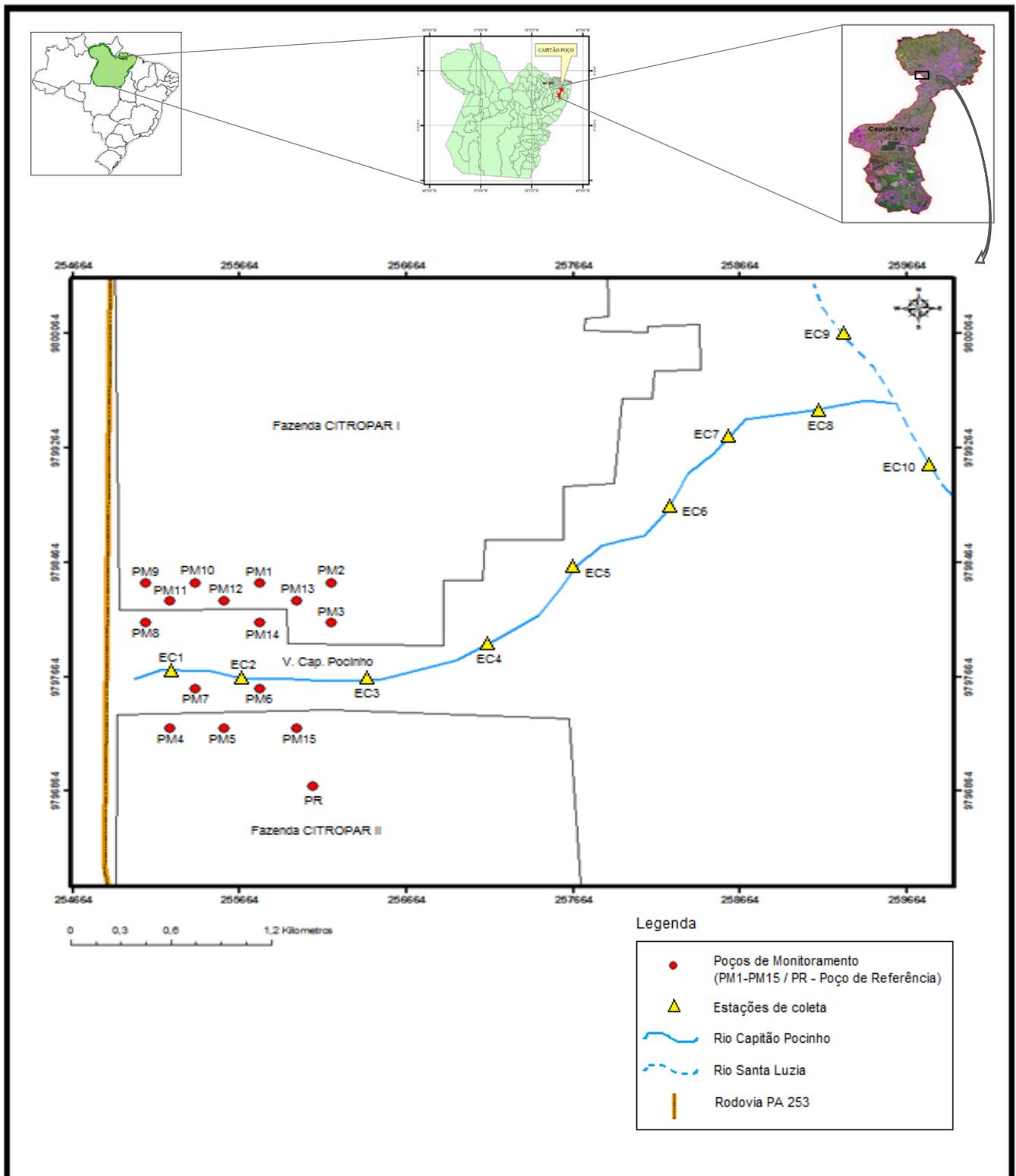
3.1.2 Vegetação

O município enquadra-se na região fitoecológica da floresta equatorial subperenifolia. Atualmente, grande parte dessa vegetação foi alterada, restando apenas remanescentes de florestas exploradas. Domina na paisagem do município uma vegetação secundária, conhecida como capoeira latifoliada, em diferentes estágios de desenvolvimento, associados aos sistemas agrossilvopastoris (SILVA *et al.*, 1999) e muitas vezes, utilizadas após período de pouso no sistema tradicional de culturas anuais.

3.1.3 Geologia e Geomorfologia

O município de Capitão Poço está situado no planalto setentrional Pará – Maranhão apresenta uma superfície pediplanada e evidências de retomada de erosão recente, elaborada sobre formações sedimentares muito dessecadas e localmente expõe afloramentos de rochas cristalinas e idade Pré-cambriana. As formações sedimentares Barreiras e Itapecuru apresentam superfícies com rebordos erosivos que se inclinam para o norte e em direção ao litoral e para nordeste em direção ao golfo amazônico e são entalhadas por rios que correm em direção Nordeste – o Gurupi e Norte-Noroeste os rios Capim e Guamá (BRASIL, 1973; OLIVEIRA e LEONARDO, 1954).

Figura 2. Mapa de localização da área de estudo, município de Capitão Poço, PA.



Fonte: Dados da pesquisa.

A geologia dominante na área experimental é de rochas sedimentares da Formação Barreiras constituídas por arenitos finos, siltitos, argilitos caulínicos e arenitos grosseiros pouco consolidados ou até friáveis (ARAÚJO, 1997).

O relevo do município de Capitão Poço é bem diversificado, podendo apresentar-se predominantemente como plano, ou ainda, mave ondulado e ondulado. Fora dos domínios dos platôs que servem de divisores de água das bacias do rio Irituia e Induá, em direção ao vale do rio principal – Guamá, ocorre um relevo mais dessecado e rebaixado, que exhibe colina e patamares mais mavezados (terraços antigos do rio Guamá), elaborada sobre material retrabalhado de rochas cristalinas, com afloramento nos tabugues de alguns igarapés após a localidade de Castanhalzinho (SILVA *et al.*, 1999).

Bemerguy *et al.* (2002), classificaram o município de Capitão poço como modelados de aplainamento do tipo pediplano conservado, com depósitos detríticos areno-argilosos, formando os tabuleiros costeiros de interflúvios no domínio morfotectônico bragantino.

3.1.4 Pedologia

Os tipos de solos encontrados no município de Capitão poço são o Latossolo Amarelo Álico A moderado, com textura argilosa e textura média. Podzólico Vermelho-Amarelo, Álico Tb A com textura média argilosa, Podzólico Vermelho-Amarelo Álico Tb A moderado com textura dia/argilosa, Glei Pouco Húmico Distrófico Tb A moderado com textura média e argilosa, Areia Quartzosa Distrófica A franco arenosa (VIEIRA, SANTOS e FALESI, 1967).

3.1.5 Características Climáticas

No município de Capitão Poço predominam as condições de clima quente e úmido, enquadrando-se nos seguintes tipos climáticos: a) Am_i (Köppen), em que o clima é chuvoso, porém apresentando pequena estação seca; b) B_{2r} A_a' , da classificação de Thornthwaite, o clima é úmido com ocorrência de pequeno déficit hídrico. Ambos significam clima tropical sem ocorrência de inverno estacionário (PACHÊCO e BASTOS, 2001). Segundo as mesmas autoras, a temperatura do ar apresenta pequena variação térmica durante o ano, tendo como temperatura média anual valores oscilando em torno de 26 °C, as temperaturas máximas médias anuais oscilam entre 32 °C e 33,7 °C, enquanto que, as mínimas médias anuais variam de 21,1 °C a 22,4 °C.

Foram utilizados dados hidrológicos oriundos do Climate Prediction Center – NOAA, através do modelo CMORPH, o qual produz estimativas de precipitação global de alta resolução espacial e temporal, conforme a Tabela 1. Desse modo, no período chuvoso, a

precipitação total média foi de 1325,00 mm, enquanto que o período seco apresentou um total médio de 130,00 mm.

Tabela 1. Precipitação acumulada do município de Capitão Poço – PA, para os meses de janeiro, março, maio, julho, setembro e novembro de 2009.

Período	Mês	Precipitação acumulada (2009)
Período chuvoso	Janeiro	300 mm a 350 mm
	Março	500 mm a 550 mm
	Maio	450 mm a 500 mm
Período seco	Julho	40 mm a 60 mm
	Setembro	< 30 mm
	Novembro	< 50 mm

Fonte: CMORPH.

Conforme Figueroa e Nobre (1989), o regime de chuvas no Brasil apresenta sazonalidade marcante com estação seca e chuvosa em épocas diferentes do ano de acordo com a localização geográfica. Silva *et al.* (2008), ressaltam que, além da variação mensal da chuva, seu ciclo diurno também varia espacialmente, podendo afetar as concentrações das variáveis físico-químicas nos rios.

Para Esteves (1998), regiões com baixa precipitação e predominância de rochas magmáticas na bacia de drenagem, a composição da água é, geralmente, determinada por produtos de intemperismo destas rochas. Já, para regiões com alta pluviosidade e predominância de rochas sedimentares, a composição iônica da água é determinada pela composição das rochas. Como a chuva é o principal agente regulador dos cursos de água, espera-se que ela seja também uma importante variável a ser considerada em estudos envolvendo a qualidade da água de rios e tributários.

3.2 MONITORAMENTO DOS DADOS

Os dados utilizados neste estudo são oriundos do projeto intitulado “*Contaminação de recursos hídricos em área de cultivo de citros em grande escala, Amazônia Oriental*” - Nº 484848/2007-0, no qual foram realizadas coletas bimestrais de água superficial e subterrânea no ano de 2009 nas mediações das fazendas CITROPAR I e II e da Vila Capitão Pocinho.

Para coleta de água subterrânea, foram perfurados 16 poços de monitoramento (PM), distribuídos da seguinte forma: os poços PM1, PM2, PM3, PM9, PM10, PM11, PM12 E

PM13 estavam localizados na fazenda CITROPAR I; o poço PM14 localizado em área externa próximo à cerca limítrofe da fazenda CITROPAR I; os poços PM6, PM7 E PM8, localizados nas mediações da vila Capitão Pocinho e os poços PM4, PM5 e PM15 alocados na fazenda CITROPAR II, assim como o poço de referencia (PR), utilizado para a definição do *background* regional, localizado em uma área de proteção ambiental – APA.

Para coleta de água superficial, foram estabelecidas 8 estações de coleta (EC1 a EC8) ao longo do Rio Capitão Pocinho, e 2 estações de coleta (EC9 e EC10), no Rio Santa Luzia, seu afluente, conforme Figura 2. As coletas de água foram realizadas bimestralmente no período de janeiro a novembro de 2009, abrangendo os períodos chuvoso (janeiro, março e maio) e seco (julho, setembro e novembro).

Os procedimentos de coleta e preservação das amostras de água seguiram os critérios do Apha *et al.* (2005), as quais foram filtradas, em membranas em ésteres de celulose com porosidade de 0,45 μm (marca Millipore) e com o auxílio de uma bomba de vácuo elétrica. Em seguida, foram analisadas através da cromatografia de íons para a determinação dos parâmetros físico-químicos (ARAÚJO, 2011). A Tabela 2 apresenta os parâmetros utilizados no estudo. Os valores médios de todos os parâmetros físico-químicos analisados estão em anexo.

Tabela 2. Parâmetros físico-químicos utilizados para análise da qualidade da água da microbacia do Rio Capitão Pocinho.

Parâmetros físico-químicos	Sigla	Unidade	
pH	-	-	
Condutividade elétrica	CE	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	
Alcalinidade	Alc	mg.L^{-1}	
Ânions	Fluoreto	F^{-}	mg.L^{-1}
	Cloreto	Cl^{-}	mg.L^{-1}
	Brometo	Br^{-}	mg.L^{-1}
	Nitrito	NO_2^{-}	mg.L^{-1}
	Nitrato	NO_3^{-}	mg.L^{-1}
	Sulfato	SO_4^{-2}	mg.L^{-1}
	Fosfato - P	$\text{P}(\text{PO}_4^{3-})$	mg.L^{-1}
	Bicarbonato	HCO_3^{-}	mg.L^{-1}
	Cátions	Sódio	Na^{+}
Amônio		NH_4^{+}	mg.L^{-1}
Potássio		K^{+}	mg.L^{-1}
Magnésio		Mg^{2+}	mg.L^{-1}
Cálcio		Ca^{2+}	mg.L^{-1}

Fonte: Dados da pesquisa.

3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

3.3.1 Análise Fatorial

A análise fatorial é um conjunto de técnicas estatísticas que procura explicar a correlação entre as variáveis observáveis, simplificando os dados através da redução do número de variáveis necessárias para descrevê-los (PESTANA e GAGEIRO, 2005).

Segundo os mesmos autores, a análise fatorial pode ser exploratória, quando trata a relação entre as variáveis sem determinar em que medida os resultados se ajustam a um modelo, ou confirmatória, quando compara os resultados obtidos com os que constituem a teoria. Neste estudo, utilizou-se análise fatorial do tipo exploratória.

Segundo Reis (2001), o modelo fatorial padronizado (média 0 e desvio padrão 1) pode ser expresso conforme a equação a seguir:

$$X_i = ai_1F_1 + ai_2F_2 + \dots + aimF_m + \varepsilon_i \quad (i = 1, \dots, p). \quad (2)$$

Onde,

X_i = representa as variáveis padronizadas;

a_i = denominado de *loading* ou cargas fatoriais, representa o peso da variável i no fator j , ou seja, o grau de correlação entre as variáveis originais e os fatores;

F_k = representa os fatores comuns, que são independentes (ortogonais) e igualmente distribuídos, com média 0 e variância 1 ($k = 1, \dots, m$);

ε_i = representa os fatores específicos, que são independentes e igualmente distribuídos, com média 0 e variância ψ_i , $\text{Var}(\varepsilon_i) = \psi_i$.

3.3.2 Teste de Normalidade de Kolmogorov-Smirnov

O teste de Kolmogorov-Smirnov, segundo Fávero *et al.* (2009), é um teste de aderência que compara a distribuição de frequência acumulada de um conjunto de valores observados da amostra com uma distribuição esperada ou teórica. Neste estudo, portanto, a partir deste teste pretende-se determinar se uma amostra é proveniente de uma população com distribuição normal. Utiliza-se o teste de Kolmogorov-Smirnov quando a média e o desvio padrão da população são conhecidos.

3.3.3 Extração dos Fatores

A análise fatorial estima o peso dos fatores (*loadings*) e as variâncias, de modo a que tanto as covariâncias como as correlações previstas nele estejam tão perto quanto possível dos valores observados (PESTANA e GAGEIRO, 2005). Os métodos mais usados para extração dos fatores são o das componentes principais e o da máxima verossimilhança.

Neste estudo, utilizou-se o método de extração por componentes principais, o qual permite transformar um conjunto de variáveis quantitativas iniciais correlacionadas entre si (x_1, x_2, \dots, x_p), noutra conjunto com um menor número de variáveis não correlacionadas (ortogonais) e designadas por componentes principais (y_1, y_2, \dots, y_p), que resultam de combinações lineares das variáveis iniciais, reduzindo a complexidade de interpretação dos dados (PESTANA e GAGEIRO, 2005).

Assim, o primeiro fator extraído pode ser visto como o melhor resumo de relações lineares exibidas nos dados. O segundo fator é definido como a segunda melhor combinação linear das variáveis, sujeita a restrição de que é ortogonal ao primeiro fator, ou seja, explica a maior parte da variância que ainda é inexplicada após a remoção do primeiro fator dos dados (HAIR JR. *et al.*, 2009), e assim por diante até que toda a variância seja explicada. A redução da dimensão de dados facilita a extração de informações de grande relevância na avaliação da qualidade das águas e no manejo de bacias hidrográficas.

3.3.4 Rotação dos Fatores

A relação entre os fatores e as variáveis individuais é definida pela matriz das componentes obtidas na fase de extração, decorrente dos valores atribuídos ao fator. Caso os fatores que compõem a matriz apresentem valores de difícil interpretação, é indicado o uso do procedimento de transformação ortogonal (rotação da matriz dos pesos fatoriais), o qual gera uma nova matriz, de mais fácil interpretação sem alterar a variância total (GIRÃO *et al.*, 2007).

Segundo Hair Jr. *et al* (2009), esse procedimento maximiza a variância entre os fatores, alterando a raiz característica sem afetar a proporção da variância total explicada pelo conjunto. Dessa forma, após a rotação, as variáveis passam a apresentar pesos próximos a um ou a zero, eliminando valores intermediários que dificultam a interpretação dos fatores. Neste estudo, utilizou-se o modelo de rotação ortogonal *Varimax* devido sua facilidade de

interpretação e emprego frequente em estudos de qualidade de água e processos hidrológicos, conforme Helena *et al.* (2000), Andrade, Silveira e Azevedo (2003) e Palácio (2004).

3.3.5 Número de Fatores a Extrair

O número de fatores necessários para descrever os dados pode ser obtido a partir dos procedimentos denominados: Critério da Raiz Latente ou Critério de Kaiser, Critério a priori, Critério do Gráfico Scree e Critério do Percentual de Variância. Neste estudo, utilizou-se o Critério da Raiz Latente ou Critério de Kaiser. A seguir, tem-se a definição dos critérios, segundo Reis (2001):

- i) Critério da Raiz Latente ou Critério de Kaiser:* escolhem-se fatores que tem autovalores (*eigenvalues*), os quais exprimem a variância explicada por cada fator, maiores que 1, descartando-se os fatores com autovalores menores que 1;
- ii) Critério a priori:* quando o pesquisador já sabe quantos fatores extrair antes de aplicar a análise fatorial;
- iii) Critério do gráfico Scree:* o qual é utilizado para identificar o número ótimo de fatores que podem ser extraídos antes que a quantia de variância única comece a dominar a estrutura de variância comum;
- iv) Critério do Percentual de Variância:* consiste em escolher, como número de fatores, um número mínimo necessário para que o percentual de variância explicada alcance o nível satisfatório desejado, de acordo com o critério do pesquisador.

3.3.6 Medida de Kaiser-Meyer-Olkin e Teste de Esfericidade de Bartlett

A medida denominada Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), é uma estatística que varia entre zero e um, e compara as correlações de ordem zero com as correlações parciais observadas entre as variáveis (PESTANA e GARNEIRO, 2005). Esta medida é dada pela seguinte expressão:

$$KMO = \frac{\sum_{i \neq j} \sum r^2_{ij}}{\sum_{i \neq j} \sum r^2_{ij} + \sum_{i \neq j} \sum a^2_{ij}} \quad (3)$$

Onde,

r_{ij} = coeficiente de correlação entre as variáveis;

a_{ij} = coeficiente de correlação parcial.

A estatística KMO, cujos valores variam de 0 a 1, avalia a adequação da amostra quanto ao grau de correlação parcial entre as variáveis, que deve ser pequeno (REIS, 2001). A mesma autora destaca que o valor de KMO próximo de 0 indica que a AF pode não ser adequada, pois existe uma correlação fraca entre as variáveis. Por outro lado, quanto mais próximo de 1 o seu valor, mais adequada é a utilização da técnica. A Tabela 3 apresenta os valores de KMO e suas respectivas recomendações para a aplicação da Análise Fatorial.

Tabela 3. Classificação para aplicação da Análise Fatorial pela medida KMO.

Valor do KMO	Recomendação
$KMO > 0,90$	Excelente
$0,90 > KMO > 0,80$	Boa
$0,80 > KMO > 0,70$	Média
$0,70 > KMO > 0,60$	Razoável
$0,60 > KMO > 0,50$	Ruim, mas aceitável
$KMO < 0,50$	Inaceitável

Fonte: Adaptado de Reis (2001).

O teste de esfericidade de Bartlett, testa a hipótese da matriz das correlações ser a matriz identidade, cujo determinante é igual a 1. Este teste requer que os dados provenham de uma população normal multivariada. No entanto este teste é muito influenciado pelo tamanho da amostra, e leva a rejeitar a hipótese nula em grandes amostras, pelo que se torna preferível usar o KMO (PESTANA e GARNEIRO, 2005).

Uma forma de examinar a matriz de correlações e verificar a AF consiste na aplicação do teste de esfericidade de Bartlett. Utiliza-se tal teste com o intuito de avaliar a hipótese de que a matriz das correlações pode ser a matriz identidade com determinante igual a 1 (REIS, 2001).

Se a matriz de correlações for igual a matriz identidade, isso significa que as inter-relações entre as variáveis são iguais a 0 e, neste caso, deve-se reconsiderar a utilização da análise fatorial. Assim, as hipóteses testadas são: $H0$: a matriz de correlações é uma matriz identidade contra $H1$: a matriz de correlações não é uma matriz identidade (PAMPLONA, 2011).

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix}.$$

O KMO e o teste de Bartlett são dois procedimentos estatísticos que permitem aferir a qualidade das correlações entre as variáveis de forma a prosseguir com a análise fatorial (PESTANA e GAGEIRO, 2005).

3.3.7 Matriz Anti-imagem

A matriz de correlações anti-imagem contém os valores negativos das correlações parciais e é uma forma de obter indícios a cerca da necessidade de eliminação de determinada variável do modelo (REIS, 2001).

De acordo com Pestana e Gageiro (2005), na matriz anti-imagem, quanto maiores forem às medidas de adequação amostral para cada variável (diagonal principal), e menores as que se situam fora da diagonal principal, mais sugerem a não exclusão dessa variável da análise fatorial.

Pode-se calcular uma Medida de Adequação da Amostra, ou Measure of Sampling Adequacy (MSA), para cada variável de forma similar a estatística KMO, conforme Fávero *et al.* (2009):

$$MSA = \frac{\sum_{i \neq j} r^2_{ij}}{\sum_{i \neq j} r^2_{ij} + \sum_{i \neq j} a^2_{ij}}. \quad (4)$$

Onde,

r_{ij} = o coeficiente de correlação entre variáveis;

a_{ij} = o coeficiente de correlação parcial.

Segundo Hair *et al.* (2009), o pesquisador deve primeiro analisar os valores do MAS para cada variável individualmente e excluir as que se encontram no domínio inaceitável. Quanto maiores forem os valores do MSA, melhor será a utilização da AF. Cabe observar que, por vezes, a baixa correlação de determinada variável com as demais não necessariamente implica a sua eliminação, uma vez que esta variável pode representar um fator isoladamente (PAMPLONA, 2011).

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa estatístico SPSS, versão 16.0 (*Statistical Package for the Social Sciences*).

3.3.8 Índice de qualidade de água (IQA)

Pode-se definir o Índice de Qualidade de Água (IQA) como uma importante ferramenta na abordagem da qualidade de água dos mais variados corpos hídricos. O IQA é empregado nas mais diferentes formas como uma metodologia integradora, por converter várias informações num único resultado numérico (ALMEIDA; SCHRWARZBOLD, 2003). O seu uso consiste no emprego de variáveis que se correlacionam com as alterações ocorridas na microbacia, sejam estas de origem antrópica ou natural (TOLEDO e NICOLELLA, 2002; PALÁCIO, 2004).

O Índice de Qualidade de Água, neste estudo, teve como objetivo avaliar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, em relação aos aspectos físico-químicos, para o consumo humano, considerando que, os moradores da Vila Capitão Pocinho utilizam a água para diversos fins.

O Índice de Qualidade de Água (IQA) é definido como uma combinação dos escores fatoriais e a proporção da variância explicada por cada fator em relação a variância comum. Desse modo, o modelo de IQA adaptado de Carvalho *et al.* (2007), é dado por,

$$IQA = \sum_{j=1}^q \left(\frac{\lambda_j}{\sum_j \lambda_j} FP_{ij} \right), i = 1, 2, \dots, n; \quad (5)$$

em que λ_j é a variância explicada por cada fator, $\sum_j \lambda_j$ é a soma total da variância explicada pelo conjunto de fatores comuns e FP_{ij} é o escore fatorial padronizado. O escore fatorial é padronizado para se obter valores positivos dos escores originais e permitir a classificação das águas, uma vez que os valores do IQA estão situados entre zero e um. Podendo ser obtido pela seguinte fórmula,

$$FP_i = \left(\frac{F_i - F_{min}}{F_{max} - F_{min}} \right); \quad (6)$$

em que F_{min} e F_{max} são, respectivamente, os valores mínimo e máximo observados para os escores fatoriais associados a água.

Para facilitar a interpretação dos resultados, foram estabelecidos intervalos de valores do IQA, agrupando as águas de acordo seu grau de qualidade, através de uma escala de 0 (água de péssima qualidade) a 100 (água de excelente qualidade), conforme a Tabela 4.

Tabela 4. Níveis de qualidade de água.

Faixa	Qualidade da água
De 81 a 100	Excelente
De 61 a 80	Boa
De 41 a 60	Regular
De 21 a 40	Ruim
De 0 a 20	Péssima

Fonte: Adaptado de Ferreira e Almeida (2005).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE FATORIAL

Estudos hidrológicos na região norte exigem cuidados nas análises de seus dados, principalmente em relação à sazonalidade. Desse modo, para uma melhor abordagem do efeito da precipitação nas concentrações dos parâmetros estudados, iniciou-se a análise dividindo os dados das águas superficiais e subterrâneas em dois períodos: período chuvoso, referentes aos meses de janeiro, março e maio de 2009, e período seco referente aos meses de julho, setembro e novembro de 2009.

Para a utilização da análise fatorial, conforme Fávero *et al.* (2009), deve-se primeiramente, verificar se os dados apresentam valores discrepantes, e se apresentam distribuição viesada. Para tanto, aplicou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov, o qual determina se uma amostra segue uma distribuição normal ou não. Observou-se que alguns parâmetros físico-químicos não seguiam uma distribuição normal, sendo necessária a utilização de alguns modelos de transformação para normalizar os dados, os quais podem ser vistos nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 5. Transformações utilizadas para normalização dos dados dos parâmetros físico-químicos das águas superficiais coletados na microbacia do Rio Capitão Pocinho.

Período	Parâmetro	Unidade	Transformação
Chuvoso	Fluoreto (F ⁻)	mg.L ⁻¹	Log (F ⁻)
	Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg.L ⁻¹	Log ((NO ₃ ⁻ - Média)/Desvio Padrão)
	Fosfato-P P(PO ₄ ³⁻)	mg.L ⁻¹	(P(PO ₄ ³⁻)) ^{-0,5*}
Seco	Fluoreto (F ⁻)	mg.L ⁻¹	(F ⁻) ²
	Cloreto (Cl ⁻)	mg.L ⁻¹	Log (Cl ⁻)
	Nitrito (NO ₂ ⁻)	mg.L ⁻¹	(NO ₂ ⁻) ²
	Amônio (NH ₄ ⁺)	mg.L ⁻¹	(NH ₄ ⁺ - Média)/Desvio Padrão)
	Potássio (K ⁺)	mg.L ⁻¹	Log ₁₀ (K ⁺)
	Magnésio (Mg ²⁺)	mg.L ⁻¹	Log ₁₀ (Mg ²⁺)
	Cálcio (Ca ²⁺)	mg.L ⁻¹	Log ₁₀ (Ca ²⁺)

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 6. Transformações utilizadas para normalização dos dados dos parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas coletados na microbacia do Rio Capitão Pocinho.

Período	Parâmetro	Unidade	Transformação
Chuvoso	Fluoreto (F ⁻)	mg.L ⁻¹	Log (F ⁻)
	Cloreto (Cl ⁻)	mg.L ⁻¹	Log (Cl ⁻)
	Fosfato-P P(PO ₄ ³⁻)	mg.L ⁻¹	(P(PO ₄ ³⁻)) ^{0,5*}
	Amônio (NH ₄ ⁺)	mg.L ⁻¹	Log (NH ₄ ⁺)
Seco	Fluoreto (F ⁻)	mg.L ⁻¹	Log ₁₀ ((F ⁻ - Média)/Desvio Padrão))
	Cloreto (Cl ⁻)	mg.L ⁻¹	Log (Cl ⁻)
	Nitrito (NO ₂ ⁻)	mg.L ⁻¹	(NO ₂ ⁻) ²
	Fosfato-P P(PO ₄ ³⁻)	mg.L ⁻¹	(P(PO ₄ ³⁻)) ²
	Alcalinidade (Alc)	mg.L ⁻¹	(Alc - Média/Desvio Padrão)
	Amônio (NH ₄ ⁺)	mg.L ⁻¹	=Log ₁₀ ((NH ₄ ⁺ - Média)/Desvio Padrão))
	Potássio (K ⁺)	mg.L ⁻¹	Log (K ⁺)
Cálcio (Ca ²⁺)	mg.L ⁻¹	Log (Ca ²⁺)	

Fonte: Dados da pesquisa.

De posse dos dados normalizados, a próxima etapa do estudo consistiu na geração das matrizes de correlações. A seguir, têm-se as respectivas matrizes para águas superficiais e subterrâneas, nos períodos chuvoso e seco:

4.1.1 Água Superficial

4.1.1.1 Período Chuvoso

A matriz de correlação foi gerada, inicialmente, com todos os parâmetros físico-químicos analisados neste estudo, totalizando 16 (Tabela 2). Posteriormente, a partir de uma análise de sensibilidade, foi possível selecionar os parâmetros de maior significância para a proposta do estudo (maior correlação), dentre os quais 5 apresentaram maior significância na análise fatorial, sendo cloreto (Cl⁻), alcalinidade (Alc), condutividade elétrica (CE), íon sódio (Na⁺) e íon magnésio (Mg²⁺).

De acordo a Tabela 7 pode-se observar a totalidade de correlações (100% dos dados) com valores absolutos superiores a 0,30, recomendado por Norusis (1990), o que permite dar continuidade a aplicação da técnica análise fatorial. Portanto, os parâmetros que apresentaram maior correlação foram Mg²⁺ e Alc (0,933) e Na⁺ e Cl⁻ (0,911).

A alcalinidade (Alc) e o íon magnésio (Mg²⁺) estão fortemente relacionados com a intemperização da região. De acordo com Porto, Branco e Luca (1991), em águas que

possuem elevadas concentrações de carbonatos, há tendência para a precipitação do cálcio e do magnésio, sob a forma de carbonatos.

A forte correlação entre os íons sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-), em águas superficiais, é forte indicativo de contaminação por despejos domésticos (esgoto), o que ratifica as informações obtidas *in loco*, onde os moradores da vila Capitão Pocinho que residem às margens do rio, em sua grande maioria, não possuem sistema de esgoto, o qual é lançado indiscriminadamente no leito do rio.

Conforme Esteves (1998), em ambientes aquáticos de regiões tropicais, a condutividade elétrica relaciona-se mais à composição geoquímica e às condições de seca e chuva do que com o estado trófico, o que pode explicar a correlação positiva entre a CE e o Cl^- , Alc, Na^+ e Mg^{2+} . A condutividade elétrica expressa à concentração dos sais na água, daí sua forte correlação com todos os parâmetros físico-químicos selecionados. Resultados semelhantes foram encontrados por Palácio (2004), a qual estudando a qualidade das águas da parte baixa da bacia hidrográfica do rio Trussu, no município de Iguatu/CE, também verificou forte correlação da CE com os íons Cl^- , Na^+ , Mg^{2+} , e HCO_3^- , o qual possui relação direta com a alcalinidade.

Tabela 7. Matriz de correlação para os parâmetros físico-químicos referentes às coletas de água superficial no período chuvoso.

	Cl^-	Alc	CE	Na^+	Mg^{2+}
Cl^-	1,000				
Alc	0,818	1,000			
CE	0,801	0,833	1,000		
Na^+	0,911	0,685	0,787	1,000	
Mg^{2+}	0,857	0,933	0,846	0,810	1,000

Fonte: Dados da pesquisa.

A matriz anti-imagem de correlação apresenta os valores negativos das correlações parciais entre os parâmetros físico-químicos. Neste tipo de matriz, os valores da diagonal principal também representam uma medida de adequação dos dados à análise fatorial, conhecida por Medida de Adequação da Amostra (MSA), para cada parâmetro em estudo. Desse modo, conforme a Tabela 8, a MSA foi superior a 0,50 para todos os parâmetros físico-químicos, os quais se encontram em domínio aceitável para aplicação da técnica.

Tabela 8. Matriz de Correlação Anti-imagem para os parâmetros físico-químicos referentes às coletas de água superficial no período chuvoso.

	Cl ⁻	Alc	CE	Na ⁺	Mg ²⁺
Cl ⁻	0,745^a				
Alc	-0,532	0,642^a			
CE	0,163	-0,401	0,886^a		
Na ⁺	-0,790	0,652	-0,393	0,634^a	
Mg ²⁺	0,225	-0,798	0,042	-0,530	0,754^a

(^a) Medida de Adequação da Amostra. Fonte: Dados da pesquisa.

Os resultados da estatística de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), a qual compara as correlações simples com as parciais observadas entre os parâmetros físico-químicos, que varia entre 0 e 1, e do teste de esfericidade de Bartlett, o qual verifica a hipótese de a matriz de correlações ser a matriz identidade, encontram-se na Tabela 9. Verifica-se que o valor da estatística KMO para água superficial no período chuvoso foi de 0,723, indicando adequação da amostra à análise fatorial, conforme a Tabela 3. Além disso, o nível de significância do teste de esfericidade de Bartlett ($p = 0,000$) conduz a rejeição da hipótese de a matriz de correlações ser a matriz identidade. Estes resultados respaldam o emprego da análise fatorial para a extração de fatores.

Tabela 9. Resultado da Medida de Kaiser-Meyer-Olkin e do Teste de Esfericidade de Bartlett para os parâmetros físico-químicos referentes às águas superficiais no período chuvoso.

Período	Medida	Valor	
	KMO	0,723	
Chuvoso	Teste de esfericidade de Bartlett	χ^2	46,440
		p	0,000

Fonte: Dados da pesquisa.

Pelo método de extração via componentes principais, foi possível gerar um modelo com apenas uma componente, a qual explica 86,29% da variância total, como pode ser observado na Tabela 10, tendo como base os princípios descritos por Norusis (1990), onde se deve considerar somente aquelas componentes que apresentem um autovalor superior a um. Este critério foi proposto por Kaiser (1958), e fundamenta-se no fato de que qualquer fator deve explicar uma variância superior àquela apresentada por uma simples variável.

A única componente gerada foi composta pelos parâmetros íon magnésio (Mg²⁺), cloreto (Cl⁻), alcalinidade (Alc), condutividade elétrica (CE) e íon sódio (Na⁺), sendo denominada de Componente Mineral, devido a presença desses elementos estar relacionada

com o intemperismo químico das rochas sedimentares, características da região de estudo, e consequente escoamento superficial das áreas drenadas pelo rio Capitão Pocinho.

Tabela 10. Autovalor e Percentual de Variância Explicada pelos Fatores para os parâmetros físico-químicos referentes às águas superficiais no período chuvoso.

Componente	Variância Inicial		
	Total	% de Variância	% Acumulado
1	4,314	86,286	86,286
2	0,374	7,473	93,759
3	0,194	3,886	97,645
4	0,090	1,792	99,438
5	0,028	0,562	100,000

Fonte: Dados da pesquisa.

Os autovalores indicam a importância relativa de cada fator na explicação da variância associada ao conjunto de parâmetros analisados. A solução fatorial extrai os fatores na ordem de sua importância, isto é, para os parâmetros físico-químicos referentes às águas superficiais no período chuvoso, o único fator explica a maior parcela de variância (Tabela 10).

A Tabela 11 apresenta a matriz das cargas fatoriais, a qual não necessitou de transformação ortogonal. A última coluna da tabela fornece os valores das comunalidades, indicando o quanto da variância de cada atributo é explicada pelos fatores juntos. Nota-se que todos os parâmetros físico-químicos referentes às águas superficiais no período chuvoso, possuem forte relação com os fatores retidos, pois tem elevadas comunalidades. As comunalidades representam a variância total explicada pelos fatores em cada variável.

Tabela 11. Matriz de Cargas Fatoriais não rotacionadas para os parâmetros físico-químicos referentes às águas superficiais no período chuvoso.

Variáveis	Fator 1	Comunalidades
Mg ²⁺	0,958	0,918
Cl ⁻	0,945	0,892
Alc	0,920	0,847
CE	0,918	0,844
Na ⁺	0,902	0,813
Autovalor	4,314	
% Variância explicada	86,286	
% Variância acumulada	86,286	

Fonte: Dados da pesquisa.

4.1.1.2 Período Seco

De forma análoga, a matriz de correlação para água superficial no período seco foi gerada com os 16 parâmetros, dos quais, foram selecionados 4 com maior correlação, sendo cloreto (Cl^-), condutividade elétrica (CE), alcalinidade (Alc) e nitrito (NO_2^-). Os parâmetros que apresentaram maior correlação foram CE e Cl^- (0,871), Alc e Cl^- (0,772) e Alc e CE (0,701).

Tabela 12. Matriz de correlação para os parâmetros físico-químicos referentes às coletas de água superficial no período seco.

	Cl^-	CE	Alc	NO_2^-
Cl^-	1,000			
CE	0,871	1,000		
Alc	0,772	0,701	1,000	
NO_2^-	-0,297	-0,227	-0,128	1,000

Fonte: Dados da pesquisa.

A correlação entre a CE, o Cl^- e a Alc era esperada, pois CE expressa os sais presentes na água. Durante a estação seca, possivelmente, ocorre o aumento do cloreto nas águas do rio Capitão Pocinho, devido à elevada taxa de evaporação nesse período. As concentrações desses elementos, principalmente, do cloreto, nas águas superficiais do rio Capitão Pocinho, estão fortemente associadas às ações antrópicas, como descarga de esgotos domésticos. Girão *et al.* (2007), em estudo de identificação dos parâmetros físicos e químicos mais importantes na variabilidade da qualidade da água no trecho perenizado do rio Jaibas, também encontraram resultados semelhantes com CE e o Cl^- , e associaram a forte correlação ao despejo de esgotos domésticos.

Nas Tabelas 13 e 14, encontram-se, respectivamente, os valores da matriz anti-imagem de correlação e os resultados da estatística de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e o teste de esfericidade de Bartlett, os quais se encontram dentro do domínio aceitável para aplicação da técnica.

Tabela 13. Matriz de Correlação Anti-imagem para os parâmetros físico-químicos referentes às coletas de água superficial no período seco.

	Cl^-	CE	Alc	NO_2^-
Cl^-	0,641^a			
CE	-0,715	0,714^a		
Alc	-0,480	-0,084	0,807^a	
NO_2^-	0,256	-0,052	-0,161	0,623^a

(^a) Medida de Adequação da Amostra. Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 14. Resultado da Medida de Kaiser-Meyer-Olkin e do Teste de Esfericidade de Bartlett para os parâmetros físico-químicos referentes às águas superficiais no período seco.

Período	Medida		Valor
	KMO		0,704
Seco	Teste de esfericidade de Bartlett	χ^2	16,780
		P	0,010

Fonte: Dados da pesquisa.

Pelo método de extração via componentes principais, gerou-se um modelo com apenas uma componente, a qual explica 66,30% da variância total, como pode ser observado na Tabela 15. A única componente gerada composta pelos parâmetros cloreto (Cl^-), condutividade elétrica (CE), alcalinidade (Alc) e nitrito (NO_2^-), foi denominada Componente Orgânica, por estar fortemente relacionada com os despejos de esgotos domésticos no rio Capitão Pocinho.

Tabela 15. Autovalor e Percentual de Variância Explicada pelos Fatores para os parâmetros físico-químicos referentes às águas superficiais no período seco.

Componente	Variância Inicial		
	Total	% de Variância	% Acumulado
1	2,652	66,301	66,301
2	0,929	23,231	89,531
3	0,304	7,608	97,140
4	0,114	2,860	100,000

Fonte: Dados da pesquisa.

A Tabela 16 apresenta a matriz das cargas fatoriais, nela observa-se que o cloreto (Cl^-), a condutividade elétrica (CE) e a alcalinidade (Alc) apresentaram elevadas comunalidades, exceto o nitrito (NO_2^-), que foi mantido na análise por apresentar alto valor de medida de adequação da amostra (0,623).

Tabela 16. Matriz de Cargas Fatoriais não rotacionadas para os parâmetros físico-químicos referentes às águas superficiais no período seco.

Variáveis	CP1	Comunalidades
Cl^-	0,957	0,916
CE	0,923	0,851
Alc	0,867	0,751
NO_2^-	-0,366	0,134
Autovalor	2,652	
% Variância explicada	66,301	
% variância acumulada	66,301	

Fonte: Dados da pesquisa.

4.1.2 Água Subterrânea

4.1.2.1 Período Chuvoso

Do mesmo modo, a matriz de correlação para água subterrânea no período chuvoso foi gerada a partir dos 16 parâmetros físico-químicos, dos quais foi possível selecionar 5 parâmetros que apresentaram correlações significativas, sendo nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), fosfato ($\text{P}(\text{PO}_4^{3-})$), íon cálcio (Ca^{2+}) e alcalinidade (Alc). Dentre estes, os parâmetros que apresentaram maior correlação foram NO_3^- e Alc (0,816) e NO_2^- e Ca^{2+} (0,771).

Tabela 17. Matriz de correlação para os parâmetros físico-químicos referentes às coletas de água subterrânea no período chuvoso.

	NO_2^-	NO_3^-	$\text{P}(\text{PO}_4^{3-})$	Ca^{2+}	Alc
NO_2^-	1,000				
NO_3^-	-0,046	1,000			
$\text{P}(\text{PO}_4^{3-})$	0,584	-0,478	1,000		
Ca^{2+}	0,771	0,335	0,412	1,000	
Alc	0,187	0,816	-0,383	0,561	1,000

Fonte: Dados da pesquisa.

Os valores da medida de adequação da amostra e os resultados da estatística de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e o teste de esfericidade de Bartlett, encontram-se dentro do domínio aceitável para aplicação da técnica, respaldando o emprego da análise fatorial para a extração de fatores (Tabelas 18 e 19).

Tabela 18. Matriz de Correlação Anti-imagem para os parâmetros físico-químicos referentes às coletas de água subterrânea no período chuvoso.

	NO_2^-	NO_3^-	$\text{P}(\text{PO}_4^{3-})$	Ca^{2+}	Alc
NO_2^-	0,706^a				
NO_3^-	0,231	0,732^a			
$\text{P}(\text{PO}_4^{3-})$	-0,115	0,146	0,560^a		
Ca^{++}	-0,581	-0,130	-0,584	0,530^a	
Alc	0,025	-0,526	0,566	-0,599	0,549^a

(^a) Medida de Adequação da Amostra. Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 19. Resultado da Medida de Kaiser-Meyer-Olkin e do Teste de Esfericidade de Bartlett para os parâmetros físico-químicos referentes às águas subterrâneas no período chuvoso

Período	Medida	Valor	
Chuvoso	KMO	0,600	
	Teste de esfericidade de Bartlett	χ^2	50,994
		P	0,000

Fonte: Dados da pesquisa.

Pelo método de extração via componentes principais, foi possível gerar um modelo com duas componentes, as quais explicam 89,86% da variância total, como pode ser observado na Tabela 20. Para os parâmetros físico-químicos referentes às águas subterrâneas no período chuvoso, o primeiro fator explica a maior parcela de variância, com 45,31% e o segundo fator explica 44,55%.

Tabela 20. Autovalor e Percentual de Variância Explicada pelos Fatores para os parâmetros físico-químicos referentes às águas subterrâneas no período chuvoso.

Componentes	Variância Inicial			Após a Rotação		
	Total	% de Variância	% Acumulado	Total	% de Variância	% Acumulado
1	2,361	47,211	47,211	2,265	45,308	45,308
2	2,132	42,644	89,855	2,227	44,547	89,855
3	0,272	5,434	95,289			
4	0,157	3,130	98,419			
5	0,079	1,581	100,000			

Fonte: Dados da pesquisa.

A matriz de cargas fatoriais gerada inicialmente apresentava valores de difícil interpretação. Para superar essa limitação, aplicou-se o método de rotação ortogonal *Varimax* (Tabela 21), o qual maximiza a variância entre os fatores, alterando a raiz característica sem afetar a proporção da variância total explicada pelo conjunto. Pesquisadores como Silveira e Andrade (2002), Helena *et al.* (2000), Mendiguchía *et al.* (2004), Palácio (2004), Machado (2006) e Andrade *et al.* (2007) também obtiveram uma matriz de mais fácil interpretação com a aplicação do algoritmo *Varimax*, na elaboração da matriz transformada.

Tabela 21. Matriz de Cargas Fatoriais após Rotação Ortogonal pelo método *Varimax* para os parâmetros físico-químicos referentes às águas subterrâneas no período chuvoso.

Variáveis	CP1	CP2	Comunalidades
Alc	0,947	0,193	0,934
NO ₃ ⁻	0,937	-0,044	0,880
NO ₂ ⁻	0,022	0,932	0,870
Ca ²⁺	0,422	0,873	0,941
PO ₄ ³⁻	-0,559	0,746	0,869
Autovalor	2,265	2,227	
% Variância explicada	45,308	44,547	
% Variância acumulada	45,308	89,855	

Fonte: Dados da pesquisa.

A primeira componente rotacionada (CP1) composta pelos parâmetros Alcalinidade (Alc) e Nitrato (NO₃⁻), passou a explicar 45,308% da variância, sendo denominada de

Componente Temporal, devido a presença desses elementos estar relacionada com o tempo de permanência na água.

A alcalinidade pode ser explicada pela intemperização geológica da região, corroborando os resultados obtidos por Araújo (2011), que classificou as águas do aquífero da região como sendo bicarbonatadas. Enquanto que a presença do íon nitrato indica contaminação antiga. Ressalta-se que presença de compostos nitrogenados em águas subterrâneas, próximas a áreas de cultivo, é indicativo de contaminação por utilização de fertilizantes nitrogenados.

A segunda componente (CP2) composta pelos parâmetros Nitrito (NO_2^-), íon Cálcio (Ca^{2+}) e Fosfato ($\text{P}(\text{PO}_4^{3-})$), passou a explicar 44,547% da variância, sendo denominada de Componente Mineral, possivelmente oriundos da utilização de defensivos e fertilizantes agrícolas à base dessas substâncias.

4.1.2.2 Período Seco

A matriz de correlação para água subterrânea, no período seco, também foi gerada com os 16 parâmetros, dos quais foram selecionados 5 parâmetros que apresentaram correlações significativas, sendo eles: alcalinidade (Alc), condutividade elétrica (CE), íon cálcio (Ca^{2+}), íon potássio (K^+) e o bicarbonato (HCO_3^-). De acordo com a Tabela 22, pôde-se observar que todos os parâmetros selecionados apresentaram correlações superiores a 0,30.

Os parâmetros que apresentaram maior correlação foram HCO_3^- e CE (0,997), CE e Alc (0,778) e HCO_3^- e Alc (0,753). A forte correlação entre os parâmetros CE, HCO_3^- e Alc, era esperada, uma vez que, como já mencionado, a CE expressa os sais presentes na água e a concentração dos mesmos no período seco é possivelmente maior, devido à diminuição da frequência das chuvas. A forte correlação entre a Alc e o HCO_3^- , no período seco era esperada, por estar intrinsecamente relacionada com a intemperização geológica da região, uma vez que, a diminuição na frequência das chuvas, acarreta consequente, diminuição na percolação de alguns elementos químicos que compõe os defensivos e fertilizantes agrícolas, como compostos nitrogenados, clorados, adubos a base de potássio, entre outros.

Hasse e Possoli (1993), em estudo comparativo entre dois regimes hidrológicos diferentes (Arroio Velhaco e Rio Gravataí) no Rio Grande do Sul, por meio da técnica da análise fatorial, também verificaram uma forte correlação entre a CE e a Alc, no entanto, atribuíram à descarga de esgotos.

Tabela 22. Matriz de correlação para os parâmetros físico-químicos referentes às coletas de água subterrânea no período seco.

	Alc	CE	Ca ²⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻
Alc	1,000				
CE	0,778	1,000			
Ca ²⁺	0,544	0,694	1,000		
K ⁺	0,514	0,536	0,307	1,000	
HCO ₃ ⁻	0,753	0,997	0,680	0,515	1,000

Fonte: Dados da pesquisa.

Nas Tabelas 23 e 24, encontram-se, respectivamente, os valores da medida de adequação da amostra e os resultados da estatística de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e o teste de esfericidade de Bartlett, os quais também se encontram dentro do domínio aceitável para aplicação da técnica.

Tabela 23. Matriz de Correlação Anti-imagem para os parâmetros físico-químicos referentes às coletas de água subterrânea no período seco.

	Alc	CE	Ca ²⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻
Alc	0,794^a				
CE	-0,496	0,623^a			
Ca ⁺⁺	0,095	-0,330	0,856^a		
K ⁺	-0,039	-0,305	0,178	0,818^a	
HCO ₃ ⁻	0,438	-0,993	0,274	0,277	0,632^a

(^a) Medida de Adequação da Amostra. Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 24. Resultado da Medida de Kaiser-Meyer-Olkin e do Teste de Esfericidade de Bartlett para os parâmetros físico-químicos referentes às águas subterrâneas no período seco.

Período	Medida	Valor	
Seco	KMO	0,703	
	Teste de esfericidade de Bartlett	χ^2	92,974
		p	0,000

Fonte: Dados da pesquisa.

Pelo método de extração via componentes principais, gerou-se um modelo com apenas uma componente, a qual explica 71,76% da variância total, como pode ser observado na Tabela 25. A única componente gerada composta pelos parâmetros condutividade elétrica (CE), bicarbonato (HCO₃⁻), alcalinidade (Alc), íon cálcio (Ca²⁺) e íon potássio (K⁺) foi denominada Componente Geológica, por estar fortemente relacionada com o processo de intemperismos das rochas.

Tabela 25. Autovalor e Percentual de Variância Explicada pelos Fatores para os parâmetros físico-químicos referentes às águas subterrâneas no período seco.

Componente	Variância Inicial		
	Total	% de Variância	% Acumulado
1	3,588	71,759	71,759
2	0,718	14,356	86,114
3	0,407	8,135	94,249
4	0,286	5,711	99,961
5	0,002	0,039	100,000

Fonte: Dados da pesquisa.

A Tabela 26 apresenta a matriz das cargas fatoriais, a qual não necessitou de transformação ortogonal. A última coluna da tabela fornece os valores das comunalidades, as quais representam a variância total explicada pelos fatores em cada variável. Nela pode-se observar que a condutividade elétrica (CE), o bicarbonato (HCO_3^-) e a alcalinidade (Alc), foram os parâmetros que apresentaram maiores comunalidades.

Tabela 26. Matriz de Cargas Fatoriais não rotacionadas para os parâmetros físico-químicos referentes às águas subterrâneas no período seco.

Variáveis	CP1	Comunalidades
CE	0,966	0,932
HCO_3^-	0,953	0,908
Alc	0,858	0,737
Ca^{2+}	0,767	0,588
K^+	0,651	0,424
Autovalor	3,588	
% Variância explicada	71,759	
% Variância acumulada	71,759	

Fonte: Dados da pesquisa.

A microbacia do Rio Capitão Pocinho é uma região de intensa produção agrícola e, conseqüentemente, intenso uso de defensivos e fertilizantes agrícolas a mais de 15 anos, período em que, aproximadamente, a Empresa de Citros do Pará – CITROPAR se instalou na região. Contudo, conforme pesquisa de campo, a mesma entrou em falência em 2008, se estendendo até 2010.

Nesse período, a utilização da grande maioria dos defensivos e fertilizantes sofreu drástica redução, caracterizando o período de coleta das amostras (2009), como atípico pelas atividades, comumente, desenvolvidas na região. Essa eventualidade pode explicar os baixos valores encontrados, principalmente nas amostras de água subterrânea (ANEXOS C e D).

De um modo geral, as águas superficiais e subterrâneas da microbacia do rio Capitão Pocinho, no período do estudo, sofreram maior influência da intemperização geológica da região de estudo, por apresentarem nos dois períodos estudados a presença da alcalinidade com fortes correlações com a condutividade elétrica e com o íon bicarbonato.

No entanto, a presença do íon cloreto fortemente correlacionado com a condutividade elétrica, nas amostras das águas superficiais, nos dois períodos estudados, denotam poluição difusa, a qual é decorrente do despejo de esgoto doméstico no leito dos rios. Este tipo de poluição é muito comum na área na qual foi realizado o estudo, pois, em sua grande maioria, os moradores da vila homônima ao rio, não possuem sistema de esgoto, o qual é lançado no leito do rio, ratificando os resultados obtidos.

4.2 ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA (IQA)

A primeira etapa na elaboração dos índices de qualidade das águas superficiais e subterrâneas para os períodos chuvoso e seco consistiu na padronização dos escores fatoriais originais, obtidos pela técnica da análise fatorial, com extração por componentes principais (AF/ACP), a partir da Equação (6). De posse dos escores padronizados, a segunda etapa consistiu na determinação dos índices propriamente ditos, a partir da Equação (5), gerados para cada estação de coleta de água superficial e poço de monitoramento, com a finalidade de classificar as águas de acordo com a concentração dos parâmetros físico-químicos selecionados através da técnica da AF/ACP.

4.2.1 Índice de Qualidade de Água Superficial – Período Chuvoso

Os valores dos escores originais, padronizados e os índices são apresentados na Tabela 27. Os resultados mostram que apenas a estação de coleta EC2 apresentou excelente qualidade de água ($EC2 = 100,00$), e as estações EC1 e EC3 apresentaram boa qualidade de água ($EC1 = 75,30$; $EC3 = 73,01$), conforme a Tabela 4.

Os escores dessas amostras de água apresentam valores positivos e altos, o que indica que os parâmetros físico-químicos selecionados a partir da AF/ACP, sendo cloreto (Cl^-), alcalinidade (Alc), condutividade elétrica (CE), íon sódio (Na^+) e íon magnésio (Mg^{2+}), caracterizam influência positiva na qualidade da água, ou seja, as concentrações desses

parâmetros nestas estações de coleta encontra-se em nível aceitável para o consumo da água pela comunidade residente em torno do rio capitão pocinho, segundo as recomendações de Brasil (2000, 2005, 2008, 2009 e 2011). Estas estações encontram-se localizadas próximas à residências que possuem estrutura mínima de saneamento básico (fossas sépticas), o que pode explicar esses altos valores. Ressalta-se para entendimento que, “o consumo da água pela comunidade” está associado às diversas formas de utilização da água do rio pelos moradores da vila Capitão Pocinho.

Tabela 27. Valores dos escores fatoriais originais e padronizados e índice de qualidade de água, obtidos através dos dados referentes às águas superficiais no período chuvoso (jan., mar. e mai.) de 2009.

Estações de coleta	Escore Original	Escore Padronizado	IQA	Classificação
	Fator 1	Fator 1		
EC1	1,00	0,75	75,30	Boa
EC2	1,73	1,00	100,00	Excelente
EC3	0,94	0,73	73,01	Boa
EC4	0,28	0,51	50,60	Regular
EC5	-0,10	0,38	37,74	Ruim
EC6	0,04	0,42	42,34	Regular
EC7	-0,58	0,21	21,29	Ruim
EC8	-0,89	0,11	10,68	Péssima
EC9	-1,20	0,00	0,11	Péssima
EC10	-1,21	0,00	0,00	Péssima

Fonte: Dados da pesquisa.

As estações de coleta EC4 a EC10 apresentaram qualidade de água de regular a péssima, e seus escores, em sua maioria, possuem sinal negativo e valores baixos, o que indica que os parâmetros selecionados a partir da AF/ACP (Cl^- , Alc, CE, Na^+ e Mg^{2+}), caracterizam influência negativa na qualidade da água, isto é, as concentrações desses parâmetros nestas estações de coleta não se encontram em nível aceitável para o consumo da água pela comunidade, segundo as recomendações de Brasil (2000, 2005, 2008, 2009 e 2011).

As estações EC4, EC5 e EC6, encontram-se próximo às residências que, em sua grande maioria, não possuem estrutura mínima de saneamento básico, o que pode explicar os menores valores obtidos no cálculo do IQA, possivelmente relacionados com a poluição por despejo de esgoto doméstico, inutilizando a água do rio para o consumo da comunidade.

As estações EC7 a EC10 encontram-se em uma área remanescente de floresta secundária. Estas estações recebem toda a descarga de poluentes a montante do rio Capitão Pocinho, que desaguam no rio Santa Luzia, o que pode explicar os baixos valores encontrados nos cálculos de IQA nestas estações de coleta.

4.2.2 Índice de Qualidade de Água Superficial – Período Seco

Os escores fatoriais originais, padronizados e os índices estão presentes na Tabela 28. Nota-se que, de modo semelhante ao período chuvoso, as estações EC2 e EC3 apresentaram, respectivamente, excelente qualidade de água (EC2 = 100,00), e boa qualidade de água (EC3 = 68,53), conforme a Tabela 4.

Os escores dessas amostras de água apresentam valores positivos e altos, indicando que os parâmetros selecionados a partir da AF/ACP, Cl^- , CE, Alc e NO_2^- , caracterizam influência positiva na qualidade da água, ou seja, a concentração desses parâmetros encontra-se em nível aceitável para o consumo da água pela comunidade, segundo as recomendações de Brasil (2000, 2005, 2008, 2009 e 2011).

Tabela 28. Valores dos escores fatoriais originais e padronizados e índice de qualidade de água, obtidos através dos dados referentes às águas superficiais no período seco (jul., set. e nov.) de 2009.

Estações de coleta	Escore Original	Escore Padronizado	IQA	Classificação
	Fator1	Fator 1		
EC1	0,70	0,58	57,51	Regular
EC2	2,01	1,00	100,00	Excelente
EC3	1,04	0,69	68,53	Boa
EC4	0,16	0,40	39,76	Ruim
EC5	-0,22	0,28	27,58	Ruim
EC6	-0,33	0,24	23,78	Ruim
EC7	-0,35	0,23	23,26	Ruim
EC8	-0,90	0,05	5,49	Péssima
EC9	-1,07	0,00	0,00	Péssima
EC10	-1,05	0,01	0,54	Péssima

Fonte: Dados da pesquisa.

A qualidade da água na estação EC1 reduziu no período seco, em relação ao período chuvoso, passando de boa para regular (EC1 = 57,51). As estações EC4 a EC10 apresentaram

qualidade de água de ruim a péssima, com escores fatoriais, em sua maioria, negativos e com valores baixos, indicando que os parâmetros selecionados a partir da AF/ACP caracterizam influência negativa na qualidade da água.

Observou-se redução nos valores dos índices na maioria das estações em relação ao período chuvoso, sendo essa redução já era esperada, uma vez que, com a diminuição da frequência das chuvas, tem-se conseqüentemente, o aumento da taxa de evaporação. Esse quadro é evidenciado, principalmente pela presença da condutividade elétrica (CE), que expressa os sais presentes na água, e do cloreto (Cl).

Levando-se em consideração que no período seco a vazão do rio capitão pocinho é muito baixa, a poluição urbana provavelmente afetou o teor de cloreto destas águas, principalmente no trecho onde se localizam as estações EC4, EC5 e EC6, nas quais as residências não possuem fossas sépticas nem sistema de esgoto, além do que a maioria dos moradores faz uso das águas do rio para lavar roupas em seu próprio leito. Resultados semelhantes foram encontrados por Helena et al. (2000) estudando as águas do aquífero do rio Pisuerga, na Espanha, e Palácio (2004) estudando as águas do rio Trussu no ceará.

Os resultados da estatística descritiva para os IQA's das águas superficiais nos períodos chuvoso e seco são apresentados na Tabela 29.

Tabela 29. Estatística descritiva para os IQA's das águas superficiais nos períodos chuvoso e seco.

Estações de coleta	Água Superficial				
	Período Chuvoso	Período Seco	Média	Des. Padrão	CV%
	IQA	IQA			
EC1	75,30	57,51	66,40	12,58	18,94
EC2	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00
EC3	73,01	68,53	70,77	3,17	4,47
EC4	50,60	39,76	45,18	7,66	16,96
EC5	37,74	27,58	32,66	7,19	22,01
EC6	42,34	23,78	33,06	13,12	39,69
EC7	21,29	23,26	22,27	1,39	6,23
EC8	10,68	5,49	8,09	3,67	45,37
EC9	0,11	0,00	0,05	0,08	141,42
EC10	0,00	0,54	0,27	0,38	141,42
Média	41,11	34,65	37,88		
Des. Padrão	34,07	32,46			
CV%	82,88	93,68			

Fonte: Dados da pesquisa.

Foi observada significativa redução na qualidade das águas superficiais nos dois períodos estudados ao longo das estações, o que evidenciou uma expressiva variabilidade espacial, cujos CV% foram superiores a 80%. Contudo, observou-se também expressiva variabilidade temporal nas estações EC9 e EC10, cujos CV% foram superiores a 140%. Portanto, a concentração dos sais no período seco e a diluição no período das chuvas causam consequentemente uma variação nos valores de IQA. Todavia, essa variação não é suficiente para promover a mudança de classe destas águas ao longo do tempo na maioria das estações (70%).

Qian *et al.* (2007), em estudo sobre a qualidade das águas superficiais do rio Lagoon, no sul da Índia, constataram que os valores gerados pelo IQA foram superiores no período chuvoso e inferiores no período seco, provavelmente por contribuição de fontes de poluição difusas. Palácio (2004), estudando a qualidade das águas da parte baixa do rio Trussu, também verificou que o IQA do período chuvoso foi superior ao do período seco.

4.2.3 Índice de Qualidade de Água Subterrânea – Período Chuvoso

Os escores fatoriais originais, padronizados e os índices estão presentes na Tabela 30. Observou-se que apenas os poços PM7 e PM12 apresentaram boa qualidade de água (PM7 = 64,23; PM12 = 67,16), conforme a Tabela 4.

O escore fatorial das amostras de água do poço PM7 apresentou valor positivo e alto, no Fator 2, no qual foram selecionados a partir da AF/ACP os parâmetros Nitrito (NO_2^-), íon Cálcio (Ca^{2+}) e Fosfato ($\text{P}(\text{PO}_4^{3-})$). Esse resultado caracteriza influência positiva na qualidade da água, onde as concentrações desses parâmetros, neste poço, encontram-se em nível aceitável para o consumo da água pela comunidade, segundo as recomendações de Brasil (2000, 2005, 2008, 2009 e 2011). Isto se deve, possivelmente, ao fato de haver na área circunvizinha ao poço, residências que possuem sistema mínimo de saneamento básico (fossas sépticas).

O poço PM12 também apresentou valor de escore fatorial positivo e alto, contudo no Fator 1, no qual foram selecionados a partir da AF/ACP os parâmetros Alcalinidade (Alc) e Nitrato (NO_3^-), caracterizando influência positiva na qualidade da água. Desse modo, as concentrações desses parâmetros neste poço encontram-se em nível aceitável para uso na fazenda, levando em consideração as recomendações de Brasil (2006), para águas subterrâneas. Via de regra, as fazendas CITROPAR I e II utilizam a água dos poços para irrigação dos pomares.

Tabela 30. Valores dos escores fatoriais originais e padronizados e índice de qualidade de água, obtidos através dos dados referentes às águas subterrâneas no período chuvoso (jan., mar. e mai.) de 2009.

Poços de monitoramento	Escore Original		Escore Padronizado		IQA	Classificação
	Fator 1	Fator 2	Fator 1	Fator 2		
PM1	0,70	-1,30	0,46	0,00	23,30	Ruim
PM2	0,46	-0,24	0,40	0,29	34,80	Ruim
PM3	0,12	-0,50	0,32	0,22	27,07	Ruim
PM4	-0,81	0,50	0,10	0,49	29,30	Ruim
PM5	0,13	1,05	0,32	0,64	48,25	Regular
PM6	-0,29	0,50	0,22	0,49	35,70	Ruim
PM7	-0,01	2,36	0,29	1,00	64,23	Boa
PM8	-0,50	-0,36	0,17	0,26	21,46	Ruim
PM9	-1,22	-0,65	0,00	0,18	8,86	Péssima
PM10	-0,90	-1,16	0,08	0,04	5,79	Péssima
PM11	-1,10	-0,96	0,03	0,09	6,10	Péssima
PM12	2,93	-0,07	1,00	0,34	67,16	Boa
PM13	0,46	0,33	0,40	0,44	42,40	Regular
PM14	0,68	-0,53	0,46	0,21	33,47	Ruim
PM15	-0,72	1,54	0,12	0,78	44,65	Regular
PR	0,06	-0,52	0,31	0,21	26,10	Ruim

Fonte: Dados da pesquisa.

Os demais poços apresentaram, em sua maioria, escores com valores positivos e baixos, bem como, negativos e altos, o que indica que os parâmetros físico-químicos selecionados pela AF/ACP, para os dois fatores gerados, Alc, NO_3^- , NO_2^- , Ca^{2+} e $\text{P}(\text{PO}_4^{3-})$, caracterizam influência negativa na qualidade da água, ou seja, as concentrações desses parâmetros, principalmente dos compostos nitrogenados, não se encontram em nível aceitável para o consumo da água pela comunidade e pelas fazendas, segundo as recomendações de Brasil (2000, 2005, 2008, 2009 e 2011).

Estes resultados já eram esperados neste período do estudo, uma vez que, com o aumento da frequência das chuvas, tem-se conseqüentemente, o aumento da taxa de infiltração de água no solo, o que pode ter ocasionado à percolação de substâncias oriundas da utilização de defensivos e fertilizantes agrícolas.

4.2.4 Índice de Qualidade de Água Subterrânea – Período Seco

Os escores fatoriais originais, padronizados e os índices estão presentes na Tabela 31. Os resultados mostram uma expressiva melhora na qualidade da água dos poços PM3 = 100,00, PM4 = 85,84, PM9 = 61,30, PM12 = 82,15, e no poço PM7 = 72,89, apesar de não ter subido de categoria, apresentando qualidade de boa a excelente, conforme a classificação apresenta na Tabela 4.

Tabela 31. Valores dos escores fatoriais originais e padronizados e índice de qualidade de água, obtidos através dos dados referentes às águas subterrâneas no período seco (jul., set. e nov.) de 2009.

Poços de monitoramento	Escore Original	Escore Padronizado	IQA	Classificação
	Fator 1	Fator 1		
PM1	-1,04	0,08	8,26	Péssimo
PM2	-0,47	0,26	26,11	Ruim
PM3	1,88	1,00	100,00	Excelente
PM4	1,43	0,86	85,84	Excelente
PM5	0,31	0,51	50,64	Regular
PM6	-0,40	0,28	28,46	Ruim
PM7	1,02	0,73	72,89	Bom
PM8	-0,94	0,11	11,37	Péssimo
PM9	0,65	0,61	61,30	Bom
PM10	-0,64	0,21	20,97	Péssimo
PM11	-0,86	0,14	14,10	Péssimo
PM12	1,31	0,82	82,15	Excelente
PM13	-0,30	0,32	31,67	Ruim
PM14	-1,31	0,00	0,00	Péssimo
PM15	0,23	0,48	48,06	Regular
PR	-0,88	0,13	13,48	Péssimo

Fonte: Dados da pesquisa.

Os escores fatoriais desses poços apresentaram valores positivos e altos, o que implica dizer que os parâmetros selecionados na AF/ACP, os quais foram: alcalinidade (Alc), condutividade elétrica (CE), íon cálcio (Ca^{2+}), íon potássio (K^+) e o bicarbonato (HCO_3^-), caracterizam influência positiva na qualidade da água.

Desse modo, as concentrações desses parâmetros na água dos poços, encontram-se em nível aceitável para o consumo da água pela comunidade, bem como pelas fazendas, segundo as recomendações de Brasil (2000, 2005, 2008, 2009 e 2011). Esta melhora na qualidade da

água neste período do estudo se deve, possivelmente, pela diminuição da taxa de infiltração de água no solo decorrente da diminuição da frequência das chuvas.

Contudo, cinco (5) poços desceram de categoria, apresentando qualidade de água de ruim a péssima, e seis (6) poços permaneceram na mesma categoria, apresentando qualidade de água entre regular a péssima, com exceção do poço PM7 que apresentou qualidade de água boa nos dois períodos. Os escores fatoriais desses poços apresentaram, em sua maioria, valores negativos e altos, caracterizando a presença dos parâmetros selecionados na AF/ACP (Alc, CE, Ca^{2+} , K^+ e HCO_3^-), como influência negativa na qualidade da água.

Estes resultados estão associados com a forte correlação entre os parâmetros CE, HCO_3^- e Alc, como visto anteriormente na análise fatorial, uma vez que no período seco, há o aumento da concentração dessas substâncias, as quais estão associadas com a intemperização geológica da região.

Os resultados da estatística descritiva para os IQA's das águas subterrâneas nos períodos chuvoso e seco estão presentes na Tabela 32.

Tabela 32. Estatística descritiva para os IQA's das águas subterrâneas nos períodos chuvoso e seco.

Poços de monitoramento	Água Subterrânea				
	Período chuvoso	Período seco	Média	Des. Padrão	CV%
	IQA	IQA			
PM1	23,30	8,26	15,78	10,63	67,37
PM2	34,80	26,11	30,45	6,15	20,18
PM3	27,07	100,00	63,54	51,57	81,16
PM4	29,30	85,84	57,57	39,98	69,45
PM5	48,25	50,64	49,45	1,69	3,42
PM6	35,70	28,46	32,08	5,12	15,96
PM7	64,23	72,89	68,56	6,12	8,93
PM8	21,46	11,37	16,42	7,14	43,48
PM9	8,86	61,30	35,08	37,08	105,69
PM10	5,79	20,97	13,38	10,74	80,25
PM11	6,10	14,10	10,10	5,65	55,98
PM12	67,16	82,15	74,65	10,60	14,20
PM13	42,40	31,67	37,03	7,59	20,49
PM14	33,47	0,00	16,74	23,67	141,42
PM15	44,65	48,06	46,36	2,41	5,20
PR	26,10	13,48	19,79	8,92	45,09
Média	32,42	40,96	36,69		
Des. Padrão	18,21	31,34			
CV%	56,18	76,53			

Fonte: Dados da pesquisa.

Foi observada pequena melhora na qualidade das águas dos poços. De modo geral apenas 31,25% dos poços apresentaram qualidade de água de boa a excelente, do período chuvoso para o seco, evidenciando significativa variabilidade temporal, com CV% superiores a 56%. Observou-se ainda que a variabilidade espacial foi expressiva em mais de 50% dos poços, apresentando valores de CV% entre 43,48% (PM8) a 141,42% (PM14), evidenciando a heterogeneidade dos dados.

Portanto, o aumento da frequência das chuvas é suficiente para promover alterações nos valores dos IQA's, e conseqüentemente, mudanças de classe das águas subterrâneas.

5. CONCLUSÕES

- A utilização da técnica da análise fatorial, com extração de fatores por análise de componentes principais, proporcionou uma redução significativa nos parâmetros físico-químicos analisados neste estudo;
- Para as águas superficiais, no período chuvoso, a técnica proporcionou a redução de 16 parâmetros em 5, os quais explicaram 86,29% da variância total dos dados, sendo caracterizada como componente mineral, relacionada ao intemperismo geológico da região;
- Para as águas superficiais, no período seco, a técnica proporcionou a redução de 16 parâmetros em 4, os quais explicaram 66,30% da variância total dos dados, sendo caracterizada como componente orgânica, relacionada a contaminação por despejo de esgoto doméstico;
- Para as águas subterrâneas, no período chuvoso, a técnica proporcionou a redução de 16 parâmetros em 5, os quais explicaram 89,86% da variância total dos dados primários. A primeira componente, contendo 45,31% da variância total, foi caracterizada como componente temporal, sendo relacionada com o tempo de permanência no solo. A segunda componente, contendo 44,58% da variância total, foi caracterizada como componente mineral, relacionada à utilização de defensivos e fertilizantes agrícolas;
- Para as águas subterrâneas, no período seco, a técnica proporcionou a redução de 16 parâmetros em 5, os quais explicaram 71,76% da variância total dos dados, sendo caracterizada como componente geológica, relacionada ao intemperismo geológico da região;
- O índice de qualidade de água (IQA) apresentou uma boa adequação para avaliação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas da microbacia do rio Capitão Pocinho. Em média, as águas apresentaram qualidade em nível ruim no ano de 2009 para consumo da comunidade residente na Vila capitão pocinho e das fazendas pertencentes à empresa CITROPAR;
- Diante dos resultados apresentados neste estudo, fica evidente a necessidade de uma avaliação mais detalhada a cerca da qualidade das águas rio Capitão Pocinho. A inclusão de metais pesados, agrotóxicos e coliformes fecais nas análises químicas das águas, pode proporcionar resultados mais concretos e específicos, principalmente em relação aos pontos de amostragem;

- A visita a campo foi primordial para o entendimento do problema exposto neste estudo. Nesta visita, observou-se a necessidade de implantação de gerenciamento hídrico, o qual deve compor um conjunto de ações necessárias à manutenção dos sistemas hídricos, principalmente, pois a região como um todo, está diretamente relacionada com a questão do uso do solo e os usos múltiplos das águas;
- É clara a necessidade de monitoramento e enquadramento dos sistemas hídricos na região norte. Contudo, é necessário inseri-los nas discussões políticas de forma a acelerar estudos que visem à implantação de uma rede de monitoramento quali-quantitativo da água, uma vez que, esta região é possuidora de uma extensa rede hidrológica em interação com diferentes ecossistemas.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. **Amazônia: do discurso à práxis**. São Paulo: Edusp, 2004.
- ALMEIDA, R. A. S. **Índice de qualidade de águas subterrâneas destinadas ao uso na produção de água potável (IQUAS)**. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Universidade Federal da Bahia-Escola Politécnia, Salvador, 2007.
- ALMEIDA, M. A. B.; SCHWARZBOLD, A. Avaliação sazonal da qualidade das águas do arroio do Cria Montenegro, RS, com aplicação de um índice de qualidade de água (IQA). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 81-97, 2003.
- ALVES, E. C.; SILVA, C. F. da; COSSICH, E. S.; TAVARES, C. R. G.; SOUZA FILHO, E. E. de; CARNIEL, A. Avaliação da qualidade da água da bacia do rio Pirapó – Maringá, Estado do Paraná, por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. *Acta Scientiarum Technology*, Maringá, v. 30, n. 1, p. 39-48, 2008
- ANA - Agência Nacional de Águas. **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil / Agência Nacional de Águas, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos**. – Brasília : ANA, SPR, 2005. 176 p.
- ANDRADE, E. M.; GIRÃO, E. G.; ROSA, M. F.; CHAVES, L. C. G.; MENDONÇA, M. A. B.; MEIRELES, A. C. M. Avaliação da qualidade das águas no açude Ayres de Souza pelo emprego da estatística multivariada. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: Associação Brasileira dos recursos Hídricos, 2009. p. 81-97.
- ANDRADE, E. de M.; ARAÚJO, L. de F. P.; ROSA, M. F.; DISNEY, W.; ALVES, A. B. Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.3, p.683-690, set./dez. 2007
- ANDRADE, E. M.; SILVEIRA, S. S.; AZEVEDO, B. M. Investigação da estrutura multivariada da evapotranspiração na região centro sul do Ceará pela análise de componentes principais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.8, n.1, p.39-44, 2003.
- APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER POLLUTION CONTROL FACILITIES. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. Washington, 2005.
- ARAÚJO, P. P. **Avaliação dos compostos nitrogenados no aquífero livre em agroecossistemas de citros no alto do rio Capitão Pocinho, Amazônia Oriental**. 2011. 175 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2011.
- ARAÚJO, P. P. **Mapa hidrogeológico do Estado do Pará 1:2.000.000**. Belém, CPRM, 40 p. 1997.
- ARCOVA, F.C.S.; CESAR, S.F.; CICCO, V. Qualidade da água em microbacias recobertas por floresta de Mata Atlântica, Cunha, São Paulo. **Revista do Instituto Florestal de São Paulo**, São Paulo, v.10, n.2, p.185-96, 1998.
- BEMERGUY, R. L.; COSTA, J. B. S.; HASUI, Y.; BORGES, M.S.; SOARES JR., A.V. Structural geomorphology of the Brazilian Amazon region. In: KLEIN, E. L.; VASQUE, M. L.; ROSA-COSTA,

L. T. (Eds.). **Contribuições à geologia da Amazônia**. Belém: SBG-Sociedade Brasileira de Geologia-Núcleo Norte, 2002. p. 245-258.

BRASIL. Congresso. Senado. “**Resolução CONAMA Nº 357**”, 17 de Março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento e dá outras providências. Diário Oficial da Republica Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF.2005

BRASIL. Congresso. Senado. “**Resolução CONAMA Nº 396**”, 3 de Abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Diário Oficial da Republica Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF.2008

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água**. 3ª ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2009. 144 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 54/2000**. Diário Oficial, 15 de junho de 2000.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.914**, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 14 dez. 2011. 32 p.

BRITO, L. T. de; SILVA, A. de S.; SRINIVASAN, V. A.; GALVÃO, C. de O.; GHEYI, H. R. Uso de análise multivariada na classificação das fontes hídricas subterrâneas da bacia hidrográfica do salitre. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.36-44, jan./abr. 2006.

BRITO, L.T. de L. **Avaliação de impactos das atividades antrópicas sobre os recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Salitre-Bahia e classificação das fontes hídricas**. 184 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2003.

CARNEIRO NETO, J. A.; ANDRADE, E. M. de; ROSA, M. de F.; MOTA, F. S. B.; LOPES, J. F. B. Índice de sustentabilidade agroambiental para o perímetro irrigado Ayres de Souza. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1272-1279, jul./ago., 2008

CARVALHO, D.F.; SANTANA, A.C.; NOGUEIRA, A.K.M.; MENDES, F.A.T.; CARVALHO, A.C. Análise do Desempenho Competitivo da Indústria de Móveis de Madeira do Estado do Pará. **Amazônia: Ciência e Desenvolvimento**. Belém, v. 2, n. 4, p. 37-36, jan./jun. 2007.

CAROLO, F. **Outorga de direito de uso de recursos hídricos: Instrumento para o desenvolvimento sustentável? Estudos das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá**. 2007. 203 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007

CETESB. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem** - Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo. Série Relatórios, 2009. 43p.

CHAPMAN, D.; KIMSTACH, V. Selection of water quality variables. In: CHAPMAN, D. (Ed.). **Water quality assessments**. 2. ed. London: WHO; UNEP; EeFN SPON, 1997. cap.3, p. 59-126.

COSTA E SILVA, L. M.; BRAZ, V. N.; ABREU, F. A. M.; ARAÚJO, M. L.; SANTOS, O. C. O. A experiência da UFPA na inserção da lei 9.433/97 de recursos hídricos na Amazônia.

In: JOINT WORLD CONGRESS ON GROUNDWATER, 1., 2000, Fortaleza. Anais... Fortaleza, 2000.

CUNHA, A. C. da. **Monitoramento, parâmetros e modelos da qualidade da água**. Macapá: Secretaria de Estado do Meio Ambiente. 83p. 2000.

DAVIS, S. N.; WHITTEMORE, D. O.; FABRYKA-MARTIN, J. **Uses of chloride/bromide ratios in studies of potable water**. Ground Water, vol. 36, n. 2, march/april, 338-350, 1998. Disponível em: < http://www.ees.nmt.edu/outside/Hydro/courses/hyd558/downloads/Set_20_Cl-Br/Davis1998.pdf > Acesso em 05/10/2011.

DONADIO, N. M. M.; GALBIATTI, J. A.; DE PAULA, R. C. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do córrego rico, São Paulo, Brasil. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.115-125, jan./abr. 2005.

ESCHRIQUE, S. A.; COELHO, L. H.; OLIVEIRA, E. N.; BRAGA, E. S. Qualidade da água como ferramenta na gestão ambiental de estuários – exemplo do litoral sul de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 5., 2011, Santos. **Anais...** Santos, 2011.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602p.

FAUST, S. D.; ALY, O. M. **Chemistry of natural waters**. Stoneham: Ann Arbor: Science Publishers, 1981. 400p.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P., SILVA, P., CHAN, B. Análise de Dados: Modelagem Multivariada para tomada de decisões. 1.ed. Rio de Janeiro: Campos Elsevier, 2009.

FERRACINI, V. L. PESSOA, M. C. P. Y.; OLIVEIRA, F. C.; SILVA, A. de S. Potenciais contaminantes ambientais e subsídios para produção com qualidade na citricultura. In: **Citros**. (Ed) MATTOS JÚNIOR, D de et al. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundag. p. 917, 2005.

FERREIRA, E. C. F.; ALMEIDA, M. C. de. **Sistema de cálculo da qualidade da água (SCQA)/Estabelecimento das Equações do índice de Qualidade das Águas (IQA)** - Relatório 1. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais – SEMAD/ Unidade de Coordenação Estadual - UCEMG / PNMA II. Jun/2005.

FIGUEROA, S. N.; NOBRE, C. A. Precipitation distribution over Central and Western tropical South America. **Climanalise**, 5: 36-45. 1989.

FITTKAU, E. J. Ökologische Gliederung des Amazonasgebietes auf geochemischer Grundlage. Munster. Forsch. **Geol. Paläontol.**, Abhandl, 20/21 : 35-50. 1971.

GIRÃO, E. G.; ANDRADE, E. M. de; ROSA, M. de F.; ARAÚJO, L. de F. P. de; MEIRELES, A. C. M. Seleção dos indicadores da qualidade de água no Rio Jaibas pelo emprego da análise da componente principal. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.38, n.1, p.17-24, 2007;

GORAYEB, A.; LOMBARDO, M. A.; PEREIRA, L. C. C. Qualidade da água e abastecimento na Amazônia: o exemplo da bacia hidrográfica do rio Caeté. **Mercator, Fortaleza** . v 9, nº 18, 2010: jan./abr.

GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. S.; OHNSTAD, M. A. M. Methods for physical and chemical analysis of freshwater. Oxford: **Blackwell Scientific Publications**. 1978, 213p.

HAASE, J., KRIEGER, J. e POSSOLI, S. Estudo da viabilidade do uso da técnica de análise fatorial como um instrumento na interpretação da qualidade da água da Bacia Hidrográfica do Guará. **Ciência e Cultura**, Campinas, 41 (6): 576-582. 1989.

HAASE, J.; POSSOLI, S. Estudo da utilização da técnica de análise fatorial na elaboração de um índice de qualidade de água: comparação entre dois regimes hidrológicos diferentes, RS. **Acta Limnológica Brasiliensia**, Rio Claro, v.6, p.245-255, 1993.

HAIR, J.J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. **Análise multivariada de dados**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 593 p.

HELENA, B.; PARDO, R.; VEGA, M.; BARRADO, E.; FERNANDEZ J.M.; FERNANDEZ, L. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga river, Spain) by principal component analysis. **Water Research**, Amsterdam, v.34, n.3, p.807-16, 2000.

HOLT, M. S. Sources of Chemical Contaminants and Routes into the Freshwater Environment. **Food and Chemical Toxicology**, v.38, pp. 21-27. 2000.

LIMA, E. B. N. R. **Modelagem integrada para gestão da qualidade da água na Bacia do Rio Cuiabá**. 2001. 184 f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

LIMA, A. M. M. de; PONTE, M. X. Estudo da paisagem e o planejamento estratégico como bases da gestão da oferta hídrica no estado do Pará: discussão teórica e metodológica. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 28, n. 3, p. 319-332, 2009

LIMA, A. M. M. de; CRUZ, F. M.; CAVALCANTE, L. M.; CHAVES, L. M. L.; IMBIRIBA JUNIOR, M.; SANTOS, V. J. C. A Gestão da Oferta Hídrica no Estado do Pará e seus Aspectos Condicionantes. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v 15, n.3, Jul/Set, 69-83, 2010.

MACHADO, W. C. P. **Indicadores da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Pato Branco. Universidade Federal do Paraná**. 2006. 315 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade federal do Paraná, Curitiba, 2006.

MAGALHÃES, S. C. M.; AFONSO, P. C. S.; CLEPS JÚNIOR, J. **Da lei das águas brasileira a gestão comunitária da água no norte de minas – Brasil**. Rede Waterlat – Conferência Internacional. Trabalho 43. 2010. Disponível em: <<http://www.iea.usp.br/iea/textos/waterlat/trabalhos/43.pdf>> Acesso em: 25 de setembro de 2011.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Revista Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**. Porto Alegre, v.3, n.4, out/dez 2002.

MONTEIRO, A. B.; CORREIA FILHO, F. L.; FREIRE, P. K. C.; SOUSA, N. G.; SOARES FILHO, A. R. Análise estatística multivariada de dados hidroquímicos do aquífero cabeças - sudeste da bacia sedimentar do Parnaíba – PI. In: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E XVII ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, 2010, São Luís. **Anais...** São Luís, 2010.

MOITA, R.; CUDO, K. Aspectos gerais da qualidade da água no Brasil. In: Reunião técnica sobre qualidade da água para consumo humano e saúde no Brasil, 1991, Brasília. **Anais...** Brasília: Ministério da Saúde, Secretaria do Meio Ambiente, 1991. p.1-6.

MUÑOZ, H. R. Razões para um debate sobre as interfaces da gestão dos recursos hídricos no contexto da Lei de Águas de 1997. In: MUÑOZ, H. R. (Coord.) **Interfaces da Gestão de Recursos Hídricos: Desafios da Lei de Águas em 1997**. 2. ed. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente. p.13-30. 2000.

NORUSIS, M.J. **SPSS Base System user's guide**. Chicago: SPSS, 1990. 520p.

ODUM, E.P. **Ecologia**. Rio de Janeiro; Guanabara, 1988.

O'NEILL, P. **Environmental chemistry**. London: Champman and Hall, 1995.

PACHECO, N. A.; BASTOS, T. X. **Caracterização climática do município de Capitão Poço – PA**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. 17p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 79).

PAMPLONA, V. M. S. **Índices de Qualidade do Solo para Plantação de Açaí**. 2011, 119 f. Dissertação (Mestrado em Matemática e Estatística) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

PALÁCIO, H.A.Q. **Índice de qualidade das águas na parte baixa da bacia hidrográfica do rio Trussu, Ceará**. 2004, 96 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

PEREIRA, S. P.; JOHNSON, R. M. F. **Descentralização da gestão dos recursos hídricos em bacias nacionais no Brasil**. 2004. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd27/brasil.pdf>> Acesso em 14/10/2011.

PESTANA, M. H.; GAGEIRO, J. N. **Análise de dados para Ciências Sociais - A complementaridade do SPSS**, 1ª ed. Lisboa: Edições Sílabo. 2005

PINEDA, M. D.; SCHÄFER, A. Adequação de critérios e métodos de avaliação da qualidade de águas superficiais baseada no estudo ecológico do rio Gravataí, Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência e Cultura**, Campinas, v.39, p.198-206, 1987.

PORTO, M. F. A.; BRANCO, S. M.; LUCA, S. J. Caracterização da qualidade da água. In: PORTO, R. L. L.; BRANCO, S. M.; CLEARY, R. W.; COIMBRA, R. M.; EIGER, S.; LUCA, S. J.; NOGUEIRA, V. P. Q.; PORTO, M. F. A. **Hidrologia Ambiental**. São Paulo: Editora da Universidade: ABRH, 1991, p.27-65.

QIAN, Y.; MIGLIACCIO, K. W.; WAN, Y.; LI, Y. Surface water quality evaluation using multivariate methods and a new water quality index in the Indian River Lagoon, Florida. **Water Resources Research**, v. 43, 2007.

RAMOS, M. **Gestão de Recursos Hídricos e Cobrança pelo Uso da Água**. Fundação Getúlio Vargas – Escola Brasileira de Administração Pública – EBAP. Março de 2007. Disponível em: <<http://www.cepal.org/dmaah/noticias/paginas/9/28579/CobrancaPelousoda.pdf>> Acesso em 22/01/2012.

REIS, E. **Estatística Multivariada**. 2.ed. Lisboa: Sílabo, 2001.

RESENDE, A. V. de. **Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato**. Embrapa Cerrados. (Documentos, 57). 2002

ROCHA, G. M.; PEREIRA, I. C. N.; SILVA, M. S. A Gestão da água na cidade de Tucuruí (PA): análise da rede de abastecimento local. In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 10., 2003, Recife. **Anais...** Recife, 2003.

ROSÁRIO, U. **Saga do Caeté: folclore, história, etnografia e jornalismo na cultura amazônica da Marujada**, Zona Bragantina, Pará. Belém: CEJUP, 2000.

SILVA, B. N. R. da; SILVA, L. G. T.; ROCHA, A. M. A. da; SAMPAIO, S. M. N. **Interação biofísica e do uso da terra na dinâmica da paisagem no município de Capitão Poço – PA, em sistema de informação geográfica**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 42p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 10).

SILVA, A. E. P.; ANGELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T.; WAICHAMAN, A. V. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. **Acta Amazônica**. Manaus, v. 38, n. 4, p. 733 – 742, 2008.

SIOLI, H. Tropical rivers as expressions of their terrestrial environments. In: **Tropical ecological systems trends in terrestrial and aquatic research**. Ed Golley, F.B.e E.Medina. Springer, Berlin. 1975.

SPERLING, E. V. **Introdução à qualidade de água**. Viçosa/MG: ABEAS/UFV, 1997.

TOLEDO, L. G. de; NICOLELLA, G. índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, n.1, p.181-186. jan./mar. 2002.

TUNDISI, J. G.; STRASKRABA, M. Strategies for building partnerships in the context of river basin management: the role of ecotechnology and ecological engineering. **Lakes & Reservoirs: research and management**, **Blackwell Publishing**, v. 1, p. 31-38, 1995.

VEIGA, J. E. **Indicadores de sustentabilidade**. Estudos Avançados, São Paulo, n° 24, v. 68. 39-52 p. 2010.

VIEIRA, L.S.; W. H. P. dos SANTOS; I. C. FALESI, J. P. O. FILHO. Levantamento dos solos da região bragantina, Estado do Pará. Brasília, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 2:1-63, 1967.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: [s.n.], 1996. v. 1.

WHO - Water Sanitation Health. **Chemical hazards in drinking-water**. Disponível em: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/en/. Acesso em 15/11/2011.

ZIMBRES, E. Guia avançado sobre água subterrânea – **Química da água subterrânea**. Disponível em: < <http://www.meioambiente.pro.br/>> Acesso em 06/08/2011.

ANEXO

ANEXO A . Valores médios em $mg.L^{-1}$ para água superficial no período chuvoso.

Estações de Coleta	pH	CE	Alc	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
EC1	5,72	34,33	33,33	0,15	4,03	1,95	0,01	1,50	0,03	0,47	40,67	6,58	0,58	1,17	0,52	4,94
EC2	5,92	35,67	43,33	0,15	5,03	1,20	0,01	0,32	0,04	0,01	52,87	6,30	0,66	1,24	0,58	4,38
EC3	5,89	26,67	40,00	0,09	4,14	0,92	0,00	0,27	0,05	0,01	48,80	5,52	0,32	1,24	0,57	3,50
EC4	5,83	23,67	30,00	0,02	3,76	0,89	0,00	0,26	0,06	0,38	36,60	5,17	0,28	0,84	0,52	2,84
EC5	5,84	22,00	26,67	0,09	3,61	0,95	0,01	0,27	0,05	3,02	32,53	4,76	0,29	0,75	0,48	2,80
EC6	5,72	19,67	26,67	0,45	4,13	1,69	0,00	0,30	0,09	0,00	32,53	5,60	0,76	0,76	0,45	3,53
EC7	5,70	20,00	16,67	0,34	3,59	1,66	0,01	0,27	0,04	0,01	20,33	4,96	0,62	0,75	0,41	2,90
EC8	5,66	19,67	18,00	0,14	3,08	0,72	0,00	0,21	0,03	0,00	21,96	3,49	0,46	0,75	0,43	2,25
EC9	5,65	18,00	20,00	0,09	2,77	0,50	0,00	0,20	0,02	0,01	24,40	2,73	0,35	0,46	0,40	2,39
EC10	5,88	18,00	23,33	0,06	2,78	1,34	0,00	0,27	0,01	0,00	28,47	2,34	0,35	0,52	0,39	3,72

CE – Condutividade Elétrica; Alc - Alcalinidade; F⁻ - íon Fluoreto; Cl⁻ - íon Cloreto; Br⁻ - íon Brometo ; NO₂⁻ - íon Nitrito; NO₃⁻ - íon Nitrato; SO₄²⁻ - íon Sulfato; PO₄³⁻ - íon Fosfato; HCO₃⁻ - íon Bicarbonato; Na⁺ - íon Sódio; NH₄⁺ - íon Amônio; K⁺ - íon Potássio; Mg²⁺ - íon Magnésio e Ca²⁺ - íon Cálcio.

ANEXO B. Valores médios em $mg.L^{-1}$ para água superficial no período seco.

Estações de Coleta	pH	CE	Alc	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
EC1	5,38	34,50	12,50	0,01	3,87	0,04	0,00	0,45	1,01	0,00	12,20	2,19	0,30	0,92	0,31	5,74
EC2	5,66	37,00	20,00	0,01	5,30	0,18	0,00	0,18	0,52	0,00	24,40	2,94	0,08	0,88	0,40	6,23
EC3	5,73	30,50	20,00	0,00	3,85	0,03	0,00	0,17	0,35	0,00	24,40	1,28	0,32	0,50	2,82	3,37
EC4	5,73	25,00	10,00	0,00	3,93	0,02	0,00	0,19	1,92	0,00	12,20	2,95	0,01	1,41	0,58	4,71
EC5	5,70	23,00	10,00	0,04	3,44	0,02	0,00	0,20	0,50	0,00	12,20	2,13	0,01	0,60	0,56	4,34
EC6	5,60	21,00	10,00	0,01	3,40	0,02	0,00	0,15	0,47	0,00	12,20	1,94	0,02	0,57	0,52	3,67
EC7	6,07	22,00	10,00	0,00	3,30	0,63	0,00	0,00	0,90	0,00	12,20	2,28	0,00	0,64	0,21	14,29
EC8	5,86	20,00	5,00	0,00	3,14	0,00	0,00	0,16	1,10	0,00	6,10	1,98	0,00	0,65	0,45	6,37
EC9	6,65	10,00	10,00	0,00	3,02	0,00	0,00	0,00	0,93	0,00	12,20	1,74	0,00	0,70	0,45	3,80
EC10	6,27	19,00	10,00	0,02	3,12	0,00	0,03	0,04	1,12	0,00	12,20	1,74	0,00	0,64	0,49	3,40

CE – Condutividade Elétrica; Alc - Alcalinidade; F⁻ - íon Fluoreto; Cl⁻ - íon Cloreto; Br⁻ - íon Brometo ; NO₂⁻ - íon Nitrito; NO₃⁻ - íon Nitrato; SO₄²⁻ - íon Sulfato; PO₄³⁻ - íon Fosfato; HCO₃⁻ - íon Bicarbonato; Na⁺ - íon Sódio; NH₄⁺ - íon Amônio; K⁺ - íon Potássio; Mg²⁺ - íon Magnésio e Ca²⁺ - íon Cálcio.

ANEXO C. Valores médios em $mg.L^{-1}$ para água subterrânea no período chuvoso.

Poços de Monitoramento	pH	CE	Alc	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
PM1	5,90	74,00	120,00	0,07	2,16	4,15	0,00	0,51	0,01	0,00	48,10	5,81	2,12	0,00	0,00	8,32
PM2	5,66	57,00	133,33	0,12	2,97	11,81	0,00	0,39	0,01	0,01	37,05	3,04	0,71	2,46	0,96	15,08
PM3	6,34	54,33	138,00	0,06	2,77	1,79	0,00	0,23	0,06	0,02	35,32	4,75	0,86	3,66	1,36	13,63
PM4	5,65	89,00	36,67	0,22	6,83	13,25	0,01	0,27	0,07	0,00	57,85	3,37	1,62	2,41	1,91	12,86
PM5	5,32	114,33	110,00	0,10	7,99	16,34	0,01	0,42	0,01	0,00	74,32	2,60	0,91	2,06	2,53	23,17
PM6	5,24	85,00	103,33	0,02	4,98	15,80	0,01	0,23	0,00	0,00	55,25	3,35	0,38	1,68	2,09	17,24
PM7	5,28	149,67	136,67	0,01	21,20	13,10	0,01	0,36	0,02	0,00	97,28	9,98	0,38	2,69	1,35	31,17
PM8	5,38	88,33	63,33	0,04	4,46	11,36	0,00	0,29	0,06	0,16	57,42	6,45	0,43	1,32	0,91	9,19
PM9	5,40	101,00	40,00	0,12	9,03	12,87	0,00	0,18	0,05	0,00	65,65	13,95	1,88	0,00	0,00	6,63
PM10	5,70	43,00	40,00	0,61	3,63	12,34	0,00	0,19	0,12	0,23	27,95	11,67	0,91	0,00	0,00	3,91
PM11	4,70	35,00	10,00	0,09	5,18	5,79	0,00	0,23	0,02	0,00	22,75	6,62	1,99	0,00	0,00	5,21
PM12	5,81	94,33	296,67	0,25	2,24	5,93	0,00	0,87	0,05	0,01	61,32	3,44	2,91	12,03	1,04	25,57
PM13	5,35	80,33	163,33	0,04	5,93	15,35	0,01	0,46	0,01	0,34	52,22	1,48	6,12	3,05	1,19	13,63
PM14	5,44	72,00	156,67	0,05	2,19	4,91	0,00	0,39	0,02	0,12	46,80	4,34	4,90	1,89	0,72	10,84
PM15	5,57	95,33	90,00	0,03	11,83	7,92	0,01	0,14	0,03	0,00	61,97	3,05	0,52	1,01	1,56	25,91
PR	5,43	57,67	70,00	0,02	3,41	8,99	0,00	0,43	0,01	0,01	37,48	2,81	0,56	2,12	0,96	12,80

CE – Condutividade Elétrica; Alc - Alcalinidade; F⁻ - íon Fluoreto; Cl⁻ - íon Cloreto; Br⁻ - íon Brometo ; NO₂⁻ - íon Nitrito; NO₃⁻ - íon Nitrato; SO₄²⁻ - íon Sulfato; PO₄³⁻ - íon Fosfato; HCO₃⁻ - íon Bicarbonato; Na⁺ - íon Sódio; NH₄⁺ - íon Amônio; K⁺ - íon Potássio; Mg²⁺ - íon Magnésio e Ca²⁺ - íon Cálcio.

ANEXO D. Valores médios em $mg.L^{-1}$ para água subterrânea no período seco.

Poços de Monitoramento	pH	CE	Alc	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
PM1	5,15	32,00	10,00	0,00	1,43	0,00	0,00	0,77	1,24	0,00	20,80	1,85	0,00	1,01	0,58	6,88
PM2	4,79	54,00	5,00	0,29	3,11	0,02	0,00	2,32	0,47	0,01	35,10	1,79	0,20	0,90	0,67	4,35
PM3	6,24	92,50	27,50	0,04	4,93	0,03	0,00	0,36	1,11	0,00	55,68	0,83	0,94	4,42	0,81	16,14
PM4	5,63	90,50	20,00	0,07	4,48	0,03	0,01	0,36	0,86	0,00	58,83	0,82	4,67	4,01	0,61	10,81
PM5	4,22	73,67	0,00	0,09	8,35	0,04	0,00	2,20	0,40	0,01	47,88	1,13	0,10	1,61	0,89	3,26
PM6	4,61	60,33	6,25	0,01	5,08	0,04	0,00	2,75	0,38	0,01	39,22	2,87	0,11	1,16	0,64	3,15
PM7	4,41	84,67	0,00	0,07	11,05	0,04	0,01	2,57	0,44	0,01	55,03	2,34	0,08	1,62	0,52	10,99
PM8	4,93	42,67	7,50	0,00	3,01	0,02	0,00	1,80	0,51	0,00	27,73	2,46	0,38	0,82	0,23	3,90
PM9	4,74	78,00	7,50	0,01	11,96	0,07	0,00	1,88	1,50	0,00	50,70	0,80	0,03	1,49	0,52	17,07
PM10	4,61	40,00	3,75	0,06	3,76	0,66	0,01	0,99	0,35	0,04	26,00	1,20	0,09	1,27	0,26	5,28
PM11	4,55	44,00	10,00	0,05	5,30	0,03	0,00	1,05	1,08	0,00	28,60	0,69	0,03	2,66	0,73	2,29
PM12	5,75	83,00	26,67	0,04	2,96	0,02	0,03	1,62	1,68	0,16	53,95	2,56	2,18	1,81	0,48	10,60
PM13	4,69	53,00	7,50	0,15	4,09	0,03	0,00	2,35	0,19	0,01	34,45	1,16	0,13	3,19	0,42	4,20
PM14	4,76	39,00	7,50	0,03	2,17	0,02	0,00	1,40	0,57	0,00	25,35	1,83	0,44	0,34	0,24	3,43
PM15	4,41	75,33	5,00	0,04	13,09	0,04	12,99	0,48	0,34	0,09	48,97	1,10	0,89	0,59	0,39	8,96
PR	5,15	43,67	9,17	0,07	3,83	0,02	0,00	0,28	0,76	0,08	28,38	1,89	1,89	0,74	0,35	5,71

CE – Condutividade Elétrica; Alc - Alcalinidade; F⁻ - íon Fluoreto; Cl⁻ - íon Cloreto; Br⁻ - íon Brometo ; NO₂⁻ - íon Nitrito; NO₃⁻ - íon Nitrato; SO₄²⁻ - íon Sulfato; PO₄³⁻ - íon Fosfato; HCO₃⁻ - íon Bicarbonato; Na⁺ - íon Sódio; NH₄⁺ - íon Amônio; K⁺ - íon Potássio; Mg²⁺ - íon Magnésio e Ca²⁺ - íon Cálcio.