

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE MESTRADO EM AGRONOMIA: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

ENIO GIULIANO GIRÃO

ANÁLISE MULTIVARIADA NA IDENTIFICAÇÃO DOS FATORES DETERMINANTES
DA QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAIBARAS -
CEARÁ.

FORTALEZA-CE

2006

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

ENIO GIULIANO GIRÃO

ANÁLISE MULTIVARIADA NA IDENTIFICAÇÃO DOS FATORES DETERMINANTES
DA QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAIBARAS -
CEARÁ.

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Mestrado em Irrigação e Drenagem da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Agronomia - Irrigação e Drenagem.

Orientadora: Prof^ª. Eunice Maia de Andrade
Ph. D. – UFC

FORTALEZA-CE

2006

ENIO GIULIANO GIRÃO

ANÁLISE MULTIVARIADA NA IDENTIFICAÇÃO DOS FATORES DETERMINANTES
DA QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAIBARAS -
CEARÁ.

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Mestrado em Irrigação e Drenagem, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Agronomia - Irrigação e Drenagem.

Enio Giuliano Girão

Aprovada em 27 de março de 2006.

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Eunice Maia de Andrade, Ph. D. (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará

Dra. Morsyleide de Freitas Rosa (Conselheira)
EMBRAPA Agroindústria Tropical

Prof. Adunias dos Santos Teixeira, Ph. D. (Conselheiro)
Universidade Federal do Ceará

Aos meus familiares, *Eny e Eugênia* (pais), *Gina, Gime e Gemille* (irmãos), *Ilmar* (amigo-irmão).
A minha família, *Germana* (esposa), *Letícia e Liana* (filhas).

AGRADECIMENTOS

A Deus, “Criador do céu e da terra”.

As minhas orientadoras, Eunice Maia de Andrade e Morsyleide de Freitas Rosa, pela orientação e incentivo para vencer este desafio.

Aos professores do curso de Mestrado em Agronomia, em especial aos professores Paulo Teodoro de Castro e Adunias dos Santos Teixeira, pelo aprendizado e apoio.

Aos colegas do mestrado, em especial Ney Glauton, Joaquim, Júlio César, Damião, Renee, Moacir, Luiz Carlos e Ana Célia, pelo apoio e incentivo recebido.

Aos meus pais, José Eny Girão e Maria Eugênia Girão, pelo ensinamento ao longo dos anos.

A minha esposa, Germana Girão Gonçalves Maia, e as minhas filhas, Letícia Girão Maia e Liana Girão Maia, razão principal desta conquista.

Ao meu avô, João de Deus Girão, “O Baluarte”, “*in memoriam*”, pelo ensinamento e exemplo de sabedoria e grandeza.

A Lúcia de Fátima, pelo coleguismo e apoio nas atividades deste trabalho.

Ao Mestrado em Irrigação e Drenagem da Universidade Federal do Ceará, pelo suporte acadêmico.

Ao SEBRAE, que me ajudou a tomar a decisão para vencer este desafio.

A EMBRAPA Agroindústria Tropical e ao PRODETAB, pelo suporte nas atividades de pesquisa, através do Projeto PRODETAB nº 016-01/01 - "Gestão racional de bacias hidrográficas na região de Caatinga de modo a manter seu uso sustentável na agricultura irrigada".

A Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH) e aos integrantes do Comitê das Bacias do Acaraú e Coreaú, pela colaboração durante os trabalhos de campo.

A todos que participaram no desenvolvimento deste trabalho.

É graça divina começar bem.

Graça maior persistir na caminhada certa.

Mas a graça das graças é não desistir nunca.

Dom Hélder Câmara

RESUMO

Na identificação das possíveis fontes e cargas poluidoras das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Jaibaras, desenvolveu-se um trabalho composto por três etapas, com o objetivo de se obter um melhor conhecimento da qualidade das águas. Na primeira etapa (Etapa I), identificaram-se as fontes de poluição hídrica da parte alta desta sub-bacia, desde as nascentes do rio Jaibaras e seus tributários até o açude Ayres de Souza. O levantamento ocorreu no período de maio de 2004 a julho de 2005. As principais fontes poluidoras estão ligadas aos esgotos domésticos e resíduos sólidos despejados no leito e próximo às margens dos mananciais. Poucas fontes de poluição ligadas à agricultura foram identificadas. O açude Ayres de Souza sofre intervenções de esgotos domésticos, disposição de resíduos sólidos, inclusive lixões a céu aberto, carga de produtos oriundos da piscicultura intensiva, ocupação das Áreas de Preservação Permanente (APPs) por balneários, residências e atividades de pecuária e agricultura. Não se têm dados conclusivos sobre a contribuição da piscicultura para a poluição do manancial. Na etapa seguinte (Etapa 2), identificou-se a influência do clima na variabilidade temporal e os fatores determinantes da qualidade das águas no açude Ayres de Souza, pelo emprego da Análise de Agrupamento Hierárquico (AAH) e Análise da Componente Principal (ACP). Os parâmetros físicos, químicos e biológicos, somando 28 variáveis, foram medidos em 4 pontos distintos na bacia hidráulica, no período de setembro de 2004 a maio de 2005. Observou-se por meio da AAH que a qualidade da água sofre maior influência da sazonalidade climática, com descontinuidade geográfica no processo de agrupamentos. A ACP mostrou que 82% da variância total dos dados foi explicada por um modelo com duas componentes. A primeira componente principal está relacionada ao aporte antropogênico na bacia hidráulica, sendo K^+ , PO_4^{3-} , Ca^{2+} e DBO, os elementos de maior peso nesta componente. A segunda componente relaciona-se ao processo de sodificação (Na^+ e RAS) das águas pelos solos, provenientes da área sedimentar à montante da bacia hidráulica. Na última etapa (Etapa III), identificaram-se os parâmetros químicos mais importantes na variabilidade espacial da qualidade da água no trecho perenizado do rio Jaibaras, pelo emprego da Análise da Componente Principal. Foram realizadas 24 campanhas de coletas de água, no período de abril/2002 a junho/2005, em dois pontos ao longo do rio (na saída da galeria do açude Ayres de Souza e na foz). As variáveis consideradas foram: pH, condutividade elétrica (CE), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^+), potássio (K^+), bicarbonato (HCO_3^-), fosfato (PO_4^{3-}), cloreto (Cl), amônia (NH_4^+), nitrato (NO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}) e Relação de Adsorção de sódio (RAS). Observou-se por meio da ACP 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 recebe maior influência da ação antrópica (dejetos dos balneários, fertilizantes nitrogenados e esgotos domésticos). A ACP permitiu verificar o efeito dos parâmetros químicos na variação espacial da qualidade das águas superficiais no trecho perenizado do rio Jaibaras.

Palavras-chave: Degradação hídrica. Estatística multivariada. Bacia hidrográfica do rio Jaibaras. Qualidade de água. Poluição difusa.

ABSTRACT

Aiming to identify the apportionment of pollution sources/factors with a view to get better information about the water quality at Jaibaras watershed, a research composed of three steps was developed. In the first step (Step I), it was identified the water pollution sources at the upland of Jaibaras watershed until Ayres de Souza dam. The survey occurred from May/2004 to Jul/2005. The pollution sources are related about domestical sewages and land disposal, which are poured in the river and close to the repair zones. Few pollution sources can be related to agricultural activity. The Ayres de Souza dam is also under the effect of domestical swage, land disposal as well as other human activities. In the second step (Step II) multivariate statistical techniques (Cluster Analysis/Principal Component Analysis, CA/PCA) were applied to identify weather influence on temporal variability and the factors that determined the water quality in Ayres de Souza dam. It was measured 28 physical, chemical and biological variables in four sampling stations sited in the reservoir, and in four different campaigns from Sept/2004 to May/2005. The CA allowed the identification of the weather variability influency under water quality. Two principal components were extracted, explaining the 82% of the data variance. The first principal component was mainly associated with K^+ , PO_4^{3-} , Ca^{2+} e DBO (anthropogenic factor). The second principal component showed a strong loading on Na^+ and SAR. It was basically assigned to sodicity factor. Although, there are an intensive fishing activities in the dam it was not possible to relate this activity as a source of water pollution. In the least step (Step III) PCA was applied to the data set on water quality of the Jaibaras River, from Ayres de Souza dam to the mouth of the river, generated during three years (Apr/2002-Jun/2005), to define pollution factors. It was measured 13 physico-chemical variables (pH, EC, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), bicarbonato (HCO_3^-), fosfato (PO_4^{3-}), cloreto (Cl), amônia (NH_4^+), nitrato (NO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}) and Relação de Adsorção de Sódio (RAS) in the two sampling stations (Ayres de Souza dam gallery and Jaibaras mouth). At Ayres de Souza aqueduct three factors were extracted which explained 80% of the total variance. The first factor represent “weathering” processes from rocks (meneralization factor). The second factor can be interpreted as an organic pollution and domestical sewages. At Jaibaras River mouth two factors were extracted, explaing 81% of the total variance in the original data set. The identified factors were related do human action (fertilizers and sewages). The multivariate statistical technique allowed the identification of the chemical and weather actions over the water quality at Jaibaras River.

Keywords: Water pollution. Multivariate statistical. Jaibaras watershed. Water quality. Non-point pollution.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 -	Bacia hidrográfica do rio Acaraú e sub-bacia do rio Jaibaras	23
MAPA 1 -	Afluentes do rio Jaibaras na parte alta da microbacia	24
FIGURA 2 -	Bacia do rio Acaraú (parte superior) e bacia hidráulica do açude Ayres de Souza (em destaque, abaixo)	27
MAPA 2 -	Fontes de poluição no açude Ayres de Souza	28
FIGURA 3 -	Serra da Ibiapaba, ao fundo, local onde nasce o rio Jaibaras (4°44'48" S e 40°49'16" W)	30
FIGURA 4 -	Esgoto (A) e lixo (B) de residências em Lapa (4°05'09" S e 40°49'22" W)	33
FIGURA 5 -	Lagoa de estabilização da ETE de Graça (A) (4°02'43" S e 40°45'42" W) e cemitério do município de Pacujá (B) (3°58'36" S e 40°41'48" W)	34
FIGURA 6 -	Rio Jaibaras, em Angicos (A) (3°52'11" S e 40°34'48" W) e Arariús (B) (3°53'28" S e 40°36'05" W).	35
FIGURA 7 -	Passagem molhada no riacho Mulungu (A) (3°55'21" S e 40°33'55" W), e a 200 m da foz do rio Jaibaras (B) (3°52'40" S e 40°34'53" W).	36
FIGURA 8 -	Afluentes do rio Jaibaras - riacho das Pitombas (A) (3°51'28" S e 40°35'03" W); rio Logradouro (B) (3°47'03" S e 40°32'11" W); riacho Trapiá (C) (3°45'12" S e 40°30'13" W); rio Salgadinho (D) (3°46'37" S e 40°32'29" W); e rio Jaibaras, na localidade de Pilões (E) (3°53'16" S e 40°35'44" W).	37
FIGURA 9 -	Rio Jaibaras, no distrito de Lapa (A) (4°05'09" S e 40°49'22" W) e sob a ponte de Pacujá (B) (3°58'38" S e 40°42'10" W)	38
FIGURA 10 -	Captação de água e piscicultura em gaiolas no distrito de Jaibaras (3°46'41" S e 40°30'00" W)	39
FIGURA 11 -	Captações de água do SAAE (A) e da CAGECE (B) na área do IBAMA (3°46'32" S e 40°30'17" W)	41
FIGURA 12 -	Lixão a céu aberto no distrito de Jaibaras (A) (3°46'32" S e 40°29'44" W) e barragem do Ayres de Souza (3°47'38" S e 40°30'09" W)(B).	42
FIGURA 13 -	Balneário no açude Ayres de Souza (3°46'34" S e 40°30'09" W)	43
FIGURA 14 -	Esgotos (A), dessedentação animal (B), lavagem de roupas (C) e captação de água por carro-pipa (D) no açude Aires de Souza (3°46'34" S e 40°30'09" W)	44

- FIGURA 15 - Construção irregular de residências (A) e animais pastando em área de vazantes (B) do Açude Ayres de Souza (3°49'54" S e 40°32'19" W) 45
- FIGURA 16 - Agrupamento das águas do açude Ayres de Souza 76
- FIGURA 17 - Histórico de volume do açude Ayres de Souza, no período de jan/2004 a dez/2005. 77

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Condições de abastecimento de água nos municípios que compõem a parte alta da sub-bacia do rio Jaibaras	31
TABELA 2 - Posição geográfica dos pontos amostrados no açude Ayres de Souza	70
TABELA 3 - Matriz de correlação das variáveis selecionadas	78
TABELA 4 - Autovalores e variâncias dos componentes no açude Ayres de Souza	78
TABELA 5 - Valores das comunalidades e fatores atribuídos às variáveis na matriz de extração	79
TABELA 6 - Matriz de correlação das variáveis selecionadas no ponto P1	95
TABELA 7 - Matriz de correlação das variáveis selecionadas no ponto P2	97
TABELA 8 - Variância das componentes principais para os pontos P1 e P2, com os parâmetros selecionados	98
TABELA 9 - Fatores das componentes das matrizes dos pontos P1 e P2, transformadas pelo algoritmo <i>Varimax (eigenvalue)</i>	99

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 3.1 -	Distância euclidiana (x_{ab}^2)	53
EQUAÇÃO 3.2 -	Índice de similaridade (S_{ij})	53,71
EQUAÇÃO 3.3 -	Relação de normalização (Y_{ij})	55,72
EQUAÇÃO 3.4 -	Matriz de correlação (R)	56,73
EQUAÇÃO 3.5 -	Matriz diagonal ($D^{-1/2}$)	56,73
EQUAÇÃO 3.6 -	Matriz do quadrados das médias (S)	56,73
EQUAÇÃO 3.7 -	Índice Kaiser – Maier – Olkin (KMO)	57,73
EQUAÇÃO 3.8 -	Índice de correlação parcial (r)	58
EQUAÇÃO 3.9 -	Comunalidade (VX_{ij})	59,74
EQUAÇÃO 3.10 -	Modelo da i-ésima variável normalizada (X_j)	60,75
EQUAÇÃO 3.11 -	Estimativa do fator k-ésimo (f_k)	60,75

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	viii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE EQUAÇÕES	xi
CAPÍTULO 1	14
1.1 INTRODUÇÃO	14
1.2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17
CAPÍTULO 2. IDENTIFICAÇÃO DAS FONTES DE POLUIÇÃO HÍDRICA DA PARTE ALTA DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAIBARAS.	19
RESUMO	19
ABSTRACT	20
2.1 INTRODUÇÃO	21
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	23
2.2.1 Área de estudo	23
2.2.2 Metodologia de pesquisa	29
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
2.3.1 Sistema de abastecimento de água	30
2.3.2 Sistemas de esgotamento sanitário	33
2.3.3 Disposição do lixo	38
2.3.4 Fatores de degradação do açude Ayres de Souza	39
2.4 CONCLUSÃO	46
2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
CAPÍTULO 3. A ESTATÍSTICA MULTIVARIADA – ANÁLISE DE COMPONENTE PRINCIPAL (ACP) E ANÁLISE DE AGRUPAMENTO HIERÁRQUICO (AAH)	51
3.1 INTRODUÇÃO	51
3.1.1 Análise de Agrupamento Hierárquico (AAH)	52
3.1.2 Análise da Componente Principal (ACP)	55
3.2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

CAPÍTULO 4. EMPREGO DA ESTATÍSTICA MULTIVARIADA NA IDENTIFICAÇÃO DOS FATORES DETERMINANTES DA QUALIDADE DE ÁGUA: CASO DO AÇUDE AYRES DE SOUZA.	65
RESUMO	65
ABSTRACT	66
4.1 INTRODUÇÃO	67
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	69
4.2.1 Área de estudo	69
4.2.2 Técnicas de estatística multivariada	71
4.2.2.1 Análise de Agrupamento Hierárquico (AAH)	71
4.2.2.2 Análise da Componente Principal (ACP)	72
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
4.3.1 Análise de Agrupamento Hierárquico (AAH)	76
4.3.2 Análise da Componente Principal (ACP)	78
4.4 CONCLUSÃO	83
4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
CAPÍTULO 5. INDICADORES DA QUALIDADE DE ÁGUA NO RIO JAIBARAS PELO EMPREGO DA ANÁLISE DA COMPONENTE PRINCIPAL.	88
RESUMO	88
ABSTRACT	89
5.1 INTRODUÇÃO	90
5.2 MATERIAL E MÉTODOS	92
5.2.1 Área de estudo	92
5.2.2 Metodologia de pesquisa	93
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	95
5.4 CONCLUSÃO	101
5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102
6 RECOMENDAÇÕES	105
7 APÊNDICES	106

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

As abordagens de planejamento e gestão que utilizam a bacia hidrográfica como unidade básica de trabalho são as mais adequadas à compatibilização da produção com a preservação ambiental. Por serem unidades geográficas naturais, as bacias hidrográficas possuem características biogeofísicas e sociais integradas.

A adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento é de aceitação internacional, não apenas porque ela representa uma unidade física bem caracterizada, tanto do ponto de vista de integração como da funcionalidade de seus elementos, mas também porque toda área de terra, por menor que seja, se integra a uma bacia. (PISSARRA, 1998).

Desta forma, as bacias hidrográficas vêm se consolidando como compartimentos geográficos coerentes para o planejamento integrado do uso e ocupação dos espaços rurais e urbanos, tendo em vista o desenvolvimento sustentado no qual se compatibilizam atividades econômicas com qualidade ambiental. A subdivisão de uma bacia de maior ordem em sub-bacias hidrográficas torna mais viável a transformação de condições difusas de problemas ambientais para condições pontuais, facilitando sua identificação, seu controle e o estabelecimento de prioridades para a operacionalização. (SOUZA; FERNANDES, 2000).

O crescimento demográfico resulta no aumento do uso dos corpos hídricos e, conseqüentemente, a sua degradação pela poluição e contaminação. Os problemas decorrentes destes fatores só poderão ser solucionados ou minimizados mediante o conhecimento científico do ecossistema, obtido através de um monitoramento constante dos corpos hídricos naturais ou artificiais (PUERARI; CASTRO; FERREIRA FILHO, 2002). A metodologia recomendada para o planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas incorpora técnicas de análise integrada de recursos. As etapas iniciais do diagnóstico da degradação hídrica podem ser divididas nas atividades de inventário e levantamento de dados e informações sobre as condições de infra-estrutura de água e saneamento, e o levantamento de áreas ambientais críticas (SOUZA; FERNANDES, 2000).

A necessidade de um controle mais eficiente da qualidade das águas impulsionou a criação de agências e órgãos reguladores, e o monitoramento da qualidade das águas, cujas

ações têm produzido matrizes de proporções inadequadas a sua interpretação, devido ao grande número de parâmetros analisados. (JONNALAGADDA; MHERE, 2001).

Para se conhecer a real qualidade da água em uma determinada bacia é necessária a realização de um monitoramento que, em geral, envolve muitas variáveis e gera um grande número de dados. Para interpretar este grande conjunto de dados, técnicas de estatística multivariada como Análise de Agrupamento Hierárquico (AAH) e Análise da Componente Principal (ACP) vêm sendo largamente utilizadas.

As técnicas de estatística multivariada promovem a redução dos dados e permite a interpretação de diversos constituintes individualmente, uma vez que indica associações entre amostras ou variáveis, e possibilita identificar os possíveis fatores ou fontes que influenciam o sistema de água (SIMEONOV et al., 2003; ANDRADE; SILVEIRA; AZEVEDO, 2003; PALÁCIO, 2004).

A redução de variáveis através de critérios objetivos, permitindo a construção de tabelas contendo maior informação estatística, pode ser conseguida por meio da análise de componentes principais. Também é possível construir agrupamentos entre as amostras, de acordo com suas similaridades, utilizando todas as variáveis disponíveis, e representá-los em forma de um dendrograma (MOITA NETO; MOITA, 1998).

A AAH é utilizada quando se deseja explorar as similaridades entre as variáveis, interligando as amostras por suas associações, e produzindo um dendrograma de amostras semelhantes, agrupadas entre si segundo as variáveis escolhidas. Quanto menor a distância entre os pontos, maior a semelhança entre as amostras (MOITA NETO; MOITA, 1998). Porto et al. (2004) utilizaram a análise de agrupamento para identificar bacias hidrográficas com características físicas similares no Estado do Ceará.

A ACP é uma ferramenta utilizada para explicar a variância de um grande conjunto de dados de variáveis interligadas com um pequeno conjunto de variáveis independentes (componente principal). As n variáveis originais geram, através de suas combinações lineares, n componentes principais, que são obtidas em ordem decrescente de máxima variância (VEGA et al., 1998; HELENA et al., 2000; WUNDERLIN et al., 2001). A análise de componentes principais foi empregada na identificação dos principais constituintes da salinidade da água no Rio Acaraú, Ceará (MEIRELES; ANDRADE; FRISCHKORN, 2005).

A divisão, em etapas, de estudos da qualidade das águas na bacia hidrográfica do rio Acaraú (14.500 km²), vem sendo empregada devido ao grande número de variáveis, permitindo a classificação das sub-bacias hidrográficas segundo características químicas e a formulação de estratégias de monitoramento para a minimização dos problemas encontrados. A distribuição de pontos de coleta representativos da qualidade da água ao longo da bacia hidrográfica facilita a caracterização da intensidade da poluição, à montante e à jusante de reservatórios (MESQUITA et al., 2004; MEIRELES; ANDRADE; FRISCHKORN, 2005). Assim, a aplicação de técnicas de estatística multivariada, em diferentes regiões da sub-bacia, possibilita a identificação dos principais fatores de poluição.

A sub-bacia hidrográfica do rio Jaibaras (1.101,87 km²), integra a bacia do rio Acaraú, abrangendo 32% da área dos municípios inseridos nessa sub-bacia, e 7,6% da área desta bacia, o que torna imprescindível o estudo de fatores de possam contribuir para a poluição dos corpos hídricos.

Considerando que a qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Jaibaras está diretamente relacionada com as atividades antrópicas e as condições dos serviços de água e saneamento básico, bem como a carência de informações sobre estudos de poluição hídrica nesta sub-bacia hidrográfica, o objetivo deste trabalho foi: a) apresentar as condições de infraestrutura de água e saneamento básico da parte alta desta sub-bacia, compreendida entre as nascentes do rio Jaibaras e seus tributários, e o açude Ayres de Souza, como forma de contribuir para análise dos fatores de degradação hídrica; b) identificar a influência do clima na variabilidade temporal e os fatores determinantes da qualidade das águas armazenadas no açude Ayres de Souza, pelo emprego da Análise de Agrupamento Hierárquico e Análise da Componente Principal; e c) identificar os parâmetros químicos mais importantes na variabilidade espacial da qualidade da água no trecho perenizado do rio Jaibaras, pelo emprego da Análise da Componente Principal.

1.2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, E. M de; 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**, v. 8, n. 1, p. 39-44, jan/mar, 2003.

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. 807-816, 2000.

JONNALAGADDA, S. B.; MHERE, G. Water quality of the Odzi river in the eastern highlands of Zimbabwe. **Water Research**, Amsterdam, v.35, n.10, p. 2371-2376, 2001.

MEIRELES, A C. M.; ANDRADE, E. M de; FRISCHKORN, H. Identificação dos principais constituintes da salinidade da água no rio Acaraú. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBRH, 2005, 1 CD-ROM.

MESQUITA, T. B.; ANDRADE, E. M.; CRISÓSTOMO, L. A.; MEIRELES, A. C. M.; MEIRELES, M. Classificação das águas na bacia do Acaraú. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 7. nov/dez, 2004, São Luís. **Anais...** São Luis: ABRH, 2004, CD-ROM.

MOITA NETO, J. M.; MOITA, G. C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. **Química Nova**, v. 24, n. 4, p. 467-469, 1997.

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.

PISSARRA, T.C.T. **Avaliação quantitativa das características geomórficas de microbacias hidrográficas de 1ª ordem de magnitude em quatro posições do sistema de drenagem**. 1998. 124 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) -Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 1998.

PORTO, M. M.; ANDRADE, E. A.; COSTA, R. N. T.; LEMOS FILHO, L. C. A.; MEIRELES, M. Identificação de bacias hidrográficas com características físicas similares no Estado do Ceará, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, vol. 35, n° 1, p. 17-25, jan-jun., 2004.

PUERARI, E.; CASTRO, M. A. H.; FERREIRA FILHO, W. M. Monitoramento dos parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos na água do Açude Chile e do reservatório subterrâneo adjacente. In: Reunião Final da Rede Cooperativa de Pesquisa em Engenharia e Gestão de Recursos Hídricos (REHIDRO/RECOPE/FINEP), 2002, Vitória. **Caderno de Resumo dos Trabalhos Técnicos, v. 1**. Vitória: FINEP, 2002. 39 p.

SIMEONOV, V.; STRATIS, J. A.; SÂMARA, C.; ZACHARIADIS, G.; VOUTSA, D.; ANTHEMIDIS, A.; SOFONIOU, M.; KOUIMTZIS, T. H. Assessment of the surface water quality in Northern Greece. **Water Research**, n. 37, p. 4119-4124, 2003.

SOUZA, E. R.; FERNANDES, M. R. Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentáveis das atividades rurais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, n. 207, p. 15-20, nov./dez. 2000.

WUNDERLIN, D. A.; DÍAZ, M. DEL P.; VALERIA, A. M.; PESCE, S. F.; HUED, A. C.; BISTONI, M de L. A. Pattern recognition techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality. A case study: Suquía River Basin (Córdoba-Argentina). **Water Research**, v. 35, n. 12, p. 2881-2894, august/2001.

CAPÍTULO 2

IDENTIFICAÇÃO DAS FONTES DE POLUIÇÃO HÍDRICA DA PARTE ALTA DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAIBARAS.

RESUMO

A bacia hidrográfica do Jaibaras se apresenta como unidade fundamental para o planejamento do uso e conservação ambiental. O objetivo do estudo foi apresentar as condições de infraestrutura de saneamento básico da parte alta da bacia, compreendida entre as nascentes do rio Jaibaras e seus tributários, e o açude Ayres de Souza, como forma de contribuir para análise dos fatores de degradação hídrica ao longo da parte alta desta sub-bacia. Foram realizadas a identificação e o georrefenciamento das fontes de poluição hídrica, entrevistas com moradores e operadores de sistemas de água e esgoto, além de pesquisa bibliográfica, no período de abril de 2004 a julho de 2005. As fontes poluidoras, ao longo do rio Jaibaras e seus tributários, estão ligadas aos esgotos domésticos e resíduos sólidos despejados no leito e próximo às margens dos mananciais. As fontes de poluição ligadas à agricultura não foram significativas. O açude Ayres de Souza sofre intervenções de esgotos domésticos, disposição de resíduos sólidos, inclusive lixões a céu aberto, carga de produtos oriundos da piscicultura intensiva (ração e fósforo excretado), e ocupação das Áreas de Preservação Permanente (APPs) por balneários, residências e atividades de pecuária e agricultura. A pesquisa de campo mostrou que o lançamento de esgotos domésticos no reservatório é um problema de infra-estrutura do distrito de Jaibaras e educacional, pois os moradores locais não possuem esclarecimentos quanto aos cuidados com sua saúde ou o meio em que vivem, o que dificulta um trabalho de preservação da qualidade de suas águas e controle das fontes poluidoras.

Palavras-chave: Degradação hídrica. Saneamento básico. Impactos ambientais. Bacia hidrográfica do rio Jaibaras.

ASSESSMENT OF THE WATER POLLUTION SOURCES AT THE UPLAND OF THE JAIBARAS WATERSHED.

ABSTRACT

The watershed of Jaibaras river presents itself as a fundamental unit for the planning of environmental use and preservation. The objective of the study was to present the infrastructure conditions of system carried out of the upper portion of the basin, which is demarcated by the water springs of Jaibaras river, its effluents, and the repair zone of the water basin of Ayres de Souza dam. In the period from April/2004 to July/2005, besides bibliographical research, the identification and GPS location of water pollution sources, as well as interviews with local residents and sewer. The pollution sources, along the river and its effluents, are more connected to domestic sewers and solid residues which are dumped on the river bed and near the banks of water springs. Pollution sources connected to agriculture activities were not significant. The Ayres de Souza Dam suffers the aggression of domestic sewers, the disposal of solid residues, including open-air dumpsters, loads of products coming from intensive pisciculture (fish food and excreted phosphorus), and the invasion of the Permanent Preservation Areas (APPs) by bathhouses, residences, and animal breeding and farming activities. The survey showed up that the disposal of domestic sewage into the reservoir is a problem of infrastructure of Jaibaras village as well as it is behavioral, since the local residents have no knowledge about to preserve their own health and the environment this fact is a major hindrance to preserving the quality of waters and to controlling the pollution sources. In spite of the change in the quality of the water after the establishment of pisciculture activities, there is no conclusive data about their contribution to the pollution of the water springs.

Key words: Water degradation. Basic sanitation. Environmental impacts. Jaibaras watershed.

2.1 INTRODUÇÃO

Todas as águas servidas são também denominadas esgotos ou águas residuárias, por possuírem em sua composição, resíduos sólidos dissolvidos e em suspensão. São de origem doméstica, industrial, agroindustrial e agrícola. Estas águas, quando lançadas diretamente sem qualquer tratamento, poderão afetar de maneira adversa as microbacias, o solo, os lençóis subterrâneos, os corpos d'água receptores, entre outros. Assim a poluição hídrica é qualquer alteração física, química ou biológica das propriedades da água, concorrendo para degradação da sua qualidade (CAMPOS, 2000).

A bacia hidrográfica é uma unidade geográfica formada por uma área da superfície terrestre que contribui para a formação e o armazenamento de um determinado curso de água. Uma bacia hidrográfica geralmente é formada por inúmeras microbacias, que possuem vários pequenos riachos, formando sua malha de drenagem.

Aproximadamente 60 milhões de brasileiros, moradores de 9,6 milhões de domicílios urbanos, não dispõem de coleta de esgoto. Destes 60 milhões, cerca de 15 milhões de brasileiros, residindo em 3,4 milhões de domicílios, não têm acesso à água encanada, e uma parcela da população que tem ligação domiciliar não conta com abastecimento diário e nem com água potável de qualidade. Quase 75% de todo o esgoto sanitário coletado nas cidades é despejado "in natura" nos corpos d'água. A carência dos serviços de saneamento básico está concentrada, principalmente, nos bolsões de pobreza das grandes metrópoles, nas cidades de até 20.000 habitantes e nas regiões Norte e Nordeste do Brasil (SNSA, 2005).

O impacto imediato das precárias condições de infra-estrutura de saneamento básico nos centros urbanos é a introdução de agentes poluidores nos ecossistemas aquáticos que podem comprometer a qualidade da água para os seus mais diversos usos. Assim, a qualidade da água na bacia hidrográfica está diretamente relacionada com as atividades antrópicas e as condições dos serviços de saneamento básico.

De uma maneira geral, pode-se afirmar também que o comprometimento da qualidade das águas dos recursos hídricos do Estado do Ceará está ligado principalmente à falta de infra-estrutura básica de saneamento das cidades ribeirinhas (inexistência ou precariedade do sistema de coleta e destinação final adequados dos sistemas de tratamento dos resíduos sólidos e líquidos), e a processos de erosão e assoreamento. As fontes de poluição em geral são difusas, provenientes principalmente de aglomerados urbanos existentes nas áreas de preservação dos corpos d'água (CEARÁ, 2002b).

Neste cenário, as bacias hidrográficas apresentam-se como unidades fundamentais para o planejamento do uso e conservação ambiental. O manejo integrado dos recursos naturais deve considerar as bacias e suas sub-bacias como unidades coerentes para planejamento, enfocando medidas inerentes à produção, recuperação e preservação dos recursos naturais (SOUZA e FERNANDES, 2000).

Puerari, Castro e Ferreira Filho (2002) monitoraram as características físicas, químicas e microbiológicas da água no reservatório do açude Chile, em Morada Nova, Ceará. O reservatório apresentou perda da qualidade da água nos períodos de baixa precipitação (estação seca), com o comprometimento da qualidade da água em razão do aumento da dessedentação animal nestes períodos.

Almeida e Schwarzbald (2003) identificaram que o fator espacial determina uma nítida divisão quanto à qualidade da água que acompanha a divisão geográfica existente no arroio Cria Montenegro, no Rio Grande do Sul, com melhor qualidade no braço formador do arroio que corresponde à zona de menor atividade industrial e menor ocupação urbana, e qualidade mais comprometida no braço que recebe efluentes industriais e despejos domésticos em maior escala.

Estudos abordando a relação entre fontes poluidoras e a poluição hídrica ou degradação do meio ambiente na bacia do rio Acaraú, Ceará, vêm sendo realizados pela EMBRAPA Agroindústria Tropical, em parceria com o Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará – CEFET e a Companhia Estadual de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH, como na pesquisa de Figueiredo et al. (2004), que diagnosticaram a qualidade da água em seções de rios da bacia do Acaraú.

Este trabalho tem por objetivo apresentar as condições de infra-estrutura de saneamento básico da região compreendida entre as nascentes do rio Jaibaras e seus tributários, e o açude Ayres de Souza, como forma de contribuir para análise dos fatores de degradação hídrica ao longo da parte alta desta sub-bacia.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Área de estudo

A sub-bacia hidrográfica do rio Jaibaras, que integra a bacia do rio Acaraú, abrange uma área de 1.101,87 km² (CEARÁ, 2005c), situa-se na região noroeste do Estado do Ceará (Figura 1, Mapa 1), entre as coordenadas 3°36' S e 4°10' S e 40°21' W e 40°52' W (CEARÁ, 2004a).

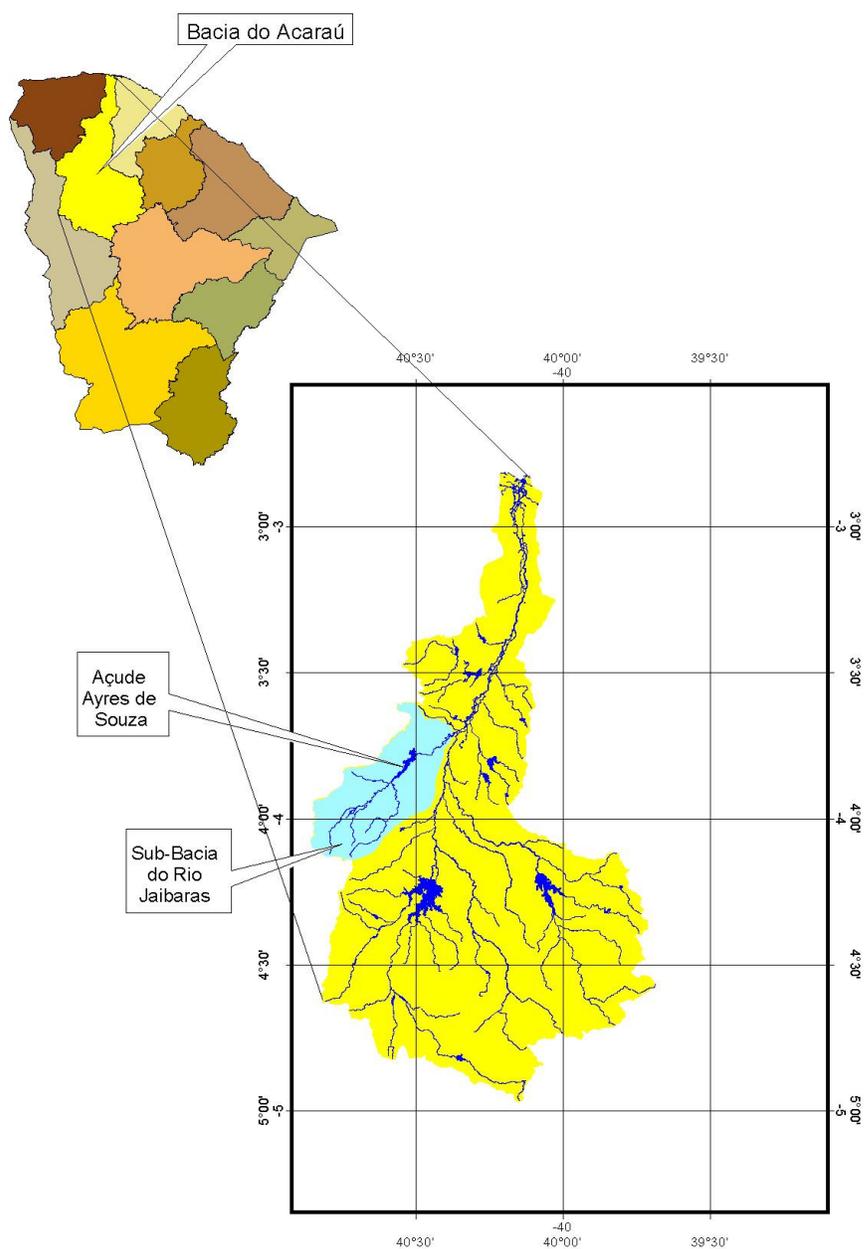


FIGURA 1 - Bacia hidrográfica do rio Acaraú e sub-bacia do rio Jaibaras.

MAPA 1

O clima semi-árido quente, predominante no Nordeste brasileiro, é marcado pela existência de dois períodos definidos: um seco e longo, e outro, úmido, curto e irregular. A região é caracterizada por forte insolação, índices elevados de evaporação, baixa umidade relativa do ar, com chuvas de outono e temperaturas médias mensais entre 26°C e 28°C (PROJETO MAPLAN, 2005a). Segundo a classificação de Köeppen, o clima da região se enquadra no tipo BSw'h'.

A pluviosidade média anual é de 821,6 mm, com distribuição unimodal e concentrações máximas de março a maio, sendo que 89,4% da precipitação concentra-se no período de janeiro a maio, caracterizando a alta variabilidade temporal das chuvas, comum em regiões semi-áridas (CEARÁ, 2004a).

A sub-bacia do Jaibaras é composta pelos grupos geomormológicos de Ubajara e Jaibaras. A deposição desta seqüência se deu entre os períodos Cambriano e Ordoviciano. A tectônica rígida que atuou sobre a bacia do Jaibaras refletiu nas unidades da seqüência, que se encontram intensamente fraturadas e falhadas, resultando no condicionamento hidrogeológico do tipo fissural (CEARÁ, 1992).

Os solos são predominantemente do tipo litólico eutrófico e distrófico (árido), com 38% da área da microbacia, fortemente limitados pela deficiência de água, pedregosidade, rochiosidade, concreções, pouca profundidade, grande susceptibilidade à erosão, além de relevo acidentado. Essa microbacia possui 16% de sua área com solo exposto, com alta vulnerabilidade a ação das chuvas que transportam sedimentos para as áreas baixas da microbacia, no caso, o açude Ayres de Souza.

A vegetação predominante na microbacia é a caatinga arbustiva aberta (CEARÁ, 1997). Na parte alta da microbacia do Jaibaras predominam as áreas recobertas com mata ciliar e vegetação densa úmida nas vertentes do planalto da Ibiapaba e da serra da Meruoca.

Os municípios de abrangência da sub-bacia hidrográfica do Jaibaras situam-se na mesorregião noroeste cearense, microrregião de Sobral, e representam 2,31% da área do Estado do Ceará. Dentre os municípios de influência da sub-bacia, o mais populoso é Sobral (155.276 hab.), seguido por Cariré (18.617 hab.), Graça (14.813 hab.), Mucambo (13.811 hab.) e Pacujá (5.653 hab.). Os cinco municípios possuem juntos 208.170 hab., correspondendo a 2,8% da população do Estado do Ceará (IBGE, 2002). A sub-bacia do Jaibaras corresponde a 32,14% da área total destes municípios, residindo aí sua importância para a região em estudo.

De acordo com o Índice de Desenvolvimento Municipal (IDM), que mede o nível de desenvolvimento alcançado pelos municípios cearenses, Graça (172°), Mucambo (157°) e

Cariré (144°), situam-se na classe 4 do ranking estadual, entre aqueles com mais baixos níveis de desenvolvimento social no Estado. Na classe 3 do ranking encontra-se o município de Pacujá (83°), numa posição um pouco acima dos municípios anteriores. O município de Sobral participa da classe 1 do ranking, detendo a 4ª posição no Ceará, sendo considerado um padrão de desenvolvimento social. O IDM é medido a partir de indicadores sociais, demográficos, econômicos e de infra-estrutura de apoio, entre os quais está o saneamento básico (CEARÁ, 2004b).

A parte alta da sub-bacia hidrográfica do rio Jaibaras é composta pelo rio Jaibaras até o açude Ayres de Souza, e os tributários: o rio Grande e os riachos, do Moreno, Mulungu, Santo Antônio, das Pitombas, Salgadinho, Logradouro e Trapiá. As nascentes do rio Jaibaras são formadas pelas bicas de Pinga, Bica Grande, Pirapora e Cintra, situadas na localidade conhecida como Cigarro, uma área de preservação permanente, na divisa dos municípios de São Benedito e Graça, na serra da Ibiapaba.

O rio atravessa áreas dos municípios de Graça, Pacujá, Mucambo e Cariré, recebendo vários tributários até chegar ao Distrito de Jaibaras, município de Sobral, onde é represado pelo Açude Ayres de Souza, um dos principais reservatórios do Estado.

O Açude Ayres de Souza, concluído pelo DNOCS em 1936, situa-se entre as coordenadas 3°45' S e 3°53' S e 40°29' W e 40°36' W (Figura 2, Mapa 2), a 23 km da sede de Sobral. A gestão do reservatório é feita pelo DNOCS em parceria com COGERH. O açude possui uma bacia hidráulica de 12,88 km² e capacidade de 104.430.000 m³ (CEARÁ, 2005c).

O Ayres de Souza pereniza o rio Jaibaras e seus principais usos são: o atendimento ao Perímetro Irrigado Ayres de Souza (391 hectares irrigados, de um total de 8.595 ha), o abastecimento da sede de Sobral (134.508 hab), do distrito de Jaibaras (7.960 hab) e outras localidades próximas, além da piscicultura em tanques-redes (600 t.ano⁻¹), pecuária, lazer e dessedentação de animais.

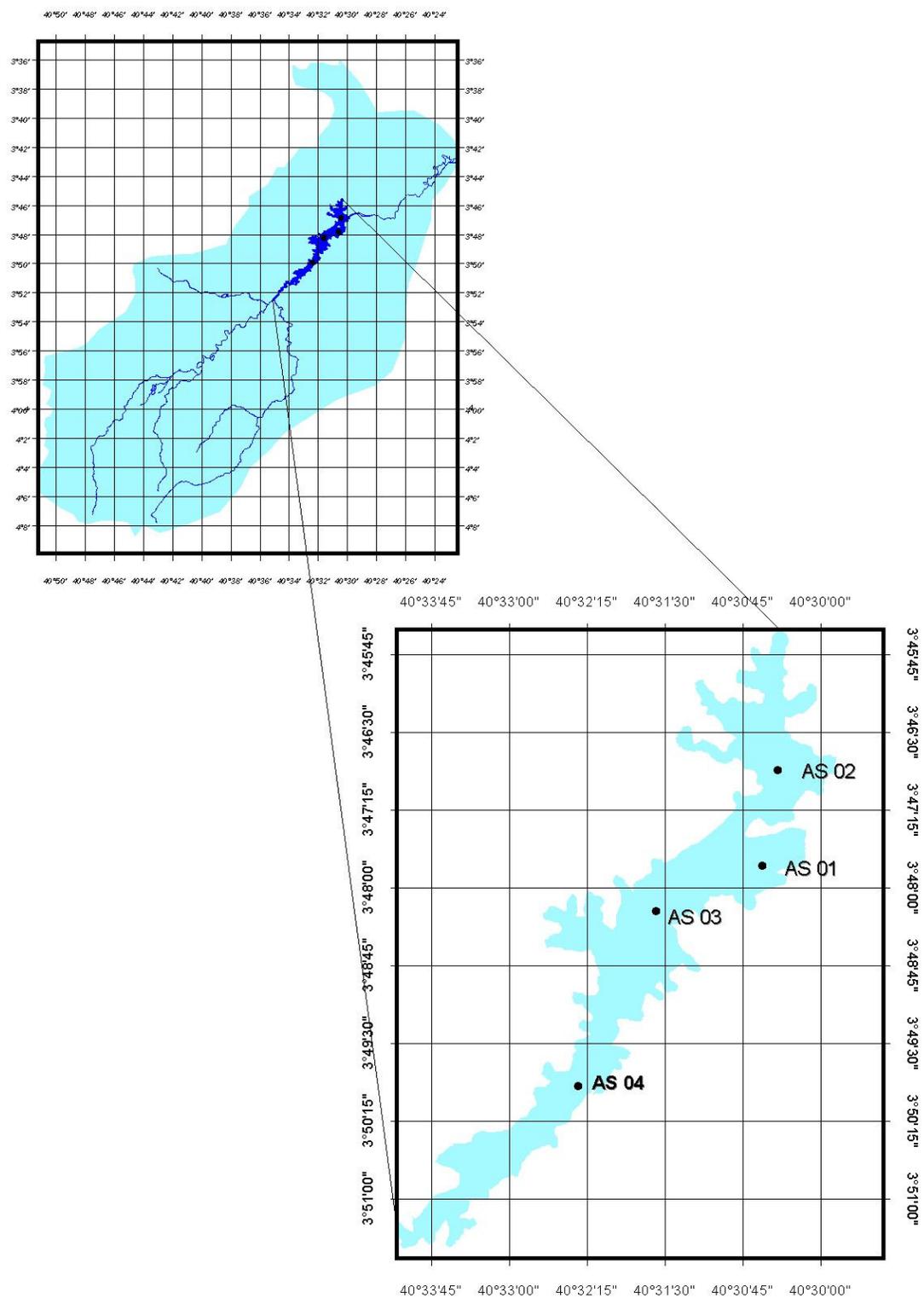


FIGURA 2 - Bacia do rio Acaraú (parte superior) e bacia hidráulica do açude Ayres de Souza (em destaque, abaixo).

MAPA 2

2.2.2 Metodologia de pesquisa

A metodologia da pesquisa foi dividida nas etapas de levantamento de informações bibliográficas e cartográficas, participação em reuniões técnicas, trabalhos de campo, entrevistas com moradores locais e operadores de sistemas abastecimento de água e esgotamento sanitário, no período de abril de 2004 a julho de 2005.

Durante os trabalhos de campo foram feitas visitas às comunidades rurais e sedes dos municípios que compõem a parte alta da bacia, partindo-se das nascentes do Jaibaras, cruzando pontes e passagens molhadas, até encontrar o ponto onde se inicia a bacia hidráulica pela cota de sangria do açude Ayres de Souza.

No levantamento de campo ao longo do rio e próximo à bacia hidráulica do reservatório, foram fotografadas e georreferenciadas as potenciais fontes de poluição, como lixões, drenagens de esgotos de aglomerados urbanos, Estações de Tratamento de Água (ETAs) e Esgotos (ETEs) e o uso e ocupação irregular das Áreas de Preservação Permanente (APPs).

As atividades de campo foram auxiliadas por técnicos da Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará (COGERH), Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE), Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) de Sobral, EMBRAPA Agroindústria Tropical e representantes do Comitê das Bacias do Acaraú e Coreaú.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo informações de moradores do Distrito de Lapa, no município de Graça, núcleo urbano mais próximo das cabeceiras do Jaibaras, não há sinais aparentes de fontes de poluição nas nascentes, sendo que o último cultivo de tomate na área de São Benedito data de 15 anos (Figura 3).



FIGURA 3 - Serra da Ibiapaba, ao fundo, local onde nasce o rio Jaibaras (4°44'48" S e 40°49'16" W).

A seguir são descritas as condições dos serviços de infra-estrutura de abastecimento de água, esgotamento sanitário e disposição de lixo na área de influência do rio Jaibaras, e os fatores de degradação ambiental no açude Ayres de Souza.

2.3.1 Sistema de abastecimento de água

A fonte de captação de água de Cariré, Graça e do distrito de Lapa é água subterrânea. Os municípios restantes são abastecidos a partir da captação nos açudes Municipal (Sede de Mucambo), Coriolano de Souza Brito (Sede de Pacujá) e Ayres de Souza (Distrito de Jaibaras e área do Instituto Nacional do Meio Ambiente (IBAMA), com o sistema integrado Aprazível/Ipueirinhas). A sede de Sobral é abastecida a partir do rio Acaraú e do rio Jaibaras, à jusante do açude Ayres de Souza. A operação dos sistemas de abastecimento de água desses municípios é feita pelo SAAE e/ou CAGECE.

Nas Estações de Tratamento de Água (ETAs) que abastecem Cariré, Pacujá, Mucambo, Aprazível e Ipueirinhas, o tratamento é simplificado, utilizando pré-cloração, filtração direta ascendente, com filtros de concreto ou fibra de vidro, e desinfecção com cloro.

Em Cariré é realizado processo de aeração para a retirada do excesso de ferro, popularmente conhecido como “capa-rosa”. O sulfato de alumínio é usado como coagulante, exceto na ETA de Pacujá (CAGECE, 2006).

As captações de água existentes no Açude Ayres de Souza, além de abastecer parte de Sobral, atendem aos Distritos de Jaibaras e Aprazível, a localidade de Ipueirinhas e outras comunidades, como Aroeira, no Distrito de Coreaú, Pedra-de-fogo, Pau D’arco, e as vilas localizadas no entorno do reservatório: Juá, São Domingos, Mamão Beira-do-rio e Angicos.

Aproximadamente 73% da população sob influência da sub-bacia do Jaibaras são abastecidos pela rede geral de tratamento de água. Dentre os municípios pesquisados, o menor índice de cobertura da rede de abastecimento de água é o do município de Graça (24%), onde 76% da captação é subterrânea. Na Tabela 1 são apresentadas as características das ETAs.

TABELA 1 – Condições de abastecimento de água nos municípios que compõem a parte alta da sub-bacia do rio Jaibaras.

ETA / Local	Operador	Fonte de captação	Tipo de tratamento
Graça / Lapa	CAGECE	Subterrânea	Simplificado ¹
Pacujá	CAGECE	Açude Coriolano de Souza Brito (Corredor)	Simplificado
Mucambo	CAGECE	Açude municipal	Simplificado
Cariré	CAGECE	Subterrânea: 1 poço Amazonas e 3 poços tubulares	Simplificado
Jaibaras, Sobral	SAAE	Açude Ayres de Souza	Convencional ²
Jaibaras	CAGECE e SAAE	Açude Ayres de Souza	Simplificado
Área do IBAMA, Sobral	CAGECE e SAAE	Açude Ayres de Souza	Simplificado
Aprazível/ Ipueirinhas ³ , Sobral	CAGECE e SAAE	Açude Ayres de Souza	Simplificado e Convencional

Dados elaborados a partir das informações da CAGECE, SAAE Sobral e de operadores dos sistemas.

¹ Simplificado: pré-cloração /filtração/ desinfecção com cloro.

² Convencional: pré-cloração/ floculação/ decantação/ filtração/ adição de flúor/ correção de pH / desinfecção com cloro

³ Sistema integrado Aprazível/Ipueirinhas, com 12 m³.h⁻¹ para Aprazível e 5 m³.h⁻¹ para Ipueirinhas.

Os resultados de campo confirmam as informações levantadas pelo Projeto Maplan (2005a), que apenas a sede municipal de Graça e o distrito de Lapa, com 186 famílias, são atendidos com água tratada.

A população de várias comunidades bebe água de cacimbas ou se desloca para outras localidades para conseguir água. Nesta região foram identificados teores elevados de nitrito no sistema de água do município, tornando a água não potável e aumentando a probabilidade de risco de doenças, uma vez que o nitrito é um indicador de contaminação recente por matéria orgânica (CEARÁ, 2002a).

Segundo informações do IBGE (2002), os municípios de Mucambo e Graça apresentam os piores índices de cobertura de água encanada na zona rural, respectivamente 0,5% e 2,8%.

Segundo informações do Projeto Maplan (2005a), cerca de 40% da população rural destes municípios sofre com a escassez de água, mesmo durante anos de chuvas normais, abastecendo-se de pequenos mananciais ou cacimbas, que eventualmente secam antes da chegada da próxima quadra invernososa. A água disponível é muito salobra ou poluída, obrigando as famílias a se deslocarem à procura de água em outras comunidades.

Em campo, foi observado que a falta de água para o consumo humano em Graça e Mucambo relaciona-se com fatores de degradação dos corpos hídricos, como o desmatamento das margens do rio e o descuido das autoridades com os serviços de saneamento básico. No diagnóstico participativo no município, realizado pelo Projeto Maplan (2005b) é citada também a falta de investimentos em construção de barragens, açudes, cisternas e poços tubulares.

Em Pacujá, o abastecimento humano com água tratada atende 9% dos domicílios da zona rural, sendo que em 64% dos domicílios rurais a população é abastecida por carros-pipas ou utilizam carroças, animais e outras formas de abastecimento (IBGE, 2002).

Durante os períodos de estiagens, o quadro de precariedade é agravado pela redução dos índices pluviométricos, provocando a redução dos volumes acumulados nos açudes e a depleção dos aquíferos a níveis críticos, comprometendo o abastecimento de água nos núcleos urbanos de Graça, Pacujá e Mucambo (CEARÁ, 2002a).

Os baixos índices de abastecimento de água observados na zona rural dos municípios devem-se à falta de investimentos públicos que, em geral, são feitos predominantemente na zona urbana dos municípios, reconhecendo no campo um lugar de precariedade, como descrito pelo SNSA (2005). O problema será minimizado com a construção da adutora, estação de tratamento e reservatórios, que abastecerão as sedes e

algumas localidades dos municípios de Mucambo, Pacujá e Graça, beneficiando 27.271 habitantes (CEARÁ, 2005d).

2.3.2 Sistemas de esgotamento sanitário

No distrito de Lapa, município de Graça, o rio Grande, afluente do rio Jaibaras, já recebe o lançamento de esgotos domiciliares (Figura 4A) e lixo urbano no manancial (Figura 4B). Seguindo o leito natural do rio Jaibaras, foram constatados investimentos públicos para o tratamento dos esgotos da sede do município de Graça. Na Figura 5A é mostrada a lagoa de estabilização da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) do município, que se encontrava em precárias condições operacionais, no momento da visita.



FIGURA 4 - Esgoto (A) e lixo (B) de residências em Lapa (4°05'09" S e 40°49'22" W)

Além da falta de água potável, a população de Graça também é prejudicada por problemas de esgotamento sanitário. Na zona urbana, apenas 0,2% dos domicílios possui rede de esgoto ou pluvial, sendo inexistente na zona rural, e 25% das residências não possuem banheiros ou sanitários. No meio rural o percentual eleva-se para 84% (IBGE, 2002). Os dados de campo estão de acordo com as informações do Projeto Maplan (2005a), que relata a opinião dos moradores de Graça, segundo os quais o não uso de banheiros está ligado à falta de água encanada nos domicílios. As observações de campo indicam que o problema vem sendo minimizado pela CAGECE, na sede municipal e no Distrito de Lapa, onde foi construída uma rede de esgoto de 4.313 m de extensão e 392 novas ligações (CEARÁ, 2003b).



FIGURA 5 - Lagoa de estabilização da ETE de Graça ($4^{\circ}02'43''$ S e $40^{\circ}45'42''$ W) (A) e cemitério do município de Pacujá ($3^{\circ}58'36''$ S e $40^{\circ}41'48''$ W) (B).

Já no município de Pacujá foi constatado nas observações de campo que o rio Poço do Cavallo, afluente do Jaibaras, recebe esgotos da sede do município, confirmando os dados do IBGE (2002), pois somente 33% dos domicílios possuem sistema de esgotamento sanitário, e só uma parte dos esgotos recebe tratamento em lagoas de estabilização.

Seguindo o curso do rio Jaibaras, foi constatado que o cemitério público de Pacujá localiza-se à cerca de 100 m da margem direita do manancial (Figura 5B), o que pode ocasionar problemas de contaminação do lençol freático, contrariando a legislação ambiental, uma vez que o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) proíbe a instalação de cemitérios nas áreas de mananciais (BRASIL, 2003).

Segundo Matos (2001), as principais fontes de contaminação das águas subterrâneas nos cemitérios são as sepulturas localizadas nas cotas mais baixas, próximo ao nível freático, onde é maior a ocorrência de bactérias, aumento do consumo do oxigênio e acréscimo de sais minerais, aumentando a condutividade elétrica das águas.

O município de Mucambo apresenta, dentre os municípios pesquisados, a situação mais crítica quanto ao sistema de esgotamento sanitário. Praticamente inexistente sistema de esgotamento, 61% dos domicílios utilizam fossas rudimentares e 78% das residências da zona rural não têm banheiros ou sanitários (IBGE, 2002). Em Mucambo, os problemas de saúde da população estão intimamente relacionados com a falta de acesso à água potável, à falta de esgotamento sanitário e às condições das estradas (PROJETO MAPLAN, 2005b).

Os núcleos urbanos de Mucambo, Pacujá e Graça, apesar de contarem com sistemas de abastecimento de água, apresentam uma parcela de suas populações recorrendo à captação de água em poços rasos, sendo elevados os riscos de contaminação destas águas por

efluentes de fossas (CEARÁ, 2002a). A CAGECE, com recursos do Projeto Alvorada, vem implantando o sistema de esgotamento sanitário e ampliando o sistema de abastecimento de água de Mucambo (CEARÁ, 2005a).

No município de Cariré, o rio Jaibaras passa pela comunidade de Angicos, onde moram de 35 a 40 famílias, e chega a Arariús, cuja população é de 300 famílias (Figura 6).



FIGURA 6 - Rio Jaibaras, em Angicos ($3^{\circ}52'11''$ S e $40^{\circ}34'48''$ W) (A) e Arariús ($3^{\circ}53'28''$ S e $40^{\circ}36'05''$ W) (B).

Foi constatado que os esgotos dos domicílios de Arariús são despejados no Jaibaras. As observações feitas no local estão de acordo com as informações do IBGE (2002), pois na zona rural de Cariré apenas 3% dos domicílios dispõem de sistema de esgotamento sanitário ou drenagem pluvial e 59% dos domicílios não possuem banheiros ou sanitários, o que leva ao aumento de matéria orgânica, incluindo microrganismos patogênicos e substâncias químicas tóxicas no leito do rio. Estas águas residuárias apresentam-se como fatores potenciais de risco à saúde humana, podendo provocar infecções parasitárias e doenças gastrointestinais, entre outras.

Entre Arariús e Alto Feliz, no município de Cariré, o Jaibaras recebe outro afluente, o riacho Santo Antônio ($3^{\circ}55'12''$ S e $40^{\circ}34'23''$ W).

No riacho Mulungu, outro afluente do Jaibaras no município de Cariré, foi constatada a lavagem de roupas e a presença de banhistas, próximo à passagem molhada (Figura 7A).

Logo abaixo, o Mulungu é barrado no Assentamento de Bonito, a 4 km do ponto onde deságua no Ayres de Souza. Às margens da barragem, os produtores rurais cultivam capim, mandioca, feijão, milho e outras culturas de subsistência. Mais adiante, foi observada a

lavagem de roupas no rio, a 200 m do local onde o Jaibaras deságua no Açude Ayres de Souza (Figura 7B).



(A)

(B)

FIGURA 7 - Passagem molhada no riacho Mulungu ($3^{\circ}55'21''$ S e $40^{\circ}33'55''$ W) (A) e a 200 m da foz do rio Jaibaras ($3^{\circ}52'40''$ S e $40^{\circ}34'53''$ W) (B).

Segundo o Projeto Maplan (2005), a prática de lavagem de roupas, presença de banhistas e banho de animais nas fontes hídricas nos municípios de Graça e Mucambo estão associados a questões culturais e à extrema pobreza da grande maioria da população.

Ainda em Cariré, o rio Jaibaras recebe outro afluente, o riacho do Moreno, que passa a 1 km da localidade Fazenda Várzea do Moreno ($3^{\circ}52'27''$ S e $40^{\circ}36'10''$ W).

Na parte alta da microbacia, os afluentes da margem esquerda do rio Jaibaras são o riacho das Pitombas (Figura 8A), o rio Logradouro (Figura 8B) e o riacho Trapiá (Figura 8C), que nasce na Serra do Rosário, não sofrem influência de núcleos urbanos ou de áreas de irrigação.

O rio Salgadinho (Figura 8D), afluente do rio Jaibaras que passa pelo distrito de Aprazível (2.740 hab.), município de Sobral, recebe os esgotos desta vila, que não tem rede de esgoto e onde não existem sistemas de coleta de lixo nem de drenagem pluvial (CEARÁ, 1999). É na localidade de Pilões (Figura 8E), em Cariré, que o rio Jaibaras deságua no açude Ayres de Souza.



FIGURA 8 - Afluentes do rio Jaibaras - riacho das Pitombas (A) ($3^{\circ}51'28''$ S e $40^{\circ}35'03''$ W); rio Logradouro (B) ($3^{\circ}47'03''$ S e $40^{\circ}32'11''$ W); riacho Trapiá (C) ($3^{\circ}45'12''$ S e $40^{\circ}30'13''$ W); rio Salgadinho (D) ($3^{\circ}46'37''$ S e $40^{\circ}32'29''$ W); e rio Jaibaras, na localidade de Pilões (E) ($3^{\circ}53'16''$ S e $40^{\circ}35'44''$ W).

As informações do IBGE (2002) indicam que somente 36% dos domicílios nos municípios de influência do Jaibaras contam com rede pública de esgotos, sendo detectado o uso de fossas e o despejo das águas residuárias em valas, nos rios e outros escoadouros, contribuindo para o aumento da carga poluidora ao longo da sub-bacia do rio Jaibaras. A situação é ainda mais crítica na zona rural, onde 70% das residências não possuem banheiros ou sanitários.

A falta de estrutura de saneamento básico é apontada como a principal causa de incidência de diarreias, que têm ocorrência intensificada no período de chuvas, quando as fontes de abastecimento humano ficam vulneráveis à contaminação (CEARÁ, 2002a).

2.3.3 Disposição do lixo

Como citado anteriormente, no distrito de Lapa, município de Graça, foi constatada uma grande quantidade de lixo despejado nas margens do rio Jaibaras, oriundo de residências construídas em APPs (Figura 9A).

Os resultados refletem a precariedade do sistema de coleta de lixo do município de Graça, que, segundo o IBGE (2002), atende a somente 22% dos domicílios. Na zona rural, os terrenos baldios e logradouros são os principais destinos do lixo (86%), que em muitos casos é carreado para os corpos d'água. Essa prática foi observada durante os trabalhos de campo, entre outros locais, sob a ponte do rio Jaibaras, próximo à cidade de Pacujá, onde foi verificada a presença de esgotos e lixo nas margens do manancial (Figura 9B).



FIGURA 9 - Rio Jaibaras, no distrito de Lapa (A) (4°05'09" S e 40°49'22" W) e sob a ponte de Pacujá (B) (3°58'38" S e 40°42'10" W).

Os dados descrevem a parca importância dada à coleta de resíduos sólidos, confirmando os dados do IBGE (2002), de que na zona rural de Pacujá 63% do lixo são despejados em terrenos baldios, logradouros e rios.

Em Mucambo, apesar da coleta de lixo atender a 96% dos domicílios da sede municipal, segundo o IBGE (2002), da mesma forma a zona rural sofre com a falta de sistema de coleta, uma vez que 95% do lixo também são jogados em terrenos baldios e logradouros ou despejados em rios ou lagoas.

O município de Cariré apresenta o quadro mais sério em relação à disposição de resíduos sólidos, com apenas 18% do lixo sendo coletado pelo sistema público. Na zona rural, 75% do lixo são jogados em terrenos baldios.

2.3.4 Fatores de degradação no açude Ayres de Souza

As atividades antrópicas na área de influência do reservatório Ayres de Souza são: a piscicultura artesanal e em tanques-redes; a pecuária e o cultivo de capineiras, sem utilização de agrotóxicos, para criação de gado, solto nas margens; dessedentação de animais e o lazer, com existência de balneários construídos na Área de Preservação Permanente do açude.

Segundo depoimentos de aqüicultores, tomado no local durante a visita, existiam 70 tanques-redes para o cultivo de peixe no reservatório, onde era utilizada uma média de 3.500 kg.dia⁻¹ de ração, variando de acordo com o estágio de desenvolvimento dos peixes. A captação de água para abastecimento humano para o distrito de Jaibaras fica próxima aos tanques-redes de cultivo de peixes (Figura 10).



FIGURA 10 - Captação de água e piscicultura em gaiolas no distrito de Jaibaras (3°46'41" S e 40°30'00" W).

A comunidade de São Domingos, com 72 famílias, tem como atividade principal a piscicultura em tanques-redes, possui água encanada pelo Projeto São José, mas não dispõe de rede de esgotos.

A comunidade de Mamão Beira-do-Rio, com 10 a 12 famílias, também vive da pesca e do cultivo de subsistência. Nessa comunidade, boa parte das residências não conta sequer com fossas sépticas (3°50'14" S e 40°32'52" W).

A piscicultura praticada em tanques-rede nos açudes públicos, como o Ayres de Souza, constitui-se em risco potencial ao ecossistema aquático e à saúde humana. A ração não consumida pelos peixes contribui para os processos de eutrofização da água, propiciando a proliferação de cianobactérias, o que pode causar sérios riscos à saúde humana, além de prejudicar a biota aquática, pois os resíduos da ração contribuem para a formação de amônia livre, substância tóxica aos peixes.

Outro problema ligado aos pontos de captação de água para abastecimento humano é a contaminação pelos efluentes oriundos da atividade da aqüicultura, como resíduos de fertilizantes e restos de ração. Os sistemas de tratamento de água não eliminam tais substâncias tóxicas, que podem tornar-se cancerígenas, tanto pelo consumo da água quanto pelo consumo de alimentos à base de peixe.

No sistema integrado de tratamento que abastece as comunidades de Pedra-de-fogo, Pau D'arco, Aroeira, Aprazível e Ipueirinhas, localizado na área de preservação do IBAMA, os efluentes da lavagem dos filtros, contendo sulfato de alumínio, são lançados no açude (Figuras 11A e 11B). Embora o controle de qualidade seja feito pelo SAAE e pela Prefeitura de Sobral (CEARÁ, 2004c), não há estudo sobre o impacto causado pela carga de alumínio lançada nas águas aos usos para abastecimento humano e irrigação. Sabe-se que esta substância química prejudica o meio ambiente e a saúde humana, já que espécies vegetais possuem baixo nível de tolerância ao alumínio, mostrando-se prejudicial à atividade de irrigação, além de alterar a dinâmica natural da biota.



FIGURA 11 - Captações de água do SAAE (A) e da CAGECE (B) na área do IBAMA (3°46'32" S e 40°30'17" W).

A falta de cuidados sanitários nos pontos de captação de água constitui-se problema de ordem pública, pois açudes e outros mananciais não podem servir, ao mesmo tempo, para abastecimento humano e lavagem de roupas e veículos, dessedentação de animais e balneários, fato comum nos reservatórios do Ceará.

Com uma população de 7.960 hab., Jaibaras constitui-se num dos maiores distritos de Sobral (SOBRAL, 2004). O núcleo central comporta a maior parte da estrutura da sede urbana e o bairro, denominado Barragem, localizado ao sul e interligado ao centro, estrutura-se linearmente ao longo da estrada para Cariré. As duas áreas são separadas pela barragem do açude Ayres de Souza (CEARÁ, 1999).

As habitações foram implantadas em APPs, os esgotos correm a céu aberto e não existem sistemas de drenagem urbana nem de coleta de lixo. O Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano do Município de Sobral já indicava o remanejamento destas habitações para novos assentamentos em áreas estáveis (CEARÁ, 1999).

As APPs são consideradas estratégicas naturais, que têm função vital dentro de uma microbacia, pois são responsáveis pela manutenção, preservação e conservação dos ecossistemas ali existentes, especialmente os aquáticos (MAGALHÃES; FERREIRA, 2000). Uma das funções ambientais das APPs, entendida na forma da lei, é a de preservar os recursos hídricos e os solos, assegurando o bem-estar das populações humanas.

Nas atividades de campo foi observado que os esgotos da área central do distrito, que concentra atividades comerciais e residenciais, drenam para a bacia hidráulica do açude Ayres de Souza, apresentando uma mancha de coloração mais esverdeada nas águas, no ponto

onde o dreno principal despeja os esgotos no reservatório, o que dá indícios de poluição orgânica no reservatório. O tratamento adequado das águas residuárias é essencial para a saúde pública e ambiental, no intuito de evitar a transmissão de doenças e reduzir o impacto ambiental no reservatório.

O distrito de Jaibaras possui um lixão a céu aberto, nas proximidades de várias residências e a 600 m do reservatório (Figura 12A). Com as chuvas e devido à elevada declividade do terreno, o chorume produzido no local é facilmente carregado para o açude Ayres de Souza (Figura 12B) (CEARÁ, 2004c).



FIGURA 12 - Lixão a céu aberto no distrito de Jaibaras (A) ($3^{\circ}46'32''$ S e $40^{\circ}29'44''$ W) e barragem do Ayres de Souza ($3^{\circ}47'38''$ S e $40^{\circ}30'09''$) (B).

A má disposição de resíduos nos lixões pode causar impactos negativos à saúde pública e ao meio ambiente. A disseminação de doenças transmitidas por ratos, baratas e moscas é somada à presença de gases e fumaça provenientes do acúmulo dos resíduos sólidos e de queima, uma vez que os gases podem conter elementos tóxicos e cancerígenos. A população do distrito de Jaibaras que vive próximo ao lixão pode contrair doenças como leptospirose, diarreias e doenças respiratórias. A poluição das águas superficiais, pela drenagem de chorume e a acumulação de resíduos, a contaminação de solos, com metais pesados e microrganismos patogênicos, a degradação visual paisagens e a poluição atmosférica são os principais prejuízos causados ao meio ambiente.

Em maio de 2004, foi reinaugurado o posto de saúde do Distrito de Jaibaras, tendo como destino final de seus esgotos duas fossas sumidouros sem tratamento ($3^{\circ}46'24''$ S e $40^{\circ}29'54''$ W). Segundo informações de funcionários do posto, os resíduos hospitalares produzidos no mesmo seriam encaminhados para Sobral, para incineração. De acordo com depoimentos de moradores, anteriormente o posto de saúde não tinha destino apropriado para

seus efluentes, sendo carreados para o açude Ayres de Souza, o que provavelmente estaria comprometendo a saúde pública da população.

Foram registrados três balneários às margens do açude Ayres de Souza, denominados de "Caxias", "Zé Hugo" e "Antônio da Neuza". Estes estabelecimentos de lazer não possuem destinação adequada dos seus efluentes. Durante a inspeção foi observado que um dos balneários encontrava-se tomado pelas águas do reservatório (Figura 13), com as fossas também mergulhadas no espelho d'água.



FIGURA 13 - Balneário no açude Ayres de Souza (3°46'34" S e 40°30'09" W)

Na área, verificou-se também a existência de animais soltos e de resíduos sólidos dispostos nas margens do reservatório, bem como a ocorrência de esgotos lançados direto no açude, banhistas, lavadeiras de roupas e a captação de água e lavagem de carros-pipas dentro do Açude (Figura 13). Alguns moradores associam o aumento de mosquitos e ocorrência de doenças de pele ao acúmulo de esgotos. Segundo os moradores, uma mudança na coloração da água está associada à piscicultura.



(A)



(B)



(C)



(D)

FIGURA 14 - Esgotos (A), dessedentação animal (B), lavagem de roupas (C) e captação de água por carro-pipa (D) no açude Ayres de Souza (3°46'34" S e 40°30'09" W).

As descargas orgânicas de efluentes, as águas percoladas de fossas sépticas e ligações clandestinas de esgotos em redes pluviais, constituem-se nas principais fontes de poluição de nitrogênio e fósforo nos sistemas aquáticos. As cargas destes elementos são bastante significativas nos efluentes e acabam determinado o nível de eutrofização do meio. Geralmente os lançamentos são pontuais e com elevado potencial poluidor, causando sérios problemas aos usuários das águas e à biota aquática, bem como ao sistema de tratamento e distribuição (ANDREOLI; CARNEIRO, 2005).

A maior parte das margens do açude encontra-se desmatada, com a área de preservação permanente tomada por residências, balneários e outras construções (Figura 15A). Um dos indicativos do desmatamento é a existência de 22 *soltas*, que são áreas cercadas nas margens do Ayres de Souza, no total de 1.558 ha, onde são desenvolvidas atividades de pecuária. Embora a utilização das vazantes seja proibida, os produtores plantam capim para

alimentação do rebanho. Foi verificada *in loco* a criação de gado em áreas próximas ao açude Ayres de Souza (Figura 15B).

Por outro lado, a área que se encontra protegida pelo IBAMA mostra-se em bom estado de conservação. Algumas casas que existiam no local foram desapropriadas, havendo poucas construções na área.



(A)



(B)

FIGURA 15 - Construção irregular de residências (A) e animais pastando em área de vazantes do açude Ayres de Souza (B) (3°49'54" S e 40°32'19" W).

A cobertura vegetal influi no balanço hídrico de uma bacia, interferindo nos processos hidrogeológicos, como a interceptação, evaporação, infiltração e percolação. A preservação da mata ciliar é fundamental para a manutenção das condições naturais, uma vez que auxilia na manutenção capacidade de armazenamento e qualidade da água.

O desmatamento acarreta prejuízos aos recursos hídricos, alterando a dinâmica natural das bacias hidrográficas e causando problemas ligados à sedimentação, assoreamento do leito dos rios e conseqüente diminuição da profundidade do leito de mananciais, o que leva à redução dos níveis de oxigênio e eutrofização da águas do reservatório.

Os aspectos qualitativos ainda dependem da análise incipiente de dados sem consistência histórica, originados de trabalhos acadêmicos isolados e programa de monitoramento não sistemático implantado na microbacia. Com a crescente necessidade e cobrança por parte da sociedade, tem-se tentado estabelecer metodologias de monitoramento qualitativo capazes de subsidiar medidas de mitigação e controle dos impactos negativos sobre a qualidade da água armazenada no reservatório, resultantes de fontes de poluição pontuais e difusas ao longo da bacia hidrográfica, como observado por Ceará (2002b).

O estudo constatou também que o monitoramento da qualidade da água é feito por diversas instituições, que não trabalham a temática de forma compartilhada, seja pelo desconhecimento da questão, seja simplesmente pela falta de interação.

2.4. CONCLUSÃO

Os dados de campo revelaram que na parte alta da sub-bacia do Jaibaras parte considerável da descarga de esgotos é feita in natura nos corpos de água ou no solo, o que pode comprometer a qualidade da água utilizada para os diversos usos, em especial para os usos prioritários de consumo humano e dessedentação animal.

A ausência de banheiros na maioria das casas do meio rural é um sério problema que compromete a qualidade do meio ambiente e a saúde pública.

O açude Ayres de Souza sofre intervenções de diversas origens: lançamento de esgotos domésticos, disposição de resíduos sólidos, piscicultura intensiva (que insere grande quantidade de matéria orgânica no reservatório) e ocupação das APPs por balneários, residências, e atividades de pecuária e agricultura, o que dificulta um trabalho de preservação da qualidade de suas águas e controle de fontes poluidoras.

O lançamento de efluentes domésticos, além de ser um problema de infraestrutura do distrito de Jaibaras, caracteriza-se por ser também cultural, pois os moradores da localidade não possuem, em sua maioria, esclarecimento quanto aos cuidados com sua saúde, ou mesmo com o meio em que vivem.

Não foram observadas fontes poluidoras significativas ligadas diretamente à agricultura e, apesar da mudança na qualidade da água após o estabelecimento da piscicultura, não se tem dados conclusivos sobre sua contribuição para a poluição do manancial.

2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C. **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados**. Sanepar/Finep, Curitiba, p. 30-31, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução do CONAMA n° 335/2003. **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. 2003. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 24 jan. 2006.

CAMPOS, C. M. M. Tratamento de esgotos em área rurais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, n. 207, p. 95-104, nov/dez. 2000.

CEARÁ. Companhia de Água e Esgoto do Ceará. **Gestão dos dados operacionais das localidades do interior do Estado**. 2006. Disponível em: <<http://www.cagece.com.br/informacoestecnicas/agua/dadosoperacionais/>>. Acesso em: 20 jan. 2006.

CEARÁ (a). Companhia de Água e Esgoto do Ceará. **Projeto Alvorada I**. 2005. Disponível em: <<http://www.cagece.com.br>>. Acesso em: 25 jan. 2006.

CEARÁ (b). **Companhia de Água e Esgoto do Ceará**. Projeto Alvorada: novas obras em conclusão. 2005. Disponível em <<http://www.cagece.com.br/comunicacao/noticias/>>. Acesso em: 21 jan. 2006.

CEARÁ (a) Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará. **Anuário do monitoramento quantitativo dos principais açudes do Estado do Ceará**. 2003. Disponível em: <<http://www.cogerh.com.br>>. Acesso em: 7 nov. 2005.

CEARÁ (a). Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil Básico municipal: Sobral**. Fortaleza, 2004. 10 p.

CEARÁ. Secretaria da Infra-estrutura. **Plano diretor de desenvolvimento urbano do Município de Sobral - Relatório de questões/módulo conceito**. PROURB-CE. Elaborado pelo Consórcio Fausto Nilo/Espaço Plano. Sobral, 1999.

CEARÁ. Secretaria de Planejamento e Coordenação - SEPLAN. **Atlas do Ceará 1997**. Fortaleza: IPLANCE, 1997.

CEARÁ (b). Secretaria de Planejamento e Coordenação – SEPLAN. **Índice de desenvolvimento municipal - Ceará 2002**. Fortaleza: IPECE, 2004. 118 p.

CEARÁ (c). Secretaria dos Recursos Hídricos. **Atlas do Ceará. SRH**. Disponível em: <<http://atlas.srh.ce.gov.br/obras/index.asp>>. Acesso em: 25 set. 2005.

CEARÁ (d). **Secretaria dos Recursos Hídricos**. Governo libera R\$ 10,5 milhões para construção de adutoras no interior. 2005. Disponível em: <http://www25.ceara.gov.br/noticias/noticias_detalhes.asp?nCodigoNoticia=15341>. Acesso em: 28 jan. 2006.

CEARÁ (b). **Secretaria dos Recursos Hídricos**. Município de Graça será beneficiado com obras da CAGECE. 2003. Disponível em: <http://www.ceara.gov.br/noticias/noticias_detalhes.asp?nCodigoNoticia=9671>. Acesso em: 21 jan. 2006.

CEARÁ (d). Secretaria de Recursos Hídricos. **Projeto São José - obras hídricas construídas por município**. 2005. Disponível em: <<http://atlas.srh.ce.gov.br/>>. Acesso em: 25 jan. 2006.

CEARÁ (a). Secretaria dos Recursos Hídricos. **Ampliação do sistema adutor da Ibiapaba - avaliação ambiental. Parte II**. Elaborado pelo Consórcio Montgomery Watson/Engesoft Engenharia e Consultoria Ltda. Fortaleza, janeiro de 2002. 130 p.

CEARÁ (b). Secretaria dos Recursos Hídricos. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Rede de monitoramento de água operada pela COGERH**. Convênio SEMACE/COGERH. Fortaleza, jan/2002. 28 p.

CEARÁ (c). Secretaria dos Recursos Hídricos. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. Gerência das Bacias do Acaraú e Coreaú. **Relatório técnico de inspeção nº 005/2004**. Sobral, maio/2004.

CEARÁ (c). Secretaria dos Recursos Hídricos. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. Superintendência das Bacias Interioranas. Gerência das Bacias do Acaraú e Coreaú. **Relatório de inspeção no canal principal do perímetro irrigado do açude Ayres de Souza**. Sobral, julho/2003.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. **Plano estadual de recursos hídricos: diagnóstico**. v. 1. Fortaleza, 1992. 1471 p.

FIGUEIREDO, M. C. B. ; ARAÚJO, L. de F. P.; ROSA, M. de F.; GOMES, R. B.; PAULINO, W. D. Diagnóstico da qualidade da água em seções de rios da bacia do Acaraú - CE. In: CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE, 3. 2004, Salvador. **Anais...** Salvador: UFBA, 2004, CD-ROM.

GORAYEB, A. **Análise geoambiental e dos impactos na bacia hidrográfica do rio Curu – Ceará – Brasil**. 2004. 141 f. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Geografia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Ceará, 2004.

IBGE. **Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2002**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002.

MAGALHÃES, C. S; FERREIRA, R. M. A. Áreas de preservação permanente em uma microbacia. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, n. 207, p. 33-39, nov./dez. 2000.

MATOS, B. **A Avaliação da ocorrência e do transporte de microrganismos no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, município de São Paulo**. 2001. 172 f. Tese (Programa de Pós-graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

PROJETO MAPLAN (a). Universidade do Arizona. **Mapeamento participativo: uma ferramenta de diagnóstico e planejamento local. Relatório técnico do Município de Graça, Ceará**. Fortaleza, Ceará, junho, 2005.

PROJETO MAPLAN (b). Universidade do Arizona. **Mapeamento participativo: uma ferramenta de diagnóstico e planejamento local. Relatório técnico do Município de Mucambo, Ceará**. Fortaleza, Ceará, junho, 2005.

RIPARDO, M. J. C. **Avaliação preliminar da influência da piscicultura intensiva na qualidade da água da represa Ayres de Souza, Sobral, Ceará**. 2004. 62 f. Monografia (Curso Superior de Recursos Hídricos/Saneamento Ambiental) - Instituto Centro de Ensino Tecnológico. Sobral, 2004.

SAAE Sobral. **Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Sobral**, 2006. Disponível em: <<http://www.saaesobral.com.br>>. Acesso em: 20 jan. 2006.

SNSA. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental**, 2005. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/oque_snsa.htm>. Acesso em: 17 jan. 2005.

SOBRAL. Prefeitura de Sobral. **Diagnóstico dos distritos de Sobral. 2004**. Disponível em: <http://www.sobral.ce.gov.br/sec/d_eco/downloads/diagnostico_distritos.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2006.

SOUZA, E. R.; FERNANDES, M. R. Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentáveis das atividades rurais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, n. 207, p. 15-20, nov./dez. 2000.

CAPÍTULO 3

A ESTATÍSTICA MULTIVARIADA – ANÁLISE DE COMPONENTE PRINCIPAL (ACP) E ANÁLISE DE AGRUPAMENTO HIERÁRQUICO (AAH)

3.1 INTRODUÇÃO

Para se conhecer a real qualidade da água em uma determinada bacia é necessário a realização de um monitoramento que, em geral, envolve muitas variáveis e gera um grande número de dados, possíveis de serem interpretados por técnicas de estatística multivariada como Análise de Agrupamento Hierárquico (AAH) e Análise da Componente Principal (ACP), que vêm sendo largamente utilizadas. Este tipo de análise promove a redução dos dados e permite a interpretação de diversos constituintes individualmente, uma vez que indica associações entre amostras e/ou variáveis e ainda possibilita identificar os possíveis fatores/fontes que influenciam a qualidade da água (SIMEONOV et al., 2003; ANDRADE; SILVEIRA; AZEVEDO, 2003; PALÁCIO, 2004).

A AAH é utilizada quando se deseja explorar as similaridades entre as variáveis, interligando as amostras por suas associações e produzindo um dendrograma de amostras semelhantes, agrupadas entre si segundo as variáveis escolhidas. Os dendrogramas consistem em diagramas que representam a similaridade entre pares de amostras (ou grupos de amostras), numa escala que vai de um (identidade) a zero (nenhuma similaridade) (MOITA NETO; MOITA, 1998). Os dendrogramas são especialmente úteis na visualização de semelhanças entre amostras, onde a representação de gráficos tradicionais não é possível.

Porto et al. (2004) utilizaram a análise de agrupamento para identificar três diferentes grupos de sub-bacias hidrográficas do Estado do Ceará, sendo a densidade de drenagem e área de drenagem as variáveis mais importantes na definição destes grupos.

A ACP é uma ferramenta utilizada para explicar a variância de um grande conjunto de dados de variáveis interligadas com um pequeno conjunto de variáveis independentes (componente principal). As n variáveis originais geram, através de suas combinações lineares, n componentes principais, que são obtidas em ordem decrescente de máxima variância (VEGA et al., 1998; HELENA et al., 2000; WUNDERLIN et al., 2001).

Andrade e Silveira (2002) empregaram a ACP para avaliar a importância relativa das diferentes variáveis envolvidas no processo da evapotranspiração em três bacias

hidrográficas da região litorânea do Estado do Ceará, enquanto Andrade, Silveira e Azevedo (2003) também empregaram a ACP no estudo da evapotranspiração em bacias hidrográficas da região centro sul do Estado do Ceará.

Meireles, Andrade e Frischkorn (2005) aplicaram as técnicas de AAH e ACP para identificar os fatores e as variáveis de maior significância no processo de salinização das águas de açudes e do rio Acaraú, Ceará.

O programa computacional de estatística SPSS versão 10.0 (*Statistical Package for the Social Sciences*) é utilizado na padronização dos dados e na definição das componentes principais e do agrupamento hierárquico.

3.1.1 Análise de Agrupamento Hierárquico (AAH)

Nas últimas décadas, sob o estímulo do progresso da tecnologia da computação, foram desenvolvidos inúmeros métodos para o agrupamento de objetos. Distinguem-se dois tipos de métodos de agrupamento: métodos não-hierárquicos, que produzem um número fixo de agrupamentos, e métodos hierárquicos, que formam agrupamentos por meio de uma seqüência crescente de partições de grupos – abordagem divisiva – ou de junções sucessivas de grupos – abordagem aglomerativa (agrupamentos).

Para agrupar observações de parâmetros de qualidade de água, não é possível estabelecer, *a priori*, o número ideal de grupos a serem formados. Neste caso, os métodos não-hierárquicos são inconvenientes, pois sua aplicação exigiria grande esforço de cálculo nas sucessivas tentativas para encontrar o número adequado de agrupamentos. Por isso, normalmente adota-se o método hierárquico de agrupamentos, que é o mais utilizado na construção de agrupamentos (KELLER FILHO; ASSAD; LIMA, 2005).

A técnica da análise de agrupamento pode ser utilizada quando se deseja explorar as similaridades entre variáveis, definindo-as em grupos (DAVIS, 1986). No entanto, este autor salienta a flexibilidade do método na definição dos grupos. Esta flexibilidade, também, é considerada por Everitt (1993) e Gnanadesikan (1997), citados por Andrade (1999), entre outros autores, como sendo um ponto subjetivo da técnica, uma vez que tal fato permite um considerável grau de liberdade ao usuário para definir o número de grupos em função do resultado que se deseja alcançar.

Para se minimizar a subjetividade do método, segue-se a técnica proposta por Everitt (1993). O número de grupos a ser definido depende do maior ou menor grau de homogeneidade que se deseja impor ao grupo formado. No caso dos pontos amostrados nos

diferentes locais de uma bacia hidráulica, se cada objeto for examinado com alta precisão poderá ser definido que cada ponto é único, como consequência de sua localização na bacia hidráulica. Porém, o objetivo do uso da análise de agrupamento neste trabalho foi desenvolver uma classificação que reconhecesse as semelhanças básicas entre os pontos coletados na bacia hidráulica, formando distintos grupos quanto à sazonalidade, de forma a entender a bacia hidráulica como um todo.

A técnica de agrupamento hierárquico interliga as amostras por suas associações, produzindo um dendrograma onde as amostras semelhantes, segundo as variáveis escolhidas, são agrupadas entre si (MOITA NETO; MOITA, 1998). Na análise de agrupamento, é fundamental a definição de uma medida de similaridade ou de distância entre os grupos a serem constituídos. Como as variáveis classificatórias escolhidas são variáveis reais e, portanto, são mensuradas em uma escala de intervalo, é conveniente adotar uma medida de distância com propriedades métricas. A medida Euclidiana é a mais utilizada (EVERITT, 1993). Como as variáveis classificatórias são mensuradas em unidades distintas, seus valores são previamente normalizados, de forma a terem média igual a zero ($\mu = 0$) e variância igual a um ($\sigma = 1$).

A maneira mais simples de procurar agrupamentos no espaço n-dimensional consiste em agrupar os pares de pontos que estão mais próximos (a e b), usando a distância euclidiana, e substituí-los por um novo ponto localizado na metade da distância entre eles. Na sua interpretação, quanto menor a distância euclidiana entre os pontos maior a semelhança entre as amostras (MOITA NETO; MOITA, 1998). A distância euclidiana (x_{ab}) é dada por:

$$x_{ab}^2 = \sum_{j=1}^n (d_{aj} - d_{bj})^2 \quad (3.1)$$

Este procedimento, quando repetido até que todos os pontos sejam agrupados em um só ponto, leva a construção do dendrograma, onde, no eixo horizontal são colocadas as amostras e, no eixo vertical, o índice de similaridade, S_{ij} , entre os pontos i e j, calculado segundo a seguinte expressão:

$$S_{ij} = 1 - \frac{d_{ij}}{d_{m\acute{a}x}} \quad (3.2)$$

onde d_{ij} é a distância entre os pontos i e j e $d_{m\acute{a}x}$ é a distância máxima entre qualquer par de pontos.

Os dendrogramas são construídos diretamente por todos os programas estatísticos que fazem classificação dos dados através de agrupamento hierárquico - *Hierarchical Analysis ou Cluster Analysis* (MOITA NETO; MOITA, 1998). Para a identificação dos grupos de pontos de amostragem que expressassem uma maior similaridade utilizou-se a análise de agrupamento através do software SPSS 10.0. Quando se aplica análise de agrupamento com o propósito de se identificar pontos similares, é muito importante a escolha do número de grupos a serem formados e do algoritmo a ser usado.

Várias técnicas de agrupamento hierárquico têm sido propostas, destacando-se, dentre as mais utilizadas, a ligação simples (*single linkage method*); ligação completa (*complete linkage method*); método centróide (*centroid method*); método da mediana (*median method*); método da média dos grupos (*group average method*) e método da variância mínima (*Ward's method*) (EVERITT, 1993).

A escolha de uma dessas técnicas é de certa forma subjetiva. Neste trabalho, utilizamos o método da variância mínima (Ward, 1963), no qual a formação dos agrupamentos em cada estágio da hierarquia é avaliada pela soma dos quadrados dos desvios em relação ao centro de gravidade dos grupos, geralmente indicada por R^2 . O critério para a fusão de cada par de grupos é o de que seja obtido o menor acréscimo possível no valor de R^2 .

Segundo Hartigan (1985), não existe um método plenamente satisfatório para a determinação do número ideal de grupos. Com esse propósito, utilizamos o Critério Cúbico para Agrupamento, instituído por Sarle (1983). Esse critério baseia-se na construção de uma medida, indicada por CCC (*Cubic Clustering Criterion*) que compara os valores observados de R^2 com uma aproximação de $E(R^2)$, ou seja, de seu valor esperado. Calcula-se o valor de CCC após cada etapa da construção hierárquica dos grupos. Quando o CCC é positivo, os valores observados de R^2 são superiores a $E(R^2)$, indicando a provável existência de novos agrupamentos significantes. Milligan e Cooper (1985) compararam o desempenho de um grande número de critérios para determinar o número ideal de grupos, chegando à conclusão de que o CCC foi um dos que apresentaram melhores resultados.

Neste trabalho, os dados foram normalizados (*Z-scores*) e tratados pelo método de ligação de Ward, com o quadrado da distância Euclidiana como medida de similaridade, como nos trabalhos dos pesquisadores Moita Neto e Moita (1998), Simeonov et al. (2003) e Meireles, Andrade e Frischkorn (2005).

A técnica de Análise de Agrupamento Hierárquico (AAH) foi empregada neste estudo para identificar os parâmetros determinantes da variabilidade temporal (sazonalidade) da qualidade da água na bacia hidráulica do açude Ayres de Souza.

3.1.2 Análise da Componente Principal (ACP)

A análise de componentes principais é aplicada para avaliar associações entre as variáveis, evidenciando o peso individual dos elementos físicos, químicos e biológicos, que padronizam a qualidade da água dos mananciais.

A ACP consiste em reescrever as coordenadas das amostras em outro sistema de eixo mais conveniente para a análise de dados. As n variáveis originais geram, através de suas combinações lineares, n componentes principais, cuja principal característica, além da ortogonalidade, é que são obtidas em ordem decrescente de máxima variância.

A ACP possibilita, ainda, o julgamento da importância das variáveis originais escolhidas, ou seja, as variáveis originais de maior peso na combinação linear das primeiras componentes principais são as mais importantes do ponto de vista estatístico (WUNDERLIN et al., 2001).

A ACP é composta pelas seguintes etapas:

a) Normalização dos dados:

Um problema encontrado na aplicação de modelos estatísticos multivariados é que estes dependem das unidades e escalas em que as variáveis foram medidas. Enquanto, por exemplo, a Condutividade Elétrica (CE) é medida em deciSiemens (dS.m^{-1}), o fosfato (PO_4^{3-}) é medido em mg.l^{-1} , e Razão de Adsorção de Sódio (RAS) é adimensional. Esta limitação é superada com a normalização dos dados, com média igual a zero ($\mu = 0$) e variância igual a um ($\sigma = 1$), tornando a variância independente da escala em que os dados originais foram medidos. Assim, para os pontos amostrados, a matriz dos parâmetros originais, expressos em unidades e escalas distintas, é normalizada pela relação:

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_i}{S_i} \quad (3.3)$$

Em que:

X_{ij} : representa o valor observado da j -ésima e i -ésima variável;

\bar{X}_i : representa a média da amostra X_{ij} ;

S_i : representa o desvio padrão da variável X_{ij} ;

Y_{ij} : representa a observação da variável j -ésima e i -ésima normalizada.

b) Definição da matriz de correlação:

A partir dos dados normalizados, é elaborada a matriz de correlação $[R]_{(p \times p)}$, para os pontos, sendo “p” o número de parâmetros analisados, seguindo Dillon e Goldstein (1984). A matriz de correlação R , definida pela equação a seguir, representa a base para transformação das variáveis ortogonais em fatores:

$$R = \frac{1}{n-1} \left(D^{-1/2} S D^{-1/2} \right) \quad (3.4)$$

Onde:

$D^{-1/2}$: matriz diagonal (p x p);

$$D^{-1/2} = \begin{bmatrix} \left[\frac{1}{\sqrt{\sum X_{i1}^2 / (N-1)}} \right] & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \left[\frac{1}{\sqrt{\sum X_{i2}^2 / (N-1)}} \right] & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \left[\frac{1}{\sqrt{\sum X_{i3}^2 / (N-1)}} \right] & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \left[\frac{1}{\sqrt{\sum X_{i11}^2 / (N-1)}} \right] & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \left[\frac{1}{\sqrt{\sum X_{i22}^2 / (N-1)}} \right] & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \left[\frac{1}{\sqrt{\sum X_{i33}^2 / (N-1)}} \right] \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

$$S = X_d' X_d \quad (3.6)$$

Onde:

S: é a matriz dos quadrados das médias;

X_d' : é a matriz transposta de X_d ;

X_d : é a matriz normalizada dos dados.

A matriz de correlação é composta pelos “p” parâmetros de qualidade de água analisados no estudo que se pretende desenvolver.

Segundo Norusis (1990), se as correlações entre os parâmetros forem pequenas, é possível que o modelo não se aplique. Após a definição da matriz de correlação, verifica-se entre os parâmetros aqueles mais específicos, visto que a finalidade da ACP é obter “fatores” que ajudem a explicar estas correlações.

c) Análise de sensibilidade das variáveis pelo teste Kaiser-Meyer-Olkin (KMO):

Após ser computada a matriz de correlação, desenvolve-se o teste de adequacidade, para averiguar se o modelo da ACP pode ser aplicado aos dados levantados neste estudo. Para tanto, aplica-se o teste Kayser-Mayer-Olkin (KMO), proposto por Kaiser (1974 citado por NORUSIS, 1990), que afere a consistência dos dados. O índice de adequação de Kaiser-Meyer-Olkin compara as magnitudes dos coeficientes de correlação observados com as magnitudes dos coeficientes de correlação parcial, produzindo um índice KMO (MONTEIRO; PINHEIRO, 2004; DUCHARNE, 2004). Quanto mais elevado for este índice, mais adequada é a realização da análise fatorial. O índice KMO é obtido pela seguinte equação:

$$KMO = \frac{\sum_{i \neq j} \sum r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} \sum r_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} \sum a_{ij}^2} \quad (3.7)$$

Onde:

r_{ij} : coeficiente de correlação simples entre as variáveis i e j ;

a_{ij} : coeficiente de correlação parcial entre as variáveis i e j .

O cálculo dos coeficientes de correlação parcial é feito sempre que se deseja controlar, do ponto de vista estatístico, a influência de uma variável na relação linear eventualmente existente entre duas outras variáveis. O coeficiente de correlação parcial entre duas variáveis, controlado por um conjunto de outras variáveis, deve ser interpretado como a correlação existente entre essas duas variáveis, controlando-se os efeitos das demais variáveis.

O coeficiente de correlação parcial é um indicador da adequação da matriz de correlações à aplicação de uma análise de componentes principais. Se as variáveis partilharem fatores comuns, os coeficientes de correlação parcial entre os pares de variáveis devem ser pequenos, quando os efeitos lineares das outras variáveis forem eliminados. As correlações

parciais são, então, estimativas das correlações entre os fatores únicos e devem estar próximas de zero, quando os pressupostos da análise fatorial são cumpridos (DUCHARNE, 2004).

Estudos de correlação indicam se duas (ou mais) variáveis estão associadas, ou seja, se quando uma destas varia a outra (ou outras) também varia (m). Quando se tem, por exemplo, três variáveis X_1 , X_2 e X_3 , pode-se querer estudar a correlação existente entre elas tomando-se duas a duas variáveis. Assim, r_{12} seria o coeficiente de correlação entre X_1 e X_2 , r_{13} , entre X_1 e X_3 , etc. Contudo, estes índices medem a correlação total entre as variáveis, ou seja, não descontam o efeito da terceira variável presente no estudo. Conseqüentemente, se é desejado o cálculo da correlação parcial de X_1 e X_2 , esta deve ser calculada pelo índice de correlação parcial (RAMOS, 2005):

$$r_{12.3} = \frac{r_{12} - r_{13}r_{23}}{\sqrt{(1 - r_{13}^2)(1 - r_{23}^2)}} \quad (3.8)$$

Valores de KMO < 0,5 indicam que o modelo não se aplica aos dados em estudo (NORUSIS, 1990; FERREIRA, 1999).

Quando a soma dos coeficientes de correlação parcial, ao quadrado, entre os pares de variáveis, for pequena, comparada à soma dos coeficientes de correlação simples, as medidas de KMO serão próximas a 1, indicando que não há restrição ao uso do modelo da análise dos fatores.

Para a escolha dos parâmetros que mais se correlacionam entre si é realizada uma análise de sensibilidade, retirando-se e acrescentando-se, alternadamente, cada um dos parâmetros, e avaliando-se as alterações nos valores das correlações e no teste de adequacidade.

d) Extração do número de componentes e comunalidade de cada variável:

O número de componentes extraídas é definido pelo critério das raízes características (*eigenvalues*), que considera somente componentes com autovalor (variância) superior a um. Este critério foi proposto por KAISER (1958 citado por NORUSIS, 1990) e fundamenta-se no fato de que qualquer fator deve explicar uma variância superior àquela apresentada por uma simples variável.

O valor da comunalidade de cada item é um critério da adequação da matriz de correlações à aplicação de uma análise de componentes principais. A comunalidade de um item consiste no somatório das variâncias explicadas pelos diversos fatores; quanto mais elevada for, mais a variância do item é explicada pelos fatores comuns (DUCHARNE, 2004).

A comunalidade expressa a variância referente a cada variável, que pode ser explicada pelos fatores correspondentes desta variável, com valores variando de zero a um. As comunalidades, de cada variável, são estimadas pela seguinte equação:

$$VX_{ij} = \sum C_{ij}^2 \quad (3.9)$$

onde:

VX_{ij} : que explica a variância contida na variável X_{ij} ;

C_{ij} : representa o valor da componente referente à variável X_{ij} .

e) Extração dos fatores de cada componente, determinando os fatores representativos da qualidade da água:

O objetivo da extração de fator empregada neste estudo é determinar os fatores representativos da variabilidade da qualidade da água na bacia hidráulica do açude Ayres de Souza e no trecho perenizado do rio Jaibaras, com o mínimo de perda das informações contidas no total dos dados. Os fatores são estimados pela ACP, que é formada por combinações lineares das variáveis observadas.

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.

A primeira componente principal é a combinação entre as variáveis que respondem pela maior variância na amostra. A componente principal C1 detém mais informação estatística que a componente principal C2, que por sua vez tem mais informação estatística que a C3, e assim por diante (MOITA NETO; MOITA, 1998). Assim, a segunda componente principal responde pela segunda maior variância, sem estar correlacionada com a primeira. Componentes sucessivas explicam porções progressivamente menores da variância da amostra total, sem apresentar correlação com as componentes anteriores (DILLON; GOLDSTEIN, 1984).

Segundo Ferreira (1999), o modelo matemático para ACP é semelhante a uma equação de regressão múltipla, onde cada variável é expressa como uma combinação linear de

fatores que não são observados de fato. A expressão do modelo para a i -ésima variável normalizada é:

$$X_j = A_{i1}F_1 + A_{i2}F_2 + \dots + A_{ik}F_k + U_i \quad (3.10)$$

Onde:

F: fatores comuns das variáveis;

A's: pesos atribuídos aos fatores F;

U: erro estatístico.

O modelo assume que os erros estatísticos não têm correlação com os fatores comuns. Os fatores são deduzidos das variáveis observadas e podem ser calculados como combinações lineares. É possível que todas as variáveis contribuam para o fator de qualidade da água, no entanto, espera-se que um único subconjunto de variáveis caracterize a qualidade da água, como o indicado pelos grandes coeficientes. A expressão geral para a estimativa do fator k -ésimo f_k é:

$$f_k = \sum_{i=1}^p W_{ki} X_i = W_{k1} X_1 + W_{k2} X_2 + \dots + W_{kp} X_p \quad (3.11)$$

onde:

W: coeficiente de contagem de cada fator;

p: número de variáveis.

f) Transformação dos fatores:

Mesmo com a matriz das componentes obtidas na fase de extração, cujo resultado descreve a relação entre os fatores e as variáveis individuais, em geral, os fatores que compõem a matriz apresentam valores de difícil interpretação.

Esta limitação é superada pelo procedimento de transformação ortogonal (rotação da matriz das cargas fatoriais) - método Varimax, que tem por finalidade minimizar a contribuição das variáveis com menor significância no fator (WUNDERLIN et al., 2001), gerando uma nova matriz, de mais fácil interpretação (DILLON; GOLDSTEIN, 1984). A rotação não afeta o valor de ajuste de uma solução de fator, ou seja, embora mude a matriz de fator, a comunalidade e percentagem de variância total explicada não são alteradas. Porém, a percentagem de variância considerada por cada um dos fatores faz a mudança.

O processo maximiza a variância entre os fatores, alterando a raiz característica sem afetar a proporção da variância total explicada pelo conjunto (MONTEIRO; PINHEIRO,

2004). Após a rotação, as variáveis passam a apresentar pesos próximos a um ou a zero, eliminando valores intermediários que dificultam a interpretação dos fatores.

O modelo de rotação ortogonal *Varimax* é adotado devido sua facilidade de interpretação e emprego freqüente em estudos de qualidade de água, como nos trabalhos de Andrade, Silveira e Azevedo (2003) e Palácio (2004).

Os fatores extraídos pela técnica da ACP foram empregados no estudo para identificar os parâmetros determinantes da variabilidade da qualidade da água na bacia hidráulica do açude Ayres de Souza e no trecho perenizado do rio Jaibaras.

3.2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

_____. Métodos de Clusterização (Clustering Methods). Disponível em: <http://www.inf.unisinos.br/~cechin/datamining/dm_conteudo.html>. Acesso em: 8 maio. 2006.

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.

ANDRADE, E. A. Regionalization of small watersheds in arid and semiarid regions: cluster and andrews curve approaches. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 18, n.4, p. 38-49, jan. 1999.

ANDRADE, E. M. de; SILVEIRA, S. S. Análise de componentes principais na investigação da estrutura multivariada da evapotranspiração. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 2, p. 171-177, maio. 2003.

ANDRADE, E. M de; 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**, v. 8, n. 1, p. 39-44, jan/mar, 2003.

DAVIS, B. M. **Estimation using spatially distributed multivariate data: an example with coal quality: math. geology**, 3 ed. New Mexico: McGraw-Hill, 1986. Volume II. 340 p.

DILLON, W. R.; GOLDSTEIN, M. **Multivariate analysis**. New York: John Willey & Sons, 1984. 587 p.

DUCHARNE, M. A. B. Avaliação da auto-percepção de competência: adaptação da PSPCSA numa população portuguesa. **PsicoUSF**, vol.9, no.2, p.137-141. dez. 2004.

EVERITT, B.S. **Cluster analysis**. Third ed. New York, John Wiley, 1993. 170p.

FERREIRA, A M. **SPSS – Manual de utilização**. Portugal: Escola Superior Agrária/Instituto Politécnico de Castelo Branco, 1999. 144 p.

HARTIGAN, J. A. Statistical theory in clustering. **Journal of Classification**, v.2, p. 63-76, 1985.

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. 807-816, 2000.

KELLER FILHO, T; ASSAD, E. D; LIMA, P. R. S. de R. Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.4, p.311-322, abr. 2005.

MEIRELES, A C. M.; ANDRADE, E. M de; FRISCHKORN, H. Identificação dos principais constituintes da salinidade da água no rio Acaraú. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16. 2005, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABRH, 2005, CD-ROM.

MESQUITA, T. B.; ANDRADE, E. M.; CRISÓSTOMO, L. A.; MEIRELES, A. C. M.; MEIRELES, M. Classificação das águas na bacia do Acaraú. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 7. nov/dez, 2004, São Luís. **Anais...** São Luis: ABRH, 2004, CD-ROM.

MILLIGAN, G.W.; COOPER, M.C. An examination of procedures for determining the number of clusters in a dataset. **Psychometrika**, v.50, p.159-179, 1985.

MOITA NETO, J. M.; MOITA, G. C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. **Química Nova**, v. 21, n. 4, p. 467-469, jul/ago, 1998.

MONTEIRO, V. P.; PINHEIRO, J. C. V. Critério para implantação de tecnologias de suprimentos de água potável em municípios cearenses afetados pelo alto teor de sal. **Revista Economia Rural**, v. 42, n. 2, p. 365-387, 2004.

NORUSIS, M. J. **SPSS Base System User's Guide**. Chicago: SPSS Inc., 1990. 520 p.

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.

PORTO, M. M.; ANDRADE, E. A.; COSTA, R. N. T.; LEMOS FILHO, L. C. A.; MEIRELES, M. Identificação de bacias hidrográficas com características físicas similares no Estado do Ceará, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, vol. 35, n. 1, p. 17-25, jan-jun., 2004.

RAMOS, A. W. **Pro 2711 - Estatística II**. Departamento de Engenharia de Produção, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. 193 p.

SARLE, W.S. **Cubic clustering criterion**. Cary, NC: SAS Institute, 1983. 39p. (SAS Technical Report A-108).

SILVEIRA, S. S., ANDRADE, E. M. de. Análise de componentes principais da estrutura multivariada da evapotranspiração. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 2, p. 171-177, 2002.

SIMEONOV, V.; STRATIS, J. A; SÂMARA, C.; ZACHARIADIS, G.; VOUTSA, D.; ANTHEMIDIS, A; SOFONIOU, M.; KOUIMTZIS, T.H. Assessment of the surface water quality in Northern Greece. **Water Research**, n. 37, p. 4119-4124, 2003.

TOLEDO, L. G.; NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. **Scentia Agrícola**, Piracicaba, vol.59, n.1, p.181-186. jan./mar. 2002.

VEGA, M.; PARDO, R.; BARRADO, E.; DEBAN, L. Assesment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. **Water Research**, Amsterdam, v. 32, n. 12, p. 3581-3592, 1998.

WARD, J.H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, v.58, p.236-244, 1963.

WUNDERLIN, D. A.; DÍAZ, M. DEL P.; VALERIA, A. M.; PESCE, S. F; HUED, A. C.; BISTONI, M de L. A. Pattern recognition techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality. A case study: Suquía River Basin (Córdoba-Argentina). **Water Research**, v. 35, n. 12, p. 2881-2894, august 2001.

CAPÍTULO 4

EMPREGO DA ESTATÍSTICA MULTIVARIADA NA IDENTIFICAÇÃO DOS FATORES DETERMINANTES DA QUALIDADE DE ÁGUA: CASO DO AÇUDE AYRES DE SOUZA.

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de identificar, por meio de técnicas de estatística multivariada (Análises de Agrupamento Hierárquico – AAH e Análise da Componente Principal - ACP), os fatores e as variáveis de maior significância, e a variabilidade temporal na qualidade das águas do açude Ayres de Souza. Os parâmetros físicos, químicos e biológicos, somando 28 variáveis, foram medidos em 4 pontos distintos na bacia hidráulica, no período de setembro de 2004 a maio de 2005. Observou-se por meio da AAH que a qualidade da água sofre maior influência da sazonalidade climática, com descontinuidade geográfica no processo de agrupamentos. Na ACP, 82% da variância total dos dados são explicados por apenas 6 variáveis, em um modelo com duas componentes. A primeira componente principal está relacionada ao aporte antropogênico na bacia hidráulica, sendo K^+ , PO_4^{3-} , Ca^{+2} e DBO, os elementos de maior peso nesta componente. A segunda componente relaciona-se ao processo de sodificação natural das águas pelos solos, provenientes da área sedimentar à montante da bacia hidráulica, sendo Na^+ e RAS os elementos de maior peso nesta componente.

Palavras-chave: Água superficial. Análise de agrupamento. Poluição orgânica.

THE APPLICATION OF MULTIVARIATE STATISTICS TO IDENTIFY DETERMINATING FACTORS OF WATER QUALITY: THE CASE OF AYRES DE SOUZA DAM.

ABSTRACT

Principal Component Analysis (PCA) and Cluster Analysis (CA) were applied to the data set on water quality from Ayres de Souza dam sited in Jaibas River, Ceará, Brazil to identify factors and the most significant variables on water. The physical, chemical and biological parameters, in a total of 28 variables, were measured at four sample sites in four campaigns from sept/2004 to mai/2005. Multivariate statistical techniques, (PCA and CA), allowed the identification climatic influence on water quality as well as the variables that explain the major percent of total variance. Two components were identified as responsible for the data structure, explaining 82% of the total variance of the data set, which were related with only six variables. Model showed that the first component (58% of variance) was highly loaded with K^+ , PO_4^{3-} , Ca^{+2} e DBO, which is mainly related to anthropogenic activities. The second one (24% of variance) was related to sodicity (natural process) where Na^+ e RAS were the most important variables.

Keywords: Surface water. Cluster analysis. Organic pollution.

4.1 INTRODUÇÃO

A qualidade da água de uma microbacia é influenciada por diversos fatores, dentre eles, o clima, a cobertura vegetal, a topografia, a geologia, o tipo, o uso e o manejo do solo da bacia hidrográfica (PEREIRA, 1997). Os vários processos que controlam a qualidade da água de determinado manancial compõem o ecossistema, motivo pelo qual alterações de ordem física, química ou climática na bacia hidrográfica podem modificar a sua qualidade (ARCOVA; CESAR; CICCIO, 1998).

Grande parte dos centros urbanos utiliza represas para captação de água bruta. Estes reservatórios são ambientes lacustres resultantes do barramento artificial de cursos d'água, criados normalmente como o objetivo de armazenamento de água e contenção de cheias, regularizando a vazão e a disponibilidade nos rios próximos aos centros urbanos. Normalmente localizam-se em áreas que vêm sendo pressionadas de forma crescente pela expansão urbana irregular, falta de infra-estrutura básica (saneamento e lixo) e degradação do solo em suas bacias hidrográficas (ANDREOLI; CARNEIRO, 2005).

Esses fatores, associados às características intrínsecas desses novos ambientes têm induzido a problemas crescentes na qualidade da água para abastecimento público, com acúmulo de poluentes e desenvolvimento de algas potencialmente produtoras de toxinas.

A preservação dos recursos hídricos nos reservatórios constitui problema complexo, cujo equacionamento depende da articulação de esforços conjuntos entre todas as esferas do setor público, especialmente aquelas detentoras de instrumentos de controle do uso e ocupação do solo e de fiscalização e monitoramento da qualidade das águas e da poluição hídrica, visando controlar as ocupações e minimizar os impactos sobre os mananciais.

De uma maneira geral, pode-se afirmar que o comprometimento da qualidade das águas dos recursos hídricos do Estado do Ceará está ligado principalmente à falta de infra-estrutura básica de saneamento (inexistência ou precariedade do sistema de coleta e destinação final adequados dos sistemas de tratamento dos resíduos sólidos e líquidos) das cidades ribeirinhas e a processos de erosão e assoreamento. As fontes de poluição em geral são difusas, provenientes principalmente de aglomerados urbanos existentes nas áreas de preservação dos corpos d'água (CEARÁ, 2002).

No caso dos reservatórios, a necessidade de se conhecer a magnitude e natureza dos impactos antrópicos negativos sobre a qualidade de suas águas torna-se ainda mais crucial

e urgente, já que o regime lântico é propulsor de fenômenos como a eutrofização e a salinização. A avaliação da qualidade da água, bem como sua evolução no tempo-espaço, só será possível através da implementação de programas sistemáticos de monitoramento, resultando em séries históricas que, futuramente, possam ser analisadas a fim de estabelecer-se padrões de distribuição sazonais e espaciais para indicadores bióticos e abióticos. O conhecimento destas variações poderá ser manipulada e utilizada para a previsão da qualidade da água durante o ano hidrológico, além de subsidiar parâmetros de operação dos reservatórios (CEARÁ, 2002).

Os componentes que alteram o grau de pureza da água podem ser definidos por suas características físicas, químicas e biológicas, traduzidas na forma de parâmetros de qualidade de água (ESTEVES, 1988; VON SPERLING, 1995).

A existência de diferentes fatores pode afetar a qualidade das águas de uma bacia hidrográfica. As técnicas de estatística multivariada - Análise de Agrupamento Hierárquico (AAH) e Análise da Componente Principal (ACP) – foram aplicadas aos parâmetros analisados para identificar o efeito do clima sobre a variabilidade temporal da qualidade das águas e avaliar os fatores determinantes, naturais e antrópicos, da qualidade das águas armazenadas no açude Ayres de Souza, localizado no rio Jaibas.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Área de estudo

O rio Jaibaras nasce na Serra da Ibiapaba, e atravessa os municípios de Graça, Pacujá, Mucambo e Cariré, até chegar ao Distrito de Jaibaras, município de Sobral, onde é represado pelo açude Ayres de Souza (Figura 16, Mapa 1).

O laboratório natural deste estudo foi a bacia hidráulica do açude Ayres de Souza, com 12,88 km² e capacidade de 104.430.000 m³. A barragem (3°47'38" S e 40°30'09" W) é do tipo terra cortina-concreto, com 358 m de extensão e 0,60 m de largura de coroamento, com 28,8 m de altura máxima. O sangradouro é do tipo *Perfil Creager*, com 173 de largura e 2 m de lâmina máxima. A cota de sangria é 95 m. A tomada d'água é do tipo galeria tubular dupla, com 90 mm de diâmetro e 103 m de comprimento (CEARÁ, 2005c).

O açude Ayres de Souza pereniza o rio Jaibaras e seus principais usos são o atendimento ao Perímetro Irrigado Ayres de Souza, com uma vazão regularizada de 1,9 m³.s⁻¹ (CEARÁ, 2005c), o abastecimento da sede de Sobral, do distrito de Jaibaras e outras localidades próximas, além da piscicultura em tanques-redes, pecuária, lazer e dessedentação de animais.

O reservatório situa-se entre as coordenadas 3°45' S e 3°53' S e 40°29' W e 40°36' W (Figura 2, Mapa 2).

O clima é o semi-árido quente (BSw'h'), segundo a classificação de Köppen, com temperaturas médias mensais superiores a 25°C. A pluviosidade média anual é de 821,6 mm, com distribuição unimodal e concentrações máximas de março a maio, de alta variabilidade temporal (CEARÁ, 2004a). Os solos são do tipo litólico eutrófico e distrófico (árido) e a vegetação predominante é a caatinga arbustiva aberta (CEARÁ, 1997).

As campanhas de coleta ocorreram nos meses de setembro e novembro de 2004, correspondendo a uma estação seca (julho a dezembro); e março e maio de 2005, período correspondente à estação chuvosa na região (janeiro a junho), totalizando 16 amostras (Apêndice A). As coletas das águas foram realizadas em quatro pontos distribuídos ao longo do reservatório (Figura 16, Tabela 2, Mapa 2).

TABELA 2 - Posição geográfica dos pontos amostrados no açude Ayres de Souza.

Ponto	Latitude S	Longitude W	Local
AS-01	3°47'48"	40°30'33"	Próximo à parede auxiliar do açude Ayres de Souza
AS-02	3°46'52"	40°30'24"	Captação de água da Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE) e piscicultura em gaiolas
AS-03	3°48'14"	40°31'35"	Ponto intermediário (piscicultura em gaiolas), na localidade de São Domingos
AS-04	3°49'56"	40°32'20"	Entrada do rio Jaibaras no açude Ayres de Souza

As análises de água foram realizadas pelo Laboratório Integrado de Águas de Mananciais e Residuárias (LIAMAR), do Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFETCE), de acordo com a metodologia apresentada por APHA (1998). Os parâmetros analisados foram agrupados em aspectos físico, químico e biológico, seguindo a classificação apresentada por Botelho (2000).

- a) Aspectos físicos: cor (Uh), turbidez (uT), sólidos totais (ST), sólidos suspensos totais (SST) e sólidos dissolvidos totais (SDT);
- b) Aspectos químicos: pH, cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}), sódio (Na^{+}), condutividade elétrica (CE), Razão de Adsorção de Sódio (RAS), potássio (K^{+}), bicarbonato (HCO_3^{-}), fosfato (PO_4^{-3}), amônia (NH_4^{+}), nitrato (NO_3^{-}), oxigênio dissolvido (OD), orto-fosfato solúvel (OPS), nitrito (NO_2^{-}), sílica, nitrogênio orgânico (N. Org), nitrogênio *Kjeldahl* total (NTK), demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5), dureza de cálcio, dureza de magnésio, dureza total ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$);
- c) Aspectos biológicos: clorofila "a" e colimetria (CTT).

4.2.2 Técnicas de estatística multivariada

A existência de diferentes fatores pode afetar a qualidade das águas. As técnicas de estatística multivariada - Análise de Agrupamento Hierárquico (AAH) e Análise da Componente Principal (ACP) - foram aplicadas aos parâmetros analisados para identificar o efeito do clima sobre a variabilidade temporal da qualidade das águas e avaliar os fatores fundamentais que governam as características gerais das águas na bacia hidráulica.

O programa computacional de estatística SPSS versão 10.0 (*Statistical Package for the Social Sciences*) foi utilizado na padronização dos dados e na definição das componentes principais e do agrupamento hierárquico. No SPSS, a opção de componentes principais aparece no menu através de uma de suas finalidades: a redução dos dados. As componentes principais também podem ser obtidas como um dos métodos da análise de fatores (*Factor Analysis*).

A matriz de dados foi composta por 448 valores (28 variáveis amostradas em 4 pontos, com 4 repetições, de setembro de 2004 a maio de 2005), que foram normalizados com o objetivo de eliminar possíveis problemas devido à existência de medidas em diferentes escalas e unidades. Os 3 valores perdidos de coliformes termo-tolerantes (CTT) no mês de maio de 2005, para os pontos AS-01, AS-02 e AS-03, foram completados pela média dos dados vizinhos, conforme trabalho de Meireles, Andrade e Frischkorn (2005). A matriz de dados originais está disposta no Apêndice A.

4.2.2.1 Análise de Agrupamento Hierárquico (AAH)

A partir da matriz de dados normalizados, foram agrupados os pares de pontos mais próximos, usando a distância euclidiana, e substituí-los por um novo ponto localizado na metade da distância entre eles. Quanto menor a distância euclidiana entre os pontos, maior a semelhança entre as amostras. Este procedimento foi repetido até que todos os pontos fossem agrupados em um só ponto, levando à construção do dendrograma, onde, no eixo horizontal são colocadas as amostras e, no eixo vertical, o índice de similaridade, S_{ij} , entre os pontos i e j , calculado segundo a expressão:

$$S_{ij} = 1 - \frac{d_{ij}}{d_{m\acute{a}x}} \quad (3.2)$$

onde: d_{ij} : distância entre os pontos i e j ; $d_{m\acute{a}x}$: distância máxima entre qualquer par de pontos.

A AAH foi aplicada para detectar a similaridade dos grupos entre os locais amostrados quanto à sazonalidade (AS-01, AS-02, AS-03 e AS-04). Os dados foram normalizados (*Z-scores*) e tratados pelo método de ligação de *Ward*, com o quadrado da distância Euclidiana como medida de similaridade, como nos trabalhos dos pesquisadores Moita Neto e Moita (1998), Simeonov et al. (2003) e Meireles, Andrade e Frischkorn (2005).

O roteiro de obtenção dos resultados da AAH está apresentado no Apêndice D.

4.2.2.2 Análise da Componente Principal (ACP)

A ACP no estudo da qualidade das águas da bacia hidráulica do açude Ayres de Souza foi composta pelas seguintes etapas:

a) Normalização dos dados:

A normalização dos dados, média igual a zero ($\mu = 0$) e variância igual a um ($\sigma = 1$), para os pontos AS-01, AS-02, AS-03 e AS-04, a matriz dos parâmetros originais, expressos em unidades e escalas distintas, foi normalizada pela relação:

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - \overline{X}_i}{S_i} \quad (3.3)$$

Em que:

X_{ij} : representa o valor observado da j -ésima e i -ésima variável;

\overline{X}_i : representa a média da amostra X_{ij} ;

S_i : representa o desvio padrão da variável X_{ij} ;

Y_{ij} : representa a observação da variável j -ésima e i -ésima normalizada.

b) Definição da matriz de correlação:

A partir dos dados normalizados, foi elaborada a matriz de correlação $[R]_{(28 \times 28)}$, para os pontos, sendo 28 o número de parâmetros analisados, seguindo Dillon e Goldstein (1984). A matriz de correlação \mathbf{R} , definida pela equação a seguir, representa a base para transformação das variáveis ortogonais em fatores:

$$R = \frac{1}{n-1} \left(D^{-\frac{1}{2}} S D^{-\frac{1}{2}} \right) \quad (3.4)$$

Onde:

$D^{-1/2}$: matriz diagonal (28 x 28);

$$D^{-1/2} = \begin{bmatrix} \left[\frac{1}{\sqrt{\sum X_{i1}^2 / (N-1)}} \right] & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \left[\frac{1}{\sqrt{\sum X_{i2}^2 / (N-1)}} \right] & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \left[\frac{1}{\sqrt{\sum X_{i3}^2 / (N-1)}} \right] & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \left[\frac{1}{\sqrt{\sum X_{i11}^2 / (N-1)}} \right] & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \left[\frac{1}{\sqrt{\sum X_{i12}^2 / (N-1)}} \right] & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \left[\frac{1}{\sqrt{\sum X_{i13}^2 / (N-1)}} \right] \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

$$S = X_d' X_d \quad (3.6)$$

Onde:

S: é a matriz dos quadrados das médias;

X_d' : é a matriz transposta de X_d ;

X_d : é a matriz normalizada dos dados.

Após a definição da matriz de correlação, verificou-se entre os parâmetros aqueles mais específicos, visto que a finalidade da ACP é obter “fatores” que ajudem a explicar estas correlações.

c) Análise de sensibilidade das variáveis pelo teste Kaiser-Meyer-Olkin (KMO):

Após ser computada a matriz de correlação, aplicou-se o teste Kayser-Mayer-Olkin (KMO), para aferir a consistência dos dados, obtido pela seguinte equação:

$$KMO = \frac{\sum_{i \neq j} \sum r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} \sum r_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} \sum a_{ij}^2} \quad (3.7)$$

Onde:

r_{ij} : coeficiente de correlação simples entre as variáveis i e j ;

a_{ij} : coeficiente de correlação parcial entre as variáveis i e j .

Valores de KMO < 0,5 indicam que o modelo não se aplica aos dados em estudo (NORUSIS, 1990; FERREIRA, 1999).

Para a escolha dos parâmetros que mais se correlacionavam entre si foi realizada uma análise de sensibilidade, retirando-se alternadamente cada um dos parâmetros e avaliando-se as alterações nos valores das correlações e no teste de adequacidade.

d) Extração do número de componentes e comunalidade de cada variável:

O número de componentes extraídas foi definido pelo critério das raízes características (*eigenvalues*), proposto por KAISER (1958 citado por NORUSIS, 1990).

As comunalidades de cada variável foram estimadas pela seguinte equação:

$$VX_{ij} = \sum C_{ij}^2 \quad (3.9)$$

onde:

VX_{ij} : que explica a variância contida na variável X_{ij} ;

C_{ij} : representa o valor da componente referente à variável X_{ij} .

e) Extração dos fatores de cada componente, determinando os fatores representativos da qualidade da água:

O objetivo da extração de fator empregada nesta etapa do estudo foi determinar os fatores representativos da variabilidade da qualidade da água na bacia hidráulica do açude Ayres de Souza, com o mínimo de perda das informações contidas no total dos dados. Os fatores foram estimados pela ACP, que é formada por combinações lineares das variáveis observadas.

O modelo matemático para ACP é semelhante a uma equação de regressão múltipla (FERREIRA, 1999), onde cada variável é expressa como uma combinação linear de fatores que não são observados de fato. A expressão do modelo para a i -ésima variável normalizada é:

$$X_j = A_{i1}F_1 + A_{i2}F_2 + \dots + A_{ik}F_k + U_i \quad (3.10)$$

Onde:

F: fatores comuns das variáveis;

A's: pesos atribuídos aos fatores F;

U: erro estatístico.

O modelo assume que os erros estatísticos não têm correlação com os fatores comuns. Os fatores são deduzidos das variáveis observadas e podem ser calculados como combinações lineares. É possível que todas as variáveis contribuam para o fator de qualidade da água, no entanto espera-se que um único subconjunto de variáveis caracterize a qualidade da água, como o indicado pelos grandes coeficientes. A expressão geral para a estimativa do fator k-ésimo f_k é:

$$f_k = \sum_{i=1}^p W_{ki} X_i = W_{k1} X_1 + W_{k2} X_2 + \dots + W_{kp} X_p \quad (3.11)$$

onde:

W: coeficiente de contagem de cada fator;

p: número de variáveis.

f) Transformação dos fatores:

O procedimento de transformação ortogonal (rotação da matriz das cargas fatoriais) - método Varimax, que teve por finalidade minimizar a contribuição das variáveis com menor significância no fator (WUNDERLIN et al., 2001), gerando uma nova matriz, de mais fácil interpretação (DILLON; GOLDSTEIN, 1984). O modelo de rotação ortogonal *Varimax* foi adotado devido sua facilidade de interpretação e emprego freqüente em estudos de qualidade de água, como nos trabalhos de Andrade, Silveira e Azevedo (2003) e Palácio (2004).

Após a rotação, as variáveis passaram a apresentar pesos próximos a um ou a zero, eliminando valores intermediários que dificultam a interpretação dos fatores.

Os fatores extraídos pela técnica da ACP foram empregados nesta etapa do estudo para identificar os parâmetros determinantes da variabilidade da qualidade da água na bacia hidráulica do açude Ayres de Souza.

O roteiro de obtenção dos resultados da ACP está apresentado no Apêndice E.

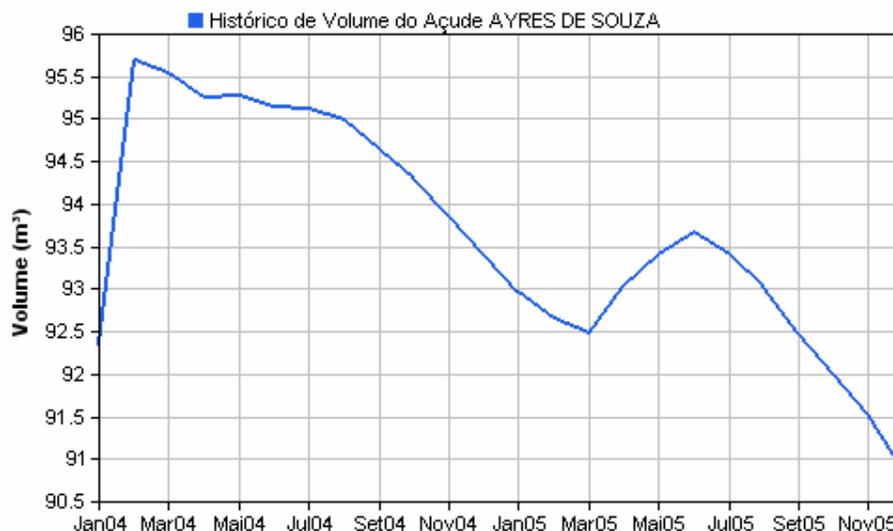


FIGURA 17 - Histórico de volume do açude Ayres de Souza, no período de jan/2004 a dez/2005⁴.

Não obstante a influência de um clima semiárido quente, no período de setembro de 2004 a maio de 2005, o volume de água no açude Ayres de Souza praticamente não teve diferença entre os períodos seco e chuvoso, como mostrado por Ceará (2003), e a variação no volume não foi acompanhada de uma forte variação na concentração de sais, conforme se observa no Apêndice A. Segundo Meireles, Andrade e Frischkorn (2005), a presença de importantes maciços residuais da Serra da Ibiapaba favorece a ocorrência de abundantes chuvas orográficas na parte alta da bacia hidrográfica, possibilitando que os cursos d'água tenham sua vazão assegurada durante quase todo o ano.

No grupo I, predominaram os meses correspondentes ao período seco na região, onde as concentrações iônicas aumentam, expressando o efeito da sazonalidade climática na qualidade das águas para o açude Ayres de Souza, como observado por Meireles, Andrade e Frischkorn (2005) no estudo da salinidade do rio Acaraú, Ceará. No grupo II predominaram as águas da estação chuvosa.

Observa-se que os meses secos e chuvosos para os locais amostrados não se misturaram, indicando que a qualidade da água nesses locais sofreu maior influência da sazonalidade do clima que da variabilidade espacial, mostrando a sensibilidade da análise de agrupamentos, tendo em vista a pequena variação no volume do reservatório. Assim, é possível reduzir o número de amostras nos diferentes pontos, e conseqüentemente otimizar recursos financeiros.

⁴ Dados gerados a partir de Ceará (2006).

4.3.2 Análise da Componente Principal (ACP)

Para a escolha dos parâmetros mais significativos no reservatório, foi realizada análise de sensibilidade pelo método da ACP, considerando-se, somente, os parâmetros que conjuntamente apresentavam um teste de adequacidade ($KMO > 0,5$), e uma explicação das variâncias acumuladas acima de 80%, como orientam Ferreira (1999) e Palácio (2004). Os parâmetros selecionados que mais se correlacionaram entre si foram: Ca^{+2} , Na^+ , RAS, K^+ , PO_4^{-3} e DBO (Tabela 3).

TABELA 3 - Matriz de correlação das variáveis selecionadas.

	Ca^{+2}	Na^+	RAS	K^+	PO_4^{-3}	DBO
Ca^{+2}	1,000					
Na^+	0,209	1,000				
RAS	-0,493	0,277	1,000			
K^+	-0,686	-0,464	0,318	1,000		
PO_4^{-3}	-0,716	-0,318	0,495	0,661	1,000	
DBO	-0,568	-0,518	0,245	0,881	0,653	1,000

Os dados apresentaram um valor de $KMO = 0,736$, considerado bom segundo Silveira e Andrade (2002), indicando que o modelo pode ser usado sem restrições. O percentual de 57,14% da inter-relação entre as variáveis selecionadas apresentou valores superiores a 0,3, que é o recomendado por Norusis (1990). O modelo de melhor ajuste foi composto por duas componentes, como pode ser visto na Tabela 4.

TABELA 4 – Autovalores e variâncias acumuladas dos componentes no açude Jaibaras, nov/2004 a maio/2005.

Componentes	Autovalor (variância)	Variância (%)	Variância acumulada (%)
1	3,506	58,440	58,440
2	1,395	23,250	81,690
3	0,407	6,791	88,481
4	0,342	5,694	94,175
5	0,252	4,196	98,371
6	0,098	1,629	100,000

Analisando a Tabela 4, verifica-se que a primeira e a segunda componentes principais explicaram, respectivamente, 58,44% e 23,25% da variância total dos dados, concentrando em duas dimensões 82% das informações antes observadas em seis dimensões.

Os dados se comparam aos encontrados por Palácio (2004) no estudo da qualidade das águas do rio Trussu, Ceará, em que a primeira e a segunda componentes principais explicaram, respectivamente, 64,10% e 19,34% da variância total dos dados, concentrando em duas dimensões, 83,44% das informações antes diluídas em seis dimensões. Os dados também são próximos aos encontrados por Meireles, Andrade e Frischkorn (2005), no estudo da salinidade das águas do rio Acaraú, Ceará, em que a primeira e a segunda componentes principais explicaram, respectivamente, 61,95% e 20,05% da variância total dos dados, concentrando também em duas dimensões 82% das informações antes diluídas em 5 dimensões.

Na Tabela 5 são apresentados os valores das comunalidades e das componentes principais. Os valores das comunalidades permitem avaliar como o modelo ACP descreve as variáveis originais. São também apresentados nesta tabela os pesos fatoriais das matrizes, que expressam a relação entre fatores e variáveis (parâmetros) para as águas armazenadas no açude Ayres de Souza.

TABELA 5 - Valores das comunalidades e fatores atribuídos às variáveis na matriz da extração.

Variáveis	Comunalidades	Componentes	
		C1	C2
K ⁺	0,856	0,914	-0,144
PO ₄ ⁻³	0,770	0,880	-0,245
Ca ²⁺	0,752	0,863	0,156
DBO	0,835	-0,831	-0,247
Na ⁺	0,840	0,483	0,785
RAS	0,850	-0,476	0,783

Verifica-se que os quatro parâmetros explicados pela primeira componente (C1) apresentaram valores de comunalidade superiores 0,75, e os parâmetros representados pela segunda componente (C2) comunalidade superior a 0,84, demonstrando que o modelo apresenta uma boa descrição dos dados originais.

Em geral, os fatores que compõem a matriz apresentam valores de difícil interpretação, quando os valores estão próximos ao ponto médio (0,5). Para superar esta limitação autores como Vega et al. (1998); Helena et al. (2000); Silveira e Andrade (2002); Andrade, Silveira e Azevedo (2003) e Palácio (2004) empregaram o procedimento de transformação ortogonal ou rotação das cargas fatoriais, obtendo-se uma matriz de mais fácil interpretação.

Entretanto, neste estudo, a adoção da matriz transformada em relação à matriz original não foi significativa, uma vez que não ocorreram valores próximos ao ponto médio. Adotou-se, assim, o procedimento de não-rotação, como os trabalhos de Toledo e Nicolella (2002) e Meireles, Andrade e Frischkorn (2005).

As colunas representativas das componentes C1 e C2 apresentam os valores dos pesos fatoriais, os quais expressam a relação entre os fatores e as variáveis, com a facilidade de se identificar as variáveis que apresentam maiores inter-relações com cada fator. Segundo Helena et al. (2000), o valor absoluto do peso é um indicador da participação da variável na componente principal.

Observa-se que existem dois grupos de variáveis associados à diferentes causas que influenciam a composição da água em estudo. Na primeira componente, (C1), K^+ , PO_4^{3-} , Ca^{2+} e DBO foram os parâmetros mais significativos, enquanto que na segunda componente (C2), a RAS e o Na^+ constituem os parâmetros mais significativos.

Os níveis de potássio podem estar ligados à formação rochosa da área, cujas rochas gnáissicas possibilitam a formação com teores mais elevados de potássio e sódio, porém com teores bem menores que os solos aluviais (DNOCS, 1977).

A criação de gado solto nas margens do Ayres de Souza parece ser a principal fonte de fósforo na microbacia do Jaibaras. Entretanto, no Jaibaras é praticada a criação de tilápia em gaiolas, que contribui para o aumento dessa carga, assim como o lançamento de esgoto bruto proveniente de 4.819 pessoas que moram às margens do açude e de 1.138 pessoas que não utilizam fossa e que vivem nas sedes dos municípios de Mucambo, Pacujá e Graça.

A participação dos fosfatos na primeira componente principal indica a contaminação por material orgânico originário de fontes urbanas, especialmente das comunidades do entorno do açude Ayres de Souza. O aumento da carga de fósforo pode também estar relacionado à presença de detergentes e aos esgotos domésticos no reservatório,

como observado por Almeida e Schwarzbold (2003), no estudo das águas do arroio da Cria Montenegro, Rio Grande do Sul, Brasil.

Segundo Brasil (2005), a Agência Nacional de Águas (ANA), órgão regulador da piscicultura no reservatório, a quantidade máxima de ração permitida era de $1.3126,6 \text{ kg.dia}^{-1}$, enquanto que a máxima de fósforo gerada no sistema deveria ser de $7,87 \text{ kg.dia}^{-1}$. Nos quatro primeiros meses de 2004, a produção já era de 366 t, com uma carga de fósforo estimada em $9,7 \text{ kg.dia}^{-1}$, superior em 23% ao permitido pela ANA. Estes dados estão de acordo com o Ministério do Meio Ambiente (1997), onde a elevação dos níveis de fósforo, proveniente de restos de alimentos, adubos adicionados e fezes de peixes cultivados no reservatório, relaciona-se com processo de eutrofização dos ambientes de cultivo.

Confrontando a carga total pontual de fósforo obtida com o aporte de água que chega ao reservatório e sua área (VOLLENWEIDER citado por CHAPRA, 1997), encontra-se uma situação de alta vulnerabilidade à carga de fósforo proveniente das fontes pontuais analisada no reservatório. Estima-se que a carga de fósforo proveniente de fontes pontuais é $0,10 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ para os núcleos urbanos; $0,57 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ para as vilas; $0,66 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ para a piscicultura; e $2,44 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ para o gado bovino, o que resulta em $3,77 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$.

Mesquita et al. (2004) demonstraram que as águas das nascentes do rio Acaraú recebem maior influência da parte sedimentar da bacia, aumentando os níveis de bicarbonato e cálcio. Isto pode explicar o aumento dos níveis de cálcio encontrados na primeira componente principal.

Observou-se o aumento da demanda bioquímica de oxigênio devido ao consumo deste elemento nos processos respiratórios da comunidade aquática, comportamento semelhante ao observado por Toledo e Nicolella (2002), no estudo da qualidade de água da microbacia do ribeirão Jardim, sob uso agrícola e urbano, no município de Guará, São Paulo, Brasil.

O aumento do consumo de oxigênio se deve ao maior aporte de matéria orgânica carregada pelas chuvas na região, fazendo com que ocorra fertilização da água, com proliferação de organismos aeróbios, que consomem também o oxigênio dissolvido. Estes resultados confirmam aqueles observados por Puerari, Castro e Ferreira Filho (2002), no monitoramento das águas do açude Chile, em Morada Nova, Ceará, Brasil; Borges, Galbiatti e Bellingieri (2003), no estudo da qualidade das águas do córrego Jaboticabal, São Paulo,

Brasil; e Ripardo (2004), que avaliou a influência da piscicultura na qualidade da água do açude Ayres de Souza.

O modelo aplicado mostrou que para a primeira componente (C1), as variáveis mais significativas estão relacionadas ao aporte antropogênico, resultante de efluentes de esgotos domésticos, chorume, lançamento de resíduos orgânicos e lavagem de roupas, concordando com o relatório apresentado pela COGERH (CEARÁ, 2004).

Na segunda componente (C2), os parâmetros mais significativos, RAS e o Na^+ , estão relacionados ao sódio, oriundo da formação geológica. Este comportamento parece ser também decorrente de mineralização não natural oriunda de esgotos domésticos ou do uso das rações especialmente fabricadas para peixes em gaiolas (PEIXE, 2006) no açude Ayres de Souza.

4.4 CONCLUSÃO

A análise de agrupamento permitiu a identificação de dois grupos distintos, formados pelos períodos seco e chuvoso, indicando que a qualidade da água do açude Ayres de Souza, para a camada superficial, sofre maior influência da variabilidade sazonal, não ocorrendo variabilidade espacial da qualidade da água na bacia hidráulica do reservatório.

A análise da componente principal indicou que as águas da camada superior do reservatório Ayres de Souza sofre maior influência dos efeitos antrópicos, representados por K^+ , PO_4^{3-} , Ca^{2+} e DBO, ligados à poluição ambiental, que dos parâmetros geomorfológicos, representados por RAS e o Na^+ .

4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

ANDRADE, E. M de; 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**, v. 8, n. 1, p. 39-44, jan/mar, 2003.

ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C. **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados**. Sanepar/Finep, Curitiba, 500 p., 2005.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 20th ed., American Public Health Association, Washington, DC, 1998.

ARCOVA, F.C.S.; CESAR, S.F.; CICCO, V. Qualidade da água em microbacias recobertas por floresta de Mata Atlântica. **Revista do Instituto Florestal de São Paulo**, São Paulo, v.10, n.2, p.185-96, 1998.

BORGES, M. J.; GALBIATTI, J. A.; BELLINGIERI, P. A. Qualidade hídrica do córrego Jaboticabal sob a ação de interceptores de esgoto, em diferentes épocas do ano. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 521-531, set/dez, 2003.

BOTELHO, C. G. **Recursos naturais renováveis e impacto ambiental: água**. Lavras: Universidade Federal de Lavras/FAEPE, 2000. p. 1-39.

BRASIL. 2005. Ministério do Meio Ambiente. Resoluções da ANA nº. 21/2004, 61/2004, 124/2004, 141/2004, 175/2004 e 296/2005. **Agência Nacional de Águas**. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/Resolucoes/>>. Acesso em: 24 jan. 2006.

CEARÁ. Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará. **Anuário do Monitoramento Quantitativo dos Principais Açudes do Estado do Ceará**. 2003.

CEARÁ. Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará. **Monitoramento quantitativo dos principais açudes do Estado do Ceará**. 2006. Disponível em: <http://www.cogerh.com.br/versao3/>. Acesso em: 23 maio. 2006.

CEARÁ (a). Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil Básico municipal: Sobral**. Fortaleza, 2004. 10 p.

CEARÁ. Secretaria de Planejamento e Coordenação – SEPLAN. **Atlas do Ceará 1997**. Fortaleza: Ed. IPLANCE, 1997.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará. **Atlas do Ceará. SRH. Jun. 2005**. Disponível em: <<http://atlas.srh.ce.gov.br/obras/index.asp>>. Acesso em: 25 set. 2005.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Rede de monitoramento da qualidade de água operada pela COGERH**. Convênio: COGERH/SEMACE, Fortaleza, jan/2002. 28 p.

CEARÁ (b). Secretaria dos Recursos Hídricos. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. Gerência das Bacias do Acaraú e Coreaú. **Relatório técnico de inspeção nº 005/2004**. Sobral, maio/2004.

CHAPRA, S. C. **Surface Water Quality Modeling**. Nova York: McGraw-Hill, 1997.

DILLON, W. R.; GOLDSTEIN, M. **Multivariate analysis**. New York: John Willey & Sons, 1984. 587 p.

DNOCS. **Plano diretor: vale do Acaraú – pedologia**. Fortaleza, 1977, v. 3, 96 p.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência: FINEP, 1988. 2ª ed. 602 p.

FERREIRA, A M. **SPSS – Manual de utilização**. Portugal: Escola Superior Agrária/Instituto Politécnico de Castelo Branco, 1999. 144 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. 807-816, 2000.

MEIRELES, A C. M.; ANDRADE, E. M de; FRISCHKORN, H. Identificação dos principais constituintes da salinidade da água no rio Acaraú. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16. 2005, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABRH, 2005, CD-ROM.

MESQUITA, T. B.; ANDRADE, E. M.; CRISÓSTOMO, L. A.; MEIRELES, A. C. M.; MEIRELES, M. Classificação das águas na bacia do Acaraú. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 7. nov/dez, 2004, São Luís. **Anais...** São Luis: ABRH, 2004, CD-ROM.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Diretrizes ambientais para o setor pesqueiro: diagnóstico e diretrizes para a aqüicultura.** Brasília: 1997. 60 p.

MOITA NETO, J. M.; MOITA, G. C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. **Química Nova**, v. 21, n. 4, p. 467-469, jul/ago, 1998.

MONTEIRO, V. P.; PINHEIRO, J. C. V. Critério para implantação de tecnologias de suprimentos de água potável em municípios cearenses afetados pelo alto teor de sal. **Revista Economia Rural**, v. 42, n. 2, p. 365-387, 2004.

NORUSIS, M. J. **SPSS Base System User's Guide.** Chicago: SPSS Inc., 1990. 520 p.

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, V. P. **Solo: manejo e controle de erosão hídrica.** Jaboticabal: FCAV, 1997. 56p.

PORTO, M. M.; ANDRADE, E. A.; COSTA, R. N. T.; LEMOS FILHO, L. C. A.; MEIRELES, M. Identificação de bacias hidrográficas com características físicas similares no Estado do Ceará, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, vol. 35, n. 1, p. 17-25, jan-jun., 2004.

PUERARI, E.; CASTRO, M. A. H.; FERREIRA FILHO, W. M. Monitoramento dos parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos na água do Açude Chile e do reservatório subterrâneo adjacente. In: Reunião Final da Rede Cooperativa de Pesquisa em Engenharia e Gestão de Recursos Hídricos (REHIDRO/RECOPE/FINEP), 2002, Vitória. **Caderno de Resumo dos Trabalhos Técnicos, v. 1.** Vitória: FINEP, 2002. 39 p.

RIPARDO, M. J. C. **Avaliação preliminar da influência da piscicultura intensiva na qualidade da água da represa Ayres de Souza, Sobral, Ceará.** 2004. Monografia. Instituto Centro de Ensino Tecnológico, 2004. Monografia (Curso Superior de Recursos Hídricos/Saneamento Ambiental) - Instituto Centro de Ensino Tecnológico. Sobral, 2004.

SILVEIRA, S. S., ANDRADE, E. M. de. Análise de componentes principais da estrutura multivariada da evapotranspiração. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 2, p. 171-177, 2002.

SIMEONOV, V.; STRATIS, J. A; SÂMARA, C.; ZACHARIADIS, G.; VOUTSA, D.; ANTHEMIDIS, A; SOFONIOU, M.; KOUIMTZIS, T.H. Assessment of the surface water quality in Northern Greece. **Water Research**, n. 37, p. 4119-4124, 2003.

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

VEGA, M.; PARDO, R.; BARRADO, E.; DEBAN, L. Assessement of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. **Water Research**, Amsterdam, v. 32, n. 12, p. 3581-3592, 1998.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1995. 240 p.

WUNDERLIN, D. A.; DÍAZ, M. DEL P.; VALERIA, A. M.; PESCE, S. F; HUED, A. C.; BISTONI, M de L. A. Pattern recognition techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality. A case study: Suquía River Basin (Córdoba-Argentina). **Water Research**, v. 35, n. 12, p. 2881-2894, august 2001.

CAPÍTULO 5

INDICADORES DA QUALIDADE DE ÁGUA NO RIO JAIBARAS PELO EMPREGO DA ANÁLISE DA COMPONENTE PRINCIPAL.

RESUMO

A técnica de estatística multivariada (Análise da Componente Principal – ACP) foi aplicada para identificar os fatores e as variáveis de maior significância na qualidade das águas do trecho perenizado do rio Jaibaras, Ceará. Foram realizadas 24 campanhas de coletas de água, no período de abril/2002 a junho/2005, em dois pontos ao longo do rio (na saída da galeria do açude Ayres de Souza e no encontro com o rio Acaraú). As variáveis consideradas foram: pH, condutividade elétrica (CE), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^+), potássio (K^+), bicarbonato (HCO_3^-), fosfato (PO_4^{3-}), cloreto (Cl^-), amônia (NH_4^+), nitrato (NO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}) e Relação de Adsorção de sódio (RAS). Observou-se por meio da ACP 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 recebe uma maior influência da ação antrópica (dejetos dos balneários localizados logo abaixo da parede auxiliar do açude, fertilizantes nitrogenados, oriundos do Perímetro Irrigado Ayres de Souza, e esgotos domésticos de residências ao longo do trecho perenizado). A Análise da Componente Principal permitiu verificar o efeito dos parâmetros químicos na variação espacial da qualidade das águas superficiais no trecho perenizado do rio Jaibaras.

Palavras-chave: água superficial, análise multivariada, qualidade das águas, poluição das águas.

WATER QUALITY INDICATORS IN JAIBARAS RIVER USING PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS.

ABSTRACT

Multivariate statistical techniques, Principal Component Analysis – PCA, was applied to the data set on water quality of the Jaibaras River, Ceará, Brazil to identify the most significant pollution sources/factors. The data set was generated during three years (Apr/2002 to Jun/2005) monitoring at two sites (P1 - Ayres de Souza aqueduct and P2 - the outlet of the Jaibaras River). It was analyzed the following variables: pH, EC, Na⁺, Ca⁺², Mg⁺², K⁺, Cl⁻, HCO₃⁻, PO₄⁻², NH₄⁺, NO₃⁻, SO₄⁻² and SAR. At the P1, three principal components were extracted, explaining 80% of the data variance. The first factor was mainly assigned to mineralization, while the others factors were built from variables indicative of pollution. At the P2, PCA showed the existence of two factors which account to 81% of the total variance, and water quality were mainly influenced by nitrate, fertilizers and waste (human actions). The PCA reflected the physicochemical and pollution characteristics of the water quality in the Jaibaras River.

Keywords: surface water, multivariable analysis, water quality, water pollution.

5.1 INTRODUÇÃO

Um dos problemas mais sérios para a humanidade é a garantia de fontes de água adequada ao consumo humano e produção de alimentos. Devido ao crescimento da população mundial, às altas taxas de consumo de água, ao modelo de desenvolvimento adotado e à contaminação dos recursos hídricos pela ação antrópica, a disponibilidade hídrica torna-se cada vez mais escassa (GANGBAZO et al., 1995; VEGA et al., 1998). Por outro lado, a água é um recurso preponderante para a condição de vida do ser humano, sendo esta limitação mais evidente nas regiões áridas e semi-áridas do globo, como decorrência natural da escassez hídrica da região (LEPRUN, 1983).

A necessidade de um controle mais eficiente da qualidade das águas impulsionou a criação de agências e órgãos reguladores, e o monitoramento da qualidade das águas, cujas ações têm produzido matrizes de proporções inadequadas à interpretação, devido ao grande número de parâmetros analisados (JONNALAGADDA; MHERE, 2001).

Um das primeiras decisões do pesquisador é definir as variáveis mais significativas para retratar o problema. Assim, torna-se necessário o emprego de técnicas que possam resumir, sistematicamente, a grande auto-correlação existente entre as muitas variáveis (DILLON; GOLDSTEIN, 1984; FERREIRA, 1999).

A técnica de estatística multivariada, denominada Análise da Componente Principal, minimiza tais dificuldades, sendo empregada em muitas regiões do mundo para estudar os fenômenos hidrológicos, hidrometeorológicos e hidroquímicos. Almeida e Schwarzbold (2003) utilizaram a Análise da Componente Principal na avaliação sazonal da qualidade da água do arroio Cria Montenegro, no Rio Grande do Sul, Brasil, por meio de um índice de qualidade de água. Porto et al. (2004) utilizaram a técnica da ACP para identificar bacias hidrográficas com características físicas similares no Estado do Ceará, Brasil.

O Estado do Ceará se caracteriza pelo grande número de reservatórios que perenizam trechos dos cursos principais. O açude Ayres de Souza, localizado no município de Sobral, pereniza o rio Jaibas e atende aos usos múltiplos: consumo humano, irrigação do Perímetro Irrigado Ayres de Souza, pecuária, piscicultura artesanal e em tanques-redes, lazer e dessedentação de animais (CEARÁ, 2004).

Neste trabalho, empregou-se a técnica da Análise da Componente Principal com o objetivo de identificar, dentre os parâmetros químicos - pH, condutividade elétrica (CE),

cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^+), potássio (K^+), bicarbonato (HCO_3^-), fosfato (PO_4^{3-}), cloreto (Cl^-), amônia (NH_4^+), nitrato (NO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}) e Relação de Adsorção de sódio (RAS) – aqueles mais importantes na variabilidade espacial da qualidade da água no trecho perenizado do rio Jaibaras.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Área de estudo

A sub-bacia do rio Jaibaras abrange 1.101,87 km² e está inserida na bacia hidrográfica do rio Acaraú, situada na região norte do Estado Ceará, a segunda em importância no Ceará, com 12.540 km² (DNOCS, 1981).

Segundo a classificação de Köeppen, o clima é do tipo BSw'h', semi-árido quente, com chuvas de outono e temperatura média mensal superior a 18°C. A pluviosidade média anual é de 821,6 mm, caracterizada por uma alta variabilidade temporal e espacial, com 89,4% das chuvas concentrando-se no período de janeiro a maio, cuja distribuição é unimodal, comum em regiões semi-áridas.

Os ventos na região de Ayres de Souza são moderados e sua velocidade não ultrapassa 2 m.s⁻¹, durante a estação seca, e 1 m.s⁻¹ durante a estação das chuvas.

Os solos predominantes da bacia do Jaibaras são do tipo litólico eutrófico e distrófico (árido), com 38% da área da microbacia, fortemente limitados pela deficiência de água, pedregosidade, rochiosidade, concreções, pouca profundidade, grande susceptibilidade à erosão, além de relevo acidentado. A vegetação predominante é a caatinga arbustiva aberta (CEARÁ, 1997).

A planície do rio Jaibaras tem uma topografia plana e apresenta uma altitude que decresce das margens do rio até o pé do cristalino, onde, de uma maneira quase contínua, verifica-se uma leve depressão. A declividade média da planície é da ordem de 1%. Em alguns locais, a declividade pode atingir 2 a 3 % (DNOCS, 1972a).

O rio Jaibaras é represado pelo açude Ayres de Souza no Distrito de Jaibaras, município de Sobral. O reservatório abastece a sede de Sobral, o Distrito de Jaibaras (7.960 hab) e outras localidades próximas. A água para perenização do rio é liberada por uma galeria localizada na parede do açude, sob o controle da COGERH, de acordo com as necessidades do Perímetro Irrigado Ayres de Souza.

O Perímetro Irrigado Ayres de Souza (3°42' S e 3°45' S e 40°22' W e 40°25' W) (Mapa 1), localiza-se no município de Sobral, no Estado do Ceará, situa-se na parte final da sub-bacia do Jaibaras, a sua margem esquerda. As espécies cultivadas no são arroz, feijão

vigna, melancia, algodão herbáceo, milho verde e pimenta tabasco. O distrito possui 391 ha de culturas irrigadas.

Nas duas margens do trecho perenizado, o Jaibaras recebe pequenos afluentes que descem das colinas cristalinas, como os riachos Seco e Bragança, ambos na margem direita. Seus leitos são freqüentemente mal definidos e as águas, carregadas do produto da alteração das rochas cristalinas, favorecem os processos de salinização (DNOCS, 1972a).

A disponibilidade de solos irrigáveis do Perímetro Ayres de Souza é formada pelas planícies aluviais do rio Jaibaras e o riacho Papucu, seu principal afluente da margem direita. As planícies são limitadas pelo cristalino, composto essencialmente de gnaiss, e os solos são diversificados, com textura que varia de muito grossa a muito fina. A planície do riacho Papucu tem uma topografia geral plana, com alguns afloramentos cristalinos (DNOCS, 1972b).

5.2.2 Metodologia de pesquisa

Para se monitorar a qualidade de água liberada pelo açude Ayres de Souza e o padrão de água que chega ao rio Acaraú, foram estabelecidas duas estações amostrais ao longo do trecho perenizado do rio Jaibaras, numeradas de Ponto 1 (P1), situado na galeria do açude Ayres de Souza, ponto inicial da perenização do rio (40°29'51" S e 3°46'42" W); e Ponto 2 (P2), localizado na confluência do rio Jaibaras com o rio Acaraú (40°21'47" S e 3°42'19" W).

As coletas de água foram realizadas durante o período de abril de 2002 a junho de 2005, no total de 24 amostras (Apêndices B e C). Os parâmetros estudados foram: pH, condutividade elétrica (CE), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^+), potássio (K^+), bicarbonato (HCO_3^-), fosfato (PO_4^{3-}), cloreto (Cl^-), amônia (NH_4^+), nitrato (NO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}) e Relação de Adsorção de sódio (RAS). As análises químicas foram realizadas no laboratório de Água e Solos da EMBRAPA Agroindústria Tropical, segundo metodologia de Richards (1954).

A identificação dos agentes determinantes da variabilidade da qualidade das águas no trecho perenizado do rio Jaibaras fundamentou-se na aplicação do modelo de estatística multivariada - Análise das Componentes Principais (ACP). O primeiro passo no desenvolvimento da ACP foi a elaboração das matrizes de correlação dos parâmetros avaliados, no ponto de derivação da água no reservatório (P1) e na confluência do rio Jaibaras

com o rio Acaraú (P2). A matriz dos parâmetros originais para cada um dos pontos (P1 e P2), expressos em unidades e escalas distintas, foi normalizada com média igual a zero ($\mu = 0$) e variância igual a um ($\sigma = 1$).

A partir dos dados padronizados, foram elaboradas as matrizes de correlação $[R1]_{(p \times p)}$, para o ponto P1, e $[R2]_{(p \times p)}$, para o ponto P2, sendo $p = 13$ o número de parâmetros analisados.

A consistência dos dados foi aferida pelo método Kayser-Meyer-Olkin (KMO), comparando-se a magnitude dos coeficientes de correlação observados com os coeficientes de correlação parcial, produzindo um índice KMO (MONTEIRO; PINHEIRO, 2004). Valores de $KMO < 0,5$ indicam que o modelo não se aplica aos dados em estudo (FERREIRA, 1999).

O número de componentes extraídas foi definido pelo critério das raízes características (*eigenvalues*), que considera somente componentes com autovalor superior a um. A primeira componente principal expressa a combinação entre as variáveis que respondem pela maior variância na amostra. A segunda componente principal responde pela segunda maior variância, sem estar correlacionada com a primeira. Componentes sucessivas explicam porções progressivamente menores da variância da amostra total, sem apresentar correlação com as componentes anteriores (DILLON; GOLDSTEIN, 1984).

A partir da matriz das componentes obtidas na fase de extração, decorrente dos valores atribuídos ao fator, foi realizado o procedimento de transformação ortogonal (rotação da matriz das cargas fatoriais), visando a geração de uma nova matriz, de mais fácil interpretação. O processo maximiza a variância entre os fatores, alterando a raiz característica sem afetar a proporção da variância total explicada pelo conjunto (MONTEIRO; PINHEIRO, 2004).

Dillon e Goldstein (1984) mostraram que, embora a matriz do peso fatorial indique a inter-relação entre cada fator, muitas vezes apresenta dificuldades na identificação das variáveis mais significativas, em decorrência de valores muito próximos entre si. Para superar esta limitação extraiu-se a matriz transformada por meio da rotação ortogonal *Varimax*.

Após a rotação, as variáveis passam a apresentar pesos próximos a um ou a zero, eliminando valores intermediários que dificultam a interpretação dos fatores. O modelo de rotação ortogonal *Varimax* foi adotado devido sua facilidade de interpretação e emprego freqüente em estudos de qualidade de água e processos hidrológicos (VEGA et al., 1998; HELENA et al., 2000; ANDRADE; SILVEIRA; AZEVEDO, 2003; PALÁCIO, 2004).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira análise realizada foi de interdependência entre as variáveis, para verificar a adequabilidade do conjunto de variáveis ao procedimento estatístico. Foi realizada observando-se o comportamento dos elementos da matriz de correlação fora da diagonal principal, o teste de adequabilidade ($KMO > 0,5$) e a explicação das variâncias acumuladas (superiores a 80%), conforme orientam Ferreira (1999) e Palácio (2004). Com esta análise, foi possível selecionar os parâmetros que mais se adequavam para explicar a variabilidade dos dados.

O teste de adequabilidade aplicado ao modelo, Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), apresentou um índice igual a 0,60 para o ponto P1 e 0,70 para o ponto P2, demonstrando que o modelo pode ser aplicado sem restrições, cujas limitações ocorrem quando $KMO < 0,5$, e o teste passa a ser considerado inadequado.

As matrizes de correlação para os pontos P1 e P2, utilizando os parâmetros selecionados no estudo, podem ser vistas nas Tabelas 6 e 7, respectivamente. Helena et al. (2000) e Palácio (2004) consideraram como variáveis mais auto-correlacionadas aquelas com coeficiente de correlação superior a 0,5, que foi adotado nesta pesquisa.

As variáveis mais auto-correlacionadas para o ponto P1, início da perenização, foram: RAS, Na^+ , Cl^- , CE, HCO_3^- , pH, Ca^{2+} , NO_3^- e PO_4^{3-} . Para o ponto P2, confluência com o rio Acaraú, as variáveis mais significativas foram: RAS, NH_4^+ , Na^+ , NO_3^- e CE.

TABELA 6 - Matriz de correlação das variáveis selecionadas no ponto P1.

Parâmetros	RAS	Na^+	Cl^-	CE	HCO_3^-	pH	Ca^{2+}	NO_3^-	PO_4^{3-}
RAS	1,000								
Na^+	0,946	1,000							
Cl^-	0,050	-0,042	1,000						
CE	0,280	0,237	0,776	1,000					
HCO_3^-	-0,472	-0,393	0,332	0,489	1,000				
pH	-0,465	-0,398	0,322	0,474	0,822	1,000			
Ca^{2+}	-0,825	-0,630	-0,162	-0,311	0,449	0,411	1,000		
NO_3^-	-0,087	-0,046	-0,104	-0,371	-0,349	-0,360	0,145	1,000	
PO_4^{3-}	0,156	0,209	0,417	0,358	0,085	0,106	0,074	-0,163	1,000

A alta correlação positiva entre o sódio e RAS ($r = 0,946$) é lógica, pois a RAS é o indicativo do risco de sodicidade da água (PALÁCIO, 2004). As águas das nascentes recebem maior influência da parte sedimentar da bacia, de baixa salinidade, aumentando os níveis de bicarbonato e cálcio, como mostrado por Mesquita et al. (2004), que classificaram as águas na bacia hidrográfica do rio Acaraú, Ceará, Brasil.

Nas águas que contêm concentrações elevadas de carbonatos, há tendência para a precipitação do cálcio e do magnésio, sob a forma de carbonatos, aumentando, assim, a concentração de sódio, devido sua maior solubilidade em relação aos carbonatos de cálcio e magnésio (PORTO; BRANCO; LUCA, 1991). Em condições áridas e semi-áridas, o cálcio é em grande parte substituído pelo sódio, caso haja calagem, que determina o aparecimento de condições alcalinas (MELLO, 1989), o que explica a correlação negativa entre o cálcio e o sódio ($r = -0,630$) e do cálcio com a RAS ($r = -0,825$). A alta correlação entre pH e bicarbonato ($r = 0,822$) pode ser justificada pelo índice de Larson, ou seja, águas com valores de pH entre 6,5 e 9 favorecem a dissolução de carbonato de cálcio (APHA, 1998).

A correlação entre o Cl^- e a CE ($r = 0,776$) era esperada, uma vez que a CE expressa os sais presentes na água, e durante a estação seca ocorre o aumento do cloreto nas águas dos açudes, devido à alta taxa de evaporação no semi-árido cearense e a característica conservativa do referido íon. Acredita-se que as concentrações destes elementos também sejam decorrentes de ações antrópicas, como resíduos de esgotos domésticos. A análise preliminar para o ponto P1 mostrou que as variáveis de maior expressão são as relacionadas com os sais dissolvidos na água.

Na análise do ponto P2 (Tabela 7), observa-se que o nitrato apresentou correlação superior a 0,5 com os demais parâmetros. Acredita-se que este fato seja decorrente em parte do uso de fertilizantes no Perímetro de Irrigação Ayres de Souza, localizado entre os pontos P1 e P2. A contaminação por nitrato em águas superficiais e lençóis freáticos relaciona-se com o uso intensivo de fertilizantes nitrogenados nas áreas cultivadas. Pesquisadores têm observado que há uma conexão entre o uso de fertilizante nitrogenado e concentrações de nitrato na água (GANGBAZO et al., 1995; JONNALAGADDA; MHERE, 2001; ELMI et al., 2004). Além disto, descarga de nitrogênio em águas superficiais via sistema de drenagem pode levar ao crescimento excessivo de algas e à eutrofização de ecossistemas aquáticos.

TABELA 7 - Matriz de correlação das variáveis selecionadas no ponto P2.

Parâmetros	RAS	NH ₄ ⁺	Na ⁺	NO ₃ ⁻	CE
RAS	1,000				
NH ₄ ⁺	-0,269	1,000			
Na ⁺	0,611	-0,375	1,000		
NO ₃ ⁻	-0,523	0,582	-0,716	1,000	
CE	0,474	0,101	0,666	-0,326	1,000

A correlação positiva entre amônia e nitrato ($r = 0,582$) pode ser resultante da decomposição da matéria orgânica em condições anaeróbicas. A denitrificação é um importante mecanismo para redução do nitrato carregado para a zona saturada do perfil do solo⁵. A amônia e os nitratos são indicativos do grau de poluição do corpo d'água pelo lançamento de efluentes domésticos e industriais, e lixiviação de solos onde foram aplicados fertilizantes nitrogenados (ELMI et al., 2004).

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 (ESTEVES, 1988), o que pode explicar a correlação positiva entre a CE e o sódio ($r = 0,666$). A condutividade elétrica expressa a concentração dos sais na água, daí sua baixa correlação com os demais parâmetros selecionados. Resultados semelhantes foram encontrados por Palácio (2004), estudando a qualidade da água do rio Trussu, Ceará, Brasil.

A alta correlação negativa entre nitrato e sódio ($r = -0,716$) indica a formação de compostos nitrogenados entre os íons, como o nitrato de sódio (NaNO₃), que reduz a disponibilidade do sódio, o que pode explicar a correlação negativa entre o nitrato e a RAS ($r = -0,523$). A análise preliminar para o ponto P2 mostrou que as variáveis mais expressivas estão ligadas à poluição decorrente dos nutrientes (amônia e nitrato), além dos sais dissolvidos na água.

Pelo teste da Análise da Componente Principal (ACP), conforme a Tabela 8, foi selecionado um modelo com três componentes para o ponto P1 (galeria do açude) e duas componentes para o ponto P2 (encontro com o rio Acaraú).

⁵ YEOMANS et al., 1992, citados por ELMI et al., 2004.

TABELA 8 – Variância das componentes principais para os pontos P1 e P2, com os parâmetros selecionados.

	Componentes				
	Ponto P1			Ponto P2	
	C1a	C2a	C3a	C1b	C2b
Auto-valor (variância)	3,381	2,779	1,057	2,864	1,203
Variância	37,57%	30,87%	11,75%	57,28%	24,05%
Variância acumulada	37,57%	68,44%	80,19%	57,275	81,33%
KMO		0,596		0,690	

Pela análise da Tabela 8, verifica-se que a primeira (C1a), a segunda (C2a) e a terceira (C3a) componentes principais para o ponto P1 (saída da galeria) explicaram, respectivamente, 37,57%, 30,87% e 11,75% da variância total dos dados, concentrando em três dimensões 80,19% das informações, antes diluídas em nove parâmetros (Tabela 6).

A primeira (C1b) e a segunda (C2b) componentes principais para o ponto P2 explicaram, respectivamente, 57,28% e 24,05% da variância total dos dados, concentrando em duas dimensões 81,33% das informações, antes diluídas em cinco parâmetros (Tabela 7). Os valores se assemelham aos encontrados por Palácio (2004), que analisou a qualidade das águas do rio Trussu, Ceará.

Na Tabela 9 são apresentados os pesos fatoriais das matrizes transformadas pelo *Varimax*, que expressam a relação entre fatores e variáveis (parâmetros) para as duas regiões da sub-bacia, representadas pelos pontos P1 e P2.

TABELA 9 – Fatores das componentes das matrizes dos pontos P1 e P2, transformadas pelo algoritmo *Varimax (eigenvalue)*

Variáveis	Ponto P1			Ponto P2	
	C1	C2	C3	C1	C2
RAS	0,973	-0,057	0,117	0,721	-0,330
Ca ²⁺	-0,895	-0,065	-0,024	-	-
Na ⁺	0,885	-0,076	0,118	0,825	-0,422
NO ₃ ⁻	-0,187	-0,808	0,048	-0,515	0,742
PH	-0,509	0,710	0,263	-	-
HCO ₃ ⁻	-0,522	0,705	0,268	-	-
Cl ⁻	0,007	0,226	0,854	-	-
PO ₄ ⁻³	0,053	-0,088	0,768	-	-
CE	0,245	0,586	0,704	0,918	0,179
NH ₄ ⁺	-	-	-	0,022	0,942

Os valores elevados dos pesos fatoriais, em módulo, indicam as variáveis mais significativas em cada fator. Para o ponto P1 (águas liberadas pelo Ayres de Souza), o modelo mostrou que as variáveis mais significativas na qualidade das águas foram: RAS, Ca²⁺ e Na⁺, expressando uma componente mineral. A mineralização das águas, como a componente principal determinante da sua qualidade, em áreas de menor influência da ação antrópica, foi observada por pesquisadores como Vega et al. (1998), Helena et al. (2000), e Palácio (2004).

Na segunda componente (C2a), as variáveis NO₃⁻, pH e HCO₃⁻ são as mais significativas. Estes parâmetros expressam os riscos da poluição orgânica.

No terceiro fator (C3a), as variáveis de maior peso foram o Cl⁻, PO₄⁻³ e CE, devido à presença de detergentes usados na lavagem e aos esgotos do Distrito de Jaibaras. A influência dos detergentes na qualidade das águas também foi observada por pesquisadores como Jonnalagadda e Mhere (2001).

Para o Ponto P2 (confluência com o rio Acaraú), as variáveis mais expressivas na primeira componente (C1b) foram a CE, o Na⁺ e a RAS, enquanto que na segunda (C2b), as variáveis de destaque foram o NH₄⁺ e NO₃⁻.

O modelo aplicado mostrou que, para (C1b), a condutividade elétrica foi mais importante na determinação da qualidade da água, e está relacionada aos sais não naturais

dissolvidos na água, oriundos dos dejetos de balneários e esgotos domésticos, ao longo do trecho perenizado, concordando com os resultados encontrados por Almeida e Schwarzbald (2003).

Na segunda componente (C2b), os parâmetros mais significativos foram o NH_4^+ e o NO_3^- , relacionados à poluição do corpo d'água pelo lançamento de efluentes domésticos, terras cultivadas e lixiviação de solos, correspondentes aos resíduos de fertilizantes nitrogenados do Perímetro Irrigado Ayres de Souza. Os dados estão de acordo com Elmi et al. (2004), que estudaram o manejo de água e fertilizantes nitrogenados para minimizar a poluição em solo cultivado no sudeste de Quebec, Canadá. Borges, Galbiatti e Bellingieri (2003) encontraram resultados semelhantes, no estudo de monitoramento da qualidade da água na bacia hidrográfica do córrego Jaboticabal, São Paulo, Brasil.

5.4 CONCLUSÃO

A qualidade da água liberada na galeria do açude Ayres de Souza foi definida em primeiro plano pelas características químicas da área sedimentar da bacia, expressando uma componente mineral. Importância secundária teve a poluição orgânica, seguida pela presença de detergentes e esgotos domésticos.

A qualidade da água na foz do rio Jaibaras foi definida com maior importância pela ação antrópica, provavelmente resultante de dejetos dos balneários, fertilizantes nitrogenados do Perímetro Irrigado Ayres de Souza e esgotos domésticos ao longo do trecho perenizado.

5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

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**, v. 8, n. 1, p. 39-44, jan/mar, 2003.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 20th ed., American Public Health Association, Washington, DC, 1998.

BORGES, M. J.; GALBIATTI, J. A.; BELLINGIERI, P. A. Qualidade hídrica do córrego Jaboticabal sob a ação de interceptores de esgoto, em diferentes épocas do ano. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 521-531, set/dez, 2003.

CEARÁ. Secretaria de Planejamento e Coordenação – SEPLAN. **Atlas do Ceará 1997**. Fortaleza: Ed. IPLANCE, 1997.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. **Relatório técnico de inspeção nº 005/2004**. Gerência das Bacias do Acaraú e Coreaú - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH, Sobral, 2004.

DILLON, W. R.; GOLDSTEIN, M. **Multivariate analysis**. New York: John Willey & Sons, 1984. 587 p.

DNOCS (a). **Açude público Ayres de Souza. Projeto de irrigação. Tomo I. Dossiê Geral. B – Relatório Geral**. Fortaleza, set/1972.

DNOCS (b). **Açude público Ayres de Souza. Projeto de irrigação. Tomo II. Anexos (D-3) – Pedologia - Relatório**. Fortaleza, set/1972.

DNOCS. **Projeto de recuperação dos solos do setor II do Perímetro Irrigado Ayres de Souza, Sobral, Ceará**. Convênio DNOCS-IRYDA, v. 1, Fortaleza, 1981.

ELMI, A. A.; MADRAMOTO, C.; MOHAMUD, E; HAMEL, C. Water and fertilizer nitrogen management to minimize nitrate pollution from a cropped soil in southwestern Quebec, Canada. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 151, p. 117-134, 2004.

ESTEVEES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência: FINEP, 1988. 2ª ed. 602 p.

FERREIRA, A. M. **SPSS – manual de utilização**. Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Castelo Branco, Portugal, 1999.

FRANCELINO, M. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; RESENDE, M. Terra e água na reforma agrária do semi-árido norterriograndense. **Agriambi**, Campina Grande, v.6, n.1, p.183-187, 2002.

GANGBAZO, G.; PESANT, A. R.; BARNETT, G. M; CHARUEST, J. P.; CLUIS, D. Water contamination by ammonium nitrogen following the spreading of manure and mineral fertilizers. **Journal Enviroment Quality**, v. 24, p. 420-425, 1995.

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. 807-816, 2000.

JONNALAGADDA, S. B.; MHERE, G. Water quality of the Odzi river in the eastern highlands of Zimbabwe. **Water Research**, Amsterdam, v.35, n.10, p. 2371-2376, 2001.

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

MELLO, F. A. F. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Nobel, 1989.

MESQUITA, T. B.; ANDRADE, E. M.; CRISÓSTOMO, L. A.; MEIRELES, A. C. M.; MEIRELES, M. Classificação das águas na bacia do Acaraú. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 7. nov/dez, 2004, São Luís. **Anais...** São Luis: ABRH, 2004, CD-ROM.

MONTEIRO, V. P.; PINHEIRO, J. C. V. Critério para Implantação de Tecnologias de Suprimentos de Água Potável em Municípios Cearenses Afetados pelo Alto Teor de Sal. **Revista Economia Rural**, v.42, n.2, p.365-387, 2004.

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.

PORTO, M. F. A. ; BRANCO, S. M. ; LUCA, S. J. Caracterização da qualidade da água. In: _____ **Hidrologia Ambiental**. São Paulo, 1991, p. 27-66.

PORTO, M. M.; ANDRADE, E. A.; COSTA, R. N. T.; LEMOS FILHO, L. C. A.; MEIRELES, M. Identificação de bacias hidrográficas com características físicas similares no Estado do Ceará, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, vol. 35, n. 1, p. 17-25, jan-jun., 2004.

RICHARDS, L. A. (ed.) **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington DC, U. S: Department of Agriculture, 1954. 160p. (USDA Agricultural Handbook 60).

VEGA, M.; PARDO, R.; BARRADO, E.; DEBAN, L. Assessement of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. **Water Research**, Amsterdam, v. 32, n. 12, p. 3581-3592, 1998.

6. RECOMENDAÇÕES

Implementar programas de monitoramento da qualidade da água ao longo dos tributários, observando-se a localização das fontes de poluição, especialmente da atividade de piscicultura.

Integrar, urgentemente, ações de preservação e controle pelos diferentes órgãos governamentais de saúde, meio ambiente e recursos hídricos.

Criar um banco de dados unificado com as informações de análises de água das instituições atuantes na sub-bacia, como COGERH, DNOCS, SAAE, CENTEC⁶, EMBRAPA, UFC, CAGECE, ANA e Prefeituras Municipais, de forma a subsidiar políticas públicas e a tomada de decisão quanto às interferências antrópicas ao longo dos anos.

Elaborar estratégias para minimizar a contaminação ao longo dos tributários e no reservatório, por meio de eventos de educação ambiental e discussão com as comunidades.

⁶ Centro de Ensino Tecnológico, vinculado a Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado do Ceará (SECITECE).

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)