

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**APLICAÇÃO DE TÉCNICA DE ANÁLISE MULTIVARIADA PARA
AVALIAÇÃO DE REDES DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DA
ÁGUA**

Simone Nascimento de Souza

**Tese apresentada para obtenção
do título de Doutor em Engenharia
Civil, Área de Concentração:
Tecnologia Ambiental e Recursos
Hídricos**

Recife, 2009

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

Simone Nascimento de Souza
Engenheira Civil

APLICAÇÃO DE TÉCNICA DE ANÁLISE MULTIVARIADA PARA AVALIAÇÃO DE
REDES DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DA ÁGUA

Orientadora:
Prof^a. Dra. Maria de Lourdes Florencio dos Santos

Co-orientador:
Prof. Dr. Edmilson Santos de Lima

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Engenharia Civil, Área de Concentração: Tecnologia Ambiental e
Recursos Hídricos

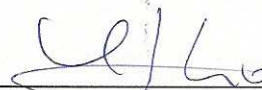
Recife
2009

S729a	Souza, Simone Nascimento de
	<p>Aplicação de técnica de análise multivariada para avaliação de redes de monitoramento de qualidade da água / Simone Nascimento de Souza. - Recife: O Autor, 2009. xvii, 140 f., il : grafs., tabs.</p> <p>Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2009.</p> <p>Inclui bibliografia e apêndice.</p> <p>1. Engenharia Civil. 2. IQA-Índice de qualidade das águas 3. Análise multivariada. 4. Plano de monitoramento da qualidade das águas. I. Título.</p> <p style="text-align: right;">UFPE</p>
624	CDD (22. ed.)
	BCTG/2010-041

APLICAÇÃO DE TÉCNICA DE ANÁLISE MULTIVARIADA PARA AVALIAÇÃO DE REDES DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DA ÁGUA

Simone Nascimento de Souza

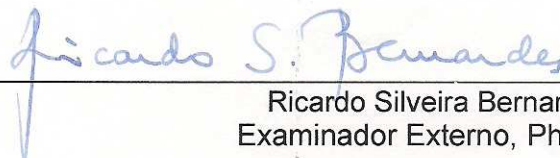
TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO COMO PARTE INTEGRANTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM ENGENHARIA CIVIL



Maria de Lourdes Florêncio dos Santos
Orientador, Ph. D.



Edmilson Santos de Lima
Co-Orientador, Ph. D.



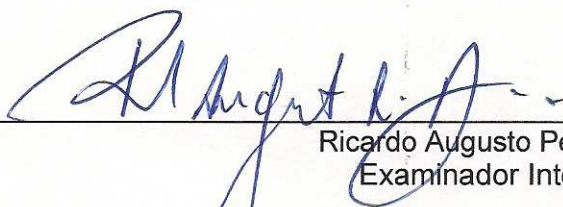
Ricardo Silveira Bernardes
Examinador Externo, Ph. D.



Simone Rosa da Silva
Examinador Externo, D. Sc.



José Almir Cirilo
Examinador Interno, D. Sc.



Ricardo Augusto Pessoa Braga
Examinador Interno, D. Sc.

Recife, PE
Dezembro de 2009

Às minhas filhas Jessica e Rachel, à minha mãe e ao meu pai (*in memoriam*)

AGRADECIMENTOS

A minha família que sempre me apoiou e incentivou aos estudos.

A professora, orientadora e amiga Lourdinha Florencio, pela paciência e pelos ensinamentos transmitidos durante todo meu aprendizado desde a graduação.

Ao professor Edmilson Lima por suas críticas e sugestões no desenvolvimento desta pesquisa.

À CPRH, na figura de Joana Aureliano, por não medir esforços em disponibilizar as informações necessárias para o desenvolvimento desta pesquisa. Ela levará os meus agradecimentos à diretoria e aos demais técnicos dessa instituição.

A Francicleide Palhano pela revisão valiosa da língua portuguesa e bom humor e a Idalmira Oliveira por ajudar na formatação da tese.

A Alex Araújo pelo ensinamento das ferramentas estatísticas.

A Paulo Almeida que me apoiou nos momentos difíceis e soube compreender minha ausência.

A Gerson Filho e Márcio Guerra, por sempre estarem disponíveis para repassar os seus conhecimentos e as suas experiências de vida.

Aos meus amigos e colegas de trabalho do Grupo de Saneamento Ambiental pelo apoio sempre presente.

Ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Tecnologia Ambiental do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco.

E finalmente a CAPES por financiar esta pesquisa.

SUMÁRIO

RESUMO		
ABSTRACT.....		
LISTA DE FIGURAS.....		
LISTA DE TABELAS.....		
LISTA DE QUADROS.....		
LISTA DE SIGLAS.....		
1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Objetivo geral da pesquisa.....	4
1.2	Objetivos específicos da pesquisa.....	4
1.3	Justificativa.....	4
1.4	Tópicos da tese.....	5
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	6
2.1	Uso e ocupação do solo X qualidade da água.....	6
2.2	Poluição e características das águas naturais.....	8
2.3	Monitoramento da qualidade da água.....	13
2.4	Indicadores de qualidade das águas.....	14
2.4.1	IQA adaptado pela CETESB.....	15
2.5	Avaliação de dados de monitoramento.....	19
2.6	Estudo de caso Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe.....	25
2.6.1	Importância da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe para o desenvolvimento do estado.....	25
2.6.2	Caracterização física da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe.....	28
2.6.3	Monitoramento da qualidade da água da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe.....	37
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	45
3.1	Base de dados da qualidade da água.....	45
3.1.1	Definição das estações de coleta do estudo.....	45
3.1.2	Definição dos parâmetros do estudo.....	45
3.1.3	Correção e adequação da base de dados.....	46
3.2	Base de dados hidrometeorológicos.....	47
3.2.1	Identificação e validação dos períodos seco e chuvoso na Bacia do Capibaribe	47

3.2.2	Comportamento das variáveis versus IP.....	47
3.3	Sub-bacias de drenagem e uso e ocupação do solo.....	48
3.4	Índice de Qualidade da Água – IQA.....	48
3.5	Cotas altimétricas.....	48
3.6	Ferramenta estatística.....	49
3.6.1	Estatística descritiva.....	49
3.6.2	Análise dos Componentes Principais – ACP.....	49
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
4.1	Base de dados da qualidade da água.....	52
4.1.1	Definição das estações de coleta do estudo.....	52
4.1.2	Definição dos parâmetros do estudo.....	53
4.2	Base de dados hidrometeorológicos.....	55
4.2.1	Identificação dos períodos seco e chuvoso na Bacia do Capibaribe	58
4.2.2	Comportamento das variáveis do IQA versus IP.....	60
4.3	Sub-bacias de drenagem e uso e ocupação do solo.....	61
4.4	Índice de qualidade das águas – IQA.....	63
4.5	Cotas altimétricas.....	63
4.6	Ferramenta estatística.....	64
4.6.1	Estatística descritiva.....	64
4.6.2	Análise dos componentes principais.....	65
4.7	Proposição de um modelo de avaliação de um plano de monitoramento da qualidade da água.....	76
4.8	Proposições para adequação do Plano de Monitoramento da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe.....	77
4.8.1	Proposição de uma nova divisão espacial de análise ambiental.....	77
4.8.2	Proposição de reformulação da periodicidade e dos parâmetros de monitoramento.....	78
5	VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA.....	79
5.1	Bacia Hidrográfica do Rio Goiana.....	79
5.1.1	Aplicação da metodologia.....	80
5.1.2	Proposições para adequação do Plano de Monitoramento da Bacia Hidrográfica do Rio Goiana.....	87
5.2	Bacia Hidrográfica do Rio Una.....	88

5.2.1	Aplicação da metodologia.....	89
5.2.2	Proposições para adequação do Plano de Monitoramento da Bacia Hidrográfica do Rio Una.....	91
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	93
	REFERÊNCIAS.....	95
	APÊNDICE.....	100

RESUMO

O Brasil detém, em torno de 15% da água doce superficial do mundo, porém é repleto de problemas ambientais que comprometem a sua qualidade. Portanto, é necessário estabelecer ações de controle de forma a garantir o seu uso múltiplo. Em Pernambuco, a agência ambiental estadual monitora, desde 1986, todas as bacias dos rios litorâneos. Nesse período houve uma modificação da dinâmica do uso e ocupação do solo dessas bacias. Entretanto, não foram definidos os procedimentos para revisão periódica do plano de monitoramento. Este estudo propõe uma metodologia para adequação dos monitoramentos das bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco. Para isso, foram utilizados dados de monitoramento dos anos de 1990 a 2008 avaliados com a adoção da ferramenta de Análise dos Componentes Principais (ACP), assim como foi considerada a tipologia do uso e ocupação do solo, além da cobertura vegetal, para a definição de setores ambientais. A metodologia foi testada com os dados da bacia do rio Capibaribe e reaplicada nas bacias do Una e Goiana. A aplicação da metodologia proposta mostrou que é possível se reduzir o número de estações de monitoramento quando se considera a sua setorização ambiental. Conseqüentemente, é possível reduzir os custos de monitoramento, disponibilizando esses recursos para outras ações.

Palavras-chave: IQA - Índice de Qualidade das Águas; Análise Multivariada; Plano de Monitoramento da Qualidade das Águas.

ABSTRACT

APPLICATION OF MULTIVARIATE ANALYSIS TECHNIQUE FOR AVALIATION OF WATER QUALITY MONITORING PROGRAMS

While Brazil holds twenty percent of the world's fresh water stocks it has a great number of environmental problems that affect its water quality. It is therefore necessary to put control measures in place in order to ensure its multiple uses. The state environmental agency in Pernambuco has been monitoring the coastal river basins since 1986. Since then the patterns of land use and occupation in the river basin areas have changed. However, no procedures for the periodic review of the monitoring plan were defined. The present study proposes a methodology for the adjustment of the river basin monitoring system in the State of Pernambuco. For this purpose, monitoring data from the years 1990 to 2008 were assessed with the help of the Principal Component Analysis (PCA) tool, while a typology for land use and occupation, as well as plant coverage, have been taken into account for the definition of environmental sectors. The methodology was tested with the data from the Capibaribe River basin and replicated in the Una and Goiana River basins. The use of the proposed methodology showed that it is possible to reduce the number of monitoring stations when the environmental sector approach is applied. Monitoring costs, in their turn, can also be reduced so that these resources can be made available for other actions.

Key words: Water Quality Index; Multivariate Analysis; Water Quality Monitoring Plan.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Representação gráfica de uma componente principal.....	21
Figura 2	–	Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe.....	26
Figura 3	–	Rede hidrográfica principal da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe.....	30
Figura 4	–	Unidades de análise da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe	32
Figura 5	–	Uso e ocupação do solo e de vegetação da bacia do rio Capibaribe.....	36
Figura 6	–	Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe com as estações monitoradas entre os anos de 1990 e 2008.....	39
Figura 7	–	Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe com as estações de coleta no ano de 2006.....	43
Figura 8	–	Registros de coleta da CB 05 por ano e mês entre os anos de 1990 e 2008.....	53
Figura 9	–	Número de valores válidos para todos os parâmetros monitorados.....	54
Figura 10	–	Séries temporais do índice pluviométrico médio anual correspondente a cada estação de monitoramento da qualidade da água.....	56
Figura 11	–	Localização dos pontos pluviométricos na bacia do rio Capibaribe.....	57
Figura 12	–	Precipitação nos postos pluviométricos e vazão média no rio correspondente às estações de coleta CB 10 e CB 30.....	59
Figura 13	–	Precipitação nos postos pluviométricos e vazão média no rio correspondente às estações de coleta CB 40, CB 55, CB 62, CB 72, CB 80, CB 90 e CB 95.....	59
Figura 14	–	Matriz de correlação entre os parâmetros de monitoramento e o IP.....	61
Figura 15	–	Sub-bacias de drenagem	62
Figura 16	–	Gráfico de caixa do parâmetro OD.....	64

Figura 17 –	Gráficos dos pesos e escores nas duas componentes principais de todo o conjunto de dados do rio Capibaribe, sem preenchimento (amostras sem lacunas).....	65
Figura 18 –	Estratificação das estações por zona de atividade.....	68
Figura 19 –	Gráficos dos pesos e escores nas duas componentes principais do conjunto de dados da CB 10 no período de 2001 a 2008, com preenchimento pela máxima anual.....	69
Figura 20 –	Gráficos dos pesos e escores nas duas componentes principais do conjunto de dados da CB 30 no período de 2001 a 2008, com preenchimento pela máxima anual.....	70
Figura 21 –	Gráficos dos pesos e escores nas duas componentes principais do conjunto de dados da CB 40 no período de 2001 a 2008, com preenchimento pela máxima anual.....	70
Figura 22 –	Gráficos dos pesos e escores nas duas componentes principais do conjunto de dados da CB 55 no período de 2001 a 2008, com preenchimento pela máxima anual.....	71
Figura 23 –	Gráficos dos pesos e escores nas duas componentes principais do conjunto de dados da CB 72 no período de 2001 a 2008, com preenchimento pela máxima anual.....	72
Figura 24 –	Gráficos dos pesos e escores nas duas componentes principais do conjunto de dados da CB 80 no período de 2001 a 2008, com preenchimento pela máxima anual.....	73
Figura 25 –	Gráficos dos pesos e escores nas duas componentes principais do conjunto de dados da CB 95 no período de 2001 a 2008, com preenchimento pela máxima anual.....	73
Figura 26 –	Gráfico dos pesos e escores para a estação CB 30.....	74
Figura 27 –	Gráfico dos pesos e escores para a estação CB 95.....	75
Figura 28 –	Bacia Hidrográfica do Rio Goiana.....	80
Figura 29 –	Gráficos dos pesos e escores nas duas componentes principais de todo o conjunto de dados do rio Goiana, sem preenchimento.....	81
Figura 30 –	Estratificação das estações por zona de atividade.....	82

Figura 31 – Gráficos dos pesos e escores nas duas componentes principais do conjunto de dados da GO 05 no período de 2001 a 2008, com preenchimento pela máxima anual.....	83
Figura 32 – Gráficos dos pesos e escores nas duas componentes principais do conjunto de dados da GO 15 no período de 2001 a 2008, com preenchimento pela máxima anual.....	84
Figura 33 – Gráficos dos pesos e escores nas duas componentes principais do conjunto de dados da GO 55 no período de 2001 a 2008, com preenchimento pela máxima anual.....	85
Figura 34 – Gráficos dos pesos e escores nas duas componentes principais do conjunto de dados da GO 75 no período de 2001 a 2008, com preenchimento pela máxima anual.....	86
Figura 35 – Gráficos dos pesos e escores nas duas componentes principais do conjunto de dados da GO 80 no período de 2001 a 2008, com preenchimento pela máxima anual.....	86
Figura 36 – Gráficos dos pesos e escores nas duas componentes principais do conjunto de dados da GO 85 no período de 2001 a 2008, com preenchimento pela máxima anual.....	87
Figura 37 – Bacia do rio Una.....	89
Figura 38 – Estratificação das estações por zona de atividade.....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Parâmetros do índice de qualidade das águas e respectivos pesos.....	16
Tabela 2	–	Faixa e valores do IQA em Pernambuco.....	18
Tabela 3	–	Principais açudes da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe.....	27
Tabela 4	–	Imagens utilizadas para desenvolvimento do mapa de uso e ocupação do solo.....	33
Tabela 5	–	Vazões médias mensais na sub-bacia Alto Capibaribe.....	44
Tabela 6	–	Vazões médias mensais na sub-bacia Médio Capibaribe.....	44
Tabela 7	–	Vazões médias mensais na sub-bacia Baixo Capibaribe.....	44
Tabela 8	–	Amostras coletadas, ano de coleta e quantidade de registro dos parâmetros monitorados por estação.....	52
Tabela 9	–	Percentual de falhas nos dados das variáveis.....	54
Tabela 10	–	Número de amostras totais e sem lacunas por estação de coleta.....	55
Tabela 11	–	Coeficientes de correlação entre os parâmetros do IQA e o IP..	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	–	Índices de qualidade das águas.....	15
Quadro 2	–	Estações de coleta na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe (1990 e 2008).....	37
Quadro 3	–	Estações de coleta em reservatórios.....	40
Quadro 4	–	Estações de Amostragem da Rede de Monitoramento da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe no ano de 2006.....	41
Quadro 5	–	Cenários modelados para as estações CB 30 e CB 95.....	51
Quadro 6	–	Posto pluviométrico mais próximo às estações de monitoramento da qualidade da água.....	56
Quadro 7	–	Setor de análise ambiental definido com o IQA.....	63
Quadro 8	–	Cotas altimétricas das estações de coleta.....	63
Quadro 9	–	Setor de análise ambiental definido com a ferramenta ACP....	66
Quadro 10	–	Estratificação por zona de atividade.....	68
Quadro 11	–	Estações de coleta na Bacia Hidrográfica do Rio Goiana.....	80
Quadro 12	–	Setor de análise ambiental definido com a ferramenta ACP....	82
Quadro 13	–	Estratificação por zona de atividade.....	83
Quadro 14	–	Estações de coleta na Bacia Hidrográfica do rio Una.....	89
Quadro 15	–	Setor de análise ambiental definido com a ferramenta ACP....	90

LISTA DE SIGLAS

ACP	Análise das componentes principais
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento de São Paulo
CNPQ	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
CONDEPE/FIDEM	Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IP	Índices Pluviométricos
IPA	Instituto Agronômico de Pernambuco
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IQA	Índice de Qualidade da Água
LAMEPE	Laboratório de Meteorologia de Pernambuco
NSF	National Sanitation Foundation
OD	Oxigênio Dissolvido
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
RMR	Região Metropolitana do Recife
SECTMA	Secretaria de Ciência Tecnologia e Meio Ambiente de Pernambuco
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco

1 INTRODUÇÃO

A água é base do desenvolvimento sustentável, do equilíbrio ambiental do planeta e um bem de consumo de importância fundamental para o homem. Todos os seres vivos precisam de água para sobreviver e a sua distribuição no tempo e no espaço rege a ocorrência nos ecossistemas de animais e plantas. Os primeiros organismos vivos provavelmente apareceram em um ambiente aquoso, e a evolução deles foi marcada pelas propriedades do meio, por isso todas as funções celulares são tão adaptadas e dependentes das características físicas e químicas da água (CURTIS, 1977).

Apesar de 2/3 da superfície do planeta Terra estarem cobertos por água, a disponibilidade para satisfazer as necessidades dos seres humanos não é tão abrangente. Menos de 1% encontra-se na forma de água doce líquida, mesmo assim, a maior parte na condição de água subterrânea (NACE, 1964).

No mundo, o Brasil é um dos países mais bem servidos de água doce líquida. Contudo, a sua distribuição não é homogênea e a maior quantidade disponível encontra-se na Região Amazônica, onde a ocupação humana é menos densa.

Grande parte dos estados da região Nordeste do Brasil sofre devido à escassez de água. Esta falta gera conflitos entre os diferentes usuários, sobretudo entre a irrigação, o abastecimento doméstico, o atendimento à demanda industrial e ao lançamento de efluentes, além do aumento da poluição nos seus corpos d'água, e como consequência, promovendo a estagnação da economia e a perda da qualidade de vida.

Como os recursos hídricos são escassos e de importância vital para as atividades humanas, precisam ser preservados e o seu uso rigidamente controlado, não podendo mais a população aceitar a apropriação do corpo de água, segundo a conveniência e necessidade individual de qualquer pessoa, física ou jurídica, pública ou privada, no momento, da forma e na quantidade que for desejada.

Atualmente, no Brasil, a importância da qualidade da água dos corpos hídricos brasileiros está bem conceituada na Política Nacional de Recursos Hídricos, que define, dentre seus objetivos, "assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos" (Art. 2º, Cap. II, Tit. I, Lei n° 9.433).

No Estado de Pernambuco, do Sertão ao Agreste, a pluviosidade anual é de 400 a 800 mm, e alcança 1500 mm ou mais na Zona da Mata e Litoral, em anos normais de ocorrência. As conseqüências são rios intermitentes e açudes secos no interior, enquanto ocorre um déficit de água para abastecimento urbano no litoral, particularmente na Região Metropolitana do Recife - RMR.

Segundo Braga et al (2001), é fundamental identificar o potencial hídrico do Estado, ampliar a sua disponibilidade, identificar e hierarquizar as demandas, compatibilizar os usos e administrar os conflitos. Além de desenvolver métodos e tecnologias de otimização de uso e conservação da água.

A poluição das águas superficiais e subterrâneas por compostos tóxicos, matéria orgânica e excesso de nutrientes é resultante, entre outros fatores, do uso do solo sem controle, na bacia hidrográfica. Com o crescente conhecimento técnico e científico da importância da água para consumo humano e para a vida aquática, existe uma necessidade premente de monitorar a qualidade dos recursos hídricos (CAMPBELL et al, 1993; DURELL et al, 2001; OUYANG et al, 2002).

As bacias hidrográficas, devido ao favorecimento das condições de vida no seu interior como a disponibilidade de terras férteis, água para irrigação, águas para consumo humano e industrial favorecem a sua ocupação. Como conseqüência, os rios também recebem altas cargas poluidoras, devido às atividades industriais, urbanas e da agricultura (STROOMBERG et al, 1995; WARD e ELLIOT, 1995).

Programas de monitoramento são ferramentas adequadas e imprescindíveis para o conhecimento das condições físico-químicas e biológicas dos recursos hídricos, porém produzem uma gama de dados que, frequentemente, são de difíceis interpretações (DIXON e CHISWELL, 1996).

As correlações entre os parâmetros medidos numa amostra de água se constituem no ponto de partida para avaliação da qualidade da água, desde que estas interações sejam obtidas de uma distribuição amostral no espaço e no tempo das variáveis do sistema a ser estudado (HARMANCIOGLU et al, 1998).

Para uma interpretação ecológica da qualidade das águas superficiais e subterrâneas e/ou para estabelecer um programa de monitoramento, é necessária a utilização de métodos simples e que deem informações objetivas e interpretáveis (PINEDA e SCHÄFER, 1987). Nesta abordagem, a adoção de índices de qualidade de água é uma tentativa que todo programa de monitoramento de águas superficiais prevê, como forma de acompanhar e, principalmente, difundir entre a população

leiga no assunto, através de informações resumidas, a possível deterioração dos recursos hídricos ao longo da bacia hidrográfica ou ao longo do tempo.

O monitoramento da qualidade das águas das bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco é realizado, desde o ano de 1986, pela Agência Pernambucana de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – CPRH. No ano de 2007, o monitoramento realizado pela CPRH abrangeu, segundo o Relatório de Monitoramento de Bacias Hidrográficas do Estado de Pernambuco (2007), 87 estações de amostragem. Dentre as bacias monitoradas pela Agência, a bacia do rio Capibaribe, estudo de caso desta pesquisa, é uma das mais relevantes, devido às atividades econômicas desenvolvidas no seu interior e ainda por comportar, aproximadamente, 20% de toda a população do Estado. Segundo a CPRH, já foram monitoradas, na Bacia do Rio Capibaribe, 39 estações, considerando o período entre os anos de 1990 e 2008. Parâmetros físicos – como Turbidez e Sólidos Totais – químicos – como Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO e Fósforo, assim como os parâmetros biológicos – Coliformes Termotolerantes e Clorofila a - estão entre as variáveis do plano de monitoramento da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe.

Apenas para ilustrar a abrangência do monitoramento da CPRH, o número de determinações das variáveis monitoradas na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe entre os anos de 1990 e 2008 é de 14.790, sem considerar as estações de coleta nos reservatórios.

Com essa quantidade de informações, surge a necessidade da aplicação de métodos que extraíam as informações mais relevantes, cujos problemas de redução e interpretação podem ser solucionados com a aplicação de técnicas estatísticas multivariadas e análise de dados exploratórios (MASSART et al, 1988; WENNING e ERICKSON, 1994).

Segundo Tomassone et al (1993), nos últimos 20 anos, a técnica de Análise de Componentes Principais – ACP vem sendo largamente adotada em muitos campos da Engenharia Ambiental para resolver os problemas de redução e interpretação das informações geradas pelos planos de monitoramento de bacias hidrográficas.

A ACP consiste na transformação linear de todas as variáveis originais em novas variáveis, de tal modo que a primeira nova variável computada seja responsável pela maior parte da variação possível existente no conjunto de informações, a segunda pela maior variação possível restante, e assim em diante,

até que toda a variação do conjunto tenha sido explicada (GOMES, 1985; LUDWIG e REYNOLDS, 1988; LANDIM, 2000; ODDEN e KVALHEIM, 2000).

Portanto, pesquisar a possibilidade de aperfeiçoar um plano de monitoramento da qualidade da água de uma bacia hidrográfica, mantendo a mesma confiabilidade do sistema de informações, com a simples redução do número de variáveis ou redistribuição espacial de pontos de coleta condiz com objetivos intrínsecos a um bom plano de monitoramento, quais sejam: (i) identificar as alterações das características da qualidade da água de um corpo de água, (ii) reduzir os custos de monitoramento, e (iii) ajustar o plano à dinâmica de ocupação e uso do solo de uma bacia.

1.1 Objetivo geral da pesquisa

O principal objetivo desta pesquisa é elaborar uma metodologia de trabalho para redefinir um plano de monitoramento da qualidade da água de uma bacia hidrográfica, onde o uso e ocupação do solo é o indutor principal desta nova modelagem.

1.2 Objetivos específicos da pesquisa

Como objetivos específicos destacam-se: (i) definir um modelo de avaliação de um plano de monitoramento da qualidade da água, (ii) propor um novo plano de monitoramento da qualidade da água do rio Capibaribe, (iii) validar a metodologia em outras bacias hidrográficas e (iv) propor um novo plano de monitoramento da qualidade da água dos rios Goiana e Una.

1.3 Justificativa

A dinâmica de uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas reflete na qualidade do corpo d'água, devido ao surgimento ou supressão de fontes de poluição. Assim como, modificações das características dessa poluição. Logo rever

periodicamente o plano de monitoramento da qualidade d'água da bacia é uma das ferramentas de acompanhar estas alterações.

1.4 Tópicos da tese

Esta pesquisa está organizada em 6 capítulos, cujos conteúdos são apresentados a seguir. Neste primeiro capítulo, descreve-se a importância do tema da pesquisa e as linhas que serão seguidas para o desenvolvimento deste trabalho, com a justificativa e os objetivos. No capítulo 2, apresenta-se uma revisão da literatura, referente às ferramentas estatísticas adotadas para avaliar planos de monitoramento de qualidade da água, destacando-se a técnica da análise de componentes principais, dando-se ênfase ao “porquê” da escolha dessa técnica para o desenvolvimento da metodologia proposta, assim como a revisão de literatura do índice de qualidade da água – IQA adotado como ferramenta pelo órgão ambiental estadual. Neste mesmo Capítulo 2, apresenta-se a caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe, estudo de caso desta pesquisa. O desenvolvimento da metodologia proposta está descrito no Capítulo 3. O Capítulo 4 apresenta os resultados e a discussão das informações geradas. A validação da metodologia proposta nas Bacias Hidrográficas dos Rios Goiana e Una está no Capítulo 5. Finalizando, no Capítulo 6, apresenta-se a conclusão da pesquisa com as devidas considerações.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Os ecossistemas naturais que possuem diversos tipos de ocupação intensiva, industrial, urbana ou agrícola, podem ser avaliados por diferentes metodologias que utilizam a bacia hidrográfica como unidade de estudo. A caracterização físico-química das águas fluviais ao longo de todo o curso do rio e no tempo configura uma ferramenta para identificar os impactos gerados pelo uso e ocupação do solo na bacia.

Os trabalhos aqui revisados são apresentados de modo a caracterizar os estudos realizados em diversas bacias hidrográficas, com diferentes escalas espaciais, características geoclimáticas e sob condições naturais e antrópicas diferentes.

2.1 Uso e ocupação do solo X qualidade da água

O uso do solo denota o emprego humano da terra, tais como: cultivos, pastos, urbano, recreação e a cobertura do solo representa o estado físico do solo, incorporando a qualidade e o tipo de vegetação da superfície, águas e materiais terrestres (TURNERY II e MEYER, 1994).

As constantes alterações no uso e ocupação do solo das bacias hidrográficas produzem significativas mudanças no balanço de água, com reflexos nas camadas superficiais e subsuperficiais do solo, acarretando um aumento na susceptibilidade à erosão, transporte de sedimentos e elementos químicos, assim como alterações na qualidade da água e modificações no ecossistema (TOLEDO, 2001).

A agricultura afeta direta e indiretamente a qualidade das águas superficiais e subterrâneas e é uma das principais atividades que causam a degradação da qualidade da água (ZALIDIS et al, 2002; TONG e CHEN, 2002). Mesma afirmação Silva et al (2003) fizeram quando afirmaram que a qualidade da água de mananciais que compõem uma bacia hidrográfica está relacionada com o uso do solo na bacia e com o grau de controle sobre as fontes de poluição. Isto significa que as práticas agrícolas e o uso do solo causam impactos consideráveis nos parâmetros de qualidade da água.

Segundo Martini e Lanna (2003) a ocupação urbana também pode degradar os sistemas aquáticos, principalmente devido ao escoamento superficial urbano que contém poluentes que podem alterar as características físico-químicas da água. Com a retirada da zona ripária, que funciona como um filtro da água advinda do escoamento superficial, um dos parâmetros físicos mais afetados pelo aporte de sedimentos aos cursos de água é a Turbidez como consequência ocorre uma diminuição de entrada de luz e da taxa de produção primária do ecossistema, afetando toda a cadeia alimentar (SILVA et al, 2003).

Gobin et al (2003) afirmaram que a utilização do solo acima de sua capacidade e o seu uso e manejo inadequados aceleram o processo de erosão. Com a ocupação mais intensa de terrenos próximos às ocorrências erosivas, aumentam consideravelmente os riscos de acidentes, e são desencadeados processos de depósito de resíduos sólidos nas ravinas e voçorocas. Consequentemente vão afetar a qualidade da água da bacia, pois o escoamento se dará para um curso de água (GUERRA et al, 1999).

No que se refere às questões técnicas, Guerra et al (1999) afirmam que é de fundamental importância a utilização adequada de práticas agrícolas de conservação do solo, a adoção de medidas preventivas contra a erosão e o fornecimento de subsídios visando o planejamento da ocupação agrícola, considerando a capacidade de uso das terras.

Com a adoção de técnicas de levantamento das informações de uso e ocupação do solo, os padrões de organização do espaço podem ser entendidos e como consequência prever o impacto do uso inadequado da terra (ROSA, 2001).

Além do uso do solo, a precipitação que ocorre em uma bacia também pode afetar a qualidade da água do corpo hídrico. Levando em consideração o tamanho da bacia hidrográfica, a resposta da vazão às chuvas, pode não ocorrer concomitantemente. Neste caso, as relações entre as variáveis mais relacionadas ao escoamento superficial - Turbidez e Sólidos Totais - serão prejudicadas.

Segundo Meybeck et al (1996), o intervalo entre os eventos climáticos e as alterações na qualidade de água é diretamente proporcional ao tamanho das microbacias, sendo que em rios de pequeno porte este intervalo pode situar-se entre 12 a 36 horas. Segundo Lennox et al (1997), as coletas mensais ou quinzenais em rios de pequeno porte tendem a representar, em 80% das vezes, as características de qualidade de água do fluxo de base.

2.2 Poluição e características das águas naturais

A habilidade de proteger os ecossistemas depende da capacidade de distinguir os efeitos das ações humanas das variações naturais, buscando categorizar a influência das ações humanas sobre os sistemas biológicos.

De modo geral, as fontes de poluição são classificadas em pontuais e difusas. As fontes de poluição oriundas do lançamento de efluentes industriais e domésticos são enquadradas como fontes pontuais e são mais fáceis de serem identificadas, ao passo que as geradas por atividades difusas são mais difíceis a sua identificação e quantificação. Segundo Sims et al (1998) e Parry (1998) as fontes difusas de poluição, especialmente a agricultura, têm sido objeto de atenção em muitos países devido à dificuldade de se estabelecer procedimentos de avaliação de impactos ambientais e de adotar padrões aceitáveis, como outrora ocorreu com as fontes pontuais.

A poluição de um corpo de água pode ser medida, verificando-se as alterações das variáveis físicas, químicas e biológicas, que podem ser de diversas categorias, tais como:

- Variáveis Físicas: Resíduos, Turbidez e Temperatura;
- Variáveis Químicas: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_{5,20}), Fósforo Total, Oxigênio dissolvido, pH, Nitrogênio Total;
- Variáveis Microbiológicas: Grupo coliformes;
- Variáveis Hidrobiológicas: Clorofila a, Fitoplâncton, Zooplâncton e Bentos;
- Variáveis Toxicológicas: Microcistinas e ensaios de toxicidade.

Contudo, quando da necessidade de estudos específicos de qualidade de água em determinados trechos de corpos de água, com vistas a diagnósticos mais detalhados, outras variáveis podem vir a ser estudadas, tanto em função do uso e ocupação do solo na bacia contribuinte, atuais ou pretendidos, quanto pela ocorrência de algum evento excepcional na área em questão, como a implantação de uma indústria potencialmente poluidora.

Alterações em algumas dessas variáveis podem causar consequências ambientais indesejáveis.

Nos estudos de controle de poluição das águas naturais, as determinações dos níveis de concentração das diversas frações de sólidos resultam em um quadro geral da distribuição das partículas com relação ao tamanho (sólidos em suspensão e dissolvidos) e com relação à natureza (fixos ou minerais e voláteis ou orgânicos). Modificações na variável Sólidos Totais contribuem para aumentar a condutividade elétrica do corpo hídrico. Águas sem interferências antrópicas, na maioria das vezes, possuem valores baixos destes parâmetros (ASSIS, 1998).

O Potencial Hidrogeniônico (pH) é um parâmetro que depende de dinâmicas químicas do sistema aquático. Processos de decomposição, geralmente, liberam substâncias ácidas, as quais tendem a reduzir o pH. Além do mais, o uso intenso de CO₂ para a realização da fotossíntese, reduz sua concentração na água, elevando o pH (ASSIS, 1998). A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies. Também o efeito indireto é relevante podendo, em determinadas condições de pH, contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados; outras condições podem exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes. Os critérios de proteção à vida aquática fixam o pH entre 6 e 9.

Existem várias fontes de Nitrogênio nas águas naturais. Os esgotos sanitários constituem, em geral, a principal fonte. Indústrias químicas, petroquímicas, siderúrgicas, farmacêuticas, conservas alimentícias, matadouros, frigoríficos e curtumes também contribuem para o lançamento de Nitrogênio às águas. A atmosfera é outra fonte importante devido a diversos mecanismos, como a biofixação, desempenhada por bactérias e algas, que incorporam o Nitrogênio atmosférico em seus tecidos, contribuindo para a presença de Nitrogênio orgânico nas águas; nas áreas agrícolas, o escoamento das águas pluviais por solos adubados também contribui para a presença de diversas formas de Nitrogênio. Nas áreas urbanas, a drenagem das águas pluviais, associada às deficiências do sistema de limpeza pública, constitui uma fonte difusa de difícil caracterização.

Os compostos de Nitrogênio são nutrientes para processos biológicos. São caracterizados como macronutriente, pois, depois do carbono, o Nitrogênio é o elemento exigido em maior quantidade pelas células vivas. Quando descarregados nas águas naturais, conjuntamente com o Fósforo e outros nutrientes presentes nos despejos, provocam o enriquecimento do meio, tornando-o mais fértil e

possibilitando a multiplicação dos seres vivos que os utilizam, especialmente as algas. Este efeito é denominado de eutrofização.

O Nitrogênio Orgânico Total corresponde aos componentes de substâncias protéicas, tais como: uréia, aminoácidos e ácidos nucléicos, além de produtos de transformação bioquímica (ácidos húmicos e ácidos fúlvicos), formado principalmente por bactérias e fitoplâncton na cadeia trófica, refletindo as flutuações da comunidade biológica (WETZEL, 1990).

O Nitrito, fase intermediária entre amônia e nitrato, é encontrado em pequenas concentrações na água, em ecossistemas não antropizados em torno de $2\mu\text{g/L}$, raramente maiores que $100\mu\text{g/L}$. Concentrações elevadas deste parâmetro indicam insatisfatória qualidade microbiológica da água.

O íon amônio, devido à sua absorção energeticamente mais viável, é importante para os organismos produtores. Ele é formado através da transformação de amônia, em pH próximo a neutralidade, durante os processos de decomposição (WETZEL, 1990).

A concentração dos compostos nitrogenados é uma importante variável analítica de classificação das águas naturais.

O Fósforo é um elemento presente em moléculas orgânicas. Sua presença em corpos de água é indicação de concentrações altas de biomassa, principalmente de origem vegetal (algas e macrófitas). A decomposição deste parâmetro resulta em formas dissolvidas, as quais são utilizadas por seres vivos para seu crescimento. O Fósforo presente em cursos de água urbanos, normalmente apresenta-se, em grande concentração e reflete os efeitos da poluição, entre outros fatores, pelo lançamento de esgotos domésticos.

Assim como o Nitrogênio, o Fósforo constitui-se em um dos principais nutrientes nos processos biológicos, ou seja, é um dos chamados macronutrientes, por ser exigido também em grandes quantidades pelas células. Nesta qualidade, torna-se variável imprescindível em programas de caracterização de poluentes. O excesso de Fósforo conduz a processos de eutrofização das águas naturais.

A Turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la (esta redução dá-se por absorção e espalhamento, uma vez que as partículas que provocam Turbidez nas águas são maiores que o comprimento de onda da luz visível), devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e de detritos

orgânicos, algas e bactérias, plâncton em geral, etc. Os esgotos sanitários e diversos efluentes industriais também podem provocar alterações na Turbidez dos corpos receptores. Alto teor de Turbidez reduz a fotossíntese de vegetação das comunidades biológicas aquáticas afetando todo o sistema.

Segundo Branco (1978) a DBO é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável. A DBO é normalmente considerada como a quantidade de oxigênio consumido durante um determinado período de tempo, numa temperatura de incubação específica. Um período de tempo de 5 dias numa temperatura de incubação de 20°C é freqüentemente usado e referido como DBO5. Os aumentos mais significativos em termos de DBO, num corpo d'água, são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica. A presença de um teor de matéria orgânica pode levar à extinção completa de OD na água e, como consequência, provocar o desaparecimento de todas as formas de vida aquática. Contudo, como a DBO apenas mede a quantidade de oxigênio consumido num teste padronizado, seu resultado não indica a presença de matéria não biodegradável, nem leva em consideração o efeito tóxico ou inibidor de materiais sobre a atividade microbiana.

O oxigênio proveniente da atmosfera dissolve-se nas águas naturais. É muito comum a apresentação de tabelas de concentrações de saturação de oxigênio em função da temperatura, da pressão e da salinidade da água. A taxa de introdução de Oxigênio Dissolvido em águas naturais através da superfície depende das características hidráulicas do corpo hídrico considerado e é proporcional às velocidades de escoamento do líquido. Outra fonte importante de oxigênio nas águas é a fotossíntese de algas. Este fenômeno ocorre em maior proporção em águas eutrofizadas (BRANCO, 1978).

Uma adequada provisão de Oxigênio Dissolvido é essencial para a manutenção de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais. Através de medição do teor de Oxigênio Dissolvido, os efeitos de resíduos oxidáveis sobre águas receptoras, durante a oxidação bioquímica, podem ser avaliados. Os níveis de Oxigênio Dissolvido também indicam a capacidade de um corpo d'água natural manter a vida aquática.

Coliformes fecais - As bactérias do grupo coliforme são consideradas os principais indicadores de contaminação fecal, pois estão presentes em grandes quantidades no intestino dos animais de sangue quente. A determinação da

concentração dos coliformes assume importância como parâmetro indicador de contaminação por esgotos sanitários e, em decorrência da possibilidade de existência de microorganismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, tais como febre tifóide, febre paratifóide, disenteria bacilar e cólera (BRANCO, 1978).

As temperaturas de corpos de água apresentam variações naturais ao longo das estações do ano, ao decorrer de um único dia e também no seu perfil vertical, comumente chamado como estratificação vertical. Recebe influência dos seguintes fatores: latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade. Contudo, a temperatura também varia devido a efeitos artificiais, como os provocados por despejos industriais. Os seres aquáticos possuem limites de tolerância térmica superior e inferior, temperaturas ótimas para crescimento, temperatura preferida em gradientes térmicos e limitações de temperatura para migração, desova e incubação do ovo.

Além das variáveis tradicionais de medidas de poluição, tem-se adotado outras técnicas de monitoramento da qualidade da água, tais como o biomonitoramento, que se baseia nas respostas dos organismos em relação ao meio onde vivem. Como os rios estão sujeitos a inúmeras perturbações, a biota aquática reage a esses estímulos, sejam eles naturais ou antropogênicos. Nesse contexto, a definição de biomonitoramento mais aceita é o uso sistemático das respostas de organismos vivos para avaliar as mudanças ocorridas no ambiente, geralmente causadas por ações antropogênicas (MATTHEWS et al, 1982).

O uso das respostas dos organismos é a base dos índices biológicos. Bioindicadores, portanto, são espécies escolhidas por sua tolerância ou sensibilidade a vários parâmetros, como poluição orgânica ou outros tipos de poluentes (WASHINGTON, 1984). O termo "resposta biológica" se refere ao conjunto de reações de um indivíduo ou uma comunidade em relação a um estímulo ou a um conjunto de estímulos (ARMITAGE, 1995). Além disso, as metodologias biológicas são bastante eficazes na avaliação de poluição não pontual (difusa), tendo, portanto, grande valor para avaliações em escala regional (PRATT e COLER, 1976).

Mesmo em casos de lançamentos contínuos dentro das normas legais, os indicadores biológicos são muito úteis por sua especificidade em relação a certos tipos de lançamento, já que várias espécies são comprovadamente sensíveis a um

tipo de poluente, mas tolerantes a outros (WASHINGTON, 1984). Assim, índices podem ser criados especificamente para detectar derramamento de óleo, poluição orgânica, alteração de pH da água, lançamento de pesticidas, entre outros.

2.3 Monitoramento da qualidade da água

O monitoramento da qualidade da água tem como finalidade acompanhar as condições ambientais dos corpos hídricos, fornecendo informações para a avaliação da efetividade das ações previstas em planos de recuperação e prevenção dos ambientes aquáticos (AMARO, 2009).

Uma rede de monitoramento da qualidade da água de um rio é uma importante ferramenta para a obtenção de informações no espaço e no tempo da situação ambiental de um corpo de água. Adicionalmente, fornece uma visão evolutiva do ecossistema através do tempo, desde que as variáveis analisadas e o período de amostragem sejam abrangentes o suficiente para representar a sazonalidade que ocorre no ecossistema estudado (SIMEONOV et al, 2002, 2003; BERZAS et al, 2000).

A informação sobre a qualidade da água dos corpos de água no Brasil ainda é insuficiente ou inexistente em várias bacias. Segundo o Ministério do Meio Ambiente - MMA (2002), apenas 09 Unidades da Federação possuem sistemas de monitoramento da qualidade da água considerados ótimos ou muito bons; cinco possuem sistemas bons ou regulares; e treze apresentam sistemas fracos ou incipientes. Segundo este estudo, o monitoramento da qualidade das águas no Estado de Pernambuco é considerado ótimo ou muito bom. Isto deve-se ao trabalho contínuo do órgão ambiental estadual desde meados da década de 80.

Além do monitoramento realizado pelos estados, existe também a Rede Hidrometeorológica Nacional, que conta, atualmente, com 1.671 pontos de monitoramento da qualidade da água operados sob responsabilidade de diversas entidades. Dentre os pontos em operação, 485 (29%) estão sob a responsabilidade da Agência Nacional das águas – ANA. Os demais - 1.186 (71%) pontos - dividem-se entre outras 24 entidades estaduais e federais. Na sua maioria, os pontos de monitoramento estão localizados nas regiões Sul e Sudeste. A periodicidade de monitoramento da maioria dos pontos é trimestral (ANA, 2005).

O Monitoramento da Qualidade das Águas nas Bacias Hidrográficas no Estado de Pernambuco é realizado pela CPRH, desde o ano de 1986 e abrangeu no ano de 2007, segundo o Relatório de Monitoramento de Bacias Hidrográficas do Estado de Pernambuco (2007), 87 estações de amostragem. Estas bacias abrigam a maior concentração populacional do Estado, agrupando o maior número de indústrias geradoras de efluentes que, conjuntamente com os esgotos domésticos, apresentam um elevado potencial poluidor.

Existe certa dificuldade para interpretar extensas séries históricas de dados de monitoramento, especialmente se para a perfeita identificação da qualidade de água de um corpo hídrico, houve a necessidade de monitorar diversos parâmetros. Além do mais, as informações geradas pelos planos de monitoramento são de difícil entendimento para o público em geral, necessitando uma interpretação e ou simplificação para serem úteis (KWIATKOWSKI, 1987).

2.4 Indicadores de qualidade das águas

Quando existe a necessidade de resumir as informações sobre vários parâmetros físicos, químicos e biológicos, com a finalidade de informar o público leigo e orientar as ações de gestão da qualidade da água, são adotados indicadores que integram as informações, os chamados índices de qualidade das águas. Entre as vantagens do uso de índices destacam-se: (i) a facilidade de comunicação com o público não técnico e (ii) o fato de representar uma média de diversas variáveis em um único número. Porém, dentre as desvantagens, a mais relevante é a perda de informação das variáveis individuais e da interação entre elas (CETESB, 2003).

O uso de indicadores de qualidade de água consiste no emprego de variáveis que se correlacionam com as alterações ocorridas no ecossistema aquático, sejam de origens naturais ou antrópicas. Além do mais, os sistemas lóticos possuem características próprias, o que dificulta o estabelecimento de um único parâmetro como um indicador padrão para qualquer sistema hídrico.

Os índices também são fundamentais no processo decisório das políticas públicas, bem como no acompanhamento de seus efeitos. Esta dupla vertente apresenta desafios permanentes de gerar índices que tratem um número cada vez maior de informações (CETESB, 2003).

Khan; Husain e Lumb (2003) observaram que os índices de qualidade da água são instrumentos de simples compreensão, porém fundamentados em bases científicas. Contudo, não é de surpreender que transmitam, resumidamente, a real condição do corpo hídrico e que possuem limitações.

A escolha dos indicadores que farão parte de um índice de qualidade de água depende dos objetivos desejados e das características do corpo de água estudado. As variáveis que definem os indicadores são as físicas, químicas e biológicas. As mais utilizadas são:

- Químicas – Alcalinidade, Amônia, Bicarbonatos, Cádmio, Cálcio, Chumbo, Cloretos, Cobre, DQO, Dureza, Ferro, Fosfato;
- Físicas – Condutividade, Cor, Temperatura, Turbidez, Sólidos;
- Biológicas – Coliformes, Espécies de Algas, Organismos Bentônicos.

Estão sendo cada vez mais estudadas e pesquisadas metodologias para integrar variáveis ambientais em índices específicos. Com relação aos índices que tratam especificamente da qualidade da água de uma bacia hidrográfica, o marco inicial ocorreu em 1965, quando Horton (1965) desenvolveu, através de um estudo pioneiro, índices gerais, selecionando e ponderando variáveis analíticas de qualidade de água. Porém ao longo destas últimas décadas vários outros índices foram desenvolvidos, o Quadro 1 apresenta alguns deles.

Quadro 1 – Índices de qualidade das águas

Índice	Parâmetros
Nemerom e Sumitomo	Cor, Turbidez, Temperatura, Alcalinidade, Dureza, Fluoreto, Nitrato, OD, pH, Sólidos dissolvidos, DBO, Fenóis, Coliformes Fecais, Níquel, Ferro
Brown et al Landwehr e Deininger	Nitrogênio Total, OD, pH, Coliformes Fecais
Brown et al	Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo Total, Mercúrio, Níquel, Zinco
Prati, Pavanello e Pesarin	Cloretos, OD, pH, Carbono

Fonte: CETESB (2003)

2.4 1. IQA adaptado pela CETESB

Diversas técnicas para elaboração de índices de qualidade de água têm sido usadas desde então. Contudo, a mais empregada é o Índice de Qualidade das

Águas – IQA, que foi elaborado no ano de 1970, pelo National Sanitation Foundation - NSF, dos Estados Unidos da América, a partir de uma pesquisa de opinião realizada com vários especialistas em qualidade de águas. Nessa pesquisa, cada especialista indicou os parâmetros a serem avaliados, seu peso relativo e a condição em que se apresenta cada parâmetro.

Dos 35 parâmetros indicadores de qualidade de água inicialmente propostos, foram selecionados apenas 9, que estão apresentados na Tabela 1. Para estes, a critério de cada profissional, foram estabelecidas curvas de variação da qualidade da água de acordo com o estado ou a condição do parâmetro. Estas curvas foram sintetizadas em um conjunto de curvas médias, uma para cada parâmetro. Além de seu peso (w), cada parâmetro possui um valor de qualidade (q), obtido da respectiva curva de qualidade em função de sua concentração ou medida.

Tabela 1 - Parâmetros do índice de qualidade das águas e respectivos pesos

Parâmetro	Unidade	Peso
Oxigênio Dissolvido	% saturação	W = 0,17
Coliformes Fecais	NMP/100mL	W = 0,15
pH	-	W = 0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L	W = 0,10
Temperatura da Amostra	°C	W = 0,10
Nitrogênio Total	mgN/L	W = 0,10
Fósforo Total	MgPO ₄ /L	W = 0,10
Turbidez	NTU	W = 0,08
Resíduo Total	mg/L	W = 0,08

Fonte: CETESB (2003)

O IQA é determinado pelo produto ponderado das qualidades de água correspondentes aos parâmetros: Oxigênio Dissolvido, Coliformes Fecais, pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Temperatura da Amostra, Nitrogênio Total, Fósforo Total, Turbidez e Sólidos Totais que fornece um número entre 0 e 100 como um conceito. A equação (1) seguinte é utilizada:

$$IQA = \prod_{i=1}^n (q_i)^{w_i} \quad (1)$$

onde o IQA é um Índice de Qualidade das Águas, um conceito entre 0 e 100;
 q_i = qualidade de i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida;

w_i = peso correspondente ao i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para conformação global de qualidade, ver equação (2):

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (2)$$

em que, n é o número de parâmetros que entram no cálculo.

Outros índices foram desenvolvidos baseados em características físico-químicas da água, como o de Liebmann e Harkins; além de índices baseados em características biológicas, comumente associados ao estado trófico dos rios.

Todos os índices de qualidade da água contemplam um grau de subjetividade, pois dependem da escolha das variáveis que constituirão os indicadores principais das alterações da qualidade de água. Índices baseados em técnicas estatísticas favorecem a determinação dos indicadores mais característicos do corpo de água em estudo, embora não permitam generalizações para todos os corpos de água, já que cada sistema hídrico, em princípio, possui sua característica peculiar. Por outro lado, como instrumento de avaliação ao longo do tempo ou do espaço, estes índices permitem acompanhar as alterações ocorridas no eixo hidrográfico.

O IQA é o mais comumente índice adotado pelos órgãos ambientais estaduais do Brasil para verificar a qualidade das águas dos seus corpos hídricos.

Os parâmetros de qualidade que fazem parte do cálculo do IQA refletem, principalmente, a contaminação dos corpos hídricos ocasionada pelo lançamento de esgotos domésticos. É importante também salientar que esse índice foi desenvolvido para avaliar a qualidade das águas, tendo como determinante principal sua utilização para o abastecimento público, considerando aspectos relativos ao tratamento dessas águas (CETESB, 2003). É um índice inflexível, pois segundo Moreira (2007) é necessária à inclusão de todas as 09 variáveis predefinidas e não é possível acrescentar nenhuma mais.

Contudo, em decorrência da crescente urbanização e industrialização de algumas regiões do Estado de São Paulo, a CETESB tem utilizado índices específicos para os principais usos dos recursos hídricos, devido, principalmente, a maior complexidade de poluentes que estão sendo lançados nos corpos de água. Dentre eles citam-se: (i) quando a água for destinada para fins de abastecimento

público o índice adotado é o Índice de Abastecimento Público IAP; (ii) quando a água for destinada para a proteção da vida aquática o Índice de Vida Aquática - IVA e (iii) finalmente para águas destinadas para o banho - Classificação da Praia.

Segundo a CETESB (2003), o IAP, comparado com o IQA, é um índice mais fidedigno da qualidade da água bruta a ser captada, a qual, após tratamento, será distribuída para a população. Do mesmo modo, o IVA foi considerado um indicador mais adequado da qualidade da água, visando à proteção da vida aquática, por incorporar, com ponderação mais significativa, parâmetros mais representativos, especialmente a toxicidade e a eutrofização. Observou-se, ainda, que ambos os índices poderão ser aprimorados com o tempo, com a supressão ou inclusão de parâmetros de interesse.

O IQA adotado para avaliação da qualidade das águas no estado de Pernambuco é o IQA da CETESB. Nessa adequação, o nitrato foi substituído por Nitrogênio Total, e o parâmetro fosfato total foi substituído por Fósforo Total, mantendo-se os mesmos pesos ($w = 0,10$) e curvas de qualidade estabelecidas pela NSF. Isto se deveu ao fato do Nitrogênio e Fósforo Total serem parâmetros mais facilmente analisados.

No caso de não se dispor do valor de algum dos 9 parâmetros, o cálculo do IQA é inviabilizado. A classificação da qualidade da água é determinada, considerando-se uma faixa, que varia conforme o Estado da Federação. Para o Estado de Pernambuco os valores estão apresentados na Tabela 2 e foram esses os adotados nesta pesquisa.

Tabela 2 – Faixa e valores do IQA em Pernambuco

Índice - IQA entre:	Faixa de qualidade
80 - 100	Ótima
52 - 79	Boa
37 - 51	Aceitável
20 - 36	Ruim
0 - 19	Péssima

A CPRH, além do IQA, também utiliza, com a finalidade de verificar a qualidade da água dos reservatórios, o Índice do Estado Trófico – IET, e a Avaliação da Ecotoxicidade é efetuada a partir do fator de diluição para *Daphnia magna*.

Com a grande quantidade de informações geradas nos mais de 20 anos de monitoramento da qualidade das águas dos corpos hídricos no Estado de Pernambuco, torna-se quase impossível entendê-los, quanto ao(s) particular(es) objetivo(s) de estudo, se estes dados não estiverem resumidos. Sendo assim, torna-se difícil identificar padrões de comportamento sem a adoção de métodos estatísticos.

Necessário se faz “trabalhar os dados para transformá-los em informações, para compará-los com outros resultados, ou ainda para julgar sua adequação a alguma teoria” (BUSSAB, 2003). Além de que para um bom julgamento estatístico, sumários e apresentações de dados bem constituídos são essenciais. Dessa forma permite focar as características importantes dos dados ou ter discernimento acerca do tipo de modelo que deveria ser usado na solução do problema em questão.

2.5 Avaliação de dados de monitoramento

Segundo Vega (1998) e Perona (1999), é latente a dificuldade em interpretar uma grande quantidade de dados resultante de grandes períodos de monitoramento especialmente se todas as variáveis tem um grau de importância.

A obtenção de informações dos resultados de um experimento engloba a análise de uma grande quantidade de variáveis e que na maioria das vezes apenas um pequeno número delas seria suficiente para obter as informações mais relevantes, as demais agregam pouco ou quase nada à interpretação dos resultados.

A estatística descritiva com a utilização do gráfico de caixa ou diagrama esquemático (Box-plot) é utilizada para representar descritivamente os dados observados de determinado conjunto, podendo facilitar a sua interpretação. É desenvolvido através do desenho de uma caixa, cujos extremos correspondem aos quartis inferior (percentil 25) e superior (percentil 75) dos dados, com o local da mediana, isto é, do ponto que separa os 50% valores inferiores do conjunto de dados dos 50% valores superiores do mesmo conjunto de dados. Portanto, a caixa representa a metade central (50%) dos dados (segundo e terceiro quartis). O local da mediana diz se existe ou não simetria central dos dados, comparando sua localização em relação aos extremos da caixa. A altura da caixa é igual à amplitude

interquartílica, enquanto a largura é arbitrária. A amplitude dos dados é representada por linhas, cujo comprimento vai da caixa até o extremo dos dados.

Outra forma de interpretação de dados na estatística é a Análise Multivariada que corresponde a um grande número de técnicas e métodos que utilizam simultaneamente todas as variáveis dos estudos na interpretação teórica do conjunto de dados obtidos e tem como objetivo reduzir a complexidade das informações.

Ao conjunto de técnicas estatísticas para análise de dados, em que os parâmetros são estimados de uma mesma unidade experimental denomina-se Análise Multivariada. Os métodos estatísticos multivariados para modelar a dependência entre variáveis são: análise de regressão múltipla, análise de correspondência múltipla e análise discriminante. Para modelar a independência, tem-se: análise fatorial, análise de agrupamento, análise de correlação canônica, análise de componentes principais e alguns métodos não-paramétricos.

Dentre as técnicas multivariadas a que se destaca é a Análise de Componentes Principais – ACP, que possibilita investigações com um grande número de dados disponíveis, além de identificar os parâmetros responsáveis pelas maiores variações entre os resultados, sem perdas significativas de informações. Adicionalmente, transforma um conjunto original de variáveis em outro conjunto: os componentes principais - CP de dimensões equivalentes. Essa transformação, em outro conjunto de variáveis, ocorre com a menor perda de informação possível, sendo que esta também busca eliminar algumas variáveis originais que possuam pouca informação. Essa redução de variáveis só é possível porque os parâmetros que indicam a qualidade da água possuem independência estatística e são correlacionados.

A análise de componentes principais tem a finalidade de substituir um conjunto de variáveis correlacionadas por um conjunto de novas variáveis não correlacionadas, sendo essas combinações lineares das variáveis iniciais, e colocadas em ordem decrescente por suas variâncias, $VAR CP1 > VAR CP2 > \dots > VAR CPp$ (VERDINELLI, 1980).

Para a determinação das componentes principais, é necessário calcular a matriz de variância-covariância, ou a matriz de correlação, encontrar os autovalores e os autovetores e, por fim, escrever as combinações lineares, que serão as novas variáveis, denominadas de componentes principais, sendo que cada componente

principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais, independentes entre si e estimadas com o propósito de reter, em ordem de estimação e em termos da variação total, contida nos dados iniciais, (REGAZZI, 2001). A Figura 1 é a representação gráfica de uma componente principal.

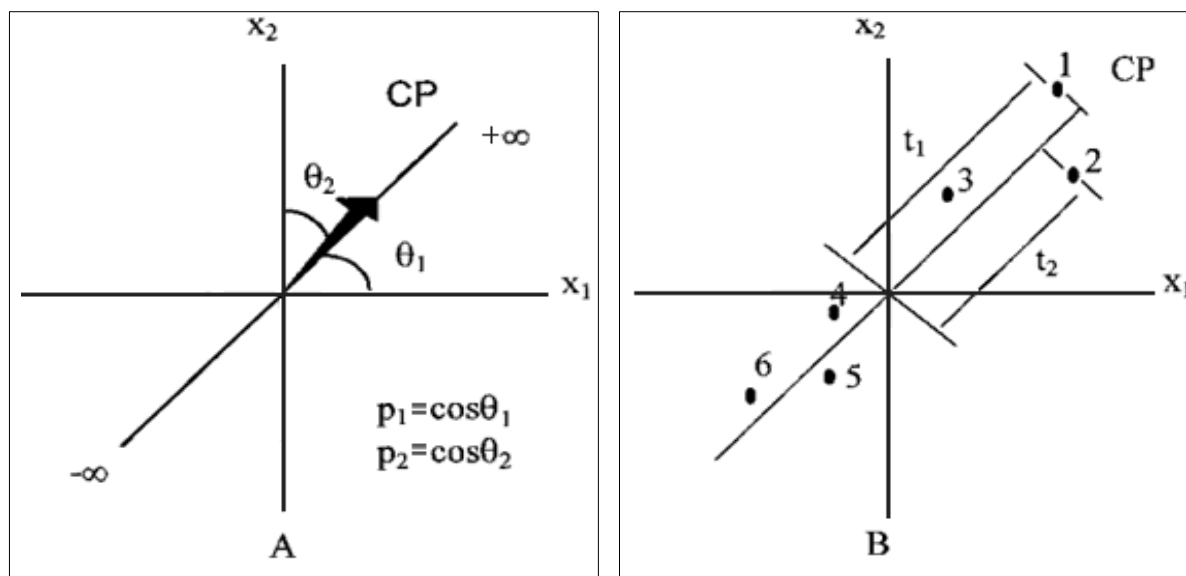


Figura 1 – Representação gráfica de uma componente principal

A Análise das Componentes Principais - ACP interpreta a estrutura de um conjunto de informações multivariadas considerando matrizes de variâncias-covariâncias ou de correlações entre os parâmetros analisados e consiste em uma transformação linear de todas as variáveis originais em novas variáveis, de tal modo que a primeira nova variável computada seja responsável pela maior parte da variação possível existente no conjunto de informações, a segunda pela maior variação possível restante, e assim em diante até que toda a variação do conjunto tenha sido explicada (GOMES, 1985; LUDWIG e REYNOLDS, 1988; LANDIM, 2000; ODDEN e KVALHEIM, 2000). Em outras palavras a componente principal 1 detém mais informação estatística que a componente principal 2, que por sua vez tem mais informação estatística que a componente principal 3 e assim por diante.

A matriz de variância-covariância é expressa pelas ligações realizadas entre as p variáveis, tomadas duas a duas resumidas por suas covariâncias S_{ij} . Considerando as variáveis X_1, X_2, \dots, X_p , denota-se a matriz de covariância por S da seguinte forma:

$$S = \begin{bmatrix} \hat{V}ar(X_1) & \hat{C}ov(X_1, X_2) & \dots & \hat{C}ov(X_1, X_p) \\ \hat{C}ov(X_1, X_2) & \hat{V}ar(X_2) & \dots & \hat{C}ov(X_2, X_p) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hat{C}ov(X_1, X_p) & \hat{C}ov(X_2, X_p) & \dots & \hat{V}ar(X_p) \end{bmatrix} \quad (3)$$

Sendo que o conjunto de variância-covariância está representado na matriz S, chamada matriz de variância-covariância das p variáveis. O termo situado na intercessão da i-ésima linha e da j-ésima coluna é a covariância de (S_{ij}), e os termos da diagonal principal são as variâncias (S_{ii}).

$$\hat{V}ar(X_j) = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n X_{ij}^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_{ij} \right)^2}{n} \right] \quad (4)$$

$$\hat{C}ov(X_j, X_j) = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n X_{ij} X_{ij} - \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_{ij} \right) \left(\sum_{i=1}^n X_{ij} \right)}{n} \right] \quad (5)$$

Observa-se que a matriz S é uma matriz quadrada de ordem p x p simétrica, pois S_{ij} = S_{ji}.

Matriz de correlação é utilizada quando necessita-se de uma padronização dos dados, dessa forma evita-se problemas com a influência da magnitude das variáveis.

Considerando-se X₁, X₂, ..., X_p, as variáveis originais, a estimativa da matriz de correlação (que é à estimativa da matriz de variância-covariância entre as variáveis padronizadas Z₁, Z₂, ..., Z_p) é denotada por R, da seguinte forma:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1p} \\ r_{12} & 1 & \dots & r_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{1p} & r_{2p} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Na qual:

$$r_{ij} = r(X_j, X_j) = \text{Cov}(Z_j, Z_j) = \frac{\text{Cov}(X_j, X_j)}{\sqrt{\text{Var}(X_j)\text{Var}(X_j)}} \quad (7)$$

Como é possível observa, os termos da diagonal principal na matriz de correlação R valem todos 1, pois a correlação entre $r_{11}, r_{22}, \dots, r_{pp}$ é igual a 1 para $j = 1, 2, \dots, p$.

A matriz R é uma matriz quadrada de ordem $p \times p$, simétrica em relação a diagonal principal, pois $r_{ij} = r_{ji}$.

O escalar Λ é chamado de autovalor e o vetor \vec{x} um autovetor.

Seja S a matriz de variância-covariância quadrada $p \times p$ e I a matriz identidade $p \times p$, logo os escalares $\Lambda_1, \Lambda_2, \dots, \Lambda_p$, satisfazem a equação polinomial.

$$|S - \Lambda I| = 0 \quad (8)$$

E são chamados de autovalores, ou raízes características da matriz S.

Seja S a matriz de variância-covariância de dimensão $p \times p$, e seja Λ um autovalor de S, logo \vec{x} é um vetor não nulo ($x \neq 0$), tal que:

$$S\vec{x} = \Lambda\vec{x} \quad (9)$$

No qual \vec{X} é uma matriz $p \times p$ de todos os autovetores e Λ uma matriz $p \times p$ de todos os autovalores. Então \vec{x} é dito autovetor ou vetor característico da matriz S associada com o valor Λ .

Uma das vantagens principais da modelagem dos dados em termos da ACP é a facilidade de visualização das principais componentes em mais de duas dimensões. Com o método de ACP é possível identificar do conjunto de dados qual a variável mais relevante.

Segundo Pimentel (2003), analisando-se os gráficos de escores e pesos gerados na ACP é possível identificar facilmente padrões de associação e similaridade, tanto entre amostras, quanto entre variáveis. Esses padrões servem de base para definir relações temporais e/ou espaciais entre as amostras e as variáveis.

Ouyang (2005) reduziu o número de estações de monitoramento do rio St. Johns na Florida nos Estados Unidos, como resultado da aplicação da ferramenta de

ACP. Nesse estudo foram identificadas 3 das 22 estações que eram menos importantes na avaliação da qualidade da água do rio.

Vega et al (1998) aplicou a ferramenta ACP para avaliar os efeitos da sazonalidade e da poluição em 22 km de extensão do rio Pisuerga, pertencente a bacia do Rio Duero, localizado na região de Castilla y Leon na Espanha. Foram estudados 22 parâmetros físico-químicos em amostras coletadas a cada três meses ao longo de dois anos e meio. A técnica de ACP demonstrou que: (i) a quantidade de minerais no corpo hídrico depende do clima e da sazonalidade, (ii) a poluição por matéria orgânica e nutrientes é devida a fontes antropogênicas, principalmente esgotos domésticos.

Silva e Sacomani (2001), estudando o Rio Pardo, no estado de São Paulo, concluíram que, com a aplicação da técnica de ACP foi possível extrair correlações e similaridade entre os parâmetros analisados e agrupar as amostras em subconjuntos cada um com uma especificidade. Como consequência, foi possível concluir que a qualidade da água piora consideravelmente na época seca e demonstrar que a qualidade de água de Rio Pardo é modificada porque possui fontes poluidoras com alto conteúdo de sal e condutividade, bem como sais inorgânicos.

Shrestha e Kazama (2006) avaliaram e interpretaram dados de monitoramento da qualidade da água da bacia do rio Fuji, no Japão. O monitoramento deu-se no período entre os anos de 1995 e 2002, onde foram analisados 12 parâmetros em 13 estações de coleta, perfazendo um total de 14.976 observações. Com a aplicação da ACP foi possível agrupar, baseado na similaridade das características da qualidade da água, os dados em três subgrupos, quais sejam: relativamente menos poluído (LP), médio poluído (MP) e muito poluído (HP). A ACP indicou que os parâmetros com maior correlação na área menos poluída são a temperatura (natural) e compostos orgânicos (fontes pontuais, esgoto doméstico) na área com índice médio de poluição os parâmetros mais relevantes para indicar a poluição foram os compostos orgânicos (fontes pontuais, esgoto doméstico) e nutrientes (fontes difusas, agricultura) e os compostos orgânicos e nutrientes (fontes pontuais, esgoto doméstico, estações de tratamento de esgotos domésticos e industriais) nas áreas consideradas mais poluídas.

Sarbua e Popb (2004) aplicando a ACP para os dados de monitoramento da qualidade da água do Rio Danúbio identificou que, assim como qualquer método de

análise multivariada, a ACP é uma ferramenta sensível quando a base de dados apresenta valores muito díspares entre si, ou ausência de valores, ou ainda com amostras que tem uma baixa correlação linear. Como resultado a ACP pode descrever as similaridades e correlações erroneamente. No estudo de caso do rio Danúbio, e considerando os valores originais, a componente principal 1 explicou apenas 24,1% do total da variância e a componente principal 2 apenas 15,7%.

Adicionalmente a técnica de ACP tem sido adotada para investigar o gradiente de nutrientes dentro de um reservatório (PERKINS e UNDERWOOD, 2000) e de estimar no espaço e tempo a contaminação por metais pesados (SHINE et al, 1995).

O estudo de caso desta pesquisa será na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe onde será aplicada a metodologia de ACP.

2.6 Estudo de caso Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe

Todo o desenvolvimento da metodologia teve como partida a sua aplicação na Bacia do Capibaribe.

2.6.1 Importância da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe para o desenvolvimento do estado

A Divisão Hidrográfica Estadual, em Pernambuco, é composta por 13 bacias hidrográficas, 06 grupos de bacias de pequenos rios litorâneos, 09 bacias de pequenos rios interiores e mais uma que compõe o sistema de drenagem do arquipélago de Fernando de Noronha.

No estado de Pernambuco existem duas vertentes para onde drenam as suas bacias hidrográficas: uma é o Rio São Francisco, congregando as seguintes bacias Pontal, Garças, Brígida, Terra Nova, Pajeú, Moxotó, Ipanema e os grupos de pequenos rios interiores. A outra vertente é o Oceano Atlântico, cujas principais bacias de drenagem são: Capibaribe, Sirinhaém, Goiana, Una, Mundaú, Ipojuca e mais o grupo de Bacias de Pequenos Rios Litorâneos. A maioria das bacias está inserida dentro dos limites territoriais do Estado. Adiante se apresenta a Figura 2 com a situação da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe no estado de Pernambuco.

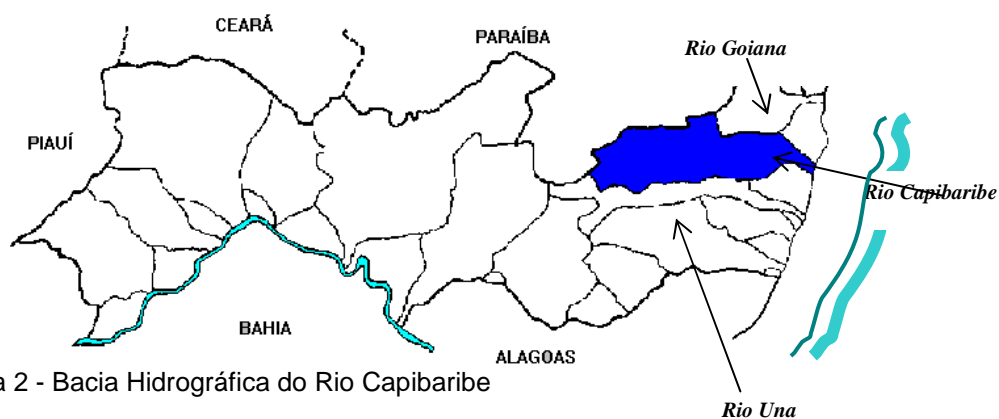


Figura 2 - Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe

A Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe tem grande importância social e histórica na formação e no desenvolvimento de Pernambuco e, por conseguinte, na região Nordeste do Brasil. Na época colonial, foi uma ligação entre a cultura da cana-de-açúcar da Zona da Mata Pernambucana e os currais do Agreste e do Sertão, daí ter surgido à denominação de rio-ponte (GASPAR, 2009).

Segundo o Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe – PDRH CAPIBARIBE (2002), a população residente na Bacia, no ano de 2000, era de 1.410.940 habitantes, correspondendo, aproximadamente, a 20% de toda a população do Estado, fator que influenciou a decisão da escolha da Bacia do Capibaribe para este estudo, em detrimento das demais. Além do que, segundo a FIDEM (1999) a Bacia é, atualmente, um território de oportunidades para o desenvolvimento de várias atividades econômicas para o Estado, algumas já consolidadas, como o Pólo da Moda, que inclui os municípios de Toritama, Santa Cruz do Capibaribe e Caruaru, este último com sede na bacia do Ipojuca, e que pode ter o seu desenvolvimento limitado devido a escassez de recursos hídricos.

Diferentemente das demais cidades do interior do Estado de Pernambuco, principalmente na Região Nordeste, os municípios citados no parágrafo anterior conseguem manter a sua economia aquecida durante a maior parte do ano, devido à confecção de peças para vestuário em jeans. Além disso, a taxa de desemprego chega a ser a 2ª menor do Estado: 91,7% da população economicamente ativa estão empregadas na fabricação do jeans.

A bacia apresenta uma área de 7.438,56 Km², que corresponde a 7,85% da área do Estado, englobando total ou parcialmente o território de 43 municípios. Existem, na Bacia do Capibaribe, importantes barragens de amortecimento de cheias e de abastecimento público. Segundo o PDRH – CAPIBARIBE (2002), o

volume total de armazenamento de água na bacia é de aproximadamente 800 milhões de m³. A Tabela 3 apresenta os principais açudes com sua finalidade e capacidade máxima de armazenamento.

Tabela 3 - Principais açudes da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe

Açude	Município	Finalidade	Capacidade Máxima m ³
Carpina	Carpina	Controle de cheias	270.000.000
Cursai	Paudalho	Abastecimento	7.684.000
Eng. G. Pontes / Tabocas	Caruaru	Abastecimento e irrigação	11.224.714
Goitá	Glória de Goitá	Controle de cheias	35.380.000
Jucazinho	Surubim	Abastecimento e controle de cheias	327.000.00
Lagoa do Porco	Surubim	Abastecimento	1.036.200
Machado	Brejo da Madre de Deus	Abastecimento	1.228.340
Matriz da Luz	São Lourenço da Mata	Abastecimento e irrigação	1.245.000
Oitis	Jataúba	Abastecimento e irrigação	3.020.159
Poço Fundo	Santa. Cruz do Capibaribe	Abastecimento e irrigação	27.750.000
Santa Luzia	Carpina	Abastecimento	1.540.263
Tapacurá	São Lourenço da Mata	Abastecimento e controle de cheias	94.200.000
Várzea do Una	São Lourenço da Mata	Abastecimento	11.568.010

Fonte: PDRH CAPIBARIBE (2002)

Quanto à gestão dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe foi instalado, no dia 23 de março de 2007, o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe, que é composto por 42 Municípios, com 45 membros. Os Comitês de Bacias Hidrográficas fazem parte da composição do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco e são órgãos colegiados, consultivos e deliberativos que têm como

área de atuação: a totalidade de uma bacia hidrográfica; a totalidade de uma sub-bacia hidrográfica tributária do curso de água principal da bacia e/ou grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas. Eles são compostos por 40% de representantes dos poderes executivos da União, do Estado e dos municípios de membros; de 40% de usuários e 20% da sociedade civil (cf. Lei Estadual nº 12.984/05).

2.6.2 Caracterização física da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe

Dados gerais

No Plano Estadual de Recursos Hídricos (1999), a Bacia do Capibaribe foi definida como a Unidade de Planejamento Hídrico 2 - UP2 e tem os seus limites territoriais inseridos no Estado de Pernambuco, entre as coordenadas 07°41'20" e 08°19'30" de latitude sul e 34°51'00" e 36°41'58" de longitude oeste. No vocábulo Tupy *Caapiuar-y-be* (Capibaribe) é lugar de capivaras, ou seja, porcos selvagens (GALVÃO, 1908).

Limita-se ao norte com a bacia hidrográfica do rio Goiana e o estado da Paraíba; ao sul com a bacia hidrográfica do rio Ipojuca; a leste com o Oceano Atlântico e com as bacias hidrográficas secundárias dos rios Beberibe, Botafogo, Pirapama, Jaboatão e Igarassu; a oeste, ainda com a bacia hidrográfica do rio Ipojuca e também com o estado da Paraíba.

O rio Capibaribe nasce na divisa territorial dos municípios de Poção e Jataúba, a uma altitude aproximada de 1.000 m acima do nível do mar e possui uma extensão de 220 Km até a sua foz, isto é o Oceano Atlântico na cidade do Recife. Drena 42 municípios pernambucanos, dentre os principais citam-se as cidades de: Santa Cruz do Capibaribe, Toritama, Salgadinho, Limoeiro, Paudalho, São Lourenço da Mata e Recife. O rio Capibaribe apresenta regime fluvial de intermitência nos seus alto e médio cursos até o município de Limoeiro, passando daí a ser perene. É navegável nos seus últimos 12 Km, em direção à foz.

Apesar de o Capibaribe ser, em sua maior parte, intermitente, nas épocas de inverno torna-se tão caudaloso que, às vezes, provoca enchentes e estragos nas áreas ribeirinhas dos municípios do interior. Por este motivo foi considerado vilão nas décadas de 60 e 70, quando ocorreram cheias de proporções catastróficas. Alcoforado (1999) cita que a maior enchente registrada neste século, no rio

Capibaribe, ocorreu em julho de 1975, atingindo as cidades de: Limoeiro, Paudalho e São Lourenço da Mata, antes de inundar a cidade do Recife.

Os principais afluentes à sua margem direita são: rio Tapacurá, rio Goitá, rio Cotunguba, rio Tabocas, riacho Aldeia Velha, rio Fazenda Velha e riacho Carapotós. À sua margem esquerda destacam-se: riacho Pará, rio Tapera, rio Carai e riacho Jataúba. A Figura 3: apresenta a Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe com a sua rede hidrográfica principal.

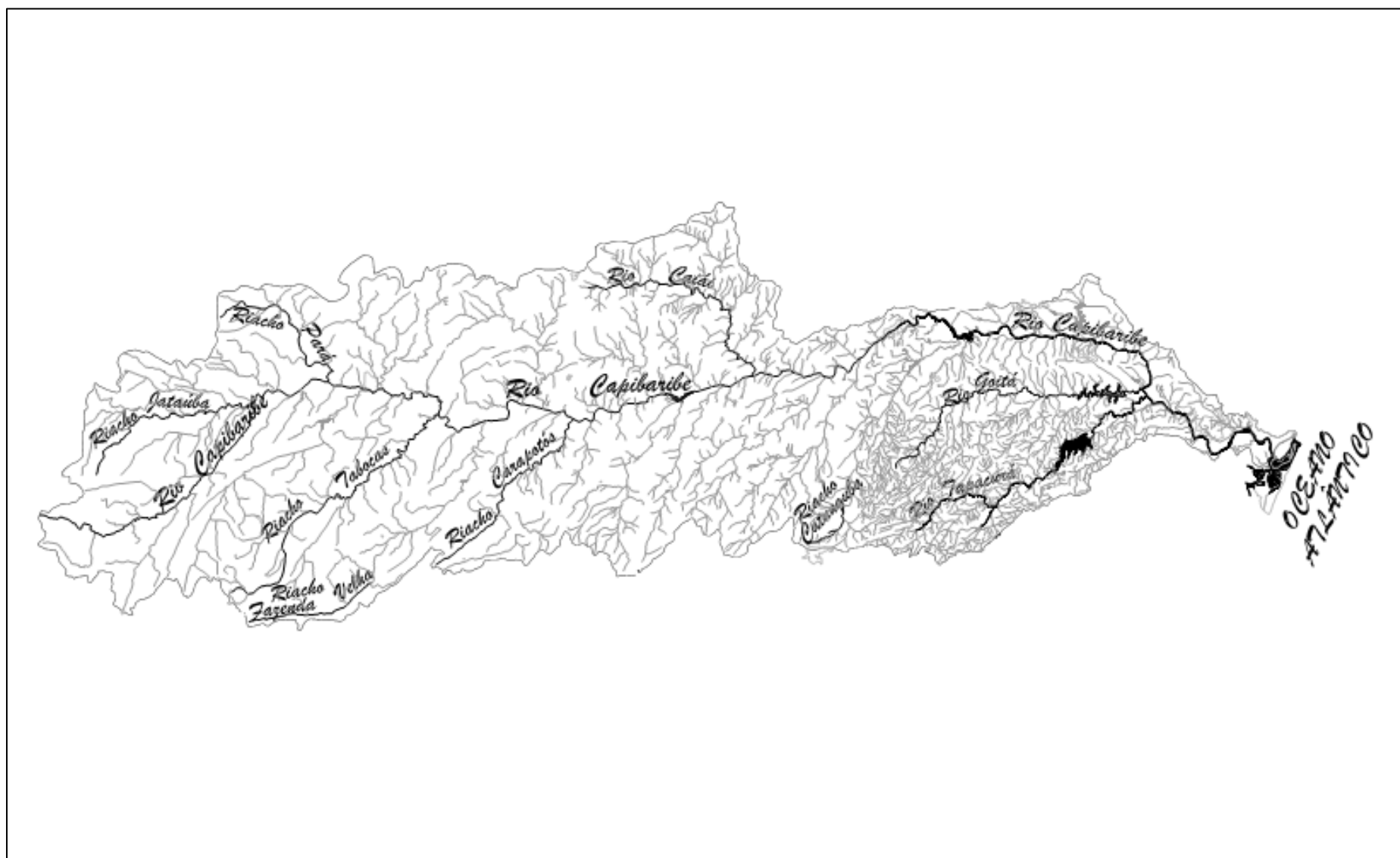


Figura 3 - Rede hidrográfica principal da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe

A Bacia foi subdividida no seu Plano Diretor, para fins de análise e posterior obtenção dos dados necessários ao estudo de demandas hídricas, em quatro unidades de análise - A Figura 4 apresenta a Bacia do Capibaribe com as suas Unidades de Análises -, quais sejam:

- Unidade de Análise 1 (UA-1): localizada na região do Alto Capibaribe, engloba total ou parcialmente o território de 10 (dez) municípios - Santa Cruz do Capibaribe, Jataúba, Brejo da Madre de Deus, Taquaritinga do Norte, Caruaru, Belo Jardim, Pesqueira, Sanharó, Toritama e Poção.
- Unidade de Análise 2 (UA-2): integra juntamente com a UA-3 a região do Médio Capibaribe, englobando total ou parcialmente o território de 14 (quatorze) municípios - Belo Jardim, Bezerros, Brejo da Madre de Deus, Caruaru, Cumaru, Frei Miguelino, Riacho das Almas, Santa Maria do Cambucá, São Caitano, Surubim, Tacaimbó, Taquaritinga do Norte, Toritama e Vertentes.
- Unidade de Análise 3 (UA-3): integra a região do Médio Capibaribe, englobando o território de 17 municípios - Bezerros, Bom Jardim, Casinhas, Cumaru, Feira Nova, Glória do Goitá, Gravatá, João Alfredo, Lagoa do Carro, Lagoa do Itaenga, Limoeiro, Passira, Pombos, Salgadinho, Santa Maria do Cambucá, Surubim e Vertente do Lério.
- Unidade de Análise 4 (UA-4): localizada na região do Baixo Capibaribe, engloba total ou parcialmente o território de 18 municípios - Camaragibe, Carpina, Chã de Alegria, Chã Grande, Feira Nova, Glória do Goitá, Gravatá, Lagoa do Carro, Lagoa Itaenga, Moreno, Passira, Paudalho, Pombos, Recife, Olinda, São Lourenço da Mata, Tracunhaém e Vitória de Santo Antão.

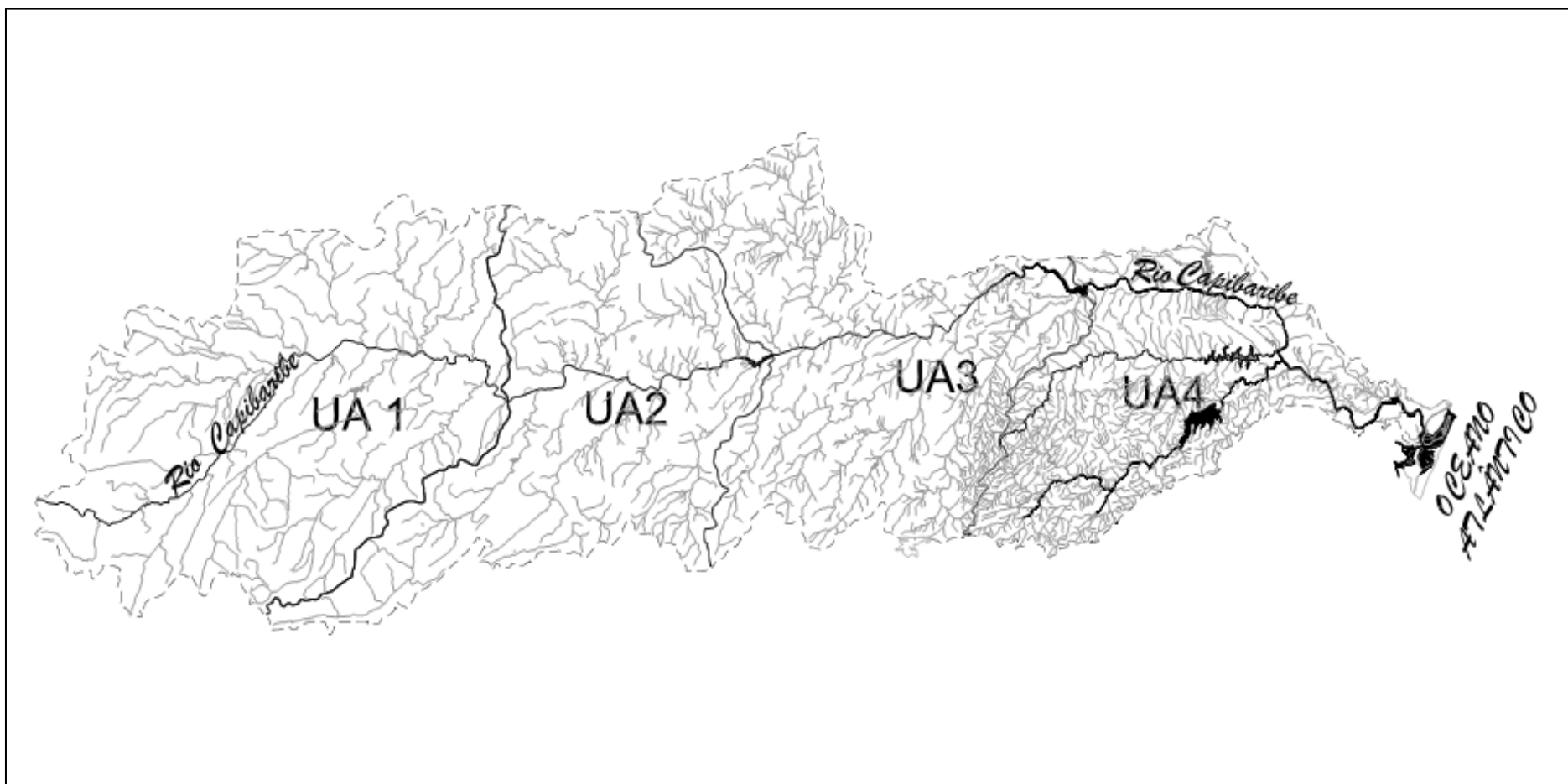


Figura 4 - Unidades de análise da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe

Uso e ocupação do solo

Segundo o PDRH CAPIBARIBE (2002), devido à extensão da Bacia e das diferentes zonas fisiográficas, existe uma grande diversificação de vegetação e uso dos solos, principalmente na sua complexa foz densamente habitada, com ênfase nos municípios de Recife e São Lourenço da Mata, reflexo do impacto da ação antrópica sobre a vegetação ao longo dos séculos de ocupação desordenada.

O uso e ocupação do solo e vegetação da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe foi identificado quando da elaboração do mapeamento temático de Vegetação e Uso do Solo no PDRH CAPIBARIBE (2002), que utilizou as imagens do satélite americano LANDSAT 5, sensor TM “Thematic Mapper” para confeccionar o referido mapa. As melhores imagens disponíveis da região e utilizadas no mapeamento estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Imagens utilizadas para desenvolvimento do mapa de uso e ocupação do solo

Imagem	Data
214/065	20/02/96
215/065	6/08/99
215/066	20/11/94

Fonte: PRDH CAPIBARIBE (2002)

Sob essas imagens, foi realizada a interpretação das informações multiespectrais, que geraram a classificação da vegetação e uso do solo. O software utilizado para o processamento da imagem foi o ERDAS Imagine, versão 8.2.

Com as cenas disponíveis e as cartas da SUDENE a equipe do PDRH CAPIBARIBE (2002) fez as retificações das imagens do satélite, partindo das coordenadas dos pontos, extraídas das referidas cartas. Após o georeferenciamento destas imagens, procedeu-se à montagem do mosaico da bacia. Sobre este mosaico, recortado digitalmente, segundo os limites da bacia, foram lançadas as demais informações vetoriais da base cartográfica: rede de drenagem, rede viária e cidades, permitindo a localização dessas informações, objetivando a análise temporal entre as cartas sistemáticas e as imagens, atualizando assim os componentes planimétricos da base cartográfica.

A identificação das amostras das classes de vegetação e uso do solo se pautou nas informações pessoais da equipe de trabalho do plano, como também e

principalmente, na Carta de Vegetação elaborada pela FAO/PNUD, a partir de imagens analógicas do satélite LANDSAT - TM, de 1990, na escala de 1:100.000; e de estudos comparativos de vizinhança, recodificação, filtragem e conhecimentos de campo.

Após a elaboração da Carta, foram definidos os seguintes elementos de domínio da vegetação:

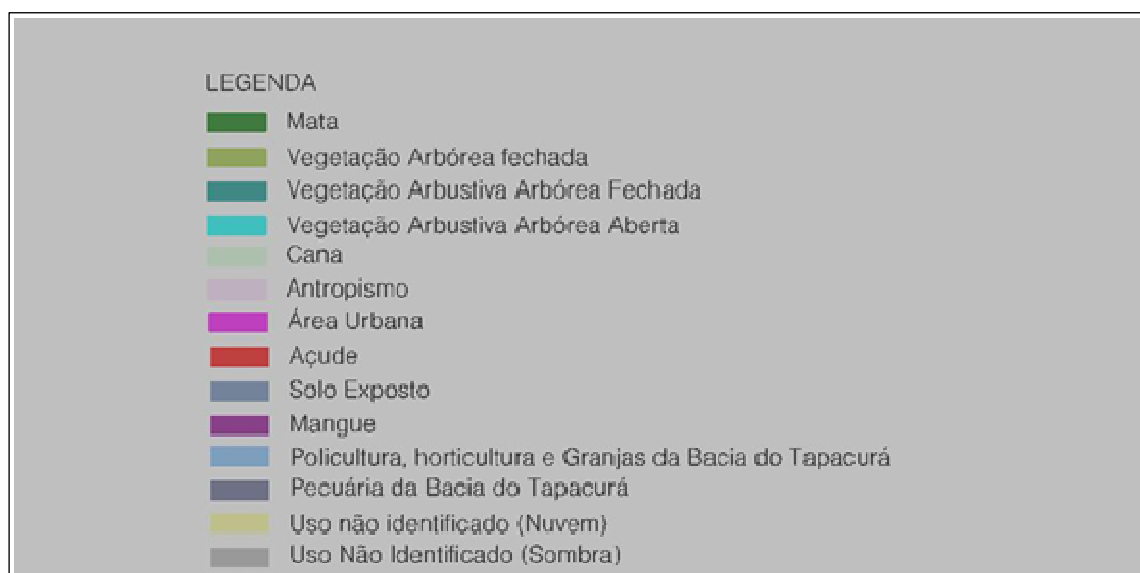
- Vegetação arbórea fechada/matias – este elemento é a vegetação nativa, ou mata, em bom estado de conservação, com ocorrência de espécimes de Mata Atlântica e também o ecossistema Caatinga. A cobertura vegetal de mata está bastante degradada e seus remanescentes correspondem a pequenas manchas, principalmente nos topos dos morros e encostas mais íngremes. A vegetação arbórea fechada do ecossistema Caatinga é encontrada, principalmente na porção oeste da bacia;
- Vegetação arbustiva arbórea fechada – com predominância de espécimes arbóreos de porte médio, ora mais agrupados, ora mais espaçados e encontra-se em precário estado de conservação;
- Vegetação arbustiva arbórea aberta – Corresponde à vegetação secundária decorrente de desmatamento, vegetação em estágio inicial de regeneração ou ainda de áreas abandonadas ou em estágio de pousio. Esse padrão é distribuído ao longo de toda a bacia de forma espaçada;
- Mangue - Ocupa áreas próximas às desembocaduras do rio.

Quanto ao uso e ocupação do solo, o PDRH CAPIBARIBE (2002) destacou os seguintes componentes da paisagem:

- Núcleos urbanos - caracterizados pela estrutura linear do traçado das vias e edificações, correspondem às áreas de abrangência e de expansão urbana das sedes municipais, distritos e seu entorno;
- Cana-de-açúcar - caracterizada pela homogeneidade da sua textura e sua grande extensão, ocupando parte das terras localizadas na planície costeira e na zona da mata;
- Antropismo/policultura/pastagem - são áreas onde predominam as atividades exercidas pelo homem, com atividades predominantes de cultivo

de lavoura de subsistência (feijão, batata-doce, milho, macaxeira, mandioca) e fruticultura (coco, banana, abacaxi, mamão, graviola).

A Figura 5 apresenta o mapeamento com esta classificação e adiante apresenta-se a legenda da referida figura.



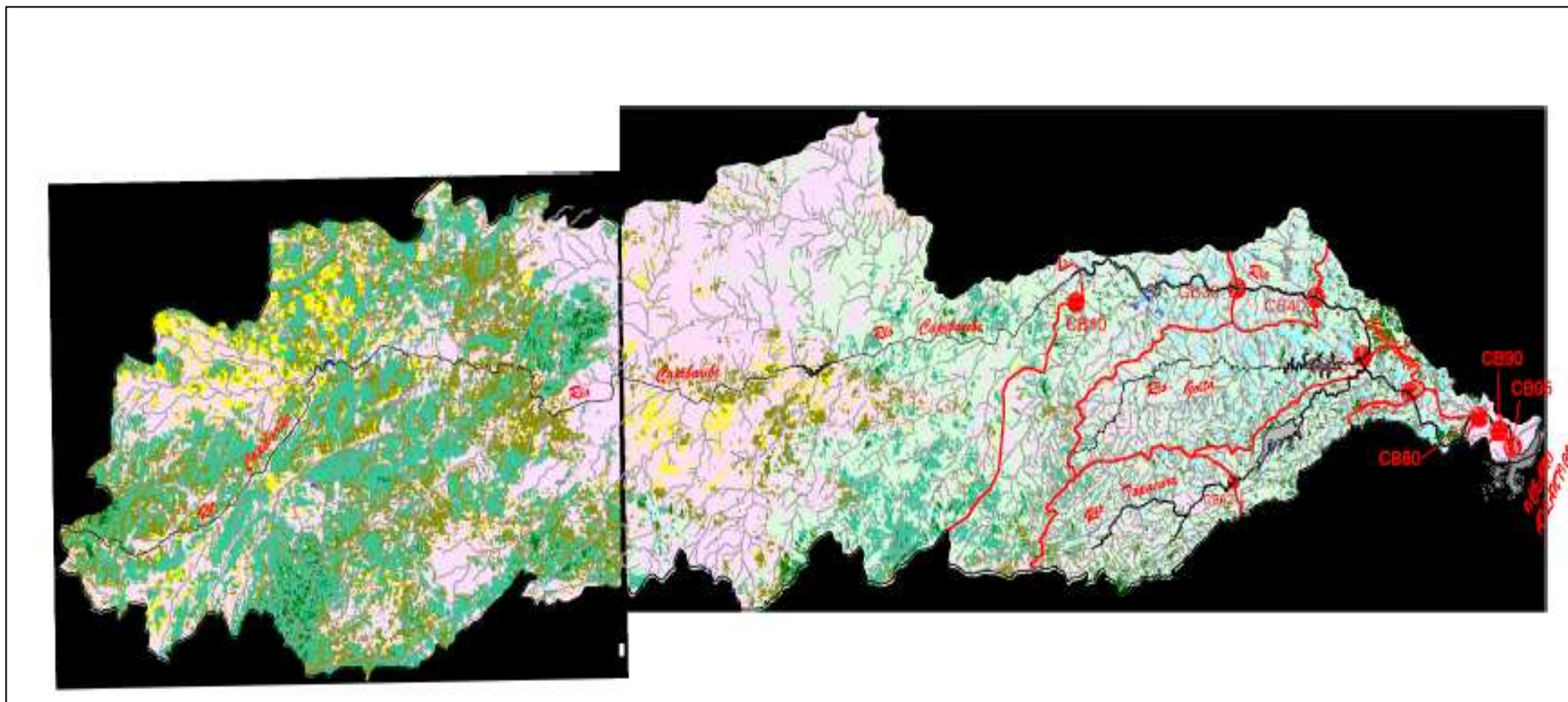


Figura 5 - Uso e ocupação do solo e de vegetação da bacia do rio Capibaribe

2.6.3 Monitoramento da qualidade da água da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe

Os dados relativos à Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe constituem uma série histórica bastante extensa, com coletas realizadas desde o ano de 1986. A frequência de amostragem variou ao longo de todo o período de monitoramento, provavelmente, devido à contenção de custos e revisão periódica do próprio Plano.

Segundo o Relatório de Monitoramento da Qualidade das Águas do Estado de Pernambuco (2007), a localização das estações de amostragem de água das bacias hidrográficas do Estado é estabelecida em função de: (i) zonas homogêneas de qualidade da água, (ii) presença de fontes potencialmente poluidoras com lançamento de efluentes nos cursos d'água e (iii) corpos d'água afluentes a reservatórios.

Para a Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe, as coletas foram efetuadas com frequência mensal, bimensal e semestral, dependendo do Plano de Monitoramento, em execução no ano da coleta.

O Quadro 2 identifica as estações de coleta da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe, entre os anos de 1990 e 2008 (período de amostragem disponibilizado pela CPRH).

Quadro 2 - Estações de coleta na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe (1990 e 2008) - Continua

Estação	Corpo d'água	Local
CB-05	Rio Capibaribe	Montante da Cidade de Limoeiro, em frente à antiga fábrica Santa Virgínia
CB-10	Rio Capibaribe	Jusante da cidade de Limoeiro
CB-20	Riacho Califórnia	Jusante do curtume Califórnia
CB-30	Rio Capibaribe	A 2 km a jusante da Usina Petribú
CB-35	Rio Capibaribe	Montante de Paudalho
CB-40	Rio Capibaribe	Na ponte da BR-408, a jusante da cidade de Paudalho
CB-45	Rio Capibaribe	Montante da Usina Mussurepe
CB-50	Rio Capibaribe	Jusante da Usina Mussurepe, 200m após receber os despejos da Usina
CB-55	Rio Goitá	Antes do deságüe do Rio Goitá no Rio Capibaribe
CB-62	Rio Tapacurá	Ponte na PE-50 a jusante de Vitória de Santo Antão
CB-70	Rio Capibaribe	500m a jusante da Usina Tiúma

Quadro 2 - Estações de coleta na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe (1990 e 2008) – Conclusão

Estação	Corpo d'água	Local
CB-72	Rio Capibaribe	A jusante de São Lourenço da Mata, na antiga barragem
CB-73	Rio Capibaribe	Jusante da fábrica Fiat Lux
CB-75	Rio Camaragibe	Montante da Indústria Têxtil Braspérora
CB-77	Rio Camaragibe	Próximo a sua foz, ponte BR-101-Norte
CB-80	Rio Camaragibe	Ponte na Av. Caxangá
CB-83	Riacho Cavouco	Afluente pela margem direita do rio Capibaribe, na Av. Caxangá
CB-85	Canal da Ilha do Retiro	Por trás do campo do Sport Club do Recife
CB-88	Rio Capibaribe	Na ponte da rua 19 de Abril
CB-90	Rio Capibaribe	Ponte de pedestre ao lado do Parque Santana
CB-92	Rio Capibaribe	Na ponte da Torre
CB-93	Rio Capibaribe	Na ponte da Madalena situada na Rua José Osório
CB-95	Rio Capibaribe	Ponte na rua Eng.º Abdias de Carvalho, Ilha do Retiro, em frente ao Sport Club do Recife
CB-97	Braço morto do Capibaribe	Ponte sobre o mesmo na Av. Sul em Afogados

Fonte: CPRH – Planilhas eletrônicas com toda a série de dados (2008)

Adiante apresenta-se a Figura 6 com a indicação de todas as estações de coleta da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe monitoradas entre os anos de 1990 e 2008.

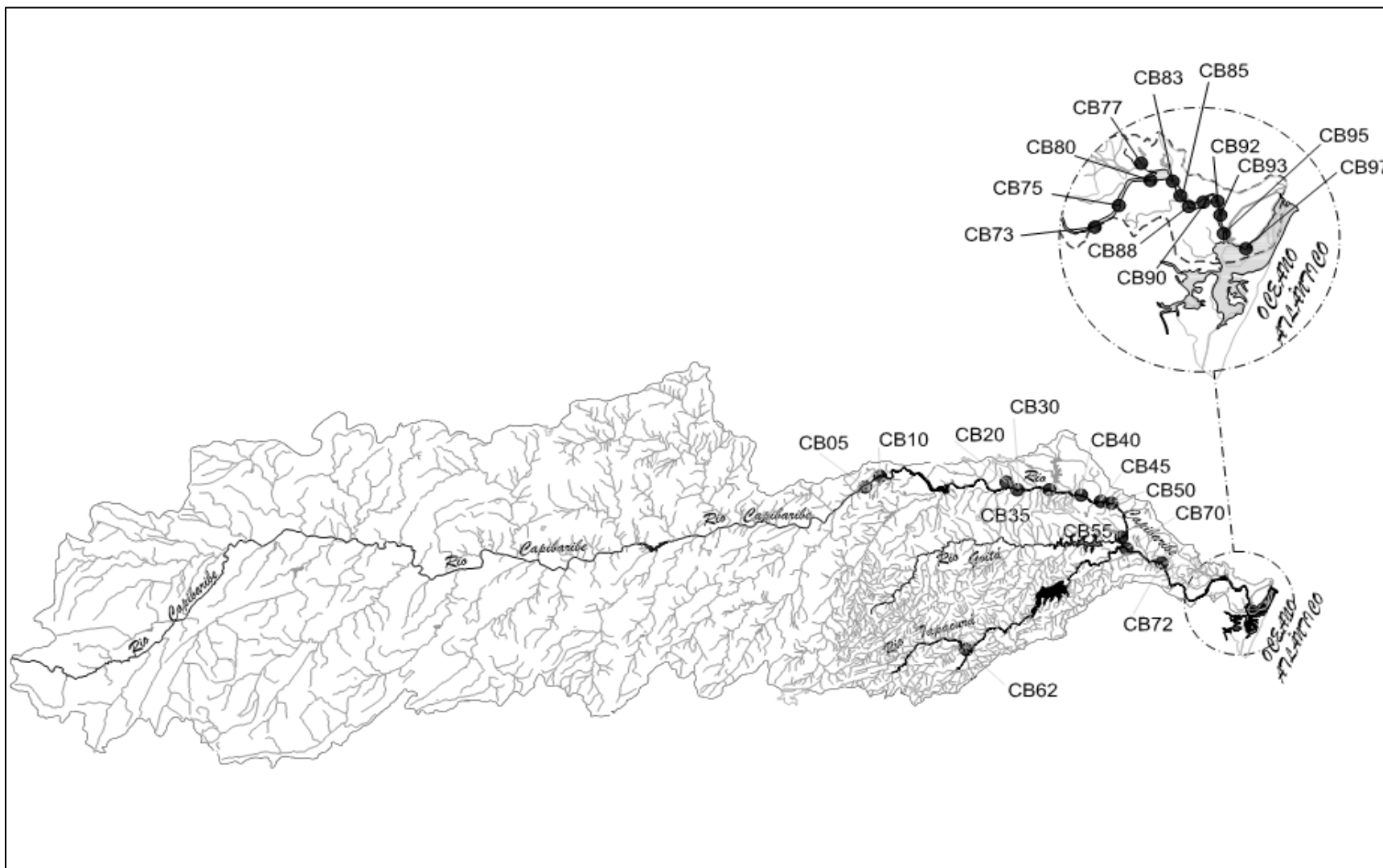


Figura 6 – Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe com as estações monitoradas entre os anos de 1990 e 2008

Além das 39 estações identificadas, existe no conjunto total das estações de monitoramento da qualidade da água da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe, mais 15 estações cuja finalidade é de monitorar a qualidade da água de reservatórios. O Quadro 3 apresenta estas estações de coleta.

Quadro 3 – Estações de coleta em reservatórios

Estação	Corpo d'água	Local
CB-02	Riacho Jataúba	Na barragem Poço Fundo captação d' água da COMPESA e irrigação, município de Santa Cruz do Capibaribe
CB-03	Riacho Brejo da Madre de Deus	Na barragem Machado para abastecimento, no município de Brejo da Madre de Deus.
CB-04	Rio Tabocas	Na barragem Tabocas-Piaça, município de Belo Jardim.
CB-05	Riacho Tabocas	Na barragem de Tabocas captação d' água da COMPESA, municípioS de Toritama e Caruarú.
CB-07	Rio Capibaribe	Na barragem de Jucazinho captação d'água da COMPESA, município de Surubim.
CB-13	Rio Capibaribe	Na barragem de Carpina contenção de enchentes DNOCS – COMPESA, município de Lagoa do Carro.
CB-023	...	Na barragem Santana II para abastecimento, no município de Brejo da Madre de Deus.
CB-027	...	Na barragem Oitis para abastecimento e irrigação, no município de Brejo da Madre de Deus.
CB-38	Rio Cursai	Na barragem de Cursai captação d'água da COMPESA, município de Paudalho.
CB-54	Rio Goitá	Na barragem de Goitá contenção de enchentes-COMPESA, município de Paudalho.
CB-65	Rio Tapacurá	Na barragem Tapacurá captação d'água da COMPESA, município de São Lourenço da Mata.
CB-67	Rio Várzea do Una	Na barragem Várzea do Una captação da COMPESA, município de São Lourenço da Mata.
CB-69	Rio Pixaó	Na barragem Matriz da Luz para abastecimento, no município de São Lourenço da Mata.
CB-81	Reservatório Prata-Meio	Na barragem de captação d'água da COMPESA, bairro de Dois Irmãos, município do Recife.
CB-98	Riacho Jangadinha	Na barragem Jangadinha captação d'água da COMPESA, no município de Jaboatão dos Guararapes.

Fonte: dados disponibilizados pela CPRH em meio digital (2009)

O Relatório de Monitoramento de Bacias Hidrográficas do Estado de Pernambuco do ano de 2007 identifica a qualidade da água da Bacia Hidrográfica do

Rio Capibaribe no ano de 2006 (pois apenas em 2007 as informações do ano de 2006 são sistematizadas) e é oficialmente a informação mais atualizada e consolidada da situação da qualidade da água do Capibaribe.

Segundo o citado Relatório, as atividades de coleta, análises físico-química e bacteriológica e emissão de certificado são feitas na Unidade de Laboratório da Diretoria Técnica Ambiental da CPRH. A metodologia de análise segue o prescrito no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – 19th Ed. - 1995.

No ano de 2006, foram monitoradas, 10 estações de amostragem na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe. O Quadro 4 apresenta o local de cada uma das estações e a Figura 7 o mapa com a indicação dessas estações de coleta.

Quadro 4 - Estações de Amostragem da Rede de Monitoramento da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe no ano de 2006

Estação	Corpo d'água	Local
CB-10	Rio Capibaribe	Jusante da cidade de Limoeiro
CB-30	Rio Capibaribe	A 2 km a jusante da Usina Petribú
CB-40	Rio Capibaribe	Na ponte da BR-408, a jusante da cidade de Paudalho
CB-55	Rio Goitá	Antes do deságüe dos rios Goitá e Capibaribe
CB 60	Rio Capibaribe	Após receber os seus afluentes dos rios Goitá e Tapacurá.
CB-62	Rio Tapacurá	Ponte na PE-50 a jusante na cidade de Vitória de Santo Antão
CB-71	Rio Capibaribe	Na captação da COMPESA – Castelo, no município de São Lourenço da Mata
CB-72	Rio Capibaribe	A jusante de São Lourenço da Mata, na antiga barragem
CB-80	Rio Camaragibe	Ponte na Av. Caxangá
CB-95	Rio Capibaribe	Ponte na rua Eng.º Abdias de carvalho, Ilha do Retiro, em frente ao Sport Club do Recife

Fonte: CPRH (2007)

Segundo o Relatório de Monitoramento de Bacias Hidrográficas do Estado de Pernambuco (2007), observa-se, na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe, o comprometimento da qualidade da água, comprovado por valor da mediana de OD abaixo de 5,0 mg/l em toda a Bacia. Nas estações CB-10, CB-40, CB-55, CB-62 e CB-72 foram observados valores de OD menor que 2,0mg/L, que é o limite para as águas doces, segundo a Resolução 357/05 do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. Níveis de Coliformes Termotolerantes, Amônia e Fósforo evidenciam o lançamento de esgoto de origem doméstica, sendo crítica a qualidade da água a

jusante de Vitória de Santo Antão (CB-62) e a jusante de São Lourenço da Mata até o deságue em Recife. Valores de Cromo estiveram conformes com o padrão estabelecido pela CONAMA 357/05, no trecho a montante da estação CB-30. A determinação de Cromo tem o objetivo de observar a influência de curtumes, nesse trecho da Bacia.

Foi também identificado que nas captações Tiúma e Castelo, o Índice do Estado Trófico – IET teve como condição mais freqüente o estado mesotrófico. Nas demais estações, a situação mais freqüente foram eutrófico e hipereutrófico. Observou-se resultado positivo no teste de ecotoxicidade realizado com a *Daphnia magna*, na captação de Castelo, no mês de fevereiro. Com relação à qualidade da água para abastecimento, o indicador IQA, observou-se aceitável na estação CB-60 e boa na CB-71.

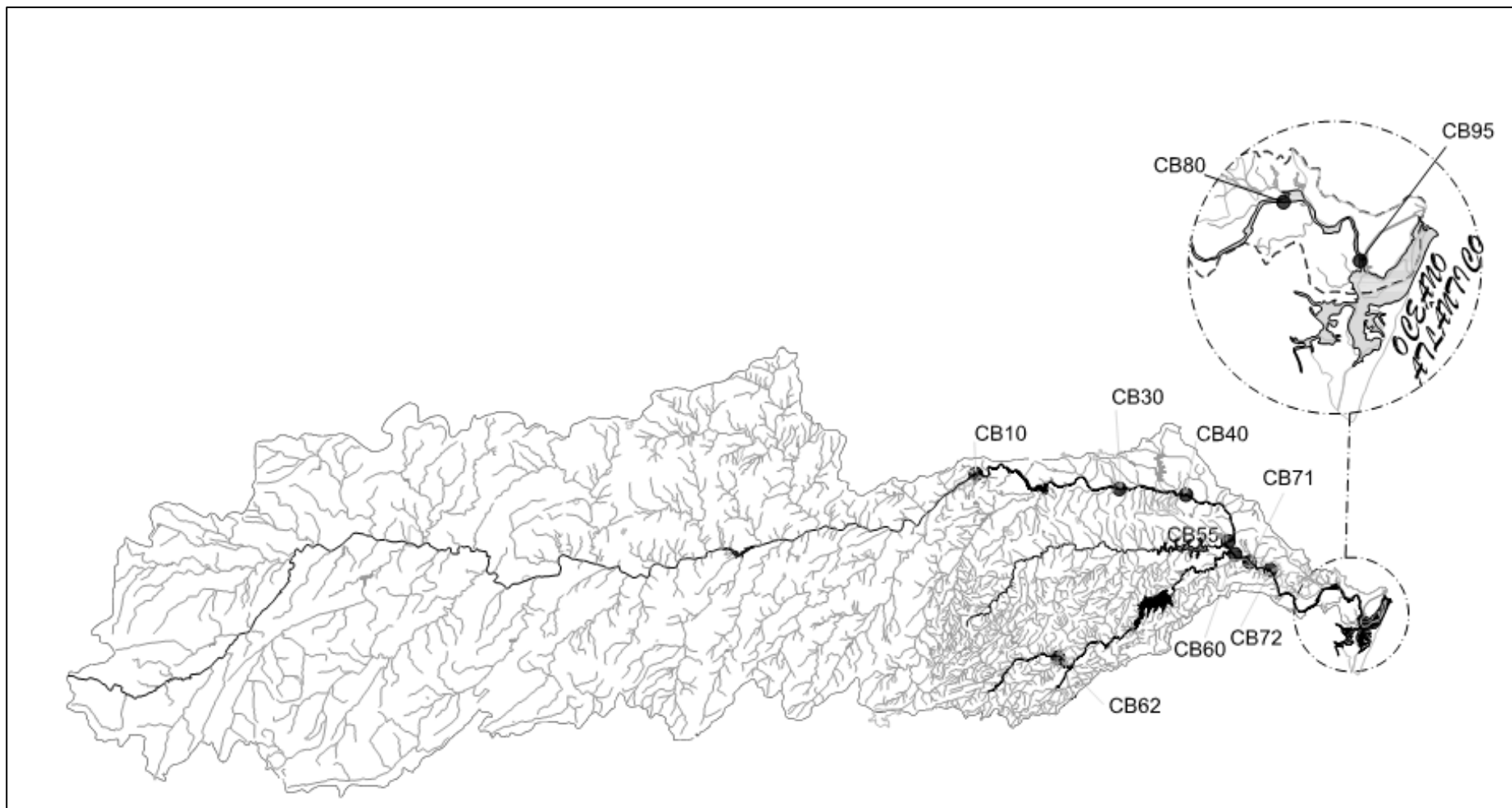


Figura 7 - Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe com as estações de coleta no ano de 2006

Dados hidrológicos da bacia do rio Capibaribe

Os dados hidrológicos da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe foram obtidos do Plano Estadual de Recursos Hídricos, elaborado pela Secretaria de Ciência Tecnologia e Meio Ambiente do Estado de Pernambuco – SECTMA, no ano de 1998, que dividiu a Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe em três sub-bacias, quais sejam: Alto, Médio e Baixo Capibaribe. As Tabelas 5, 6 e 7 apresentam as vazões médias mensais geradas no período de simulação, isto é, no ano de 1997 nas sub-bacias Alto, Médio e Baixo Capibaribe, respectivamente.

Tabela 5 – Vazões médias mensais na sub-bacia Alto Capibaribe

Vazões (m ³ /s)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
máxima	5,0	13,6	24,3	19,9	38,5	30,2	32,9	2,5	0,0	0,9	0,0	3,5
média	0,7	1,6	6,0	6,3	5,0	3,4	4,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2
mínima	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: PERH (1998)

Tabela 6 – Vazões médias mensais na sub-bacia Médio Capibaribe

Vazões (m ³ /s)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
máxima	6,5	19,9	43,0	39,7	45,9	67,8	76,9	8,5	3,3	6,5	1,2	13,7
média	1,1	2,9	10,1	10,6	7,4	9,5	13,2	1,4	0,3	0,2	0,0	1,1
mínima	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: PERH (1998)

Tabela 7 – Vazões médias mensais na sub-bacia Baixo Capibaribe

Vazões (m ³ /s)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
máxima	13,9	25,5	37,9	62,8	77,7	124,7	102,8	62,5	20,3	14,8	2,8	16,1
média	4,1	9,3	17,1	19,0	23,3	34,8	34,1	13,3	5,7	1,4	0,4	3,2
mínima	0,1	0,2	1,5	0,2	2,0	3,1	5,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Fonte: PERH (1998)

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Base de dados da qualidade da água

3.1.1 Definição das estações de coleta do estudo

Conforme se verifica no Quadro 1, inserido no capítulo referente à revisão de literatura, no período entre 1990 e 2008, a CPRH monitorou 24 pontos de coleta na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe. Como nenhuma das estações contém registros para todo o período de monitoramento, foi necessária a definição do conjunto de dados da pesquisa.

Para a definição do conjunto das estações de monitoramento desta pesquisa, foi verificado, para cada uma das estações, qual o grau de representatividade dos anos com registros de coletas. Para isto, foram elaborados gráficos, segundo os quais foi possível visualizar os meses de cada ano, onde houve monitoramento. Além do mais, para que a representatividade estatística seja a maior possível, foi necessário restringir a base de estudos às estações que foram monitoradas continuamente ou por pelo menos 8 anos. Sendo assim, foram identificadas, para cada estação de coleta, as suas séries temporais.

3.1.2 Definição dos parâmetros do estudo

Para definição dos parâmetros que tinham representatividade estatística para fins de análise da qualidade da água da Bacia do rio Capibaribe, consideraram-se os que compõem o Índice de Qualidade da Água - IQA da CETESB e os que continham uma quantidade representativa de valores medidos em cada uma das estações. Portanto, para o conjunto dos dados da pesquisa, foram identificadas quantas amostras foram obtidas para cada variável deste conjunto e também a identificação da distribuição temporal destas amostras por estação de monitoramento.

Ressalta-se que a falta de coincidência entre a ausência de dados é uma restrição à aplicação de métodos estatísticos pois, muitas vezes, os dados de uma variável foram obtidos para uma amostra, onde os dados de uma segunda variável estão faltando. No entanto, esta segunda variável foi registrada para outra amostra,

no qual os dados da primeira variável estão ausentes. Portanto, em função do método estatístico aplicado esta restrição poderá prejudicar a interpretação dos dados.

3.1.3 Correção e adequação da base de dados

Correção de valores

Após definição das estações e das variáveis a serem consideradas na pesquisa, o conjunto de dados foi submetido a uma análise gráfica preliminar, cujo objetivo foi identificar e retificar valores dos parâmetros. Vários problemas foram detectados e corrigidos, entre os quais: (i) ponto decimal deslocado ou com notação tipográfica inadequada, (ii) dados de texto identificados como se fossem valores numéricos e (iii) valores de parâmetros impossíveis de acontecer para as características ambientais do rio Capibaribe, como OD maior do que 8 mg/L.

Os parâmetros ajustados foram OD e pH. Os demais não têm limite de faixa. Os dados de OD foram corrigidos para a média dos valores imediatamente anterior e posterior ao dado em questão, quando se encontravam com valores acima de 8 mg/L. Para o pH quando estava acima de 8 e abaixo de 4, também foi substituído pela média dos valores imediatamente anterior e posterior.

Adequação dos valores

Assim como para os valores dispares dos parâmetros pH e OD foi feita uma correção e foi realizada também uma adequação de dados de alguns parâmetros para utilização nas planilhas eletrônicas e nos programas estatísticos, quais sejam (i) valores observados com a notação Não Detectado - ND foram substituídos pelo numeral ordinal 0 e (ii) valores numéricos precedidos do sinal "< ou > que x" foi substituído pelo numeral "x".

Preenchimento de falhas

Como o percentual de amostras incompletas, isto é, ausência de valores medidos em alguma das variáveis, é considerável foram realizados dois procedimentos para preenchimento das falhas, quais sejam:

- Preenchimento com a média aritmética dos valores imediatamente anterior e posterior a variável;
- Preenchimento com o valor máximo da variável ocorrida no mês, considerando todo o período de estudo, isto é, entre os anos de 1990 e 2008.

3.2 Base de dados hidrometeorológicos

As informações relativas aos dados hidrometeorológicos na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe foram obtidas do Laboratório de Meteorologia de Pernambuco – LAMEPE e corresponderam às séries temporais do índice pluviométrico médio anual dos valores observados nas Plataformas de Coleta de Dados – PCD, mais próximas às estações de coleta de qualidade de água do conjunto de dados da pesquisa.

O período considerado para as séries temporais dos índices pluviométricos foi o mesmo do monitoramento da qualidade das águas, isto é entre os anos de 1990 e 2008.

3.2.1 Identificação e validação dos períodos seco e chuvoso na Bacia do Capibaribe

Para a identificação e posterior validação dos períodos seco e chuvoso na Bacia do rio Capibaribe foram elaborados gráficos, cujo eixo da abscissa comporta os meses do ano, no eixo esquerdo das ordenadas o índice pluviométrico, em cada uma das estações de monitoramento, e o eixo direito as vazões médias mensais no rio Capibaribe, obtidas no Plano Estadual de Recursos Hídricos, de 1997.

3.2.2 Comportamento das variáveis versus IP

Com o intuito de verificar o comportamento dos parâmetros de monitoramento do IQA em relação aos índices pluviométricos, foram calculados os coeficientes de correlação entre eles e elaboradas matrizes de correlação para todo o conjunto de

dados. O conjunto de dados, por sua vez, abrangeu todo o período de monitoramento para as estações CB 10, CB 30, CB 40, CB 55, CB 62, CB 72, CB 80, CB 90 e CB 95.

3.3 Sub-bacias de drenagem e uso e ocupação do solo

Com o mapa planialtimétrico da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe, na escala de 1:200.000, foram delimitadas as sub-bacias de drenagem para cada uma das estações de coleta, as suas áreas foram calculadas com o auxílio da ferramenta computacional *Computer Aided Designs – CAD*.

Após definição das sub-bacias de drenagem e com o mapa do uso e ocupação do solo e vegetacional, foram identificadas para cada uma delas o tipo de ocupação e vegetação predominante.

A predominância da vegetação e o tipo de ocupação do solo foram os fatores que definiram o enquadramento de cada uma das estações de coleta, por tipologia de ocupação.

3.4 Índice de Qualidade da Água - IQA

Para cada uma das estações de monitoramento do conjunto amostral, foram calculados os IQA's ao longo de todo o período considerado nesta pesquisa, isto é, entre os anos de 1990 e 2008. Como existem várias lacunas nas variáveis que compõem o IQA, foi feito um preenchimento das falhas, considerando a pior situação para cada um dos parâmetros que compõem o Índice, isto é, o valor máximo da variável, que leva a uma faixa de qualidade menor. Dessa forma, trabalha-se com a pior situação.

3.5 Cotas altimétricas

Para o cálculo da concentração de saturação do OD foi necessária a identificação das altitudes dos pontos de coleta. As altitudes em relação ao nível

médio das marés do sistema do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE foram obtidas das cartas da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE na escala 1:25.000.

3.6 Ferramenta estatística

3.6.1 Estatística descritiva

Para cada um dos conjuntos de valores foram elaborados gráficos de caixa que mostram o comportamento dos parâmetros monitorados na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe, nas estações de coleta definidas nesta pesquisa.

Como a numeração das estações de coleta é crescente, da nascente do rio até o seu estuário, com os gráficos de caixa, é possível acompanhar a variação de cada um dos parâmetros ao longo do rio.

3.6.2 Análise dos Componentes Principais - ACP

Para verificar a aplicabilidade da ACP, isto é, se existe multivariabilidade entre os dados do conjunto da pesquisa, ou seja, se os parâmetros possuem uma combinação linear entre si, foram elaboradas matrizes de correlação entre as variáveis, para cada uma das estações de coleta. Para esta atividade, não foi feito preenchimento da base de dados, apenas correção e adequação dos valores.

Inicialmente, foi aplicada a ACP no conjunto completo da base de dados do monitoramento, considerando apenas as amostras sem lacunas. Nessa análise, o conjunto de dados contém nove variáveis. Portanto, cada amostra pode ser imaginada, em termos geométricos, como um ponto localizado num sistema de nove dimensões.

As amostras do conjunto de dados sem lacunas correspondem a apenas 164 de uma base de dados de 999, como pode ser verificado no item “definição dos parâmetros do estudo”. Sendo assim, e na tentativa de que os resultados

estatísticos sejam mais representativos foram realizadas análises com as variáveis das amostras, originalmente sem informação, preenchidas com o valor máximo anual. Para verificação da consistência desses resultados, a mesma prática foi utilizada, porém o preenchimento das falhas foi realizado considerando o valor médio entre o registro imediatamente anterior e o imediatamente posterior da variável.

Na verificação da existência ou não de influência do uso e ocupação do solo e vegetacional da sub-bacia de drenagem de cada estação de monitoramento na qualidade da água do rio, a aplicação da ACP considerou apenas o conjunto dos dados do ano de 2002, isto é, o ano de elaboração do mapa de uso e ocupação do solo e vegetacional da bacia.

Para o conhecimento individual de cada estação de monitoramento foram realizadas modelagens com a base de dados das séries temporais iguais e o preenchimento das lacunas com os valores máximos anuais, pois para o período de análise, a partir do ano de 2001 até o ano de 2008, que são os dados mais atuais disponíveis, não existem amostras com registro para todos os parâmetros. Nesta análise, foi incorporado mais um parâmetro ao conjunto da base de dados: o índice pluviométrico mensal, correspondente ao mesmo período da amostra.

Uma das metas da análise de componentes principais é abordar aspectos como a geração, a seleção e a interpretação das variáveis investigadas, além de determinar as de maior influência na formação de cada componente e também descobrir quais dessas são mais relevantes, na composição de cada fator. Sendo assim, foi aplicada a técnica de ACP em duas estações de monitoramento, reduzindo-se o número de variáveis analisadas. Entende-se como diminuição do número de variáveis a redução dos parâmetros monitorados. Foram modelados 26 cenários, que estão apresentados no Quadro 5 para duas estações de monitoramento que representam os setores com características de uso e ocupação do solo e vegetacional mais distintas, quais sejam: CB 30 e CB 95.

Os parâmetros Coliforme e Sólidos foram retirados em combinação com os demais, pois esses dois demandam um tempo maior e custo maior de análise.

Quadro 5 - Cenários modelados para as estações CB 30 e CB 95

Parâmetro	OD	DBO	Sólidos	Coli	pH	Temp	Turb	Fosf	Nitrato
Cenário									
1	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	x	x	x	x	x	x	x	x	0
3	x	x	x	x	x	x	x	0	X
4	x	x	x	x	x	x	0	x	x
5	x	x	x	x	x	0	x	x	x
6	x	x	x	x	0	x	x	x	x
7	x	x	x	0	x	x	x	x	x
8	x	x	0	x	x	x	x	x	x
9	x	0	x	x	x	x	x	x	x
10	0	x	x	x	x	x	x	x	x
11	0	x	x	0	x	x	x	x	x
12	x	0	x	0	x	x	x	x	x
13	x	x	0	0	x	x	x	x	x
14	x	x	x	0	0	x	x	x	x
15	x	x	x	0	x	0	x	x	x
16	x	x	x	0	x	x	0	x	x
17	x	x	x	0	x	x	x	0	x
18	x	x	x	0	x	x	x	x	0
19	x	x	0	x	x	x	0	x	x
20	0	x	0	x	x	x	x	x	x
21	x	0	0	x	x	x	x	x	x
22	x	x	0	x	0	x	x	x	x
23	x	x	0	x	x	0	x	x	x
24	x	x	0	x	x	x	0	x	x
25	x	x	0	x	x	x	x	0	x
26	x	x	0	x	x	x	x	x	0

Obs: "x" variável pertencente ao conjunto de dados; "0" variável não pertencente ao conjunto de dados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Base de dados da qualidade da água

4.1.1 Definição das estações de coleta do estudo

O resultado do método descrito no Capítulo 3, que foi aplicado para identificação das estações de coleta da pesquisa, está apresentado na Tabela 8 onde se apresenta, por estação: o número de amostras (N), o de parâmetros (P) e os anos de monitoramento com registro de coleta. Por sua vez, a Figura 8 apresenta o gráfico da estação de coleta CB 05, para as demais ver Apêndice 1.

Tabela 8 - Amostras coletadas, ano de coleta e quantidade de registro dos parâmetros monitorados por estação

Ano			1990										2000								
Estação	N	P	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8
CB 05	12	144																			
CB 10	112	1263																			
CB 20	15	190																			
CB 30	135	1516																			
CB 35	16	204																			
CB 40	123	1349																			
CB 45	15	180																			
CB 50	25	302																			
CB 55	93	1020																			
CB 62	45	479																			
CB 70	36	448																			
CB 72	111	1925																			
CB 73	16	190																			
CB 75	15	180																			
CB 77	21	249																			
CB 80	144	1573																			
CB 83	19	229																			
CB 85	16	189																			
CB 88	1	9																			
CB 90	93	1077																			
CB 92	1	9																			
CB 93	17	201																			
CB 95	143	1547																			
CB 97	18	317																			
TOTAL	1242	14790																			

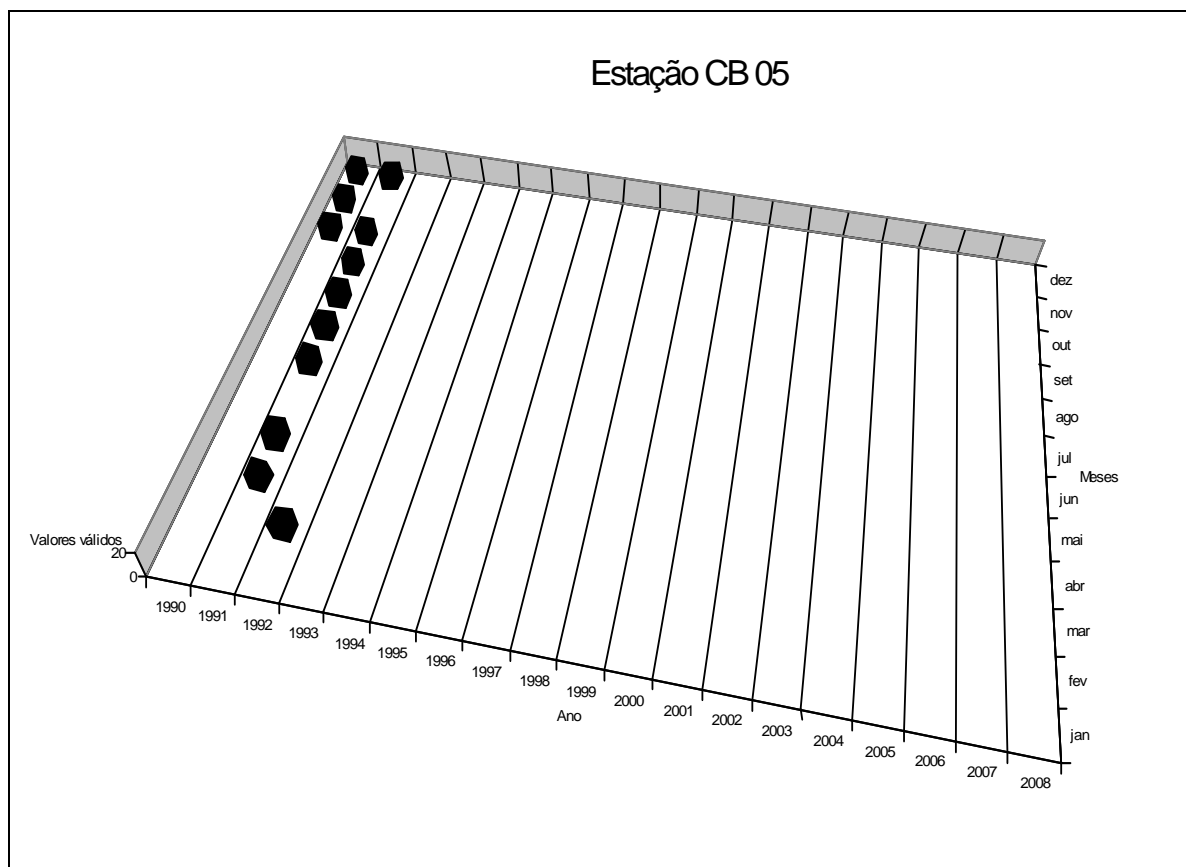


Figura 8 - Registros de coleta da CB 05 por ano e mês entre os anos de 1990 e 2008

No período entre os anos de 1990 e 2008, apenas as estações: CB 10, CB 30, CB 40, CB 55, CB 62, CB 72, CB 80, CB 90 e CB 95 contêm registros que satisfazem a restrição definida na metodologia. Sendo assim, o conjunto de dados desta pesquisa incorpora apenas estas estações de coleta. Contudo, mesmo estas, apresentam lacunas em diversos meses e parâmetros de análises.

Da Tabela 8, observa-se que das 9 estações selecionadas, 6 localizam-se no próprio curso do Capibaribe, a CB 50, no rio Goitá, a CB 62, no Tapacurá e a CB 80, no rio Camaragibe, todos tributários do Capibaribe.

4.1.2 Definição dos parâmetros do estudo

A escolha dos parâmetros da pesquisa foi direcionada pela disponibilidade de informações, de modo que foram utilizados aqueles que são do IQA e que indiscutivelmente, possuem o maior número de dados nas amostras coletadas.

A Figura 9 apresenta o número de valores válidos para todos os parâmetros monitorados, isto é, para todas as variáveis acompanhadas na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe.

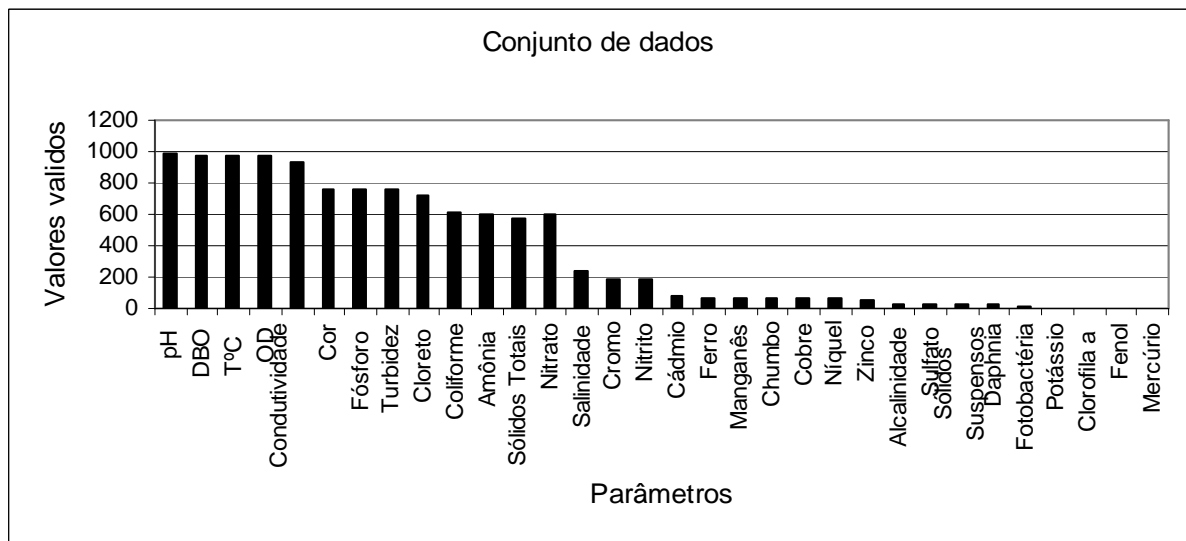


Figura 9 - Número de valores válidos para todos os parâmetros monitorados em todas as estações

Considerando as 9 estações definidas para este estudo e supondo que, em todas elas, o conjunto completo dos parâmetros do IQA tivesse sido medido nos meses onde houve coleta e dentro do período de análise, isto é, entre os anos de 1990 e 2008, o conjunto de dados seria composto por 8.991 elementos. Porém, o número de elementos medidos é de 7.216, correspondendo a 20% de lacunas. Mas essas falhas não são homogêneas: a Tabela 9 identifica os parâmetros e o percentual de falhas.

Tabela 9 - Percentual de falhas nos dados das variáveis

Parâmetro	% de falhas
Oxigênio Dissolvido	2,9
Coliformes Termotolerantes	38,2
pH	1,2
Demanda Bioquímica de Oxigênio	2,1
Temperatura da Amostra	2,2
Nitrogênio Total	39,6
Fósforo Total	24,5
Turbidez	24,5
Resíduo Total	42,3

É possível identificar que os parâmetros Sólidos Totais (Resíduo Total) e Nitrogênio têm um percentual de mais de 42% e 39% de ausência de dados, respectivamente.

Para cada estação de monitoramento, foi identificado um subconjunto amostral, onde se tem os dados medidos para todos os parâmetros. Do total de 999 amostras, apenas 164 possuem dados medidos para todas as variáveis.

A Tabela 10 identifica, para cada estação, a quantidade de amostras totais e as sem lacunas. Verifica-se que apenas 16,4% do conjunto de dados possuem todas as amostras, com todos os valores medidos das variáveis.

Tabela 10 - Número de amostras totais e sem lacunas por estação de coleta

Estação	Número de amostras totais	Número de amostras sem lacunas
CB 10	112	6
CB 30	135	6
CB 40	123	4
CB 55	93	20
CB 62	45	0
CB 72	111	25
CB 80	144	31
CB 90	93	37
CB 95	143	35
Total	999	164

A base de dados foi construída a partir dos valores dos parâmetros de qualidade da água, obtidos da CPRH, nas 9 estações de monitoramento, no período considerado nesta pesquisa, após a correção dos valores medidos.

4.2 Base de dados hidrometeorológicos

O Quadro 6 apresenta os postos pluviométricos correspondentes a cada estação de monitoramento da qualidade da água e a Figura 10 o gráfico com as séries temporais destes postos e, finalmente, a Figura 11 o mapa da bacia com a localização dos postos pluviométricos de interesse desta pesquisa.

Quadro 6 - Posto pluviométrico mais próximo às estações de monitoramento da qualidade da água

Estação de monitoramento de água	Código do posto	Posto pluviométrico
CB 10	137	Limoeiro
CB 30	521	Lagoa de Itaenga (Sítio Imbé)
CB 40	98	Paudalho
CB 55	408	Paudalho (Barragem de Goitá)
CB 62	26	Vitória de Santo Antão (Estação Experimental do IPA)
CB 72	129	São Lourenço da Mata
CB 80	30	Recife (Várzea)
CB 90	480	Recife - PCD (Sede do IPA)
CB 95	378	Recife (Santo Amaro)

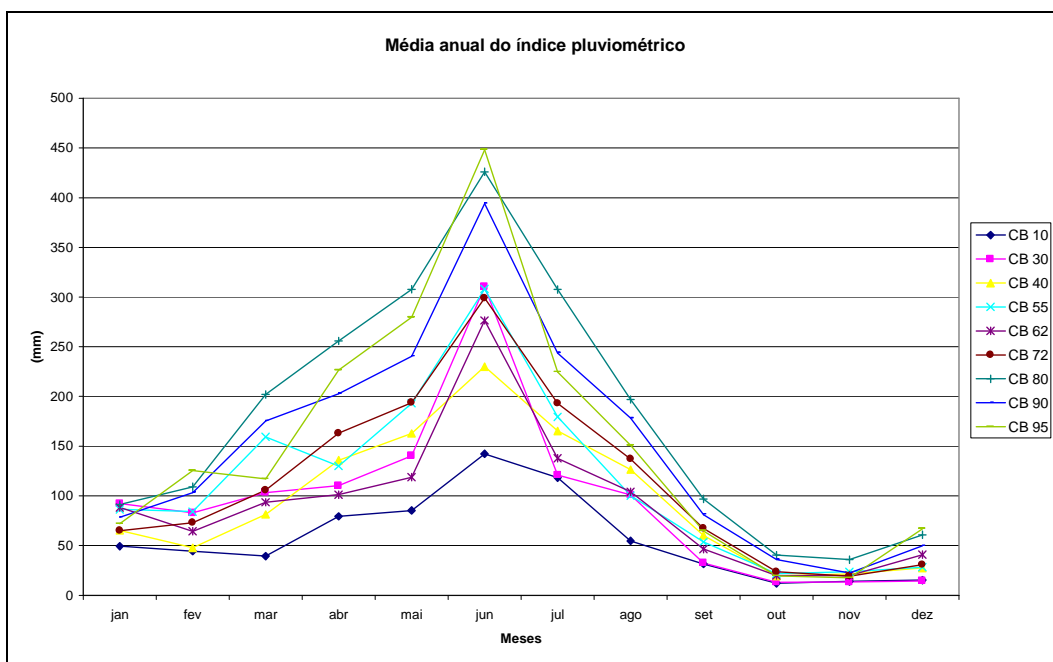


Figura 10 - Séries temporais do índice pluviométrico médio anual correspondente a cada estação de monitoramento da qualidade da água

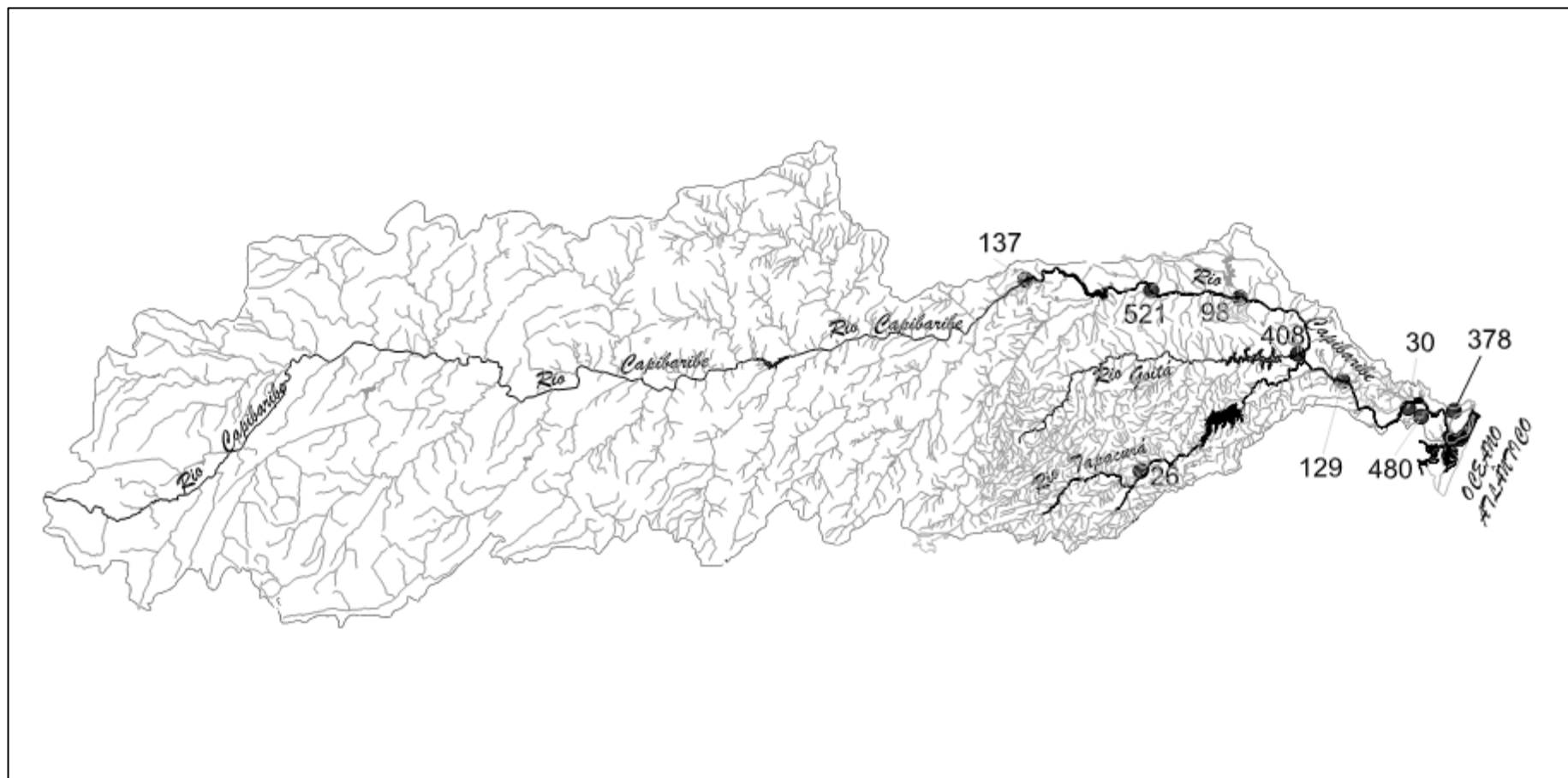


Figura 11 – Localização dos pontos pluviométricos na bacia do rio Capibaribe

Apenas o posto de coleta de Vitória de Santo Antão (Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA) possui informações para todos os anos do conjunto de dados, porém com lacunas em alguns meses.

O Apêndice 2 apresenta os volumes de chuvas em milímetros por mês e ano para cada um dos postos pluviométricos definidos como elementos do conjunto de dados.

4.2.1 Identificação dos períodos seco e chuvoso na Bacia do Capibaribe

Com a média mensal do IP (ver Figura 10) é possível verificar que a precipitação ocorre com mais intensidade nos meses de abril a agosto, nos postos pluviométricos correspondentes às estações de coleta CB 10 e CB 30 e nos meses de março a agosto nos postos pluviométricos referentes às estações de coleta CB 40, CB 55, CB 62, CB 72, CB 80, CB 90 e CB 95.

A precipitação média total anual, no período entre os anos de 1990 e 2008, nas estações de coleta, foi de 1.396 mm, 298 mm, nos meses secos e de 1.098 mm, no período considerado chuvoso.

As vazões médias no rio Capibaribe, obtidas no Plano Estadual de Recursos Hídricos de 1998, corroboram, evidentemente, com o IP da Bacia, isto é, período chuvoso entre março e agosto e seco, nos demais meses do ano. A Figura 12 apresenta as vazões médias mensais geradas no PERH (1998), onde se localizam as estações de coleta CB 10 e CB 30 e a precipitação nessas estações e a Figura 13 mostra as mesmas informações, porém para as estações CB 40, CB 55, CB 62, CB 72, CB 80, CB 90 e CB 95. Vale ressaltar as vazões não coincidem exatamente com os locais das estações de coleta, são as mais próximas existentes.

Apesar da concentração de chuvas nos postos pluviométricos das estações de coleta CB 10 e CB 30 ocorrerem entre os meses de abril e agosto, os cenários trabalhados nesta pesquisa consideraram, para estas estações, o período chuvoso entre os meses de março a agosto, de forma a compatibilizar com o período chuvoso dos postos pluviométricos, onde se localizam as demais estações de monitoramento.

Das Figuras 12 e 13 é possível identificar que as precipitações médias mensais nas estações de coleta CB 10 e CB 30 diferem das precipitações nas demais estações do estudo (situadas no Baixo Capibaribe).

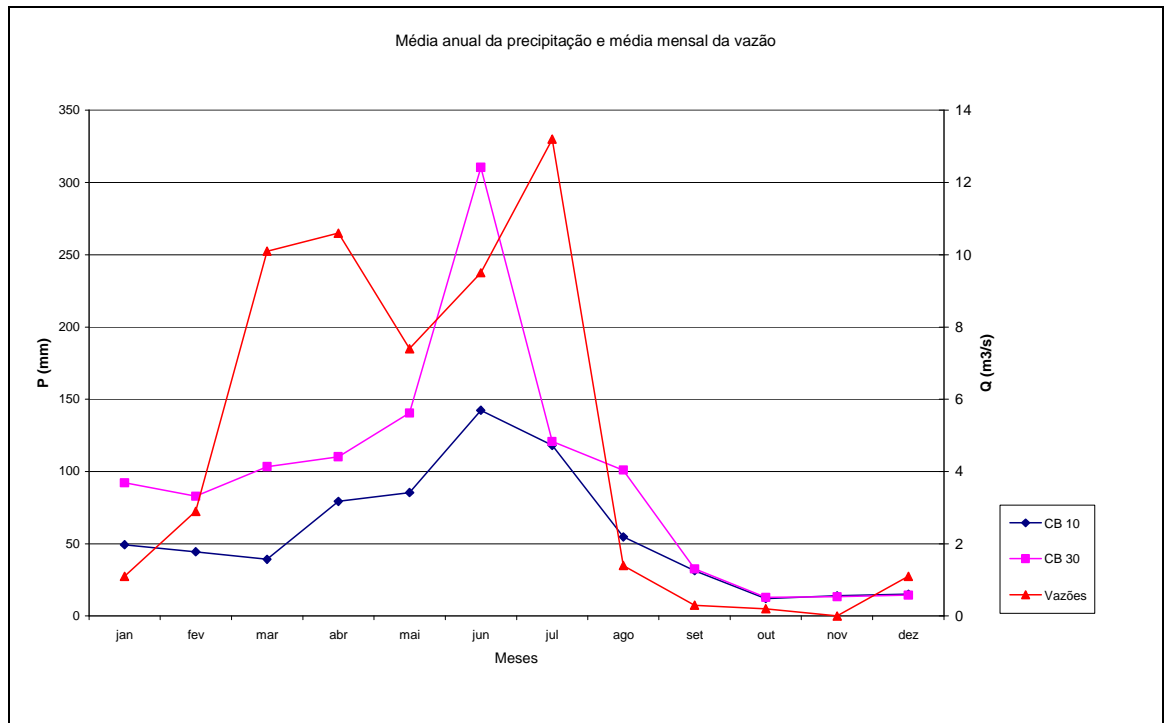


Figura 12 - Precipitação nos postos pluviométricos e vazão média no rio correspondente às estações de coleta CB 10 e CB 30

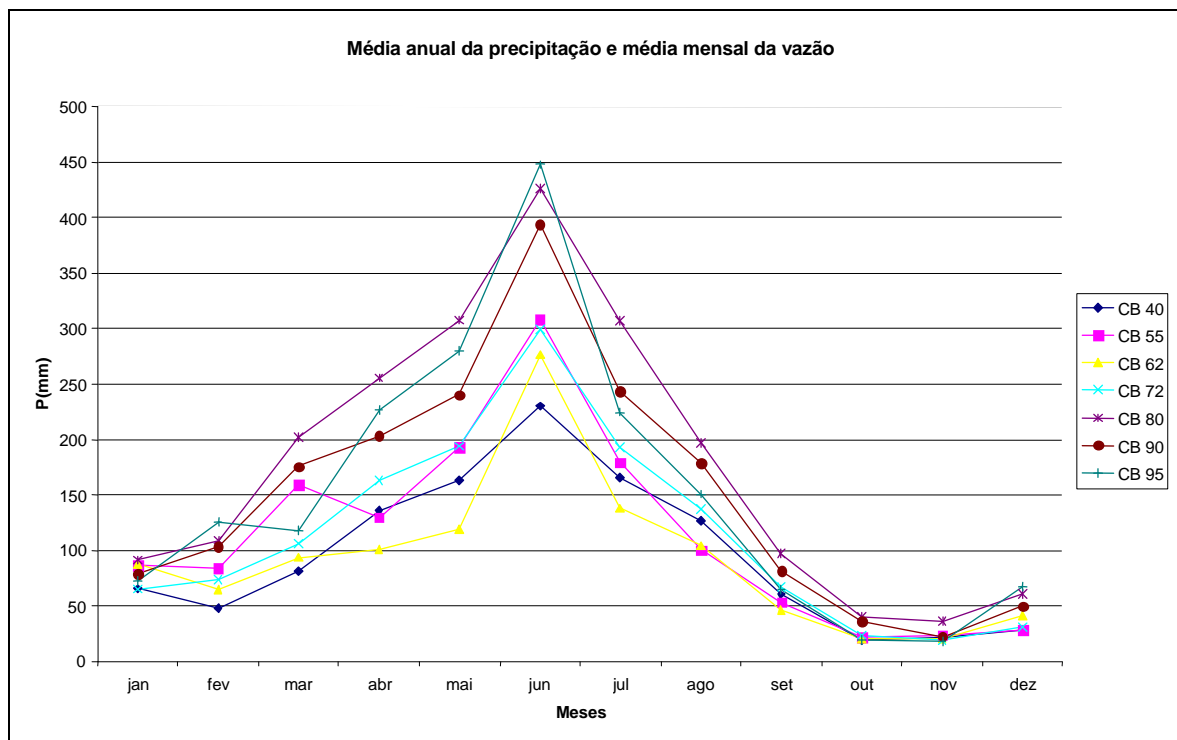


Figura 13 - Precipitação nos postos pluviométricos e vazão média no rio correspondente às estações de coleta CB 40, CB 55, CB 62, CB 72, CB 80, CB 90 e CB 95

4.2.2 Comportamento das variáveis do IQA versus IP

Na Tabela 11 estão apresentados os coeficientes de correlação entre as variáveis do IQA e entre essas e o IP e na Figura 14 as matrizes de correlação. Alguns coeficientes de correlação, tais como entre a Turbidez e o Nitrato são mais relevantes, outros, como, por exemplo, Coliforme e Fósforo tem uma correlação baixa.

Nota-se que existem correlações lineares entre as variáveis de monitoramento, notadamente OD, com o IP. Portanto, faz-se necessário a incorporação do IP nas análises estatísticas. SARBU e POP (2004) também verificou que o IP tinha influência no OD quando aplicou a ACP.

Tabela 11 - Coeficientes de correlação entre os parâmetros do IQA e o IP

	Coli	pH	DBO	Nitrato	Fósforo	Turbidez	Sólidos Totais	T°C Água	OD	IP
Coli	1	-0,07	0,04	0,02	-0,08	-0,01	0,12	0,03	-0,24	0,31
pH	-0,07	1	0,03	0,00	-0,05	0,09	0,14	-0,04	0,22	-0,10
DBO	0,04	0,03	1	-0,12	0,07	-0,12	0,25	0,07	-0,22	-0,10
Nitrato	0,02	0,00	-0,12	1	-0,05	0,44	-0,17	-0,09	-0,00	0,23
Fósforo	-0,08	-0,05	0,07	-0,05	1	0,06	0,11	0,01	0,20	-0,25
Turbidez	-0,01	0,09	-0,12	0,44	0,06	1	-0,24	-0,31	0,13	0,27
Sólidos Totais	0,12	0,14	0,25	-0,17	0,11	-0,24	1	0,32	-0,09	-0,16
T°C Água	0,03	-0,04	0,07	-0,09	0,01	-0,31	0,32	1	-0,14	-0,29
OD	-0,24	0,22	-0,22	-0,00	0,20	0,13	-0,09	-0,14	1	-0,30
IP	0,31	-0,10	-0,10	0,23	-0,25	0,27	-0,16	-0,29	-0,30	1

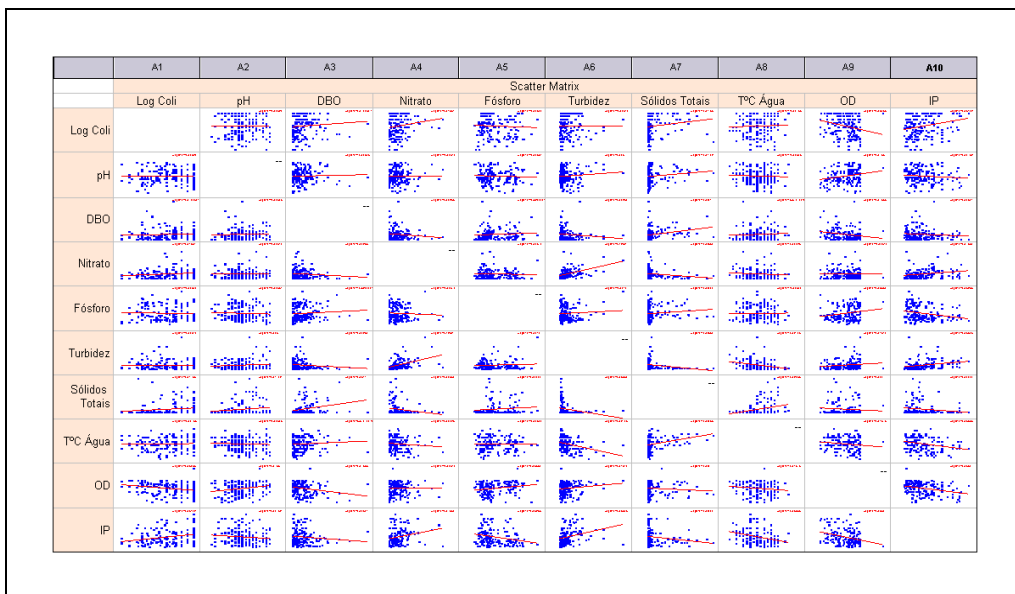


Figura 14 - Matriz de correlação entre os parâmetros de monitoramento e o IP

4.3 Sub-bacias de drenagem e uso e ocupação do solo

A Figura 15 apresenta as sub-bacias de drenagem para cada estação de monitoramento do conjunto de dados e o uso e ocupação do solo, em cada uma delas.

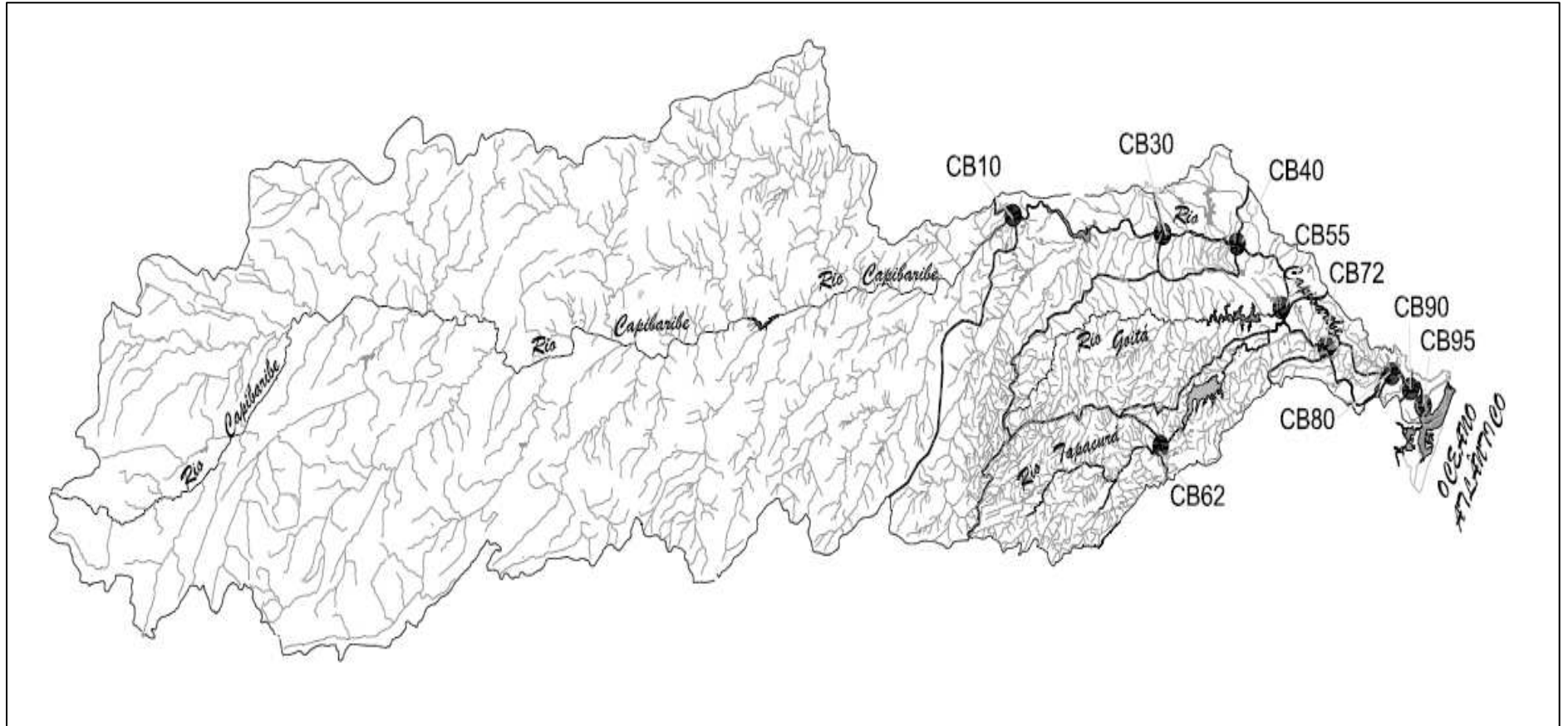


Figura 15 – Sub-bacias de drenagem das estações selecionadas

4.4 Índice de Qualidade das Águas – IQA

Para o conjunto dos dados analisados em cada uma das estações de monitoramento, observou-se que o IQA tem um comportamento uniforme nas estações localizadas a uma distância maior da foz, isto é, mais a montante. Com os gráficos do IQA das estações CB 10 e CB 30, verifica-se que existe uma concentração maior de pontos enquadrados entre o IQA ruim e bom. Por sua vez, nas estações CB 40, CB 55 e CB 62 a faixa de IQA com uma maior quantidade de dados está situada entre ruim e aceitável. Nas estações CB 72, CB 80, CB 90 e CB 95, todas inseridas na área da Região Metropolitana do Recife – RMR, portanto densamente povoadas, as faixas de IQA se apresentam entre péssima e aceitável. Com estas considerações, pode-se agrupar as estações em três setores de análise ambiental, conforme Quadro 7.

Quadro 7 - Setor de análise ambiental definido com o IQA

Setor	Estações
A	CB 10 CB 30
B	CB 40 CB 55 CB 62
C	CB 72 CB 80 CB 90 CB 95

4.5 Cotas altimétricas

O Quadro 8 apresenta as cotas altimétricas das estações de coleta.

Quadro 8 - Cotas altimétricas das estações de coleta - continua

Estação de coleta	Cota (m)
CB - 10	134
CB - 30	79
CB - 40	69
CB - 55	46

Quadro 8 - Cotas altimétricas das estações de coleta - conclusão

Estação de coleta	Cota (m)
CB - 62	133
CB - 72	35
CB - 80	9
CB - 90	6
CB - 95	3

4.6 Ferramenta estatística

4.6.1 Estatística descritiva

A Figura 16 apresenta o gráfico de caixa do parâmetro Oxigênio Dissolvido ao longo do rio, a partir dos valores registrados, contudo corrigidos e adequados, conforme descrito no item “Correção e adequação da base de dados”. No Apêndice, 3 estão os gráficos de caixa das demais variáveis. Os gráficos de caixa foram elaborados para todo o período de amostragem desta pesquisa.

Observa-se que a mediana dos valores do OD diminui quando a estação de coleta se aproxima da foz do rio Capibaribe, com anomalia apenas na estação CB 72.

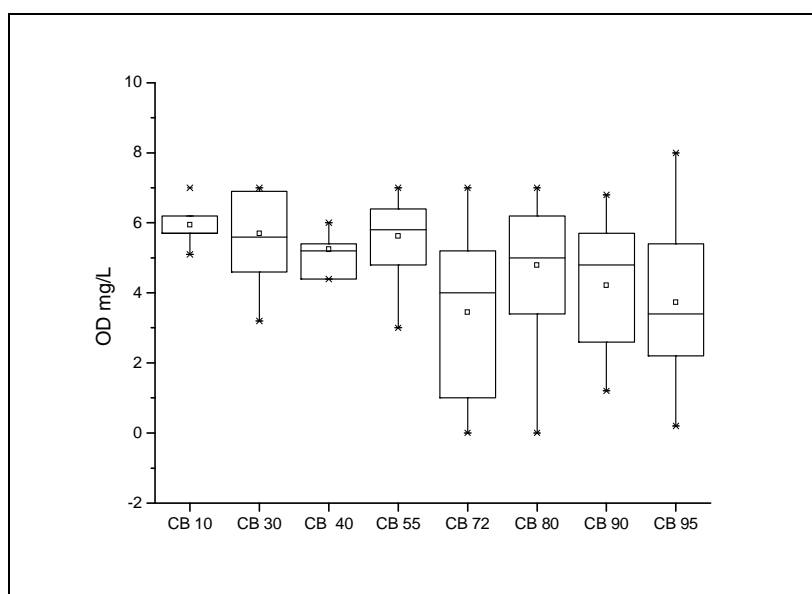


Figura 16 - Gráfico de caixa do parâmetro OD

4.6.2 Análise dos Componentes Principais

Verificação da multivariabilidade

Após o cálculo das correlações entre as variáveis do conjunto de dados, observou-se que vários parâmetros têm uma correlação estatisticamente significativa no nível de 95% de confiabilidade, isto é, maior do que 0,5, principalmente, nas estações CB 10, CB 30 e CB 40, localizadas mais a montante da foz. Nas demais estações existem correlações entre os parâmetros, porém estatisticamente menos significativas.

Como nas estações CB 10, CB 30 e CB 40 a correlação é maior entre os parâmetros Nitrato e Fósforo com os demais, como estes pontos localizam-se em áreas com uso predominantemente agrícola e não urbano, possivelmente, estas correlações podem estar associadas ao uso de fertilizantes carregados para o curso de água.

Análise dos componentes principais - amostras sem lacunas

A Figura 17 apresenta o gráfico dos pesos e dos escores representados pelas amostras nas estações de coleta. As duas componentes, juntas, explicam 38% de toda a informação.

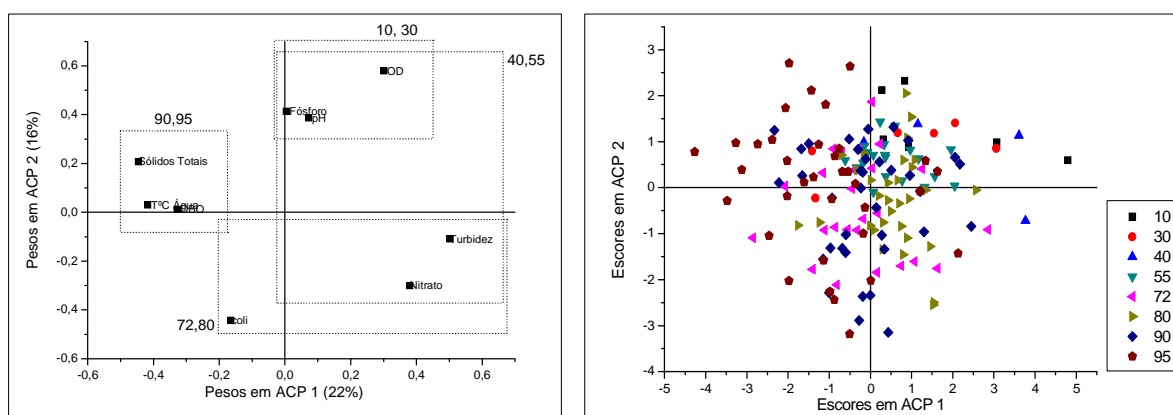


Figura 17 – Gráficos dos pesos e escores nas duas componentes principais de todo o conjunto de dados do rio Capibaribe, sem preenchimento (amostras sem lacunas)

Os retângulos delimitados no gráfico dos pesos agrupam os parâmetros com maior correlação em cada uma das estações de coleta. Por sua vez, o agrupamento das estações de coleta está claramente definido no gráfico dos escores, onde observam-se que as amostras das estações CB 10 e CB 30 estão situadas no 1 quadrante e associadas aos parâmetros pH, OD e Fósforo. Para as estações CB 40 e CB 55 os parâmetros associados são pH, OD, Fósforo, Turbidez e Nitrato. Para as CB 72 e CB 80, além dos parâmetros anteriores tem-se a influência do Coliforme. Separadamente e situada em uma região diferente das demais estações as amostras, exceção para alguns pontos anômalos, das CB 90 e CB 95 estão associadas aos parâmetros Sólidos Totais, Temperatura e DBO.

Este agrupamento coincide com o definido quando da análise dos dados considerando as faixas do IQA, porém acrescentando uma subdivisão no denominado setor de análise ambiental C. Portanto os setores poderiam ser divididos conforme Quadro 9.

Quadro 9 - Setor de análise ambiental definido com a ferramenta ACP

Setor	Estações
A	CB 10 CB 30
B	CB 40 CB 55
C	CB 72 CB 80
D	CB 90 CB 95

Análise dos componentes principais - amostras com preenchimento pelo valor máximo anual

Com as amostras do conjunto de dados preenchidas com o valor máximo anual, não foi possível agrupar as estações de coleta, pois as amostras estão representadas em diferentes regiões dos gráficos, que representam a ACP 1 e ACP 2.

Análise dos componentes principais - amostras com preenchimento pelo valor médio da amostra sem lacuna imediatamente anterior e imediatamente posterior

Na análise dos gráficos dos pesos e escores resultantes, considerando as amostras com preenchimento pelo valor médio da amostra sem lacuna imediatamente anterior e imediatamente posterior, assim como no preenchimento pelo valor máximo, não foi possível agrupar as estações de coleta devido a dispersão das amostras nas diferentes regiões do gráfico dos escores.

Em todas as três análises o percentual de informação representada pelas ACP's 1 e 2 está em torno de 37%. Este baixo valor de representatividade pode ser porque as análises foram modeladas com dados de diferentes períodos de coleta. Essa afirmação também foi apresentada quando Ouyang (2005) estudou o rio St. Johns.

Análise das componentes principais com os dados do ano de 2002, período da elaboração do mapa de uso e ocupação do solo e vegetação

Com a finalidade de consolidar o agrupamento das estações considerando os quatro setores de análise ambiental definidos, quando da aplicação da ACP em todas as estações de monitoramento, elaborou-se a Análise dos Componentes Principais apenas utilizando o conjunto de dados do ano de 2002 – ano da elaboração do mapa de uso e ocupação do solo e vegetação. Sendo assim, foi possível certificar as zonas de atividades predominantes em cada uma das estações de monitoramento.

A análise dos componentes principais agrupou as estações conforme representado na Figura 18, onde se vê: (i) o agrupamento das estações CB 10 e CB 30 na área com predominância da atividade agroindustrial e pecuária; (ii) das estações CB 40 e CB 55 numa zona de transição e, finalmente, (III) das demais estações numa zona tipicamente urbana (ver Quadro 10).

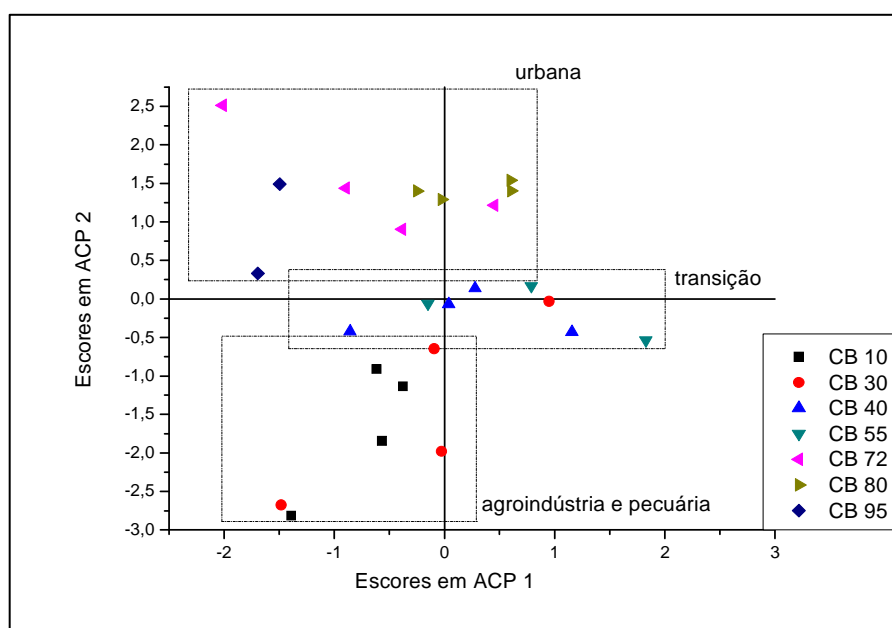


Figura 18 - Estratificação das estações por zona de atividade

Quadro 10 - Estratificação por zona de atividade

Estação	Zona de atividade
CB 10	agroindústria e pecuária
CB 30	
CB 40	transição
CB 55	
CB 72	urbana
CB 80	
CB 95	

Os padrões dos escores podem ser adicionalmente interpretados, levando-se em conta os gráficos de caixa estratificados por zona, com as amostras agrupadas com as estações conforme cada zona. A existência dessas zonas de atividade separadas é consequência das diferenças existentes entre os valores das variáveis usadas na ACP.

Análise dos componentes principais com o conjunto dos dados com as mesmas séries temporais.

Para a CB 10 a Figura 19 apresenta o gráfico dos pesos e escores no período de 2001 a 2008, com preenchimento pela máxima anual.

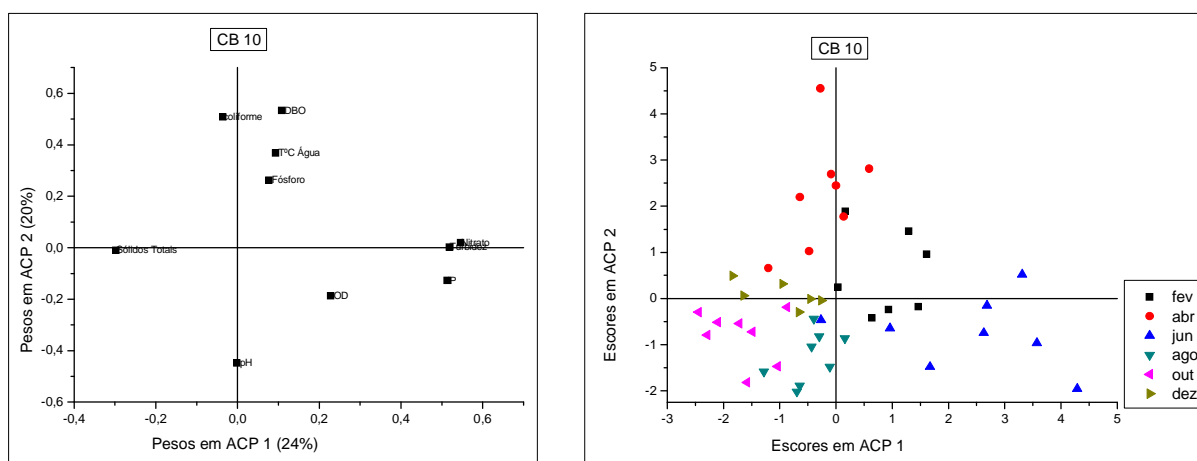


Figura 19 – Gráficos dos pesos e escores nas duas componentes principais do conjunto de dados da CB 10 no período de 2001 a 2008, com preenchimento pela máxima anual

No gráfico dos escores identifica-se, na primeira componente, que as amostras dos meses do período chuvoso – fevereiro, abril e junho, encontram-se na região situada a direita da ACP 1, exceto por alguns pontos anômalos. Comparando com o gráfico dos pesos, verifica-se que nesta mesma região, os parâmetros correlacionados com mais intensidade são o Nitrato, a Turbidez e o Índice Pluviométrico. A proximidade dos pontos que representam o Nitrato, a Turbidez e o IP, indica que essas três variáveis têm uma alta correlação positiva ($r = + 0,52$) da mesma forma reflete um contraste com o parâmetro Sólidos, que se encontra no quadrante oposto, indicando uma correlação negativa. Neste quadrante oposto, é possível verificar, no gráfico dos escores, que os meses de agosto, outubro e dezembro (período seco), exceto uma amostra de agosto, estão representados nesta região. Na segunda componente, tem-se o contraste entre os parâmetros Coliforme e DBO com pH.

A Figura 20 apresenta os gráficos dos pesos e escores no período de 2001 a 2008, com preenchimento pela máxima anual para a CB 30.

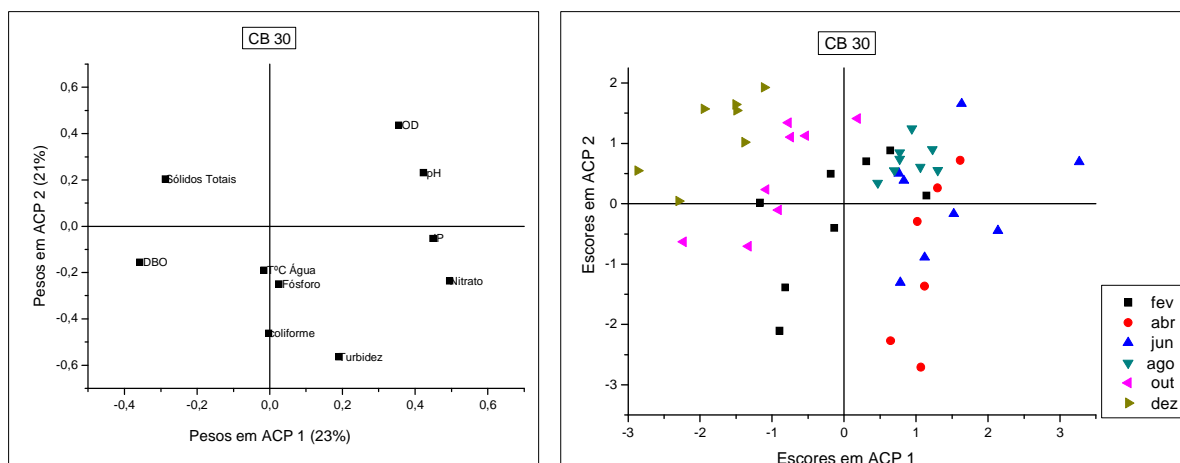


Figura 20 – Gráficos dos pesos e escores nas duas componentes principais do conjunto de dados da CB 30 no período de 2001 a 2008, com preenchimento pela máxima anual

As componentes principais ACP 1 e ACP 2, da estação de coleta CB 30, refletem uma situação bastante semelhante às ACP's da CB 10, isto é: (i) uma nítida separação no gráfico dos escores dos meses chuvosos e secos, (ii) uma correlação entre os parâmetros Nitrito e o IP e suas correlações negativas com o parâmetro Sólidos e (iii) uma correlação entre a variável Sólidos e os meses de agosto, outubro e dezembro.

Mesma avaliação foi realizada para as estações CB 40 e CB 55, cujos gráficos dos pesos e escores estão apresentados, respectivamente, nas Figuras 21 e 22.

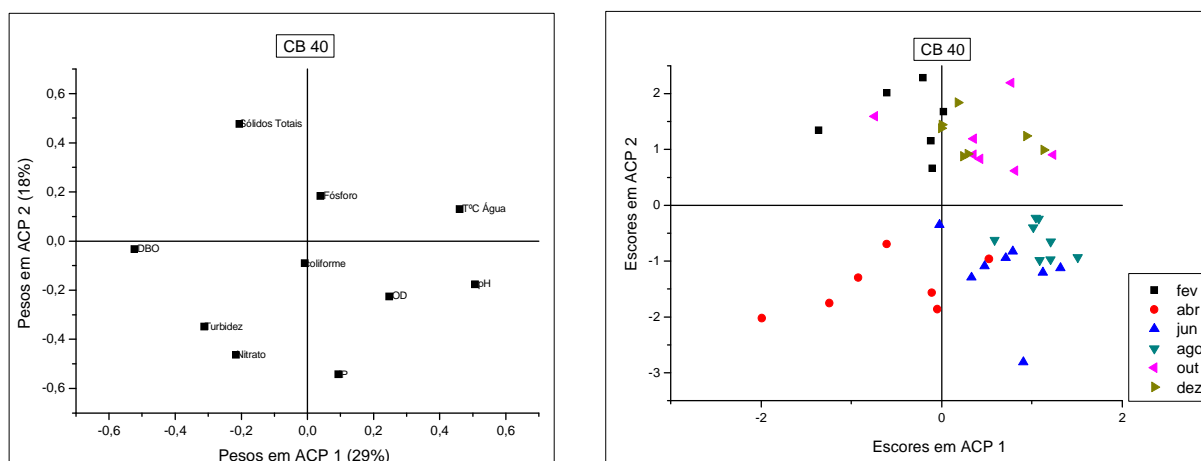


Figura 21 – Gráficos dos pesos e escores nas duas componentes principais do conjunto de dados da CB 40 no período de 2001 a 2008, com preenchimento pela máxima anual

A Figura 21 mostra o gráfico dos pesos e escores nas duas primeiras componentes. Juntas, essas componentes explicam 47% de toda a informação. A primeira componente (29% da informação) pode ser interpretada como um contraste

entre, de um lado, pH, Temperatura, OD e Fósforo que têm pesos positivos e de outro lado, DBO, Turbidez, Nitrato e Sólidos com pesos negativos. A proximidade dos pontos que representam Turbidez e Nitrato que estas duas variáveis tem uma alta correlação positiva e que a DBO e o pH, por estarem em quadrantes opostos, tem alta correlação negativa. Na segunda componente, as variáveis mais significativas com alta correlação negativa são os Sólidos e o IP. Por sua vez, no gráfico dos escores, pode-se perceber que os meses chuvosos estão todos nos quadrantes negativos da ACP 2, em posição oposta aos meses secos, que estão situados na região positiva desta componente. A influência maior na zona identificada como dos meses chuvosos é evidentemente o IP com valores positivos, em contradição à variável Sólidos, que tem uma correlação negativa com este parâmetro e que foi possível identificar no gráfico dos pesos.

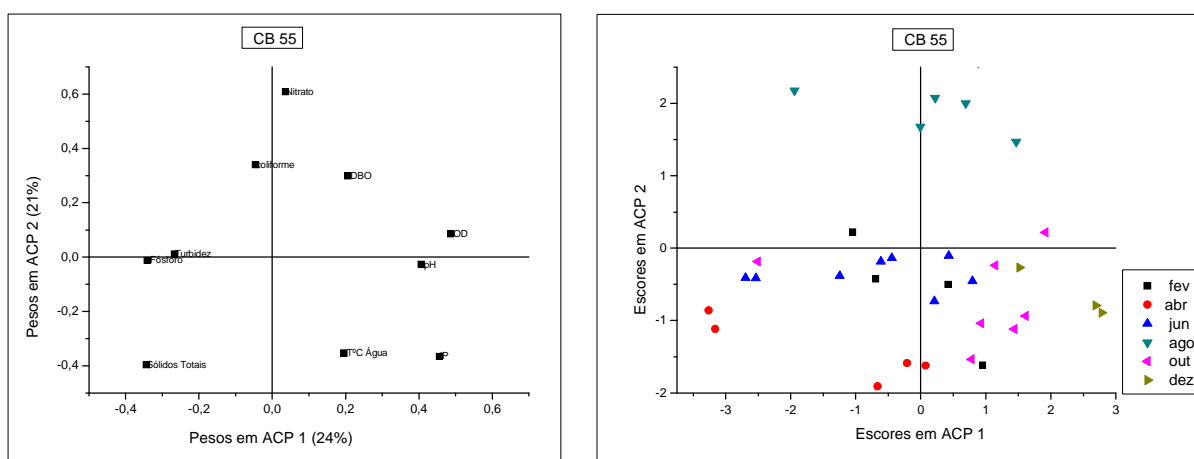


Figura 22 – Gráficos dos pesos e escores nas duas componentes principais do conjunto de dados da CB 55 no período de 2001 a 2008, com preenchimento pela máxima anual

Igualmente à CB 40, a análise dos componentes principais da CB 55 apresenta as variáveis Sólidos e IP em regiões opostas, isto é, com correlação negativa na componente principal 1. Na ACP 1, o OD é a variável que tem o maior peso positivo em oposição ao Fósforo, daí a correlação entre elas ser negativa. Na segunda componente, o Nitrato tem uma significância maior ($r = + 0,5$). Contudo, na análise do gráfico dos escores não foi possível identificar uma tendência de agrupamento dos meses em seco e chuvoso, pois as amostras apresentam-se dispersas, em especial o mês de agosto que se encontra em região oposta, tanto aos meses considerados do período seco, como do chuvoso.

A análise das componentes principais também foi realizada para a estação CB 72, cujos gráficos dos escores e pesos estão apresentados na Figura 23.

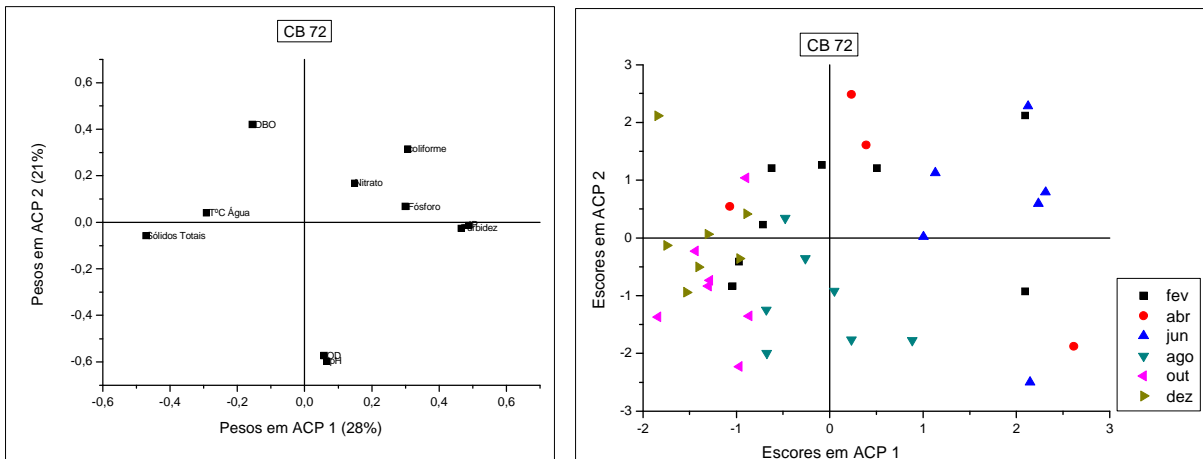


Figura 23 – Gráficos dos pesos e escores nas duas componentes principais do conjunto de dados da CB 72 no período de 2001 a 2008, com preenchimento pela máxima anual

A Figura 23 apresenta os gráficos dos pesos e escores na CB 72, para as componentes principais ACP 1 e ACP 2, que somadas totalizam 49% de toda a informação. No gráfico dos pesos, a proximidade dos pontos que representam as variáveis Turbidez e IP indica que possuem uma alta correlação positiva ($r = + 0,50$) e que se opõem ao parâmetro Sólidos. Na componente 2, os parâmetros com maiores correlações negativas são o OD e o pH com a DBO. No gráfico dos escores, é possível verificar um agrupamento dos meses de abril, junho e agosto, em oposto aos meses de fevereiro, outubro e dezembro, com apenas alguns pontos anômalos, principalmente do mês de agosto. Contudo, esta anomalia não descarta o agrupamento período seco e chuvoso, verificado nas estações já analisadas. Analogamente, os gráficos de pesos e escores da CB 80, apresentados na Figura 24, possuem a mesma representatividade das variáveis, tanto na ACP 1 como na ACP 2, notadamente na correlação entre os parâmetros IP e Turbidez e ambos em oposição ao parâmetro Sólidos. Similaridade, também encontrada no gráfico dos escores com a nítida delimitação de zonas para os meses secos e para os chuvosos, assim como na CB 72 algumas anomalias podem ser observadas, especialmente no mês de abril.

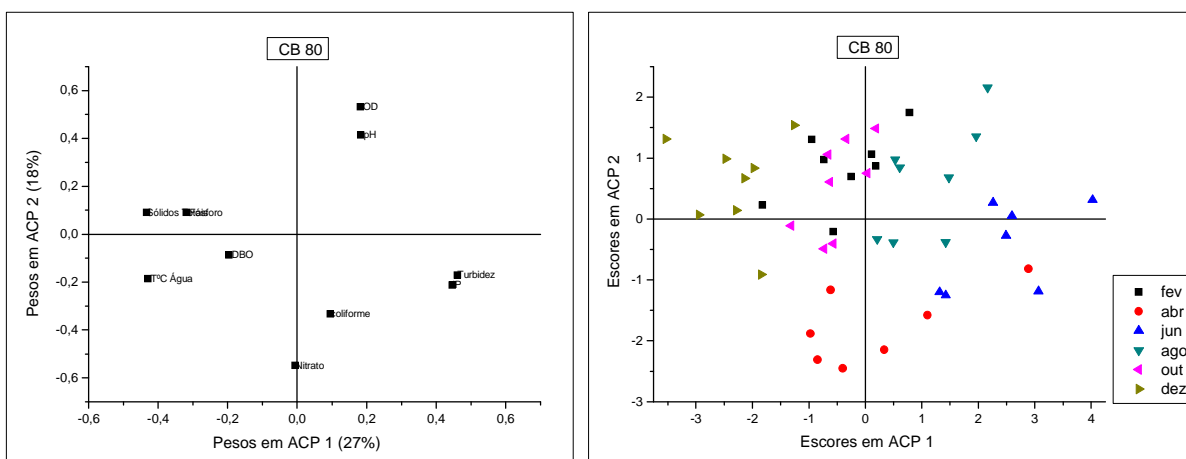


Figura 24 – Gráficos dos pesos e escores nas duas componentes principais do conjunto de dados da CB 80 no período de 2001 a 2008, com preenchimento pela máxima anual

A Figura 25 apresenta os gráficos dos pesos e escores da CB 95 que, assim como as ACP's das estações CB 72 e CB 80, têm comportamento semelhante, valendo as mesmas considerações elencadas. Salienta-se apenas que o agrupamento dos meses secos e chuvosos está na região da segunda componente principal, na estação de monitoramento CB 95 e na primeira componente para as estações CB 72 e CB 80. Para a estação CB 95, o percentual de dados representados na primeira e segunda componentes é maior, alcançando o valor de 54% das informações.

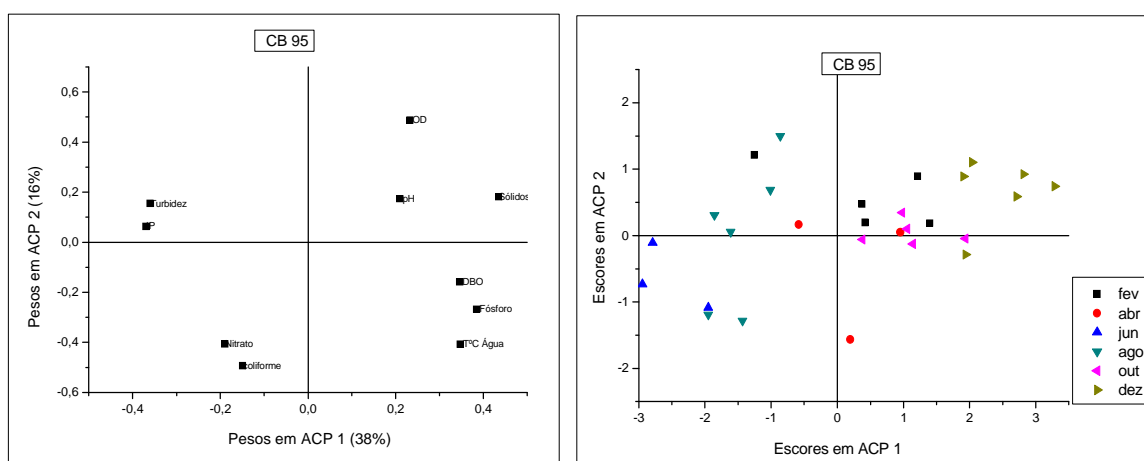


Figura 25 – Gráficos dos pesos e escores nas duas componentes principais do conjunto de dados da CB 95 no período de 2001 a 2008, com preenchimento pela máxima anual

Os resultados obtidos, adotando como conjunto de dados os mesmos períodos de coleta para as variáveis, em cada uma das estações de monitoramento, foram condizentes com os obtidos quando da análise do período chuvoso e seco,

definido de acordo com os Índices Pluviométricos para o mesmo período, exceção para a CB 55. Além do mais, as componentes principais explicaram cerca de 50% de toda a informação. Não foram realizadas análise dos componentes principais para a estação CB 90, pois não existem dados para o período de 2001 a 2008.

Cenários de análise com redução do número de variáveis do conjunto de dados

Adiante, apresentam-se as Figuras 26 e 27 com um dos cenários modelados - neste caso excluindo-se o parâmetro pH - para as estações CB 30 e CB 95, respectivamente. Os cenários foram modelados considerando o conjunto dos dados das variáveis, a partir do ano de 2001, e as lacunas preenchidas com valores máximos anuais ou o mais desfavorável quanto ao IQA.

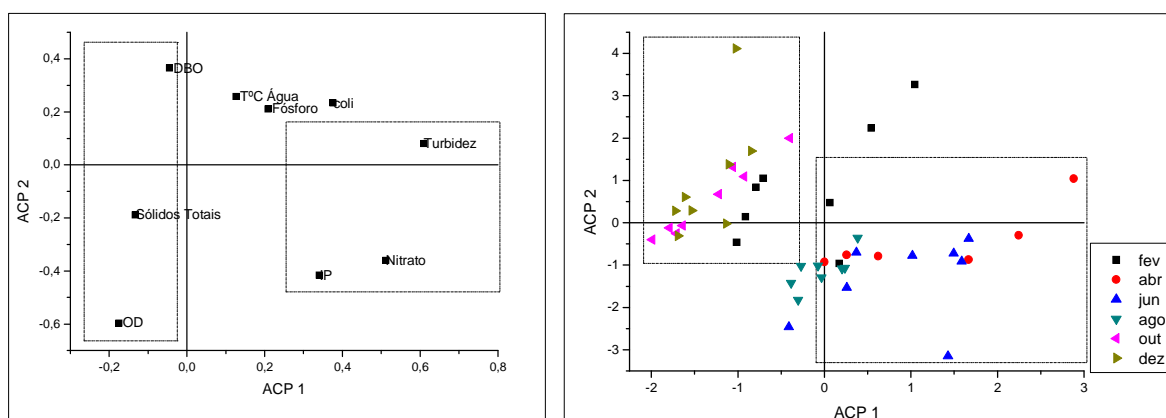


Figura 26 - Gráfico dos pesos e escores para a estação CB 30

Observa-se no gráfico dos pesos que as variáveis DBO e OD são as que possuem maior influência na segunda componente, nos meses secos (gráfico dos escores), com correlações opostas ($r = 0,38$ e $r = -0,5$), isto é quanto maior o OD menor a DBO e vice-versa. Nos demais 25 cenários modelados, verifica-se, em praticamente a metade deles, a correlação entre DBO e Sólidos no gráfico dos pesos, com o período seco (gráfico dos escores). Os cenários a seguir relacionados não obedecem a essa regra: 08 (modelado sem o parâmetro Sólidos), 09 (modelado sem o parâmetro DBO), 12 (modelado sem os parâmetros Coliforme e DBO), 13 (modelado sem os parâmetros Coliforme e Sólidos), 19 (modelado sem os parâmetros Sólidos e Coliforme), 20 (modelado sem os parâmetros Sólidos e OD), 21 (modelado sem Sólidos nem DBO), 22 (modelado sem Sólidos nem pH), 23 (modelado sem Sólidos nem Temperatura), 24 (modelado sem Sólidos nem Nitrato),

25 (modelado sem Sólidos nem Fósforo) e 26 (modelado sem Sólidos nem DBO). Evidencia-se, assim, a importância desses dois parâmetros para a avaliação da qualidade da água no Setor Ambiental A, nos meses do período seco do ano.

Nos meses chuvosos, os parâmetros Turbidez e Nitrato têm as maiores correlações ($r = 0,50$ e $r = 0,40$), além do IP evidentemente. Para o período chuvoso, todos os cenários têm como variáveis detentoras das maiores correlações a Turbidez e o Nitrato, não necessariamente nesta ordem, ou um dos dois, exceção para os cenários modelados sem um dos dois parâmetros ou ambos, quais sejam: 02 (modelado sem Nitrato), 04 (modelado sem Turbidez), 16 (modelado sem Coliforme e Turbidez), 18 (modelado sem Coliforme e Nitrato), 24 (modelado sem Sólidos nem Turbidez) e 26 (modelado sem Sólidos nem Nitrato). Portanto, as variáveis Turbidez e Nitrato são as que têm maior influência no sistema.

No Apêndice 4 estão inseridos todos os gráficos dos cenários modelados.

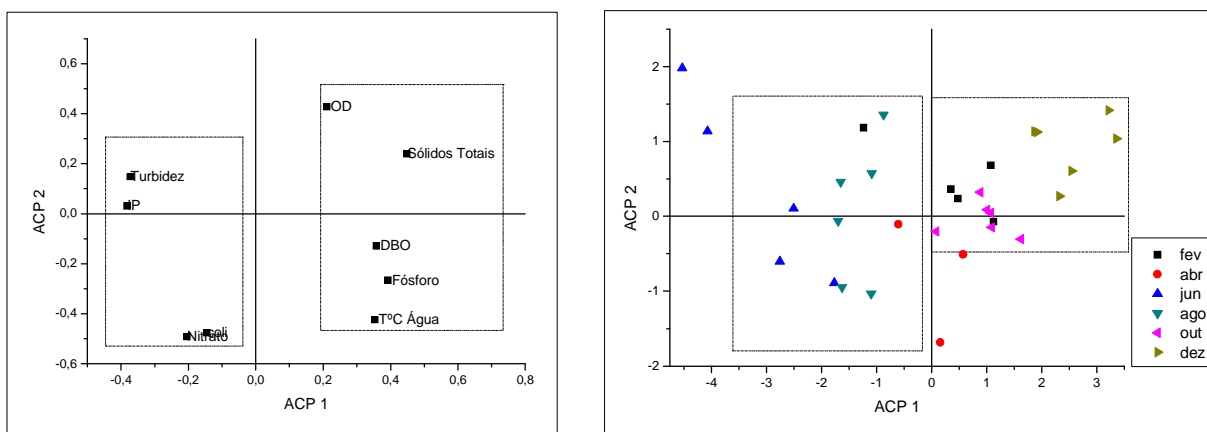


Figura 27 - Gráfico dos pesos e escores para a estação CB 95

Para a estação de monitoramento CB 95, o comportamento das variáveis no sistema de componentes principais é similar ao da CB 30. A primeira componente pode ser interpretada como um contraste entre as amostras identificadas para os meses chuvosos, situadas do lado esquerdo do sistema de coordenadas da primeira componente e, do lado oposto, aquelas correspondentes aos meses do período seco, com dois pontos anômalos para o período chuvoso e um do período seco.

No gráfico dos pesos, identifica-se que as variáveis Turbidez, Nitrato Coliforme e IP estão agrupados à esquerda na ACP 1 referente ao período chuvoso, com os parâmetros Turbidez e IP com as maiores correlações. Do lado oposto, indicando correlações negativas, estão as demais variáveis do conjunto de dados, com a correlação maior para o parâmetro Sólidos. Este comportamento é um padrão

para a maioria dos cenários modelados nesta estação, com exceção para os cenários sem um dos parâmetros ou combinação de dois. Ficou evidente a importância dos parâmetros Turbidez e Nitrato para a avaliação da qualidade da água no Setor Ambiental D. A relevância do parâmetro Nitrato para caracterização da qualidade da água de corpos hídricos localizados em áreas urbanas, também foi identificada por Silva (2006) quando da definição de um novo índice de qualidade das águas para o rio Atibaia, localizado na Região do município de Campinas, no estado de São Paulo.

4.7 Proposição de um modelo de avaliação de um plano de monitoramento da qualidade da água

Todo Plano de Monitoramento deve ser periodicamente avaliado para incorporar as alterações espaciais e temporais do sistema ambiental estudado, em especial quanto aos seus aspectos da dinâmica superficial. No caso do monitoramento da qualidade da água de bacias hidrográficas, o surgimento ou a redução de potenciais fontes de poluição, pontuais ou difusas, pode alterar as condições da qualidade dos corpos hídricos desta bacia. São exemplos da redução das fontes de poluição: a implantação de um sistema de esgotamento sanitário, ou de um gerenciamento integrado dos resíduos sólidos para uma localidade, a redução da utilização de agrotóxicos e fertilizantes na agricultura, o replantio de matas ciliares, a redução da degradação em áreas de mineração, a instalação de uma indústria, dentre outras atividades.

Para acompanhar essas alterações naturais na dinâmica de uma bacia hidrográfica, a definição de um sistema de avaliação capacita o órgão gestor a identificar essas mudanças e mais rapidamente tomar decisões de adequar o monitoramento a essa nova situação. Exemplifica-se com o monitoramento da balneabilidade da praia de Ponta de Pedra, estação de coleta GON 20, no município de Goiana na região costeira norte do Estado de Pernambuco, que desde o ano de 1999, segundo o Relatório de Balneabilidade da CPRH, é imprópria para banho. Questiona-se a importância de, semanalmente, uma equipe da CPRH ir até o mesmo local coletar amostras, realizar as análises bacteriológicas e constatar a mesma situação que se repete há quase uma década.

Portanto, propõe-se uma rotina de atividades para avaliar e adequar um Plano de Monitoramento da Qualidade da Água de uma Bacia Hidrográfica, quanto à dinâmica ocupacional, quais sejam: (i) sistematizar os parâmetros monitorados das estações de coleta no mesmo formato nas planilhas eletrônicas, (ii) identificar e corrigir valores dos parâmetros, seguindo faixas realísticas de ocorrência, considerando a situação ambiental do corpo hídrico monitorado, (iii) aplicar métodos estatísticos de avaliação de dados, (iv) manter atualizado o mapa de uso e ocupação do solo e vegetacional da bacia e (v) manter atualizado um banco de dados cadastrais das atividades na bacia.

4.8 Proposições para adequação do Plano de Monitoramento da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe

A proposição para o Plano de Monitoramento da Bacia do rio Capibaribe considerou, além de uma nova divisão espacial da Bacia, para fins de monitoramento da qualidade da água, a alteração da periodicidade de coleta e dos parâmetros que fazem parte dos elementos do conjunto de análise.

4.8.1 Proposição de uma nova divisão espacial de análise ambiental

A diversidade ecológica, fisiográfica, sócio-cultural e econômica da bacia hidrográfica do rio Capibaribe determinou a existência de espaços geográficos singulares, que podem ser identificados como macro-unidades ambientais. E, assim, deve ter sido, quando da definição, pelo PDRH CAPIBARIBE, elaborado no ano de 2002, das Unidades de Análise – UA. Essas unidades apresentam dinâmica própria no que se refere às interações dos elementos da natureza (solo, relevo, clima, água, fauna e flora) e, entre esses, as diversas atividades humanas atualmente em curso (agrícolas, industriais, urbanas, entre outras), potencializando os seus efeitos sobre os ecossistemas, sobre os recursos hídricos, sobre as populações e sobre a dinâmica econômica da região.

Por esta razão, a definição de Unidades de Análise tendo como finalidade identificar na bacia áreas homogêneas, que ao se assemelharem ou se distinguirem

das demais, permitam a identificação e avaliação dos impactos associados a uma ou mais localidades em cada uma dessas áreas, bem como dos impactos que as extrapolam, facilita a adoção de ações específicas e com mais efetividade.

Para os fins desta pesquisa, que é o impacto das zonas de atividade na qualidade da água do rio Capibaribe, foram obtidas três novas propostas de Setores de Análise Ambiental, o que permitiu identificar o desenvolvimento, em linha espacial dos impactos efetivamente gerados nos recursos hídricos, quais sejam: (i) setorização definida considerando o Índice de Qualidade das Águas - IQA, (ii) setorização definida pela análise dos componentes principais e (iii) setorização definida pela estratificação por zona de atividade.

Todas as três alternativas de setorização se assemelham, em linhas gerais, diferenciando-se apenas na criação de uma subdivisão entre as estações de coleta com maior ocupação urbana, isto é as CB 72, CB 80, CB 90 e CB 95, ou não. Como a tipologia de ocupação é a mesma para estas sub-bacias de drenagem optou-se, nesta pesquisa, por desconsiderar esta subdivisão. Sendo assim, a setorização considerando a estratificação por zona de atividade é a que identifica com mais propriedade os impactos das atividades na qualidade da água da bacia do rio Capibaribe e foi dividida nas seguintes zonas: zona agrícola e pecuária; zona de transição e; zona urbana. A Figura 18 apresenta esta estratificação por zona de atividade. Vega et al (1998) quando aplicou a ACP também estratificou a Bacia do rio Duero por zona de atividade.

4.8.2 Proposição de reformulação da periodicidade e dos parâmetros de monitoramento

Para o estudo de caso desta pesquisa, isto é, a Bacia Hidrográfica do rio Capibaribe, propõe-se o seguinte Plano de Monitoramento: (i) periodicidade trimestral, com duas coletas no período chuvoso e duas no período seco, (ii) possibilidade de realizar o monitoramento apenas em uma das estações por zona de estratificação do uso e ocupação do solo, sem perda de conhecimento quanto à qualidade da água do rio na referida zona e (iii) priorização do monitoramento dos parâmetros Turbidez, Nitrato, OD e Sólidos Totais e (iv) desativação da estação CB - 80.

5. VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA

Para validação da metodologia proposta nesta pesquisa, a mesma foi aplicada às Bacias Hidrográficas dos Rios Goiana e Una, com todos os procedimentos de: (i) Definição das estações de coleta do estudo, (ii) Definição dos parâmetros do estudo, (iii) Correção e adequação da base de dados, (iv) Identificação e validação dos períodos seco e chuvoso, (v) Definição das sub-bacias de drenagem e (vi) identificação do uso e ocupação do solo e vegetacional da bacia foram realizadas para cada uma delas.

5.1 Bacia Hidrográfica do Rio Goiana

Segundo o Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Rio Goiana (2002), a Bacia do Goiana ela está localizada no espaço definido pelas coordenadas 7°22'20" e 7°54'47" de latitude sul e 34°49'06" e 35°41'43" de longitude oeste de Greenwich, limitando-se, ao norte com o Estado da Paraíba e com o grupo de bacias de pequenos rios litorâneos GL-6; ao sul com a Bacia do rio Capibaribe e o grupo de bacias de pequenos rios litorâneos GL-1; a leste com o Oceano Atlântico e a GL-1 e; a oeste com o Estado da Paraíba e a bacia hidrográfica do Capibaribe.

Sua área mede 2.882,74km², correspondendo a 2,91% da área do Estado, estendendo-se desde o Agreste Setentrional, até a Zona da Mata com parte de sua superfície encravada no Polígono das Secas.

A Bacia tem como cursos d'água principais os rios Capibaribe Mirim e Tracunhaém que nascem, respectivamente, nos municípios de São Vicente Férrer e Orobó, ambos na mesorregião do Agreste, e que se encontram a jusante da cidade de Goiana recebendo, a partir daí, a denominação de rio Goiana. Adiante, apresenta-se a Figura 28 com a situação da Bacia Hidrográfica do Rio Goiana no estado de Pernambuco.

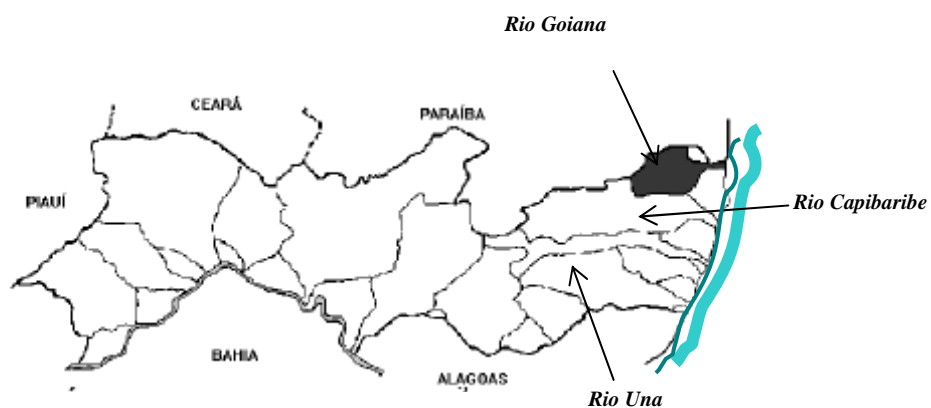


Figura 28 - Bacia Hidrográfica do Rio Goiana

O Quadro 11 identifica as estações de coleta da Bacia Hidrográfica do Rio Goiana do conjunto de dados considerado.

Quadro 11 - Estações de coleta na Bacia Hidrográfica do Rio Goiana

Estação	Corpo d'água	Local
GO-05	Rio Capibaribe Mirim	A jusante da cidade de Macaparana e a montante da Usina Nossa Senhora de Lourdes
GO-15	Rio Capibaribe Mirim	A jusante da cidade de Timbaúba
GO-55	Rio Capibaribe Mirim	Após receber o deságüe do Rio Água Torta, na propriedade de Alagamar
GO-67	Rio Capibaribe Mirim	Na ponte da BR-101, a jusante da Usina Nossa Senhora das Maravilhas
GO-75	Rio Tracunhaém	A jusante da Usina Matary
GO-80	Rio Tracunhaém	Na ponte da antiga estrada de acesso a Goiana, a jusante da Usina Santa Tereza
GO-85	Rio Goiana	Após receber seus formadores e o Canal de Goiana no Engenho Barreirinha

Fonte: CPRH – Planilhas eletrônicas com toda a série de dados (2008)

5.1.1 Aplicação da metodologia

Para a Bacia do rio Goiana, as Análises dos Componentes Principais modelados resultaram nas seguintes observações:

Análise dos componentes principais - amostras sem lacunas

Nesta análise, foi aplicada a ACP no conjunto completo da base de dados do monitoramento da Bacia do rio Goiana, considerando apenas as amostras sem lacunas.

A Figura 29 apresenta o gráfico dos pesos e dos escores representados pelas amostras nas estações de coleta. Juntas, as duas componentes explicam 38% de toda a informação.

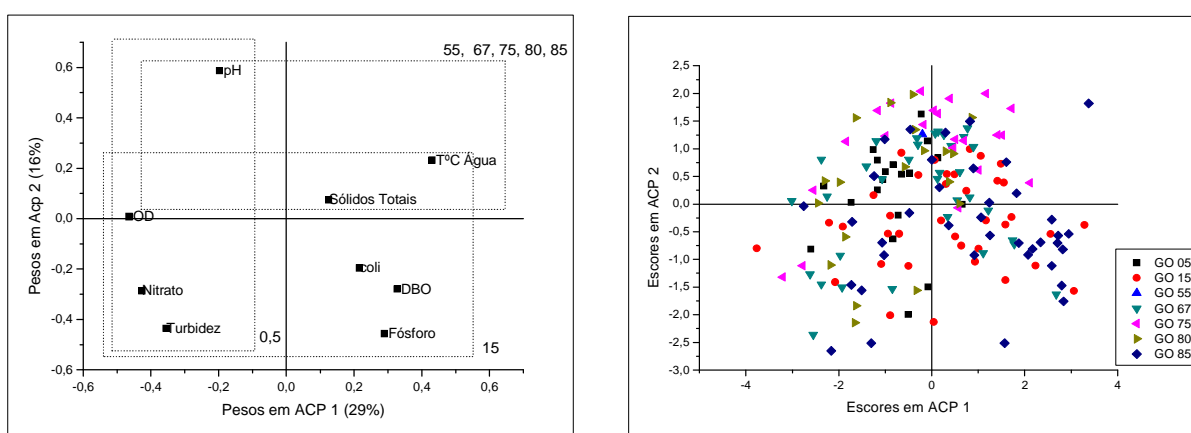


Figura 29 – Gráficos dos pesos e escores nas duas componentes principais de todo o conjunto de dados do rio Goiana, sem preenchimento

Os retângulos delimitados no gráfico dos pesos agrupam os parâmetros com maior correlação em cada uma das estações de coleta. Por sua vez, o agrupamento das estações de coleta está definido no gráfico dos escores, onde se observa que as amostras das estações GO 05, 15 e 85 estão situadas, na sua maioria, nos 2o e 4o quadrantes e associadas aos parâmetros pH, OD, Nitrito, Fósforo, DBO e Coliforme. Para as estações GO 55, 67, 75 e 80 os parâmetros associados são: pH, Sólidos, e Temperatura.

Inicialmente, podem-se definir dois setores de análise ambiental, conforme Quadro 12.

Quadro 12 - Setor de análise ambiental definido com a ferramenta ACP

Setor	Estações
A	GO 05
	GO 15
B	GO 55
	GO 67
	GO 75
	GO 80
	GO 85

Análise das componentes principais com os dados do ano de 2000, período da elaboração do mapa de uso e ocupação do solo e vegetação

Com a finalidade de verificar o agrupamento das estações de coleta definidos quando da aplicação da ACP para o conjunto dos dados sem lacunas nas variáveis, elaborou-se a Análise dos Componentes Principais apenas utilizando o conjunto de dados do ano de 2000 – ano da elaboração do mapa de uso e ocupação do solo e vegetação. Sendo assim, foi possível agrupar as estações de coleta por zonas de atividades predominantes em cada uma das delas, conforme o mapa de uso e ocupação do solo bacía.

A análise dos componentes principais agrupou as estações conforme representado na Figura 30, onde se vê o agrupamento das estações GO 05 e GO 15 na área com predominância das atividades de policultura, plantação de cana-de-açúcar e pastagem, para as demais estações - GO 55, GO 67, GO 75, GO 80 e GO 85 -atividade predominantemente de cultivo de cana-de-açúcar (ver Quadro 13).

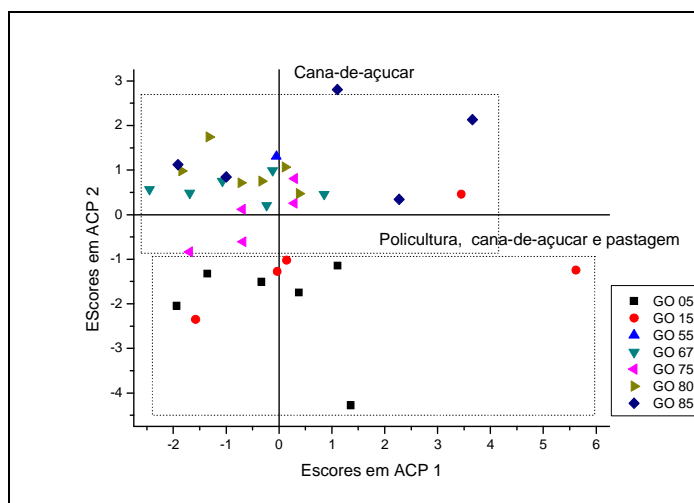


Figura 30 - Estratificação das estações por zona de atividade

Quadro 13 - Estratificação por zona de atividade

Estação	Zona de atividade
GO 05	policultura, plantação de cana-de-açúcar e pastagem
GO 15	
GO 55	cultivo de cana-de-açúcar
GO 67	
GO 75	
GO 80	
GO 85	

Análise dos componentes principais com o conjunto dos dados com as mesmas séries temporais.

Para o conhecimento individual de cada estação de monitoramento foram realizadas modelagens com a base de dados das séries temporais iguais e o preenchimento das lacunas com os valores máximos anuais entre os anos de 2001, até 2008. O conhecimento das variáveis de maior correlação no conjunto de dados de cada estação serviu de subsídio para proposição da adequação do Plano de Monitoramento da Bacia do rio Goiana.

Para a GO 05, a Figura 31 apresenta o gráfico dos pesos e escores no período de 2001 a 2008, com preenchimento pela máxima anual.

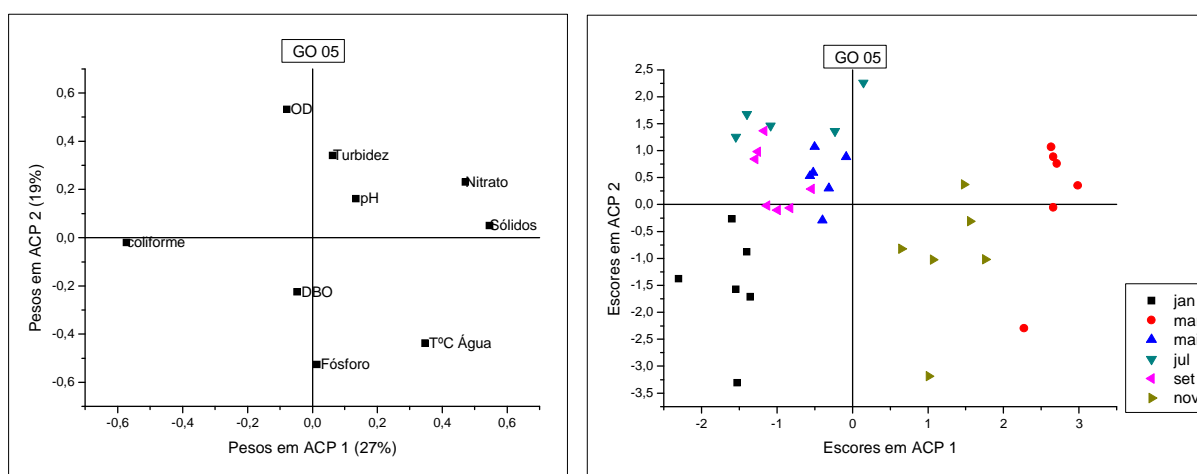


Figura 31 – Gráficos dos pesos e escores nas duas componentes principais do conjunto de dados da GO 05 no período de 2001 a 2008, com preenchimento pela máxima anual

No gráfico dos escores, identifica-se, na segunda componente, que as amostras dos meses do período chuvoso, encontram-se na região situada nos

quadrantes 1 e 4, exceto por alguns pontos anômalos. Comparando com o gráfico dos pesos, verifica-se que nesta mesma região os parâmetros correlacionados são com: o OD ($r = 0,5$), Turbidez ($r = 0,35$), com mais intensidade, Nitrato e pH. O OD reflete um contraste com o parâmetro Fósforo, que se encontra no quadrante oposto, indicando uma correlação negativa. Neste quadrante oposto é possível verificar, no gráfico dos escores, que os meses de janeiro, março e novembro (período seco), exceto algumas amostras de setembro, estão representados nesta região.

A Figura 32 apresenta os gráficos dos pesos e escores no período de 2001 a 2008, com preenchimento pela máxima anual para a GO 15.

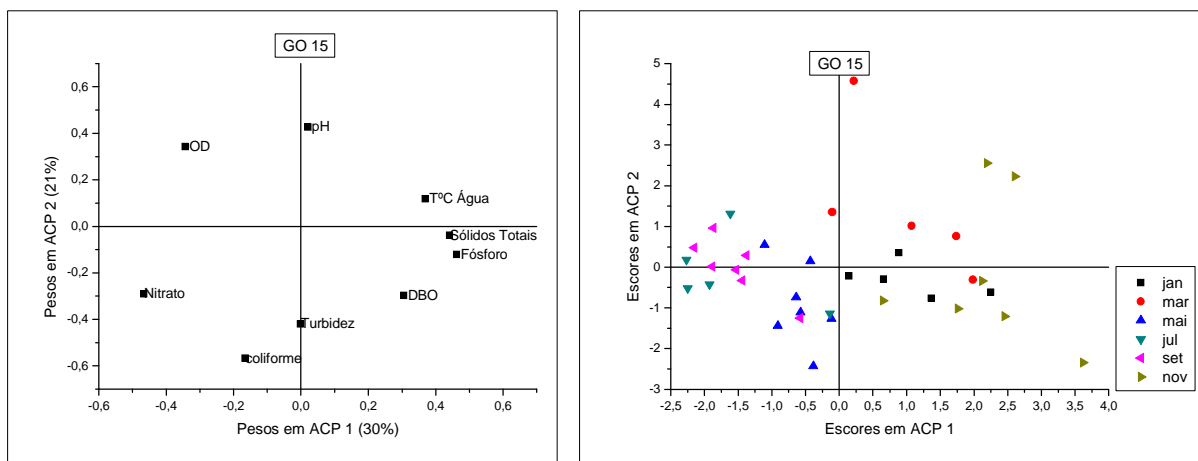


Figura 32 – Gráficos dos pesos e escores nas duas componentes principais do conjunto de dados da GO 15 no período de 2001 a 2008, com preenchimento pela máxima anual

As componentes principais ACP 1 e ACP 2 da estação de coleta GO 15 assemelham-se às ACP's da GO 05, isto é: (i) uma nítida separação no gráfico dos escores dos meses chuvosos e secos, (ii) uma correlação entre os parâmetros OD e Nitrato e suas correlações negativas com o parâmetro Fósforo e (iii) uma correlação positiva entre a variável Sólidos e os meses do período seco.

Mesma avaliação foi realizada para a estação GO 55. Os gráficos dos pesos e escores estão apresentados, respectivamente, na Figura 33.

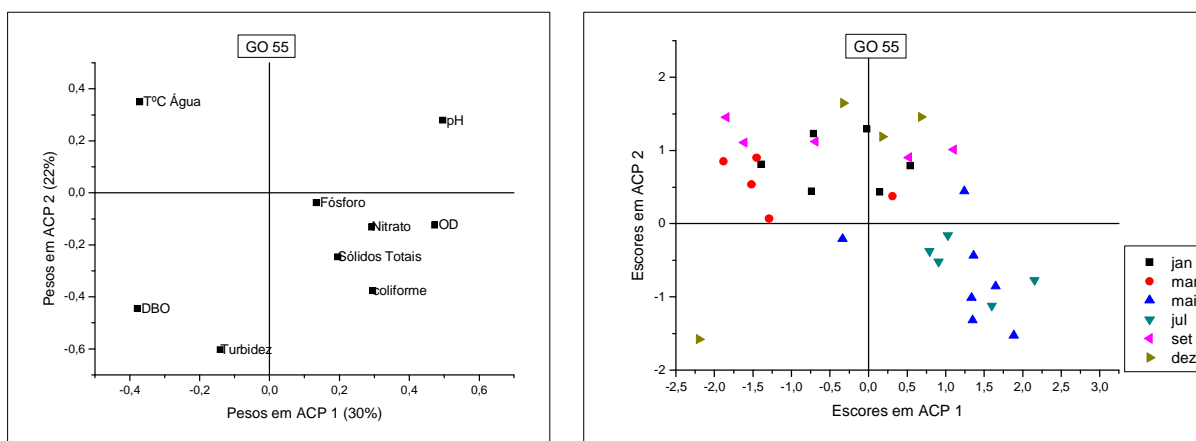


Figura 33 – Gráficos dos pesos e escores nas duas componentes principais do conjunto de dados da GO 55 no período de 2001 a 2008, com preenchimento pela máxima anual

A Figura 33 mostra o gráfico dos pesos e escores nas duas primeiras componentes. Juntas, essas componentes explicam 52% de toda a informação. A primeira componente (30% da informação) pode ser interpretada como um contraste entre, de um lado pH, OD, Nitrato, Fósforo, Sólidos, Coliforme e Nitrato que têm pesos positivos e DBO, Turbidez e Temperatura com pesos negativos. A proximidade dos pontos que representam OD e pH indica que estas duas variáveis têm uma alta correlação positiva e que a DBO por estar em quadrante oposto, tem alta correlação negativa, com estas duas variáveis. Na segunda componente, as variáveis mais significativas com alta correlação negativa são a Turbidez e o pH. Por sua vez, no gráfico dos escores pode-se perceber que os meses chuvosos estão todos nos quadrantes negativos da ACP 2, em posição oposta aos meses secos, que estão situados na região positiva desta componente. A influência maior na zona identificada como dos meses chuvosos é a Turbidez, com valores positivos, em contradição a variável pH que tem uma correlação negativa com este parâmetro.

Este comportamento é idêntico ao da estação de coleta GO 75, diferenciando-se apenas no enquadramento dos períodos seco e chuvoso, nas componentes principais. A Figura 34 mostra o gráfico dos pesos e escores nas duas primeiras componentes da estação GO 75. No período chuvoso, as variáveis com maior influência são: o Nitrato, os Sólidos e a Turbidez, ao passo que no seco o pH e Temperatura têm uma correlação maior.

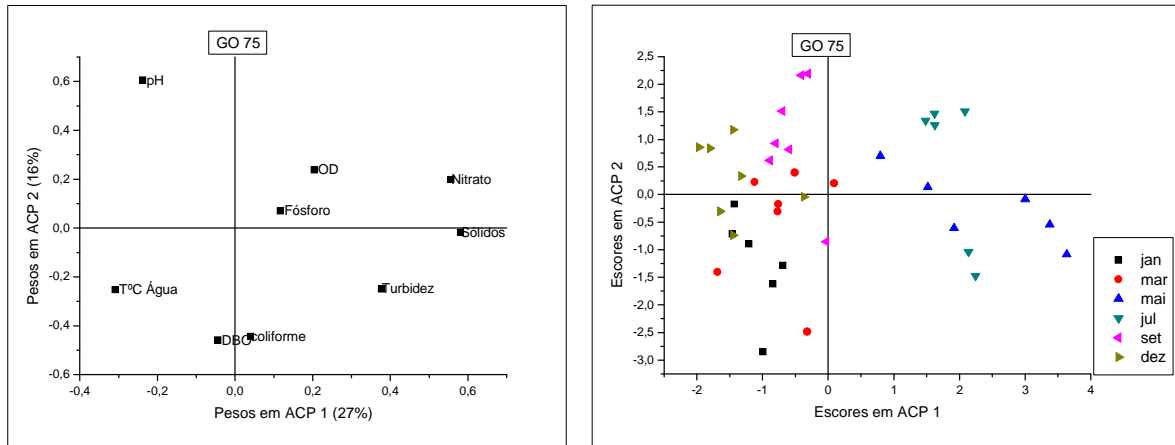


Figura 34 – Gráficos dos pesos e escores nas duas componentes principais do conjunto de dados da GO 75 no período de 2001 a 2008, com preenchimento pela máxima anual

Na análise da estação de coleta GO 80 verificou-se que a componente principal 1 detém 24% de toda a informação por sua vez a ACP 2 detém 19%. Os períodos seco e chuvoso estão delimitados, porém não com tanta nitidez, pois é possível verificar alguns pontos anômalos, com destaque para o mês de julho. No gráfico dos escores do período seco, os parâmetros com maiores correlações são o OD, pH e Sólidos. No período chuvoso a DBO, Nitroto e Turbidez possuem a maior correlação e importância. Ver Figura 35.

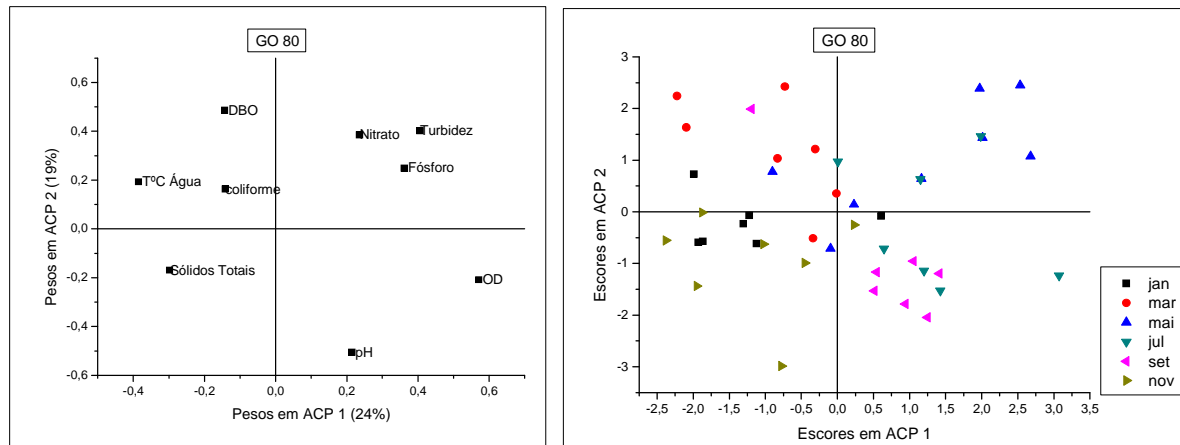


Figura 35 – Gráficos dos pesos e escores nas duas componentes principais do conjunto de dados da GO 80 no período de 2001 a 2008, com preenchimento pela máxima anual

A Figura 36 apresenta os gráficos dos pesos e escores na GO 85, para as componentes principais ACP 1 e ACP 2, que somadas totalizam 39% de toda a informação. No gráfico dos pesos da componente 1 o parâmetro Sólidos possui uma alta correlação negativa com Coliforme. Na componente 2 os parâmetros com maiores correlações positivas são o Nitroto e a Turbidez, e com maiores correlações

negativas o pH, o Fósforo, o OD e o Sólidos. No gráfico dos escores, é possível verificar um agrupamento dos meses de março, maio e julho, em oposição aos meses de janeiro, setembro e novembro, com apenas alguns pontos anômalos, principalmente do mês de setembro. Contudo, esta anomalia não descarta o agrupamento período seco e chuvoso.

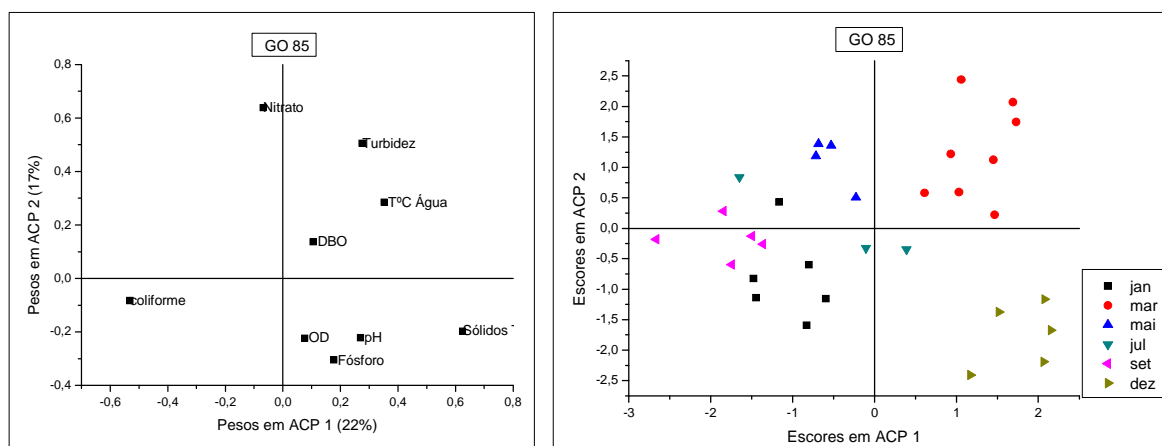


Figura 36 – Gráficos dos pesos e escores nas duas componentes principais do conjunto de dados da GO 85 no período de 2001 a 2008, com preenchimento pela máxima anual

Os resultados obtidos, adotando como conjunto de dados os mesmos períodos de coleta para as variáveis em cada uma das estações de monitoramento, apresentou resultados condizentes com os agrupamentos definidos por tipologia de atividade. Além do mais, as componentes principais explicaram cerca de 50% de toda a informação. Exceção para a GO 67, onde não foi possível identificar o agrupamento período chuvoso e seco.

5.1.2 Proposições para adequação do Plano de Monitoramento da Bacia Hidrográfica do Rio Goiana

A proposição para o Plano de Monitoramento da Bacia do Goiana considerou, além de uma nova divisão espacial da Bacia, a alteração da periodicidade de coleta e dos parâmetros que fazem parte dos elementos do conjunto de análise.

Proposição de uma nova divisão espacial de análise ambiental

A setorização considerando a estratificação por zona de atividade enquadrou as estações de monitoramento segundo as zonas de: policultura, plantação de cana-de-açúcar e pastagem e cana-de-açúcar. O Quadro 13 apresenta a estratificação por zona de atividade.

Proposição de reformulação da periodicidade e dos parâmetros de monitoramento

Para a Bacia Hidrográfica do rio Goiana, propõe-se o seguinte plano de monitoramento: (i) periodicidade trimestral, duas coletas no período chuvoso e duas no período seco, (ii) possibilidade de realizar o monitoramento apenas em uma das estações por zona de estratificação do uso e ocupação do solo, sem perda de conhecimento quanto à qualidade da água do rio na referida zona e (iii) priorização do monitoramento dos parâmetros Turbidez, Nitrato, OD e Sólidos Totais.

5.2 Bacia Hidrográfica do Rio Una

Segundo o documento Série Bacias Hidrográficas de Pernambuco - Volume nº 3, elaborado pela CONDEPE/FIDEM, no ano de 2006, a Bacia Hidrográfica do rio Una (UP 5) está situada entre 8 ° 17'14" e 8 ° 55' 28" de latitude sul, e 35 ° 07'48" e 36 ° 42'10" de longitude a oeste de Greenwich. No espaço territorial do Estado de Pernambuco, encontra-se localizada na porção sul da região litorânea. Por sua configuração, estende-se desde a região Agreste até o litoral do Estado, com uma área superficial de 6.295,77km².

São os seguintes os seus limites: (i) ao norte, as bacias hidrográficas dos rios Ipojuca e Sirinhaém; (ii) ao sul, a bacia hidrográfica do rio Mundaú, o Estado de Alagoas e o quinto grupo de bacias hidrográficas de pequenos rios litorâneos – GL 5; (iii) a leste, o Oceano Atlântico e o quarto grupo de bacias hidrográficas de pequenos rios litorâneos – GL 4; e (iv) a oeste, as Bacias Hidrográficas dos rios Ipojuca e Ipanema.

Os principais tributários do rio Una são: margem direita, os riachos Salobro, Salgadinho, Quatis, da Mandioca; os rios Chata, Piranji, e Jacuípe; e margem

esquerda, os riachos Games, Gravatá, Exú; e os rios Mentiroso, Maracujá, Camevô, Preto, Camocim-Mirim e José da Costa. Adiante, apresenta-se a Figura 37, com a situação da Bacia do rio Una, no estado de Pernambuco.



Figura 37 - Bacia do rio Una

O Quadro 14 identifica as estações de coleta da Bacia Hidrográfica do Rio Una do conjunto de dados considerados.

Quadro 14 - Estações de coleta na Bacia Hidrográfica do rio Una

Estação	Corpo d'água	Local
UN-04	Rio Una	Em frente ao Sítio Barra de Timbó, a jusante do município de Batateira.
UN-25	Rio Pirangi	Ponte na PE-125, a jusante da Destilaria São Luiz
UN-30	Rio Panelas	A jusante da cidade de Catende e da Usina Catende
UN-42	Rio Una	Ponte na PE-96, a jusante da Cidade de Água Preta
UN-45	Rio Una	Ponte na PE-60, a jusante da Cidade de Barreiros

Fonte: CPRH – Planilhas eletrônicas com toda a série de dados (2008)

5.2.1 Aplicação da metodologia

Para a Bacia do rio Una, as Análises dos Componentes Principais modelados resultaram nas seguintes observações.

Análise dos Componentes Principais - ACP

Aplicando a ACP para a base de dados da Bacia do rio Una ficou evidente, conforme Figura 38, que existem dois agrupamentos distintos, exceto por alguns pontos anômalos, quais sejam: (i) a estação UN 04 na zona de estratificação identificada pela vegetação de caatinga e (ii) as estações UN 25, UN 30, UN 42 e UN 45 na zona com a tipologia de vegetação predominantemente cana-de-açúcar.

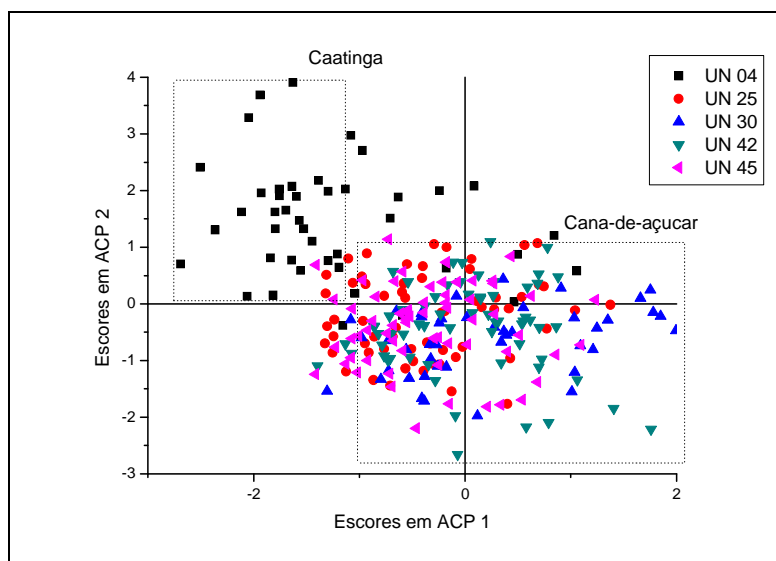


Figura 38 - Estratificação das estações por zona de atividade

Portanto, podem-se definir dois setores de análise ambiental, conforme Quadro 15.

Quadro 15 - Setor de análise ambiental definido com a ferramenta ACP

Setor	Estações	Zona de atividade
A	UN 04	Caatinga
B	UN 25 UN 30 UN 42 UN 45	Cana-de-açúcar

Análise dos componentes principais com o conjunto dos dados com as mesmas séries temporais.

Assim como para a Bacia do rio Goiana, para o conhecimento individual de cada estação de monitoramento foram realizadas modelagens com a base de dados das séries temporais iguais, e o preenchimento das lacunas com os valores máximos anuais, pois para o período de análise, entre os anos de 2001 até 2008 não existem amostras com registro para todos os parâmetros. Com os resultados obtidos foi possível, assim como para as Bacias do Capibaribe e Goiana, identificar as variáveis mais representativas do sistema.

5.2.2 Proposições para adequação do Plano de Monitoramento da Bacia Hidrográfica do Rio Una

A proposição para o plano de Monitoramento da Bacia Hidrográfica do Rio Una considerou, além de uma nova divisão espacial da Bacia, a alteração da periodicidade de coleta e dos parâmetros que fazem parte dos elementos do conjunto de análise.

Proposição de uma nova divisão espacial de análise ambiental

A setorização, considerando a estratificação por zona de atividade, enquadrou as estações de monitoramento segundo as zonas de atividade e ocupação: caatinga e cana-de-açúcar. O Quadro 15 apresenta essa estratificação por setorização e zona de atividade.

Proposição de reformulação da periodicidade e dos parâmetros de monitoramento

Para a Bacia Hidrográfica do Rio Una, propõe-se o seguinte Plano de Monitoramento: (i) periodicidade trimestral, duas coletas no período chuvoso e duas no seco, (ii) possibilidade de realizar o monitoramento apenas em uma das estações por zona de estratificação do uso e ocupação do solo, sem perda de conhecimento

quanto à qualidade da água do rio na referida zona e (iii) priorização do monitoramento dos parâmetros pH, Turbidez, OD e Sólidos Totais.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho foi apresentada uma metodologia para redefinir um plano de monitoramento da qualidade da água de uma bacia hidrográfica.

A técnica estatística de análise multivariada serviu como ferramenta exploratória para análise e interpretação de extensas séries de dados de qualidade da água de uma bacia hidrográfica, e viabilizou o entendimento das variações das características físicas, químicas e biológicas, temporais e espaciais dos rios estudados.

Com a utilização da ferramenta estatística de Análise dos Componentes Principais foi possível agrupar as estações de monitoramento da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe em três setores ambientais. Cada setor ambiental representa uma tipologia de uso e ocupação do solo e vegetacional específica.

O agrupamento setorial ambiental proposto com base no Índice de Qualidade das Águas – IQA corroborou a divisão setorial pela Análise dos Componentes Principais.

As Análises de Componentes Principais conferiram ao Índice Pluviométrico uma relevância que demonstra a necessidade de considerar este parâmetro um dos fundamentais para o conhecimento da qualidade da água do corpo hídrico.

A incorporação à análise dos componentes principais do Índice Pluviométrico no conjunto dos dados das variáveis do sistema é decisiva para o entendimento das correlações entre as demais variáveis e para o agrupamento temporal.

A modelagem de vários cenários, considerando a redução das variáveis do conjunto de dados, identificou quais os parâmetros que influenciaram mais em cada setor ambiental.

O agrupamento das estações de monitoramento em Setores de Análise Ambiental pode reduzir o número de estações e quantidade de parâmetros monitorados no corpo hídrico sem perder a essência da informação da qualidade da água do rio.

A metodologia proposta para revisão do plano de monitoramento da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe foi validada nas Bacias do Goiana e do Una com resultados satisfatórios quanto ao agrupamento em setores ambientais e identificação das variáveis mais relevantes.

Essa metodologia poderá auxiliar a Agência Pernambucana de Meio Ambiente, que apesar de constantemente se aprimorar na melhoria do plano de monitoramento das águas, a rever os demais planos de monitoramento dos corpos hídricos do estado, em especial os realizados nos reservatórios.

Pode-se afirmar, adicionalmente, que as ferramentas estatísticas, embora poderosas, são de uso relativamente simples para técnicos do setor e com resposta rápida, para que haja tempo hábil no processo de tomada de decisão e revisão do plano de monitoramento de um corpo hídrico.

Recomendamos como extensão desta pesquisa, o estabelecimento de correlações para planos de monitoramento da qualidade da água, entre bacias hidrográficas, com base nas tipologias de uso e ocupação do solo. Portanto, em função do uso e ocupação do solo, podem-se definir quais parâmetros de monitoramento são mais relevantes, isto é, caracterizam com mais propriedade o corpo de água, e as periodicidades de coleta.

A implantação de monitoramento “on-line” cujos parâmetros de coleta seriam os definidos nesta pesquisa para as bacias do Capibaribe, Goiana e Una, também é uma recomendação desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALCOFORADO, R. M. G. **Sistema de suporte à decisão para análise, previsão e controle de inundações**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1999.
- AMARO, Cristiane Araújo. **Proposta de avaliação de conformidade da qualidade dos corpos hídricos ao enquadramento**. São Paulo, 2009. Saraiva
- ARMITAGE, P. D. Behaviour and ecology of adults. In: ARMITAGE, P. D.; CRANSTON, P. S.; PINDER, L. C. V. (Ed.). **The Chironomidae: Biology and Ecology of Non-Biting Midges**. London: Chapman & Hall, 1995.
- ASSIS, E. F. Francisco. **Fundamentos de limnologia** Rio de Janeiro: Interciência: FINEPE 1998.
- BERZAS, J.J. et al. Evolution of the water quality of a managed natural wetland: Tablas de Daimiel National Park. **Water Research**, v. 34, p. 3161–3170, 2000.
- BRAGA, R.A.P. et al. **Gestão Ambiental da Bacia do Rio Tapacurá**. Recife: UFPE, 1999.
- BRANCO, S. M. Hidrobiologia aplicada a engenharia sanitária e ambiental. São Paulo, ed. CETESB (1978)
- BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil**. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. Brasília ANA, 2005.
- _____. Ministério do Meio Ambiente. **Programa Nacional do Meio Ambiente II: relatório de atividades 2000-2004**. Brasília: MMA, 2002.
- BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística Básica**. São Paulo: Saraiva, 2003.
- CAMPBELL, D. et al. **SWIM Plan for the Lower St. Johns River Basin**. Florida, 1993.
- CHACON, Vamireh. **O Capibaribe e o Recife: história social e sentimental de um rio**. Recife: Secretaria de Educação e Cultura de Pernambuco, 1959.
- CURTIS, H **Biologia**. 2. ed. Tradução de Henri Sauaia. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1977.
- DIXON W.; CHISWELL B. **Rewiew of aquatic monitoring program design**. 1996.
- DURELL, G.S.; SEAVEY, J.A.; HIGMAN, J., 2001. **Sediment Quality in the Lower St. Johns River and Cedar-Ortega River Basin: Chemical Contaminant Characteristics**. Washington, 2001.

GALVÃO, S. V. **Diccionario chorographico, histórico e estatístico de Pernambuco**. Rio de Janeiro, 1908.

GASPAR, Lúcia. **Rio Capibaribe, Recife, PE**. Pesquisa Escolar On-Line, Fundação Joaquim Nabuco, Recife. Disponível em: <<http://www.fundaj.gov.br>>. Acesso em: 11 set. 2009.

GOBIN, A. et al. **Assessment and reporting on soil erosion**. Copenhagen: European Environment Agency, 2003.

GOMES, M.B. Determinação de Componentes Principais. **Ciência e Cultura**, v. 37, p. 10-12, 1985.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R.G.M. (Org.) **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

HARMANCIOGLU, N.B.; OZKUL, S.A.; ALPASLAN, M.N. Water monitoring and network design. In: HARMANCIOGLU, N.B.; SINGH, V.P.; ALPASLAN, M.N. (Ed.) **Environmental data management**. The Hague: Kluwer Academic Publishers, p.61-100, 1998. (Water Science Technology Library, 27).

HORTON, R. K. An index number system for rating water quality. **Journal of Water Pollution Control Federation**, v. 37, n. 3, p. 300-305, 1965.

IBI - ENGENHARIA CONSULTIVA LTDA. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Capibaribe**. Fortaleza, 2002.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. **Diagnóstico econômico dos municípios**. Brasília, 2002

KHAN, Faisal; HUSAIN, Tahir; LUMB Ashok. Water quality evaluation and trend analysis in selected watersheds of the Atlantic region of Canada. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 88, n. 1-3, p. 221-242, Out. 2003.

KWIATKOWSKI, R.E. Water quality branch monitoring: an historical review. **Water Quality Monitoring Design**. Proceedings of the Technology Transfer Workshop Technical workshop series, Ottawa, n. 6, p. 5–17, 1987.

LANDIM, P.M.B. Análise estatística de dados geológicos multivariados. Lab. Geomatemática. **Texto Didático**, n. 3. 2000. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 22 fev. 2004.

LENNOX, S.D. et al. Estimating the contribution from agriculture to the phosphorus load in surface water. In: TUNNEY, H. et al (Ed.) **Phosphorus loss from soil to water**. New York: CAB International, p.55-75, 1997.

LUDWING, J.A.; REYNOLDS, J.F. **Statistical Ecology: A primer on methods and computing**. New York: Wiley Interscience Publication, 1988.

MARTINI, L.C.P.C.; LANNA, A. E. Medidas compensatórias aplicáveis à questão da poluição hídrica de origem agrícola. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, n.1, p.111-136, 2003.

MASSART D. L. et al. **Chemometrics: A Textbook**. Amsterdam: Elsevier, 1988.

MATTHEWS, R. A.; BUIKEMA, A. L.; CAIRNS Jr. J. Biological monitoring part IIA: Receiving system functional methods relationships, and indices. **Water Research**, v. 16, p. 129-139, 1982.

MEYBECK, M. et al. In: CHAPMAN, D. (Ed.) **Water quality assessments**. London: UNESCO: WHO:UNEP, p.241-320, 1996.

MOREIRA, H. A. **Diagnóstico da qualidade ambiental da bacia do rio Jaboatão: sugestão de enquadramento preliminar**. 2007. 101 p. Dissertação de mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

NACE, R.L. Water of the World. **Natural History**. v. 73, n. 1, 1964.

ODDEN, W.; KVALHEIM, O. M. Application of multivariate modelling to detect hydrocarbon components for optimal discrimination between two source rock types. **Applied Geochemistry**, v. 15, p. 611-627, 2000.

OUYANG, Y. et al. Characterization and spatial distribution of heavy metals in sediment from Cedar and Ortega rivers basin. **J. Water Research**, v. 54, p. 19–35, 2002.

OUYANG, Y. Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis. **Water Research**, v. 39, p. 2621–2635, 2005.

PARRY, R. Agriculture phosphorus and water quality: a U.S. Environmental Protection Agency Perspective. **Journal of Environmental Quality**, v.27, p.258-261, 1998.

PERKINS, R.G.; UNDERWOOD, G.J.C. Gradients of chlorophyll a and water chemistry along a eutrophic reservoir with determination of the limiting nutrient in situ nutrient addition. **Water Reserch**, v. 34, p. 713–724, 2000.

PERNAMBUCO (Estado). Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – CPRH. Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco – 2007. Recife, 2009.

_____ . Secretaria Estadual de Ciência Tecnologia e Meio Ambiente – SECTMA. Plano Estadual de Recursos Hídricos. Recife, 1999.

_____. Agência Estadual de Planejamento e Pesquisa de Pernambuco CONDEPE/FIDEM. **Rio Una, GL 4 e GL 5**. Recife: 2006. (Série Bacias Hidrográficas de Pernambuco, 3.).

PERONA, E; BONILLA, I; MATEO, P. Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques. **Water Research**, v. 241, p. 75–90, 1999.

PIMENTEL, Maria Fernanda. Análise estatística de dados do monitoramento da qualidade das águas do rio Ipojuca e do reservatório de Tapacurá, julho de 2003.

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

PRATT, J. M.; COLER, R. A. A procedure for the routine biological evaluation of urban runoff in small rivers. **Water Research**, v. 10, p.1019-1025, 1976.

REGAZZI, A. J. **Análise multivariada**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Departamento de Informática, 2001. Apostila de disciplina. (Mimeo).

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 4. ed. Uberlândia: Editora da Universidade Federal de Uberlândia, 2001.

SÃO PAULO (Estado). Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo, 2002**. São Paulo: CETESB, 2003. (Série Relatórios).

SARBUA, C.; POPB H.F. Principal component analysis versus fuzzy analysis. A case study: the quality of Danube river (1985–1996). Department of Analytical Chemistry, Faculty of Chemistry and Chemical Engineering, 2004.

SHINE, J.P.; IKA, R.V.; FORD, T.E. Multivariate statistical examination of spatial and temporal patterns of heavy metal contamination in New Bedford Harbor marine sediments. **Environmental. Science Technology**, v. 29, p. 1781–1788, 1995.

SHRESTHA, S.; KAZAMA, T. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. **Water Research**, v. 22, p. 464-475, 2006.

SILVA, A. M.M.; SACOMANI, L. B. Using chemical and physical parameters to define the quality of Pardo river water (Botucatu-SP-brazil). **Water Research**, v. 35, p. 1609–1616, 2003.

SILVA, G. S.; JARDIM, W. F. Um novo índice de qualidade das águas para proteção da vida aquática aplicado ao rio Atibaia, região de Campinas/Paulínia – SP, 2006.

SIMEONOV, P. et al. Environmetric modelling and interpretation of river watermonitoring data. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 374, n. 5, p. 898–905, 2002.

SIMEONOV, V. et al. Assessment of the surface water quality in Northern Greece. **Water Research**, v. 37, p. 4119–4124, 2003.

SIMS, J.T.; SIMARD, R.R.; JOERN, B.C. Phosphorus loss in agricultural drainage: historical perspective and current research. **Journal of Environmental Quality**, v.27, p.277- 293, 1998.

STROOMBERG G. J. et al. Quality assurance in environmental monitoring. ed. Quevauviller. VCH, Weinheim, 1995.

TOLEDO, A. M. A. Evolução espaço-temporal da estrutura da paisagem e sua influência na composição química das águas superficiais dos ribeirões Piracicamirim e Cabras, SP. Piracicaba, 2001. 24 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 2001.

TOMASSONE, R.; DERVIN, C.; MASSON, J.P. 1993. **Biométrie**: Modélisation des phénomènes biologiques. Paris, 1993.

TONG, S.T.Y.; CHEN, W. Modelling the relationship between land use and surface water quality. **Journal Environmental Management**, v. 66, p. 377–393, 2002.

TURNER II, B.L.; MEYER, W.B. (Ed) **Changes in land use land cover**: a global perspective. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.

VEGA, M. et al. Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. **Water Research**, V. 32, pp. 3581-3592, 1998.

VERDINELLI, M.A. Análise inercial em ecologia. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1980.

WARD A. D.; ELLIOT W. J. In environmental hydrology. ed. CRC Press, Boca Raton, 1995.

WASHINGTON, H. G. Diversity, biotic and similarity indices. A review with special relevance to aquatic ecosystems. **Water Research**, v. 18, p. 653-694, 1984.

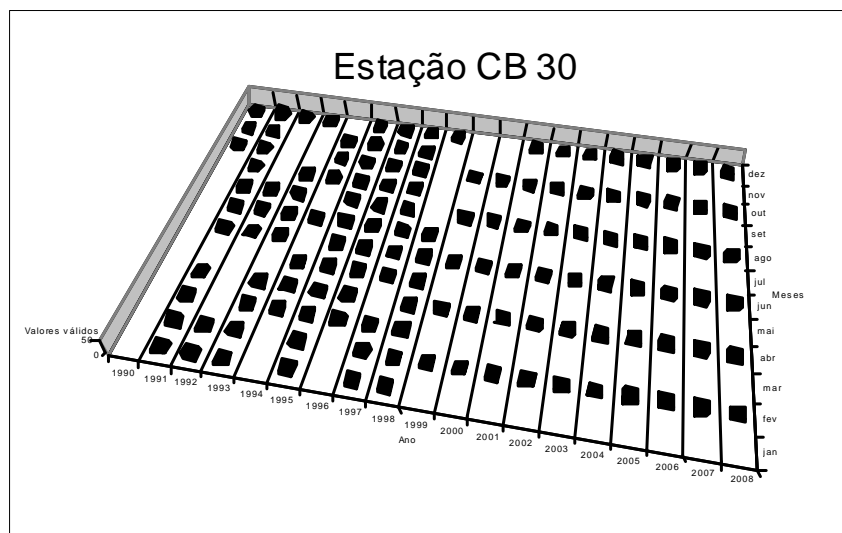
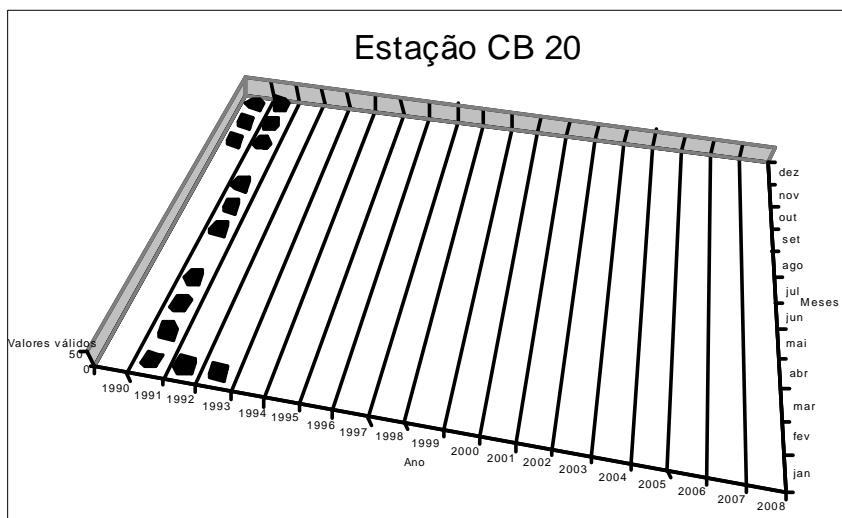
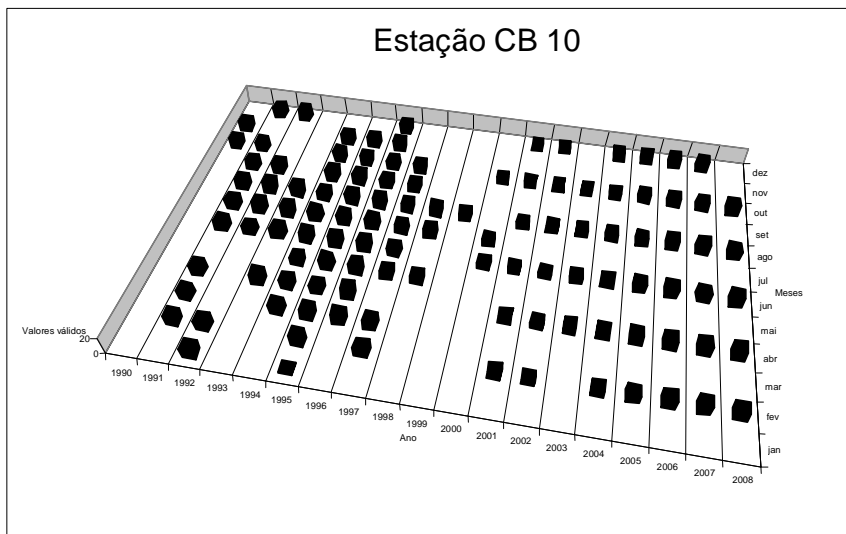
WENNING R. J.; ERICKSON G. A. Interpretation and analysis of complex environmental data using chemometric methods. **Water Research**, v. 32, p. 721-786, 1994.

WERTZEL, R. G. **Limnology analyses**. 2. ed. New York: Spring Verlang, 1990.

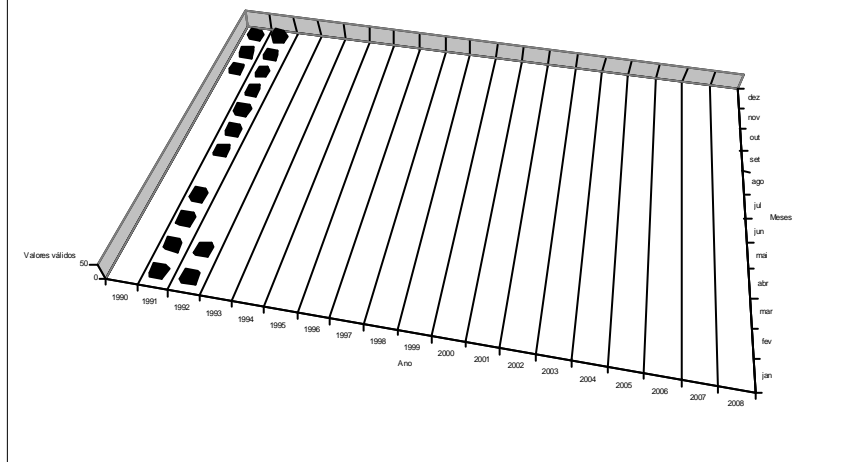
ZALIDIS, G. et al. Impacts of agricultural practices on soil and water quality in the Mediterranean region and proposed assessment methodology. **Agriculture Ecosystem Environmental**, v. 88, n. 2, p. 137–146, 2002.

APÉNDICE

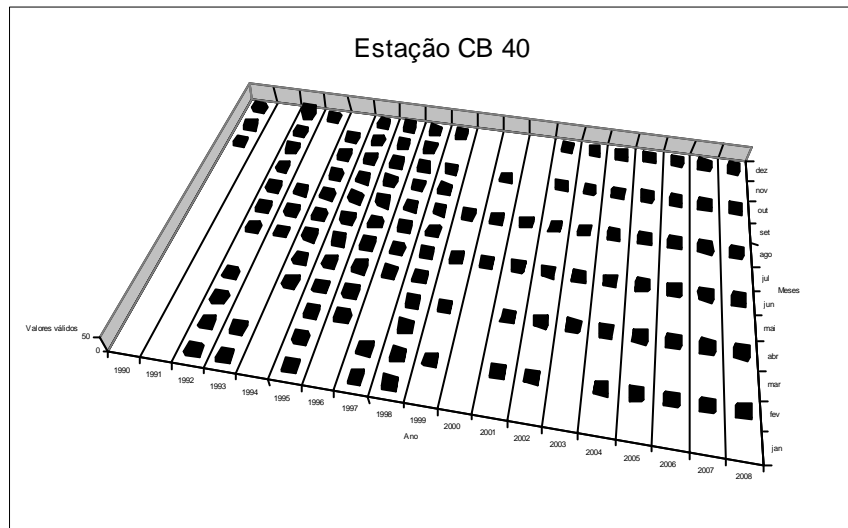
APÊNDICE 1 – Registros de coleta de todas as estações do Capibaribe, por mês entre os anos de 1990 e 2008



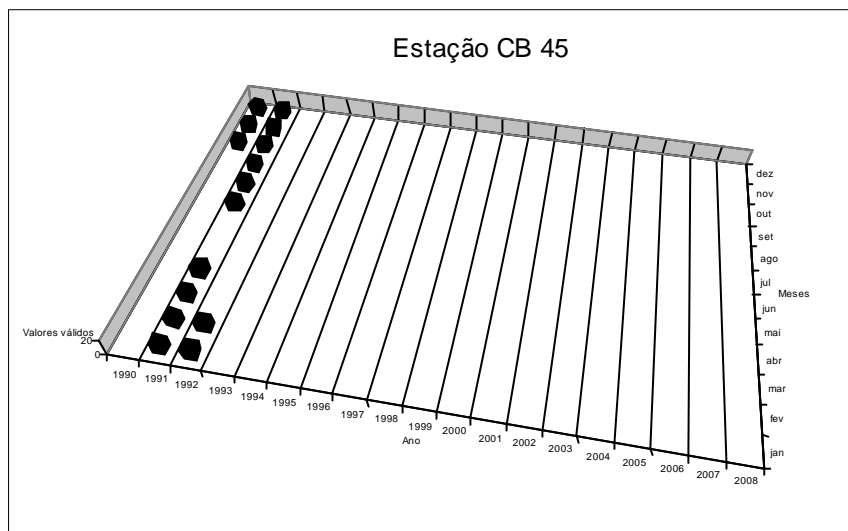
Estação CB 35

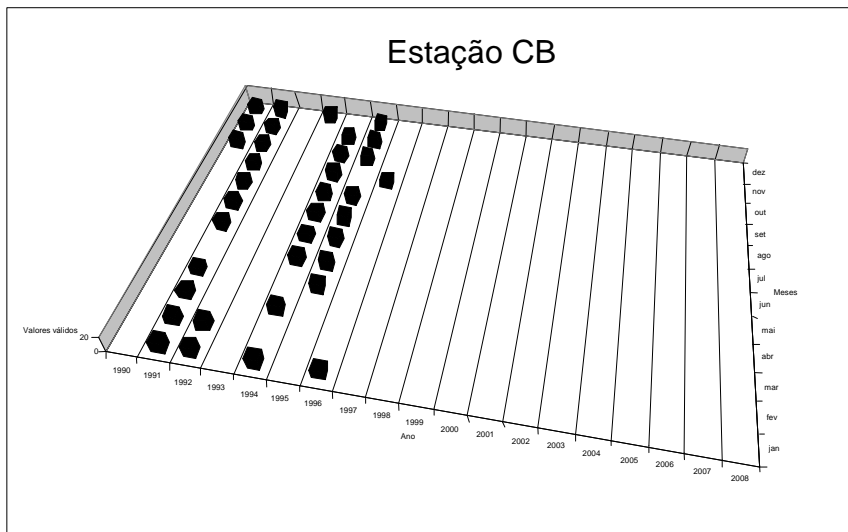
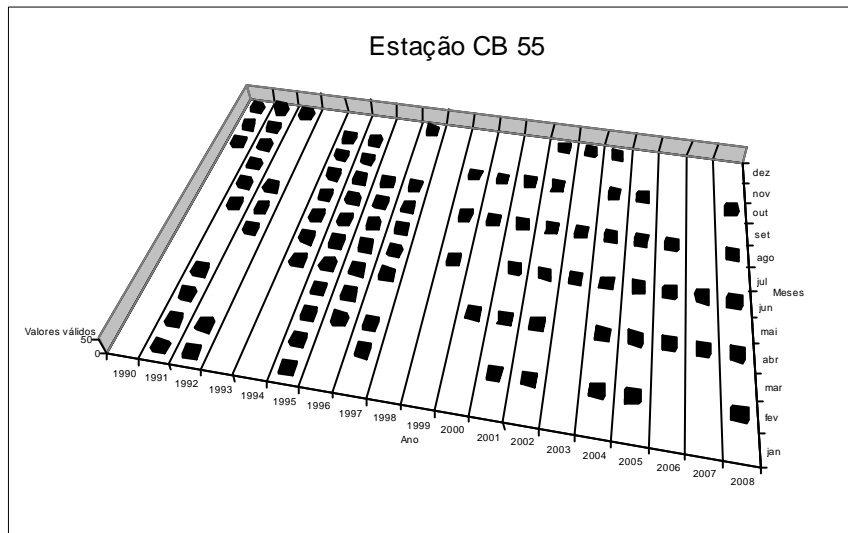
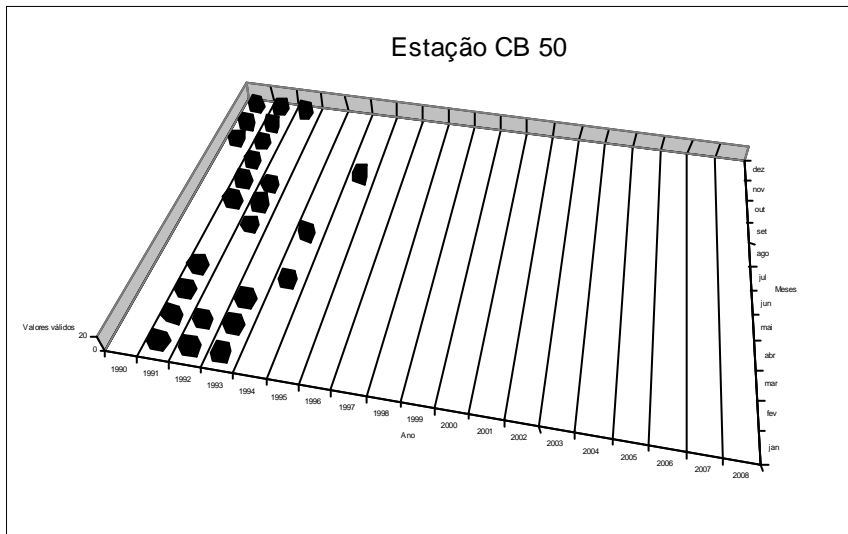


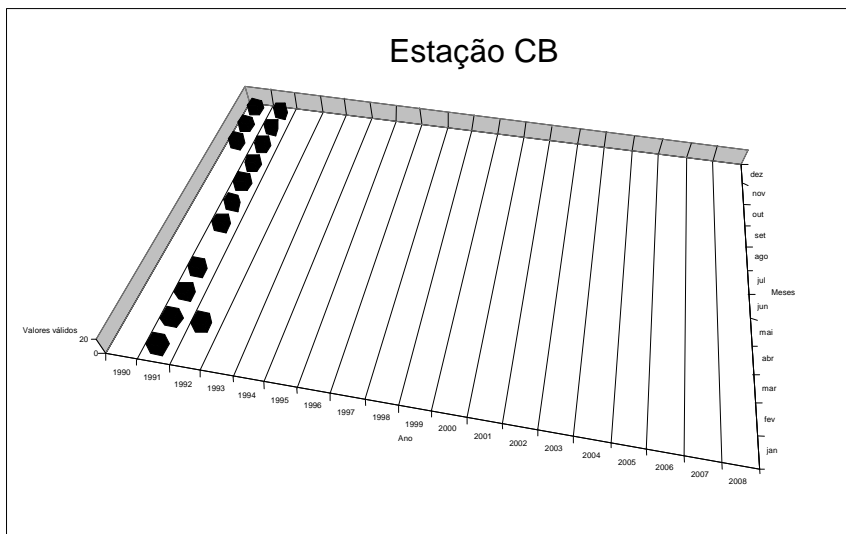
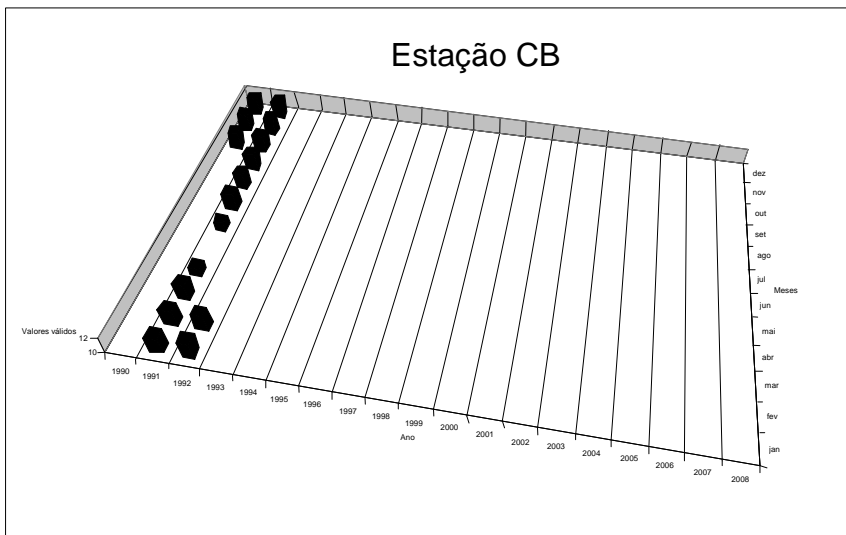
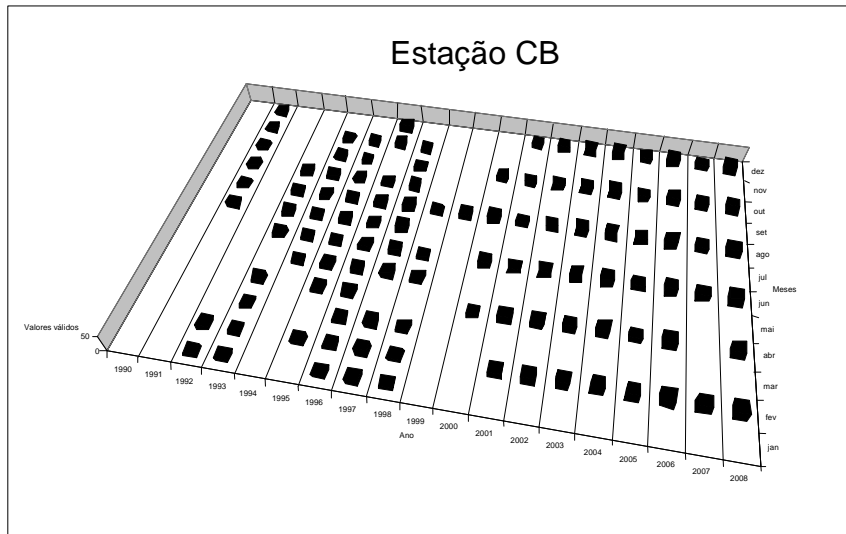
Estação CB 40

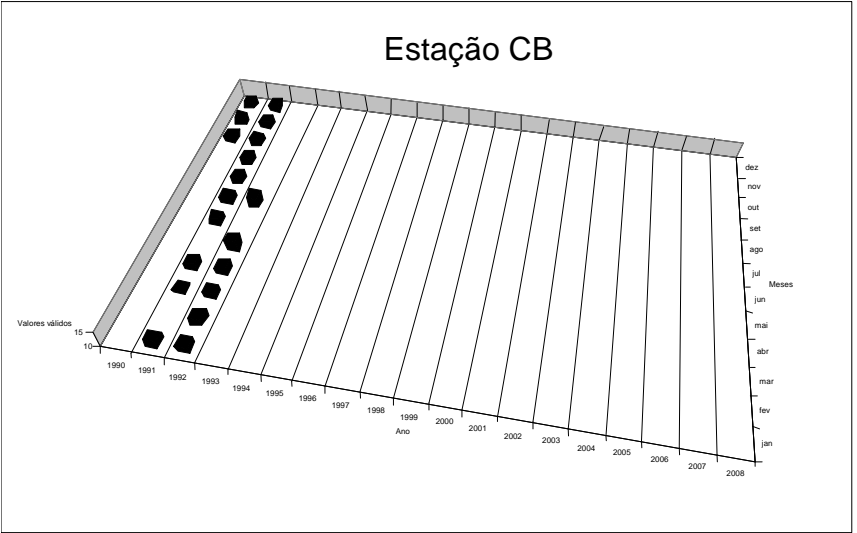
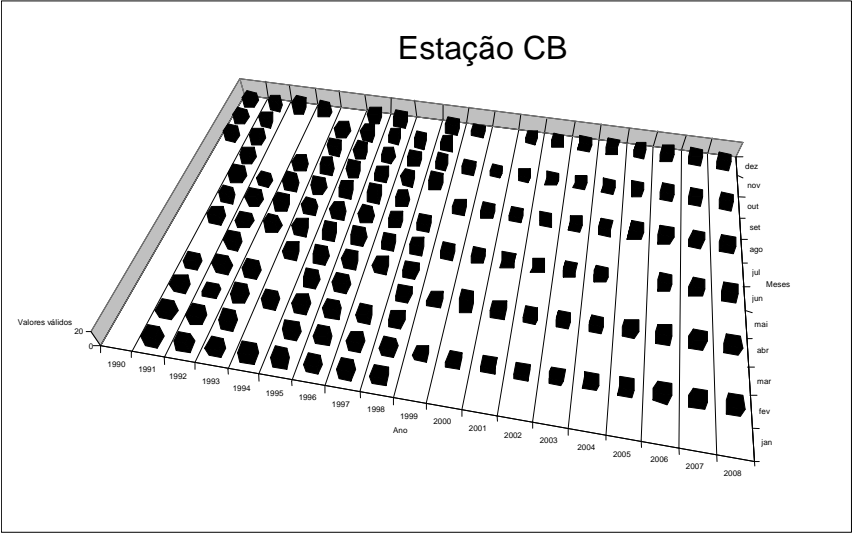
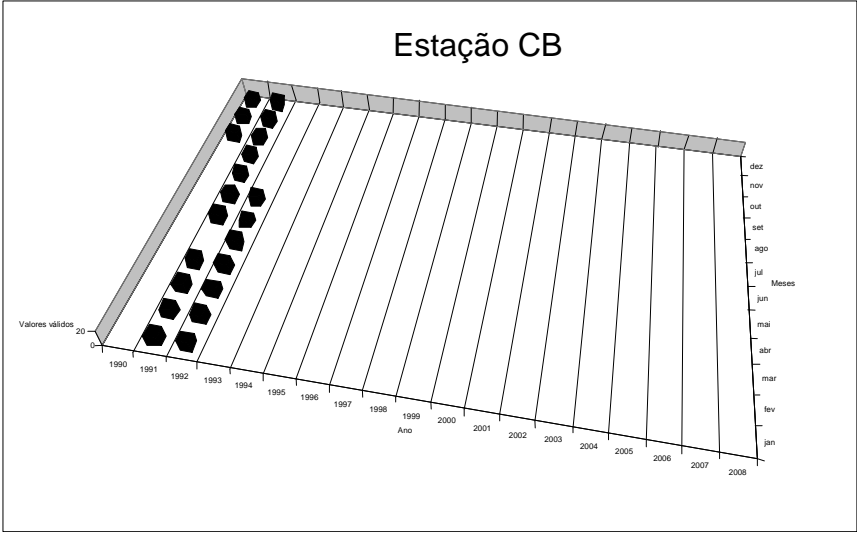


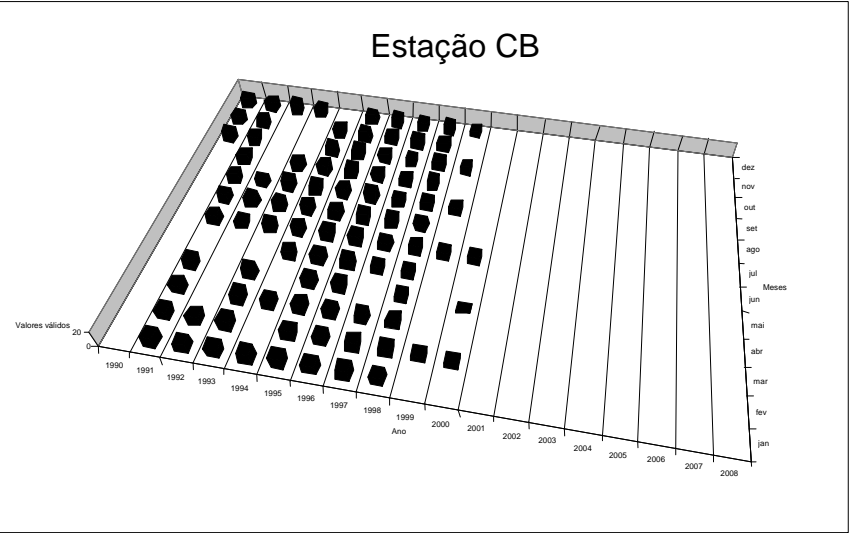
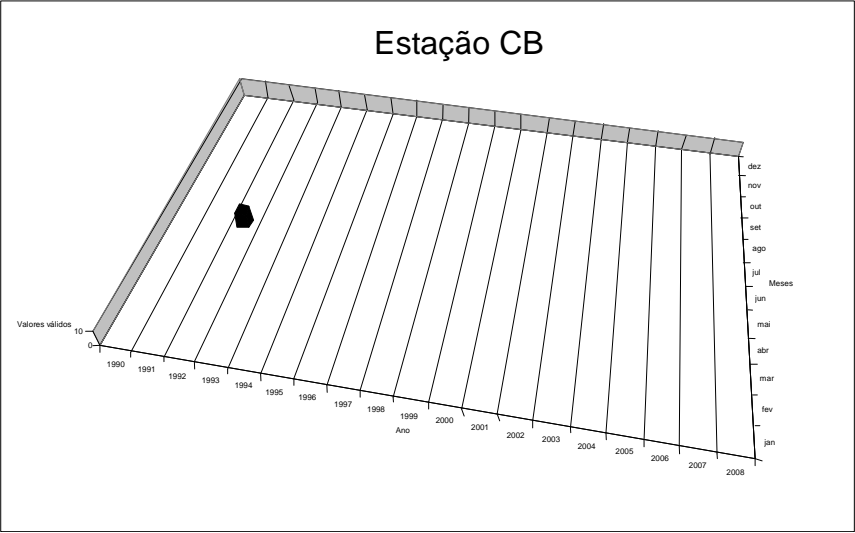
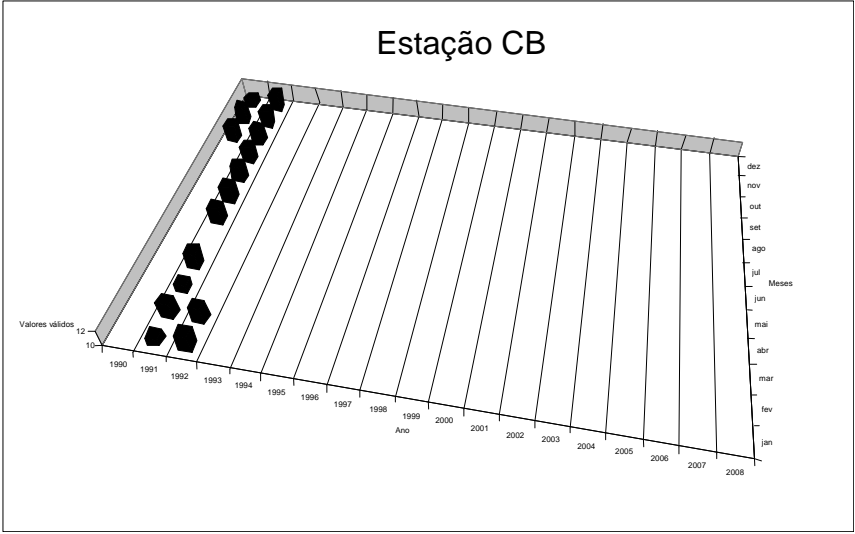
Estação CB 45

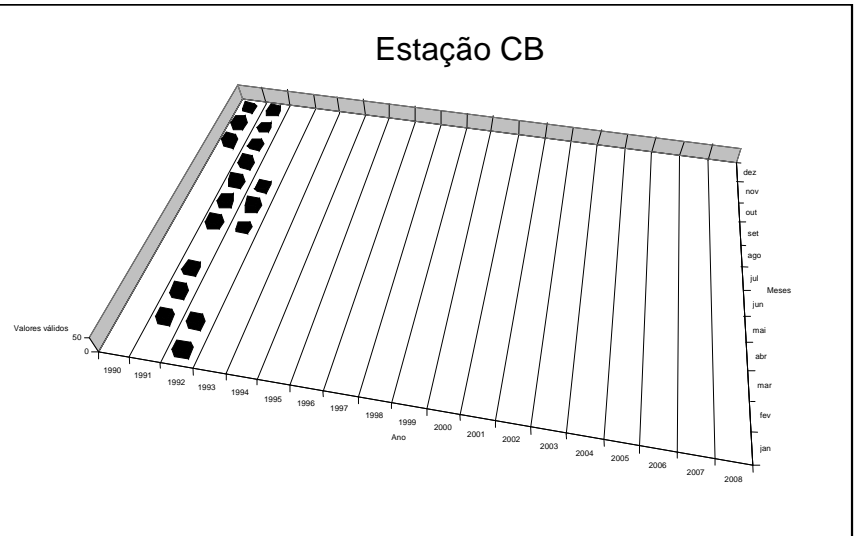
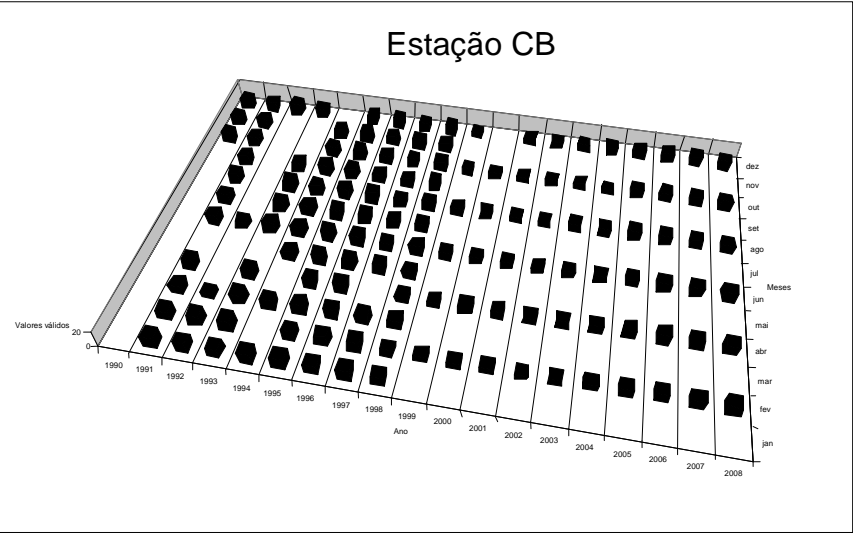
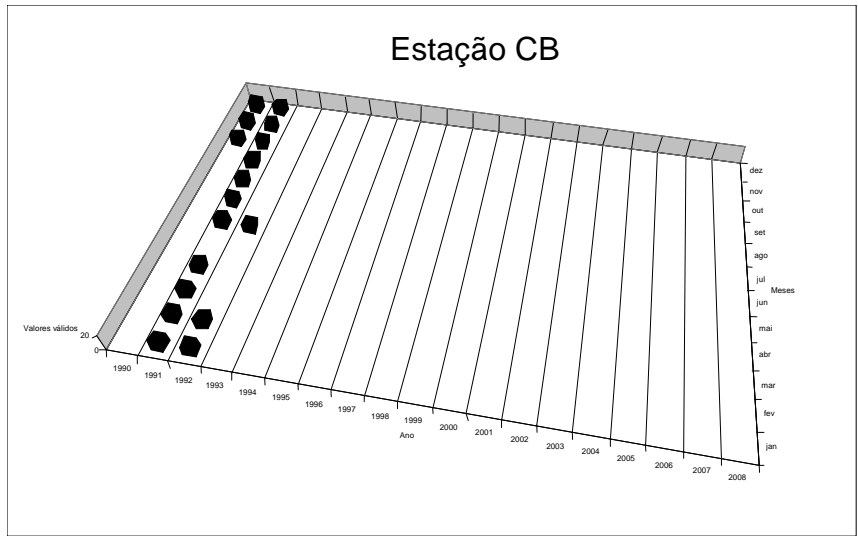












APÊNDICE 2 - Precipitação em (mm) nos postos pluviométricos - Continua

		Meses											
Posto	Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
137	1993	0	...	26	39	43	100	85	46	6	11	11	2
	1994	36	37	50	108	195	269	256	53	103	19	0	16
	1995	1	59	23	73	117	203	217	6	0	1	25	3
	1996	51	40	14	260	45	96	124	116	61	29	59	2
	1997	0	82	19	110	212	38	126	55	0	0	8	66
	1998	36	0	3	54	44	28	111	74	1	1	0	0
	1999	0	37	37	22	66	36	135	55	35	19	2	15
	2000	59	78	10	113	75	97	86	110	106	23	12	88
	2001	41	2	76	69	3	189	91	64	50	49	0	16
	2002	155	23	64	0	64	171	82	42	1	11	53	4
	2003	4	99	115	87	73	193	84	44	45	7	0	0
	2004	304	108	48	60	128	227	183	8	20	0	0	0
	2005	0	11	3	13	98	298	22	61	4	0	0	1
2006	0	2	28	53	54	170	52	32	8	0	25	0	
2007	52	56.5	74	129	64	21	...	...	...	...	...	...
	Média mensal	49	44	39	79	85	142	118	55	31	12	14	15
521	2000	...	...	...	...	...	4	...	...	...	...	...
	2001	42	6	60	101	91	231	120	100	27	53	21	45
	2002	291	65	84	55	143	305	113	25	4	24	55	13
	2003	10	102	191	105	117	330	152	102	74	13	22	9
	2004	210	258	114	172	194	310	130	55	76	1	0	6
	2005	0	129	53	67	221	538	88	176	16	12	0	43
	2006	25	19	107	110	113	238	103	109	0	0	0	0
	2007	25	19	107	110	113	238	103	109	0	0	0	0
	2008	134	65	111	162	132	294	158	132	64	0	8	0

Precipitação em (mm) nos postos pluviométricos - continuação

Posto	Ano	Meses											
		jan (mm)	fev (mm)	mar (mm)	abr (mm)	mai (mm)	jun (mm)	jul (mm)	ago (mm)	set (mm)	out (mm)	nov (mm)	dez (mm)
	Média mensal	92	83	103	110	140	310	121	101	33	13	13	15
98	1993	13	2	23	109	95	144	114	71	19	29	19	18
	1994	71	63	131	139	337	439	258	88	85	19	16	12
	1995	24	58	43	112	218	279	218	29	7	6	47	8
	1996	64	89	42	274	125	181	164	168	136	35	122	24
	1997	26	133	79	257	311	98	151	70	9	10	20	69
	1998	34	4	21	65	114	63	99	184	18	11	0	4
	1999	33	10	44	59	156	84	130	73	33	51	0	56
	2000	113	46	74	186	123	303	337	334	233	41	18	71
	2001	17	10	58	96	13	263	188	133	87	15	17	20
	2002	199	30	158	60	167	349	163	58	8	27	12	2
	2003	3	35	130	...	54	280	131	58	61	16	5	19
	2004	211	140	123	133	186	190	200	73	91	22	9	7
	2005	4	65	22	71	352	403	124	226	26	18	7	0
	2006	17	1	80	96	150	237	111	...	0	0	0	64
	2007	77	76	106	302	162	266	132	145	120	0	52	66
	2008	137	3	168	80	42	101	125	187	29	10	0	0
	Média mensal	65	48	81	136	163	230	165	126	60	19	21	28
408													
	2000	...	...	...	...	...	1	...	...	...	...	...	...
	2001	0	...	...	...	...	...	...	41	78	31	25	38
	2002	169	79	256	63	228	324	214	68	12	32	56	16
	2003	30	116	244	123	161	406	140	91	67	38	7	29
	2004	260	211	188	171	232	509	280	87	91	15	10	21
	2005	7	86	18	82	233	570	106	184	25	35	8	19
	2006	15	5	118	158	112	200	136	75	34	5	45	54
	2007	44	76	78	229	137	298	191	111	87	0	28	43
	2008	166	16	214	85	249	157	190	145	34	18	10	6

Precipitação em (mm) nos postos pluviométricos - continuação

Posto	Ano	Meses											
		jan (mm)	fev (mm)	mar (mm)	abr (mm)	mai (mm)	jun (mm)	jul (mm)	ago (mm)	set (mm)	out (mm)	nov (mm)	dez (mm)
	Média mensal	86	84	159	130	193	308	179	100	53	22	24	28
26	1990	11	11	6	145	122	110	219	73	18	47	11	26
	1991	15	43	52	193	255	72	96	88	14	22	11	0
	1992	53	95	83	34	25	...	...	...	...	...	...	...
	1993	10	1	40	34	38	72	87	45	11	20	12	20
	1994	45	111	85	84	232	307	149	74	61	29	22	17
	1995	35	59	61	141	98	221	195	45	5	2	110	0
	1996	31	49	61	215	81	134	155	104	65	23	85	15
	1997	13	139	140	268	254	52	86	47	15	6	5	28
	1998	39	10	44	46	103	33	66	96	22	24	10	16
	1999	70	83	40	35	144	58	156	60	38	48	19	41
	2000	104	27	63	186	93	315	216	243	25	37	16	95
	2001	32	11	95	131	15	224	87	83	32	40	23	38
	2002	156	106	116	48	136	277	157	64	24	26	54	9
	2003	16	87	115	60	72	156	102	41	75	33	8	17
	2004	200	174	100	147	184	293	106	88	84	3	7	2
	2005	4	75	10	85	228	622	93	43	10	10	1	124
	2006	14	8	54	80	125	241	190	108	56	6	42	2
	2007	83,1	66,7	121,1	121	81,2	265,4	106,9	125,1	82,3	0	27,5	40,4
	2008	185	24	168	54	135	96	183	142	30	24	2	41
	Média mensal	88	64	94	101	119	277	138	104	47	20	20	41
129	1990	1	1	1	217	3	322	21	0	0	0	0	0
	1991	1	1	1	1	1	75	0	0	0	0	0	0
	1992	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1993	1		1	1	1	...	...	...	...	...	...	...
	1994	60	58	0	181	455	218	0	...	...	0	...	0
	1995	26	87	55	161	282	395	360	20	7	3	45	1
	1996	96	95	42	438	122	164	255	181	168	41	93	78

Precipitação em (mm) nos postos pluviométricos - continuação

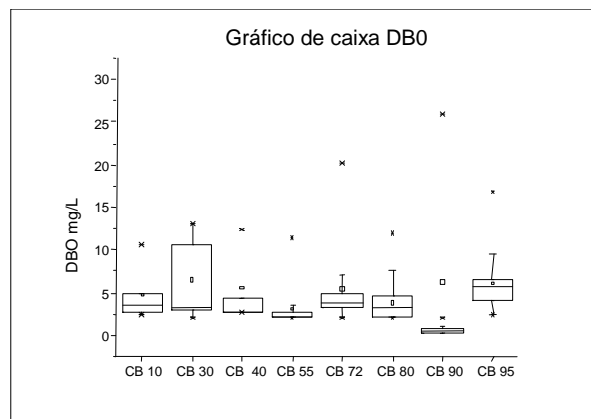
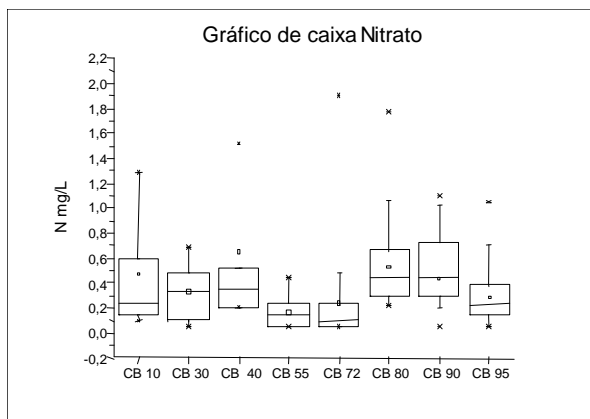
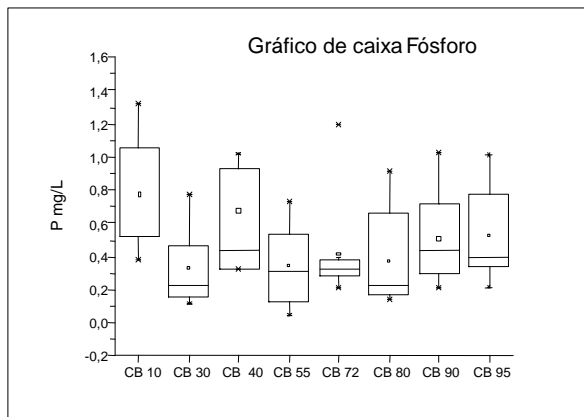
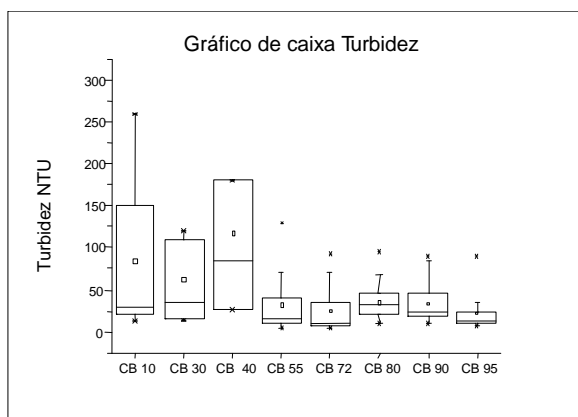
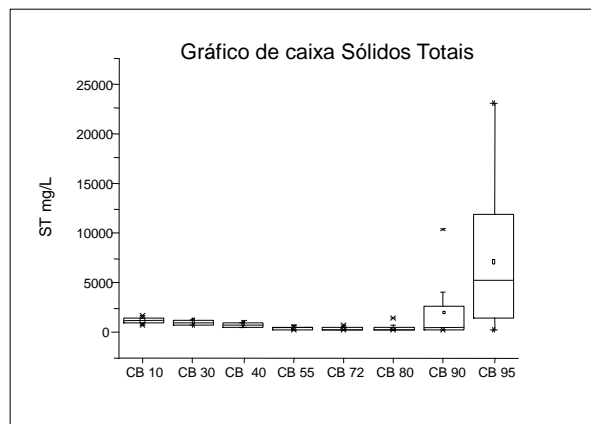
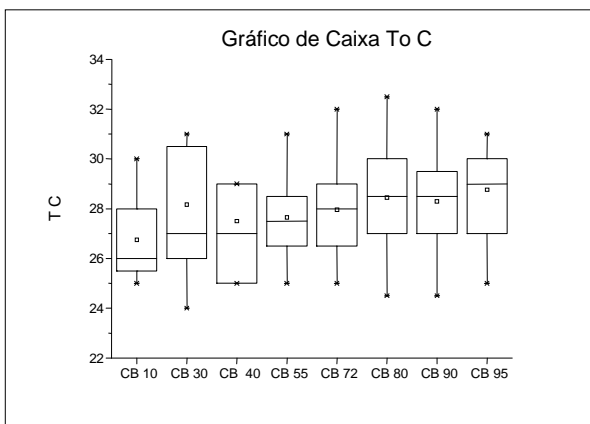
Posto	Ano	Meses											
		jan (mm)	fev (mm)	mar (mm)	abr (mm)	mai (mm)	jun (mm)	jul (mm)	ago (mm)	set (mm)	out (mm)	nov (mm)	dez (mm)
	1997	32	237	188	302	359	167	153	102	2	0	6	86
	1998	80	5	67	59	195	99	152	246	45	19	0	18
	1999	50	43	88	115	325	111	211	96	62	93	37	56
	2000	252	97	160	312	182	488	471	426	331	50	43	129
	2001	68	22	153	222	27	403	292	181	103	72	7	60
	2002	165	140	318	103	256	434	312	93	32	46	31	28
	2003	42	146	207	142	...	402	258	139	132	45	21	39
	2004	259	205	130	242	246	426	344	133	99	14	16	0
	2005	8	42	84	112	405	599	173	219	27	16	0	20
	2006	24	16	105	79	252	381	186	121	77	...	...	...
	2007	33	114	123	220	161	347	136	221	31	0	2	8
	2008	36	6	287	188	214	351	149	152	28	0	6	0
	Média mensal	65	73	106	163	194	299	193	137	67	24	19	31
30	1993	50	90	79	133	114	...	...	...	...	...	...	...
	1994	111	98	308	232	545	670	287	147	165	22	15	26
	1995	22	120	214	181	351	522	300	45	18	21	59	5
	1996	87	136	150	460	227	236	380	231	190	21	64	35
	1997	30	158	221	361	475	133	194	135	20	16	40	48
	1998	83	34	83	105	176	186	175	277	52	54	16	14
	1999	44	18	202	78	399	125	256	71	55	87	14	96
	2000	267	88	173	436	233	629	651	427	308	50	45	177
	2001	46	54	117	328	56	433	357	213	101	99	7	108
	2002	227	200	373	134	302	517	282	127	38	37	87	33
	2003	54	156	398	116	226	496	283	171	136	52	26	47
	2004	246	241	168	380	328	540	330	138	76	34	18	10
	2005	14	65	75	168	508	709	183	291	46	54	8	174
	2006	12	31	157	323	336	431	223	179	78	9	85	105
	2007	83	227	129	346	192	380	330	219	125	1	39	16

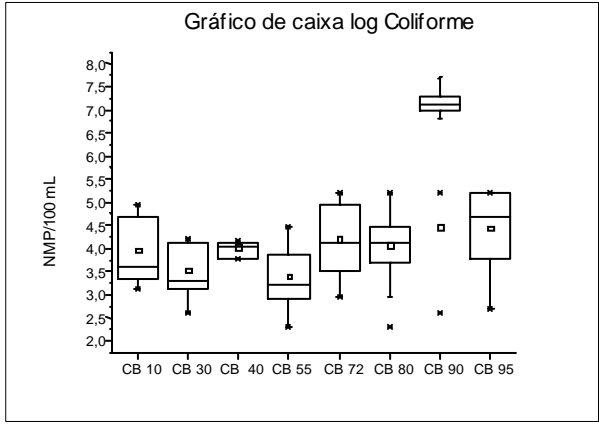
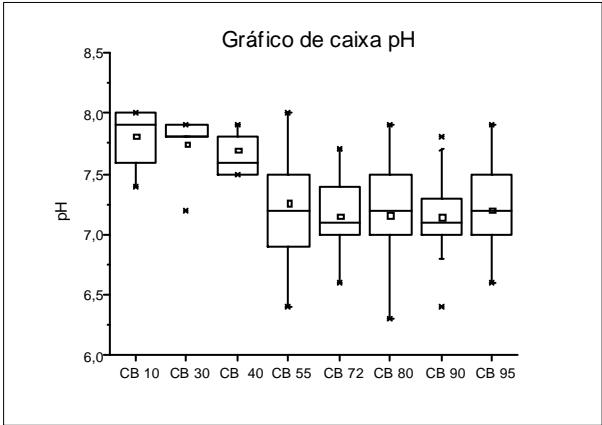
Precipitação em (mm) nos postos pluviométricos - conclusão

Posto	Ano	Meses											
		jan (mm)	fev (mm)	mar (mm)	abr (mm)	mai (mm)	jun (mm)	jul (mm)	ago (mm)	set (mm)	out (mm)	nov (mm)	dez (mm)
	2008	85	32	386	314	457	384	383	282	47	49	16	18
	Média mensal	91	109	202	256	308	426	308	197	97	40	36	61
480	1997	...	...	...	...	...	201	187	90	15	11	13	6
	1998	40	55	53	12	122	167	178	265	72	35	11	8
	1999	43	28	237	50	178	46	178	129	54	81	29	86
	2000	176	111	94	343	299	649	717	409	291	27	12	172
	2001	30	43	98	240	52	402	325	202	89	88	28	91
	2002	177	177	325	133	257	542	230	117	49	34	31	19
	2003	36	154	368	97	204	495	246	146	104	58	20	28
	2004	203	217	152	355	296	525	316	123	62	38	9	7
	2005	4	75	10	85	228	622	93	43	10	10	1	124
	2006	10	28	134	312	348	421	202	149	68	6	83	21
	2007	78	224	105	335	228	371	242	202	115	0	17	16
	2008	66	26	354	270	433	286	12	264	45	42	14	19
	Média mensal	79	103	175	203	240	394	244	178	81	36	22	50
378	2002	...	...	...	...	...	...	228	95	31	28	24	19
	2003	21	109	246	69	246	399	250	109	86	42	11	46
	2004	268	262	112	298	251	538	295	113	69	17	1	3
	2005	8	83	78	85	340	561	124	273	14	16	11	196
	2006	14	12	71	317	309	464	231	146	95	13	48	138
	2007	49	161	79	363	252	279	219	169	93	0	12	0
	Média mensal	72	125	117	226	280	448	225	151	65	19	18	67

Fonte: LAMEPE (2009)

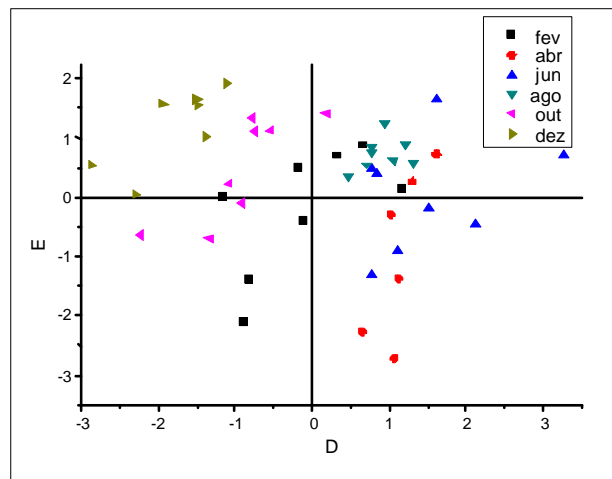
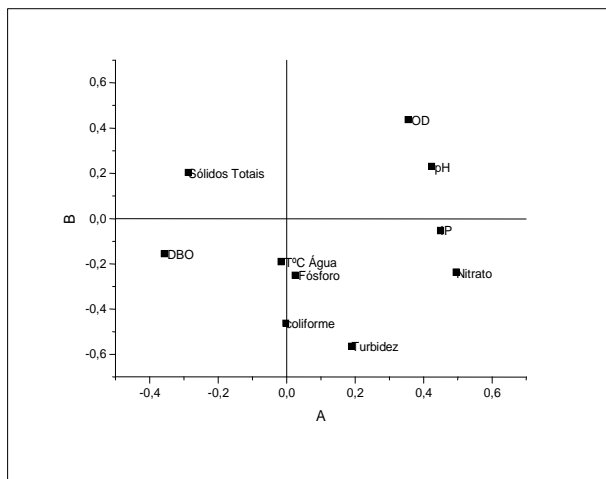
APENDICE 3 – Gráficos de caixa dos parâmetros do IQA, entre os anos de 1990 e 2008, para as estações selecionadas



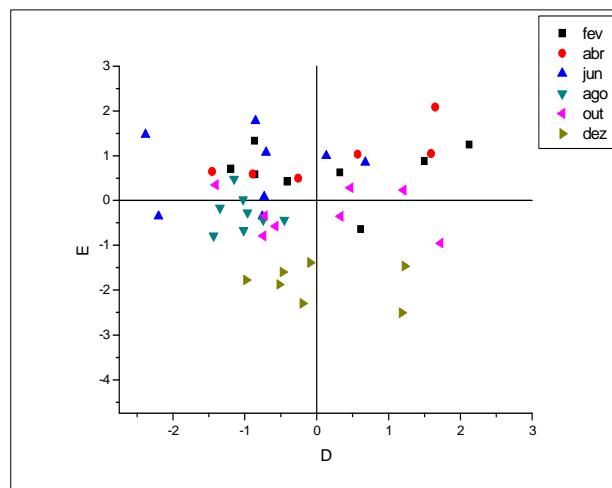
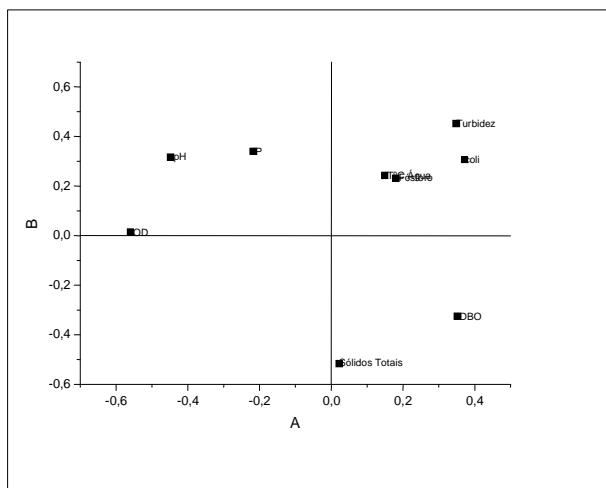


APÊNDICE 4 – Análise de Componentes Principais para a estação CB 30 (cenários estudados)

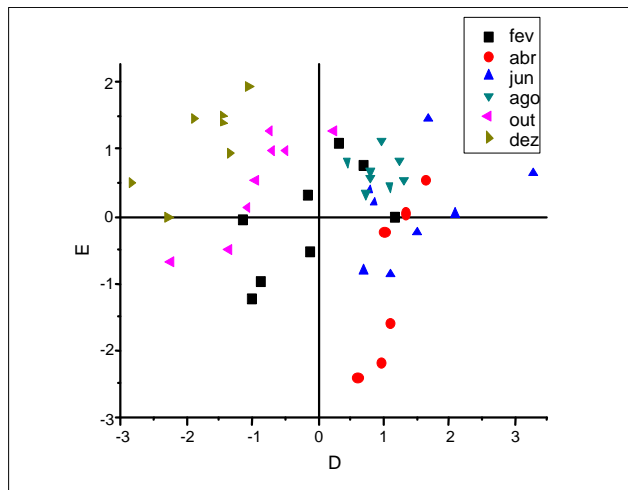
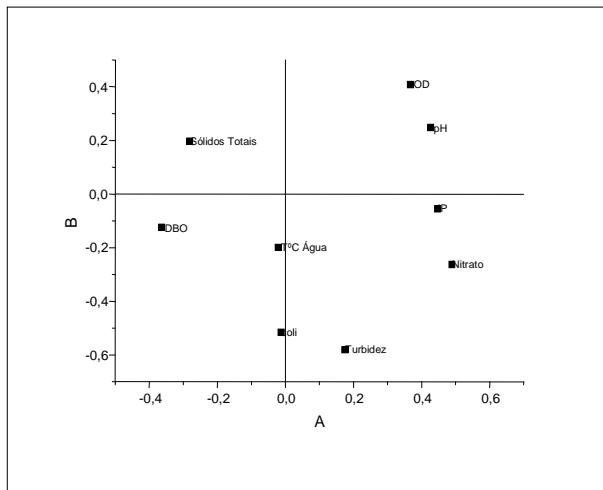
CENÁRIO 1 - Todos os Parâmetros



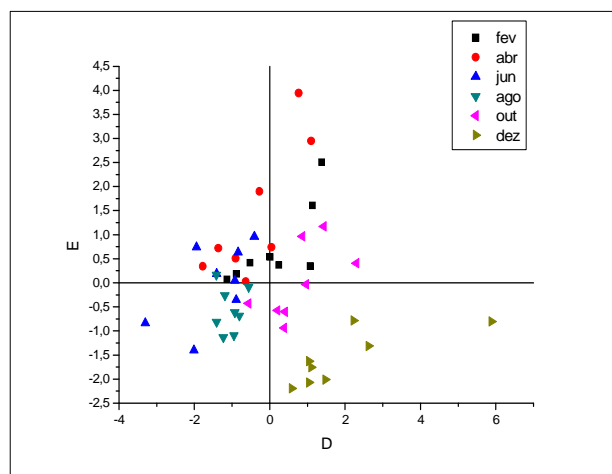
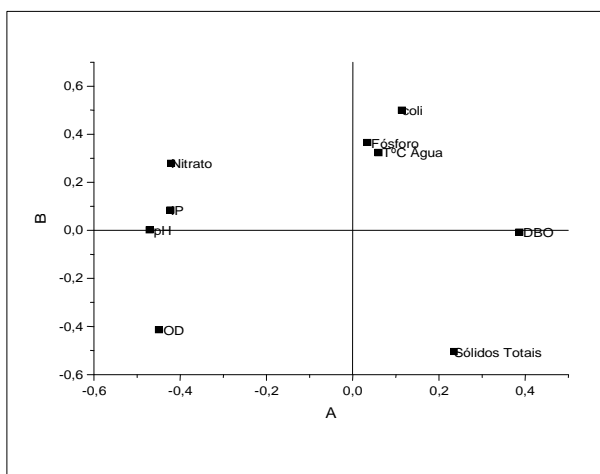
CENÁRIO 2 - sem Nitrato



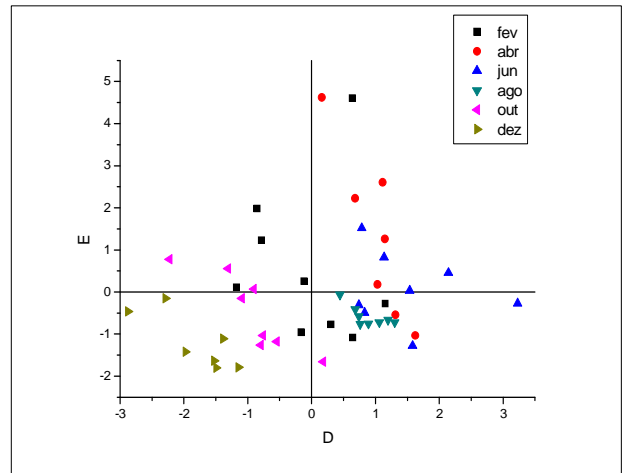
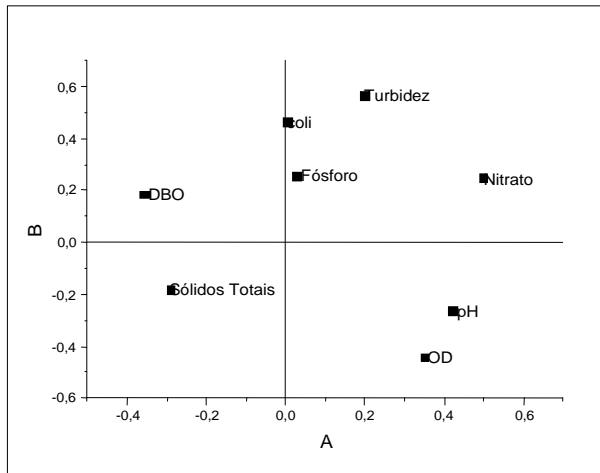
CENÁRIO 3 - sem Fósforo



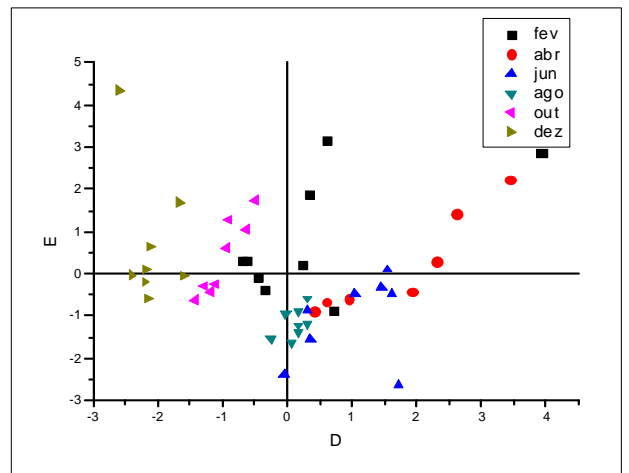
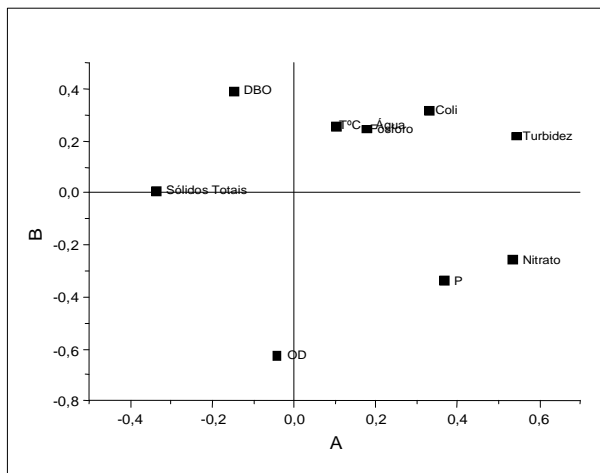
CENÁRIO 4 - sem Turbidez



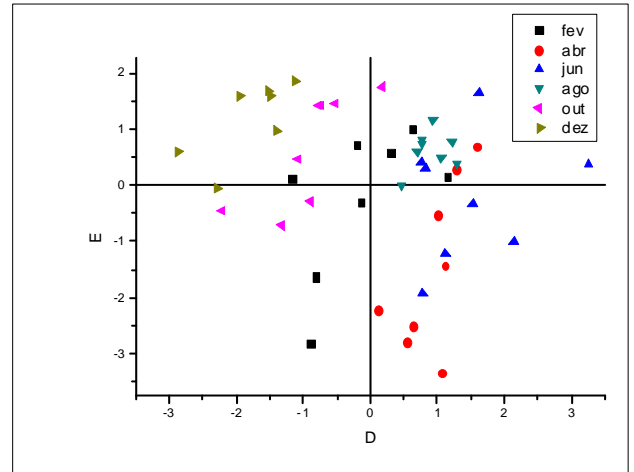
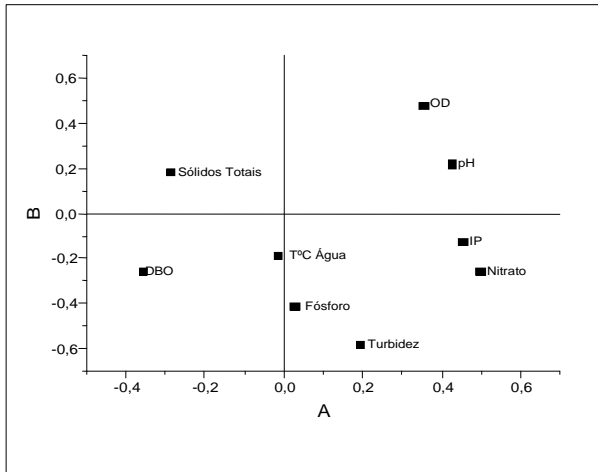
CENÁRIO - 5 sem Temperatura



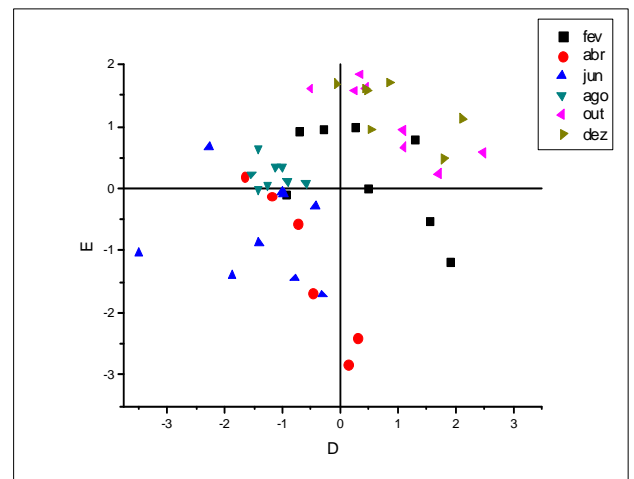
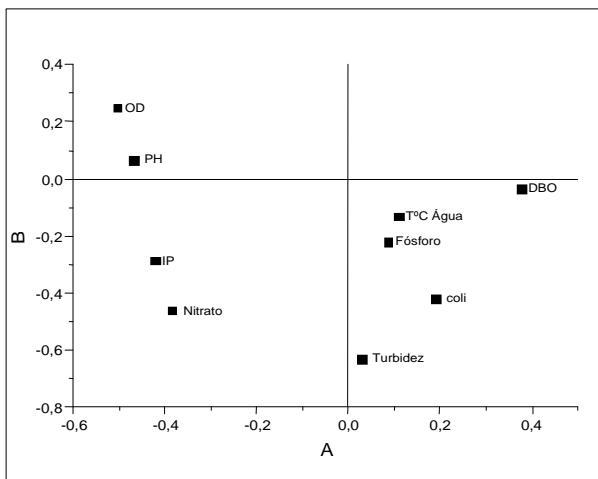
CENÁRIO 6 - sem pH



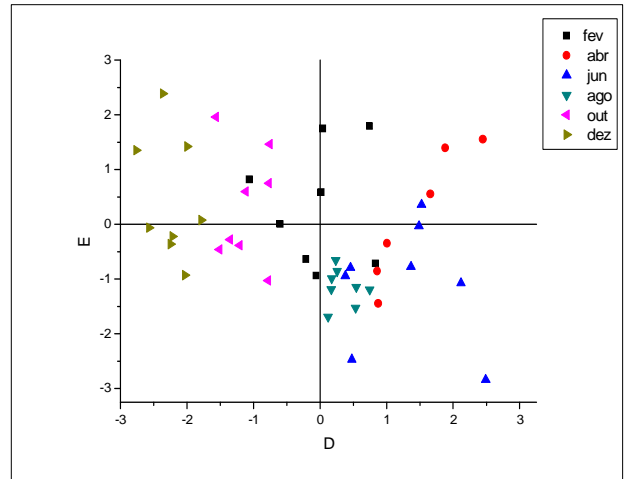
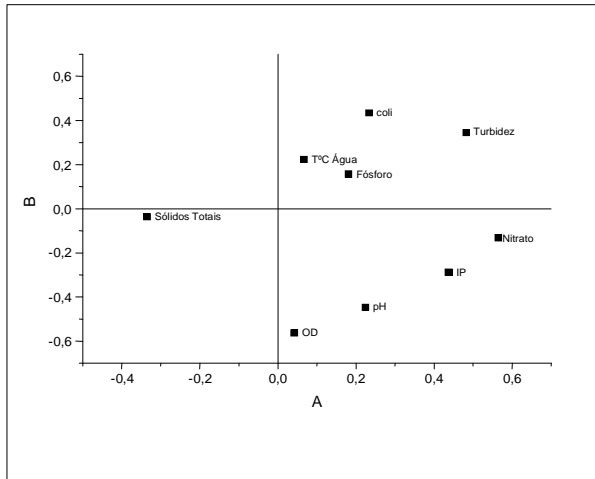
CENÁRIO 7 - sem Coliformes



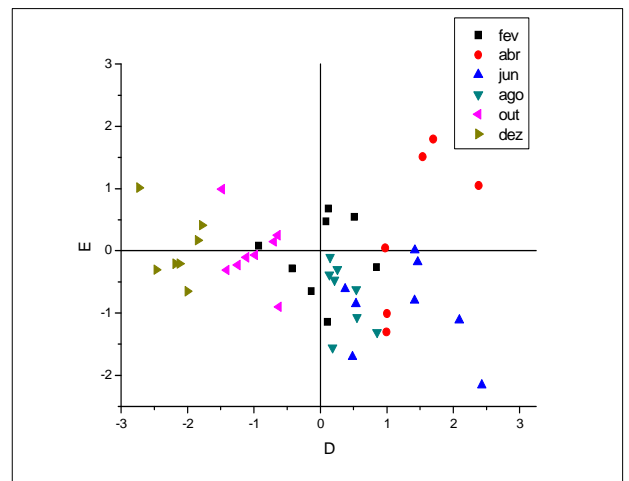
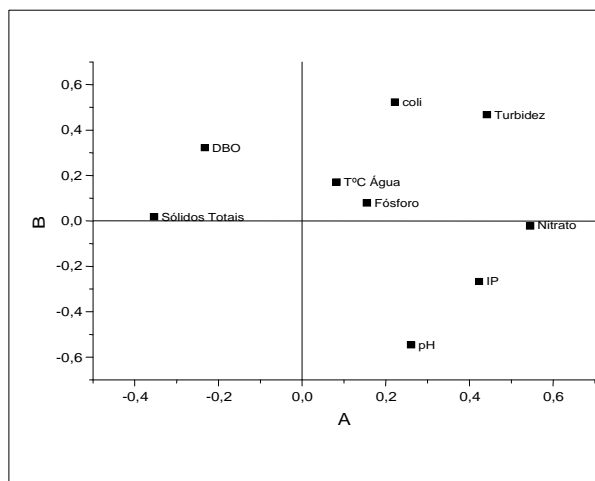
CENÁRIO 8 - sem Sólidos



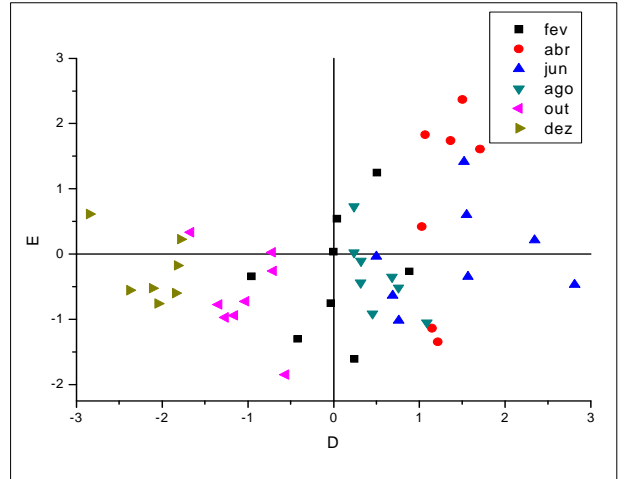
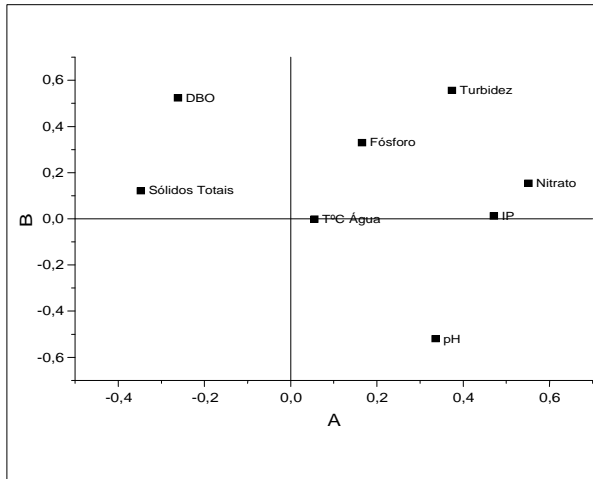
CENÁRIO 9 - sem DBO



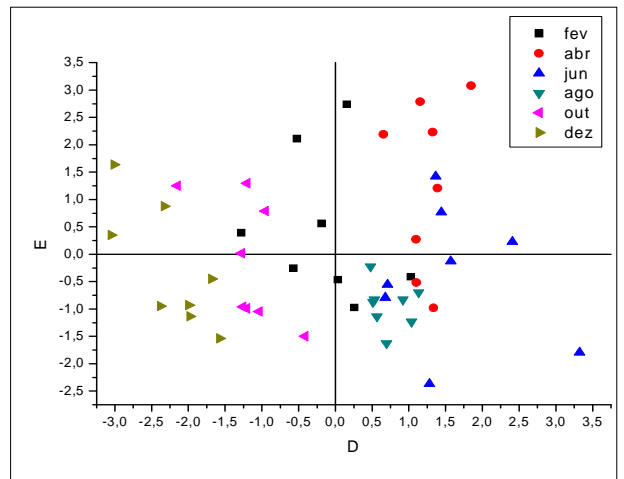
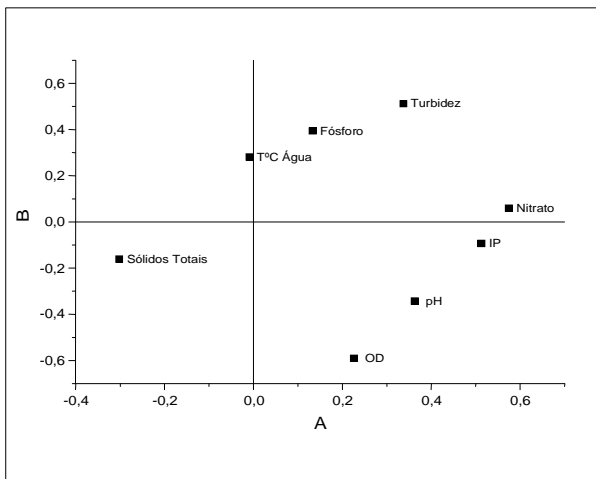
CENÁRIO 10 - sem OD



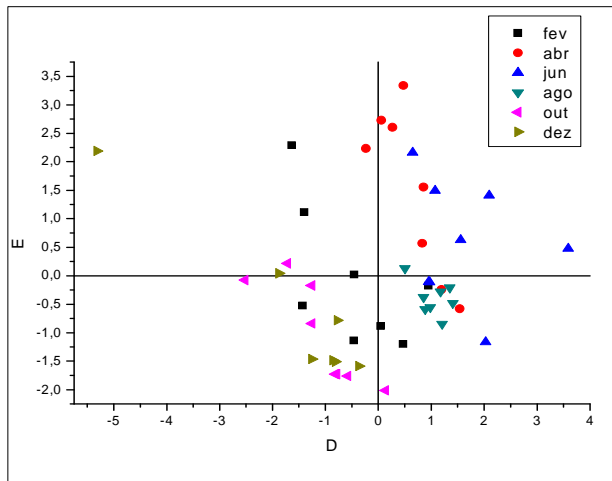
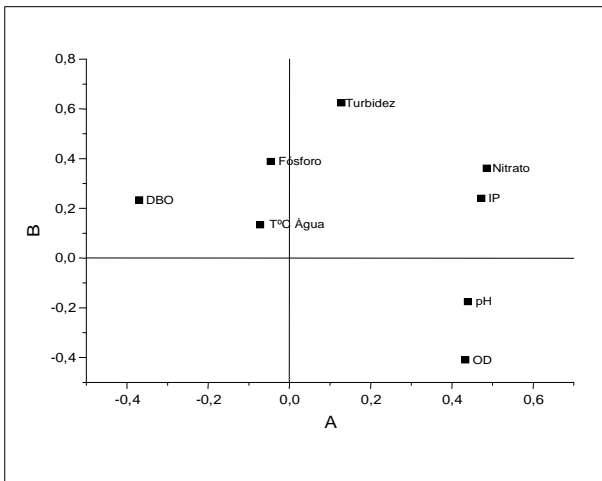
CENÁRIO 11 sem - coliformes nem OD



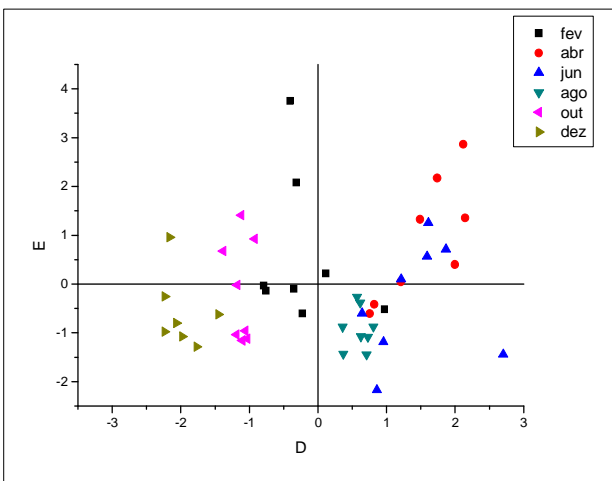
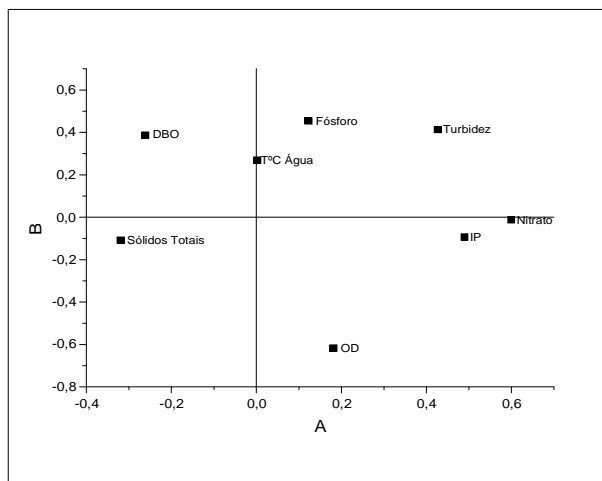
CENÁRIO 12 sem coliformes nem DBO



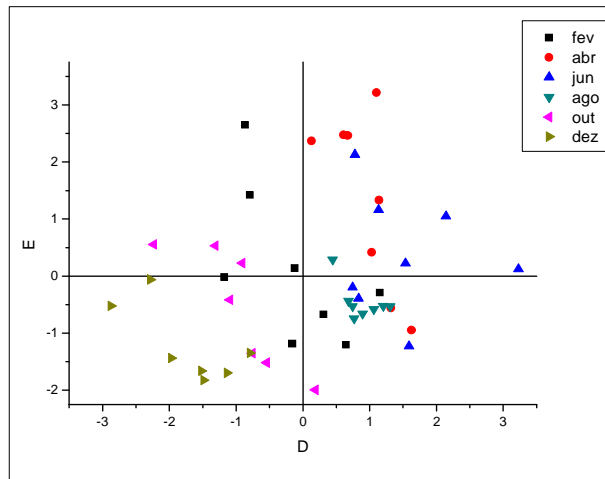
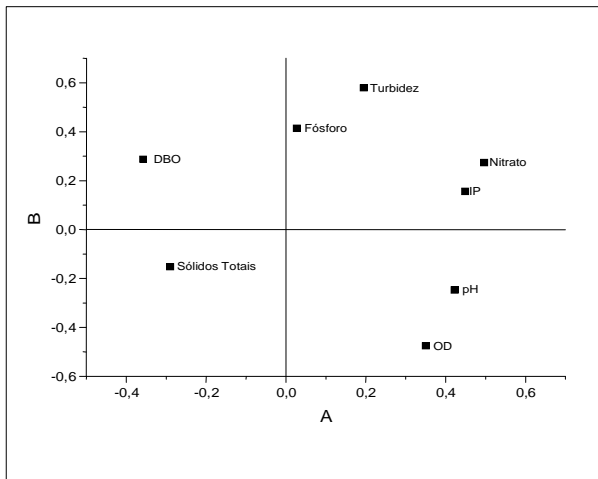
CENÁRIO 13 - sem Coliformes nem Sólidos



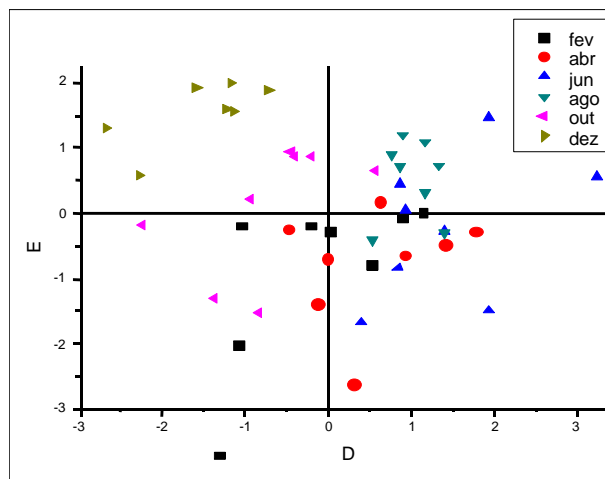
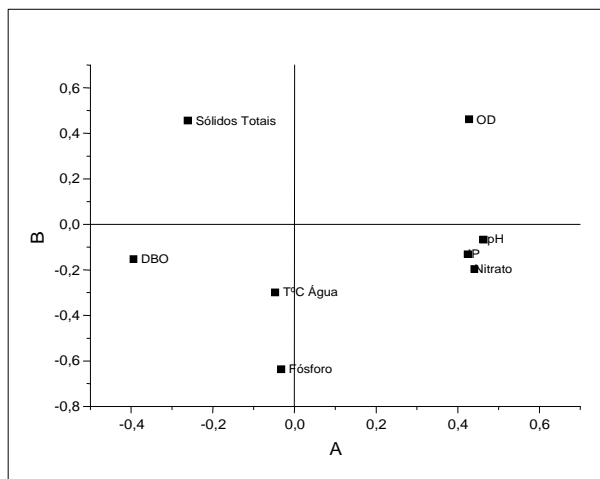
Cenário 14 - sem Coliformes nem pH



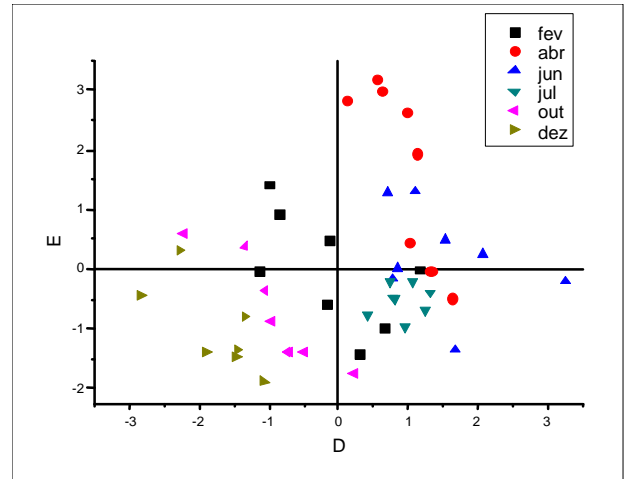
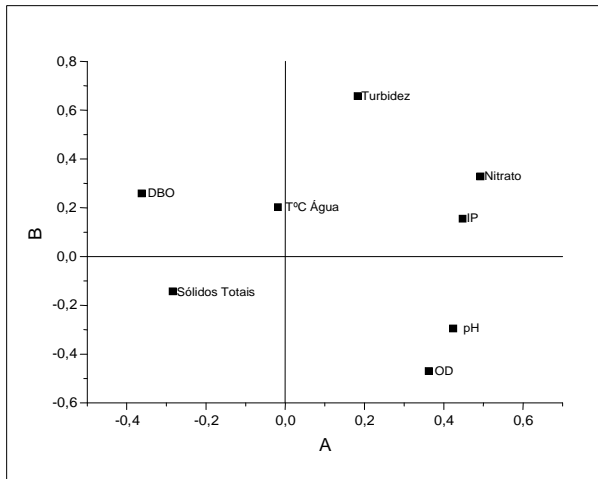
CENÁRIO 15 - sem Coliformes nem Temperatura



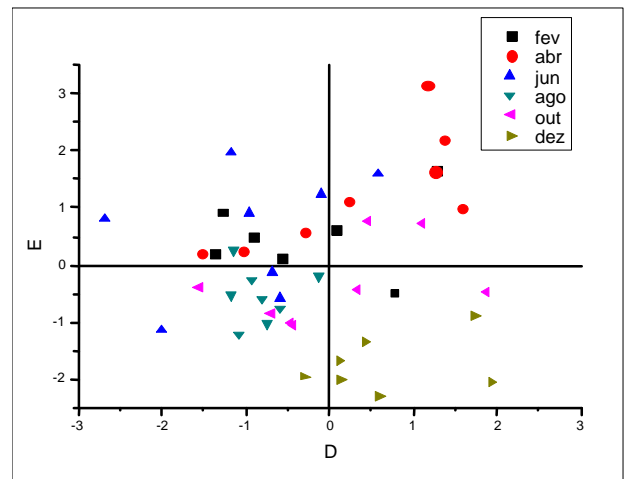
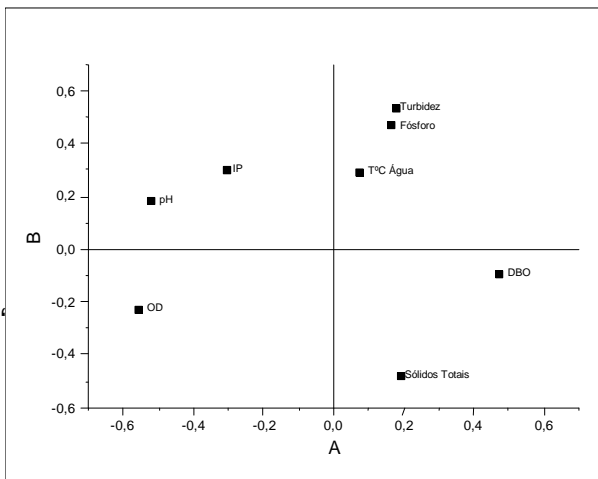
CENÁRIO 16 sem Coliformes nem Turbidez



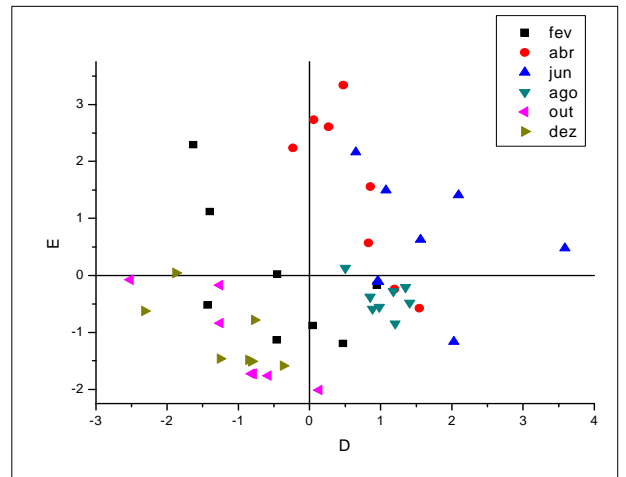
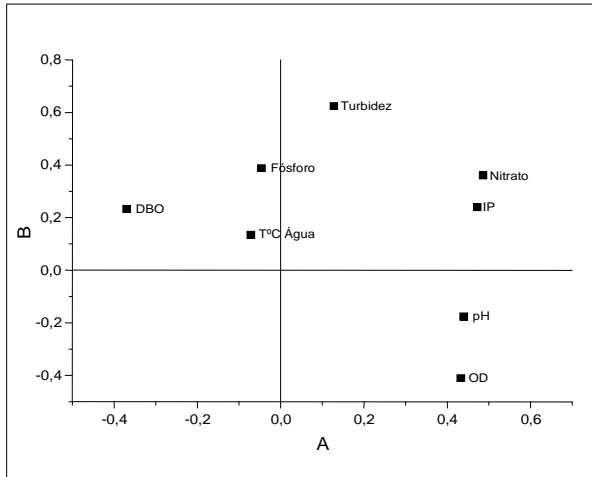
CENÁRIO 17 - sem Coliformes nem Fósforo



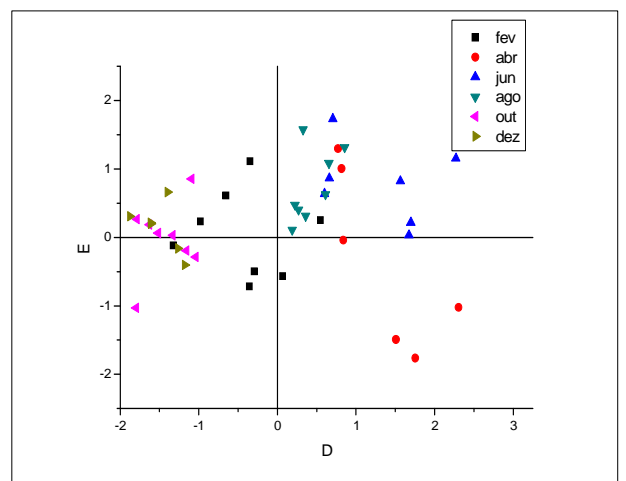
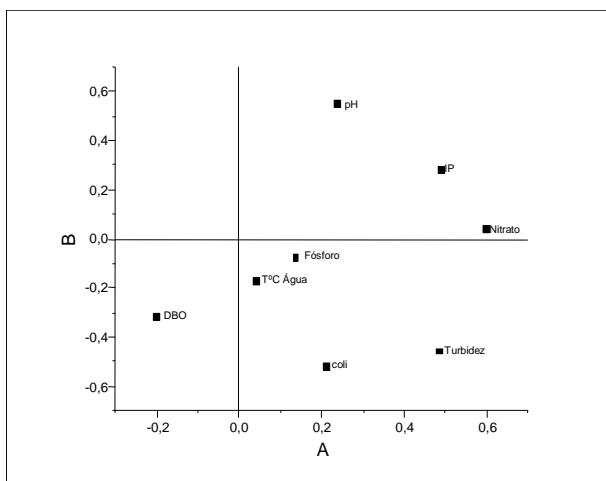
CENÁRIO 18 - sem Coliformes nem Nitrogênio



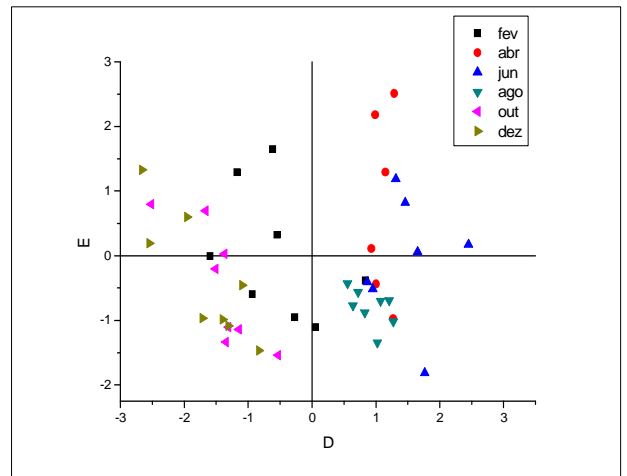
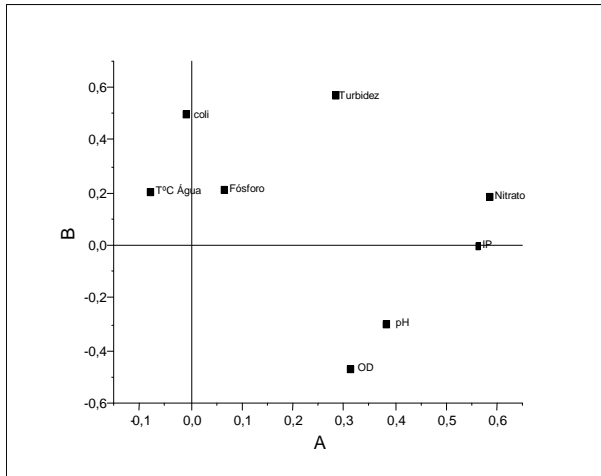
CENÁRIO 19 - sem Sólidos nem Coliformes



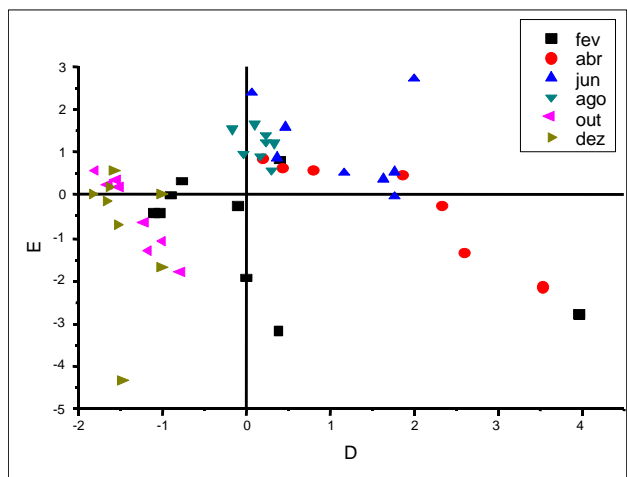
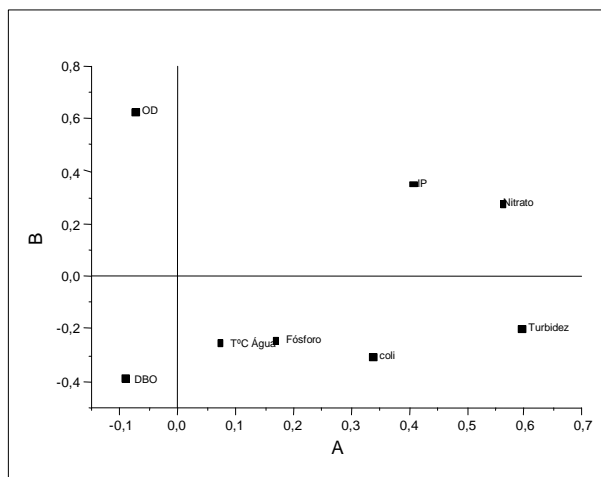
CENÁRIO 20 - sem Sólidos nem OD



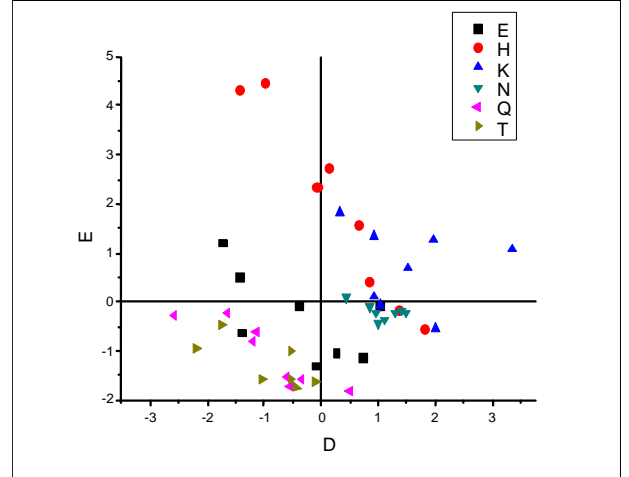
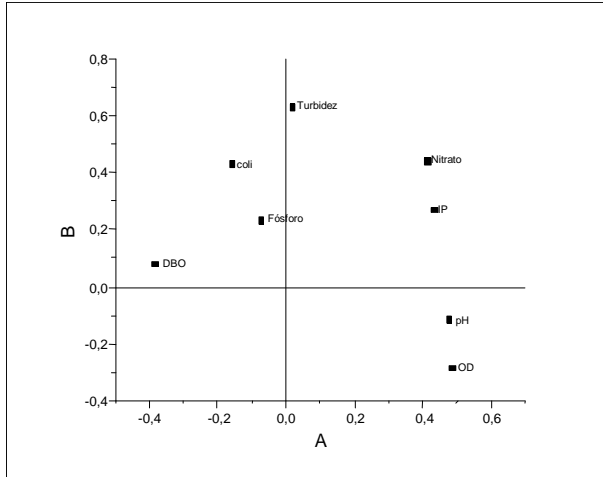
CENÁRIO 21 sem Sólidos nem DBO



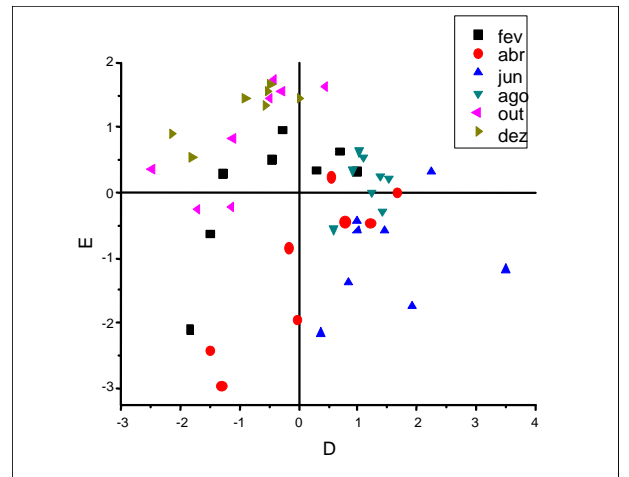
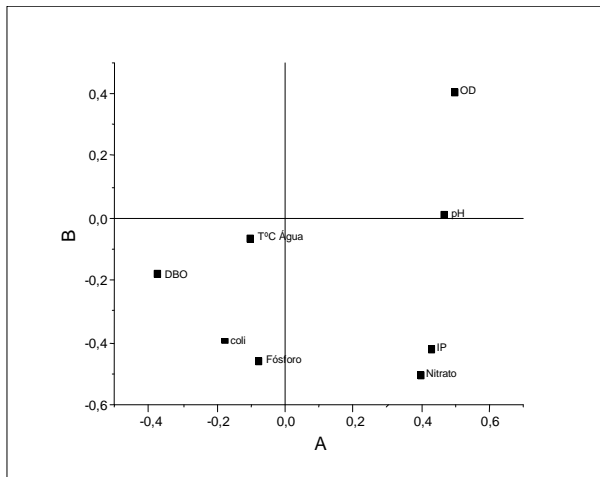
CENÁRIO 22 - sem Sólidos nem pH



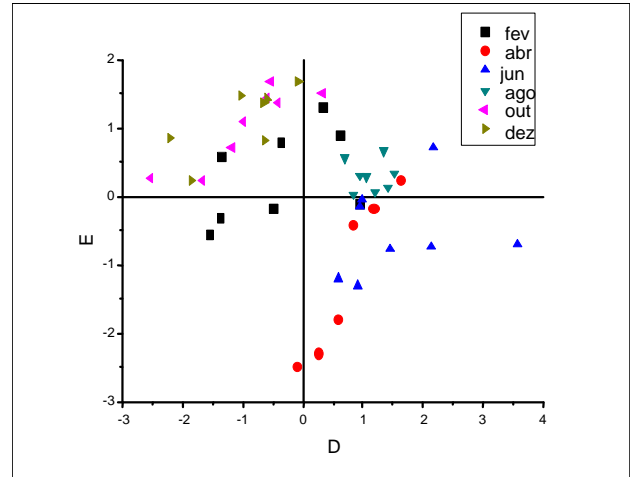
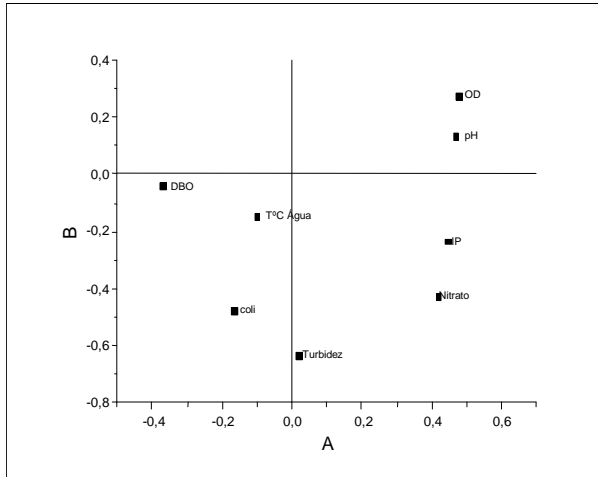
CENÁRIO 23 - sem Sólidos nem Temperatura



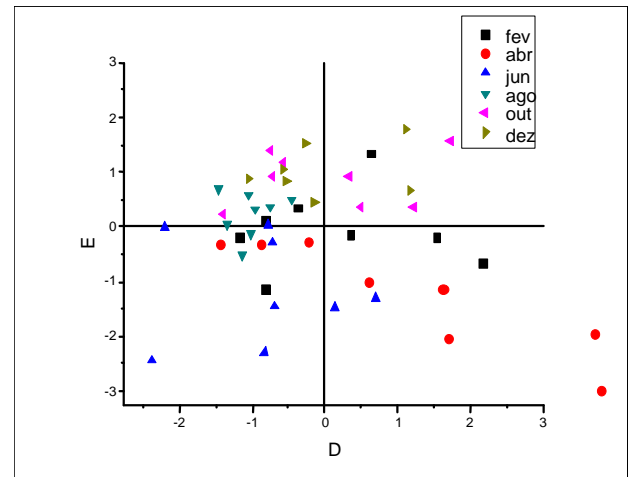
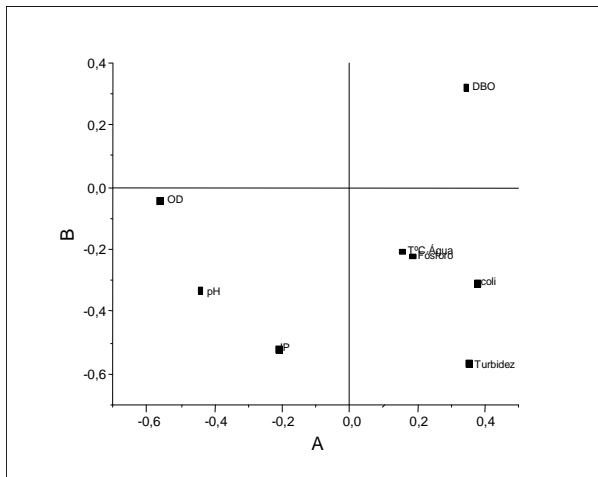
CENÁRIO 24 - sem Sólidos nem Turbidez



CENÁRIO 25 - sem Sólidos nem Fósforo

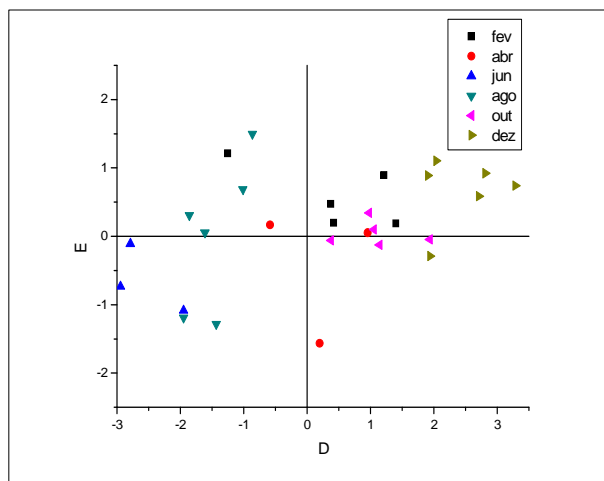
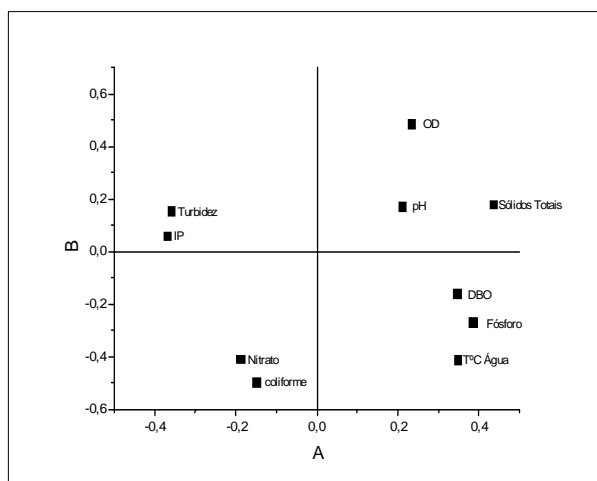


CENÁRIO 26 - sem Sólidos nem Nitrato

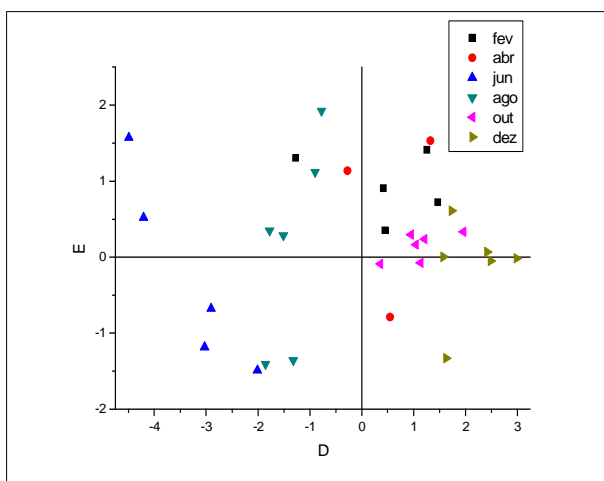
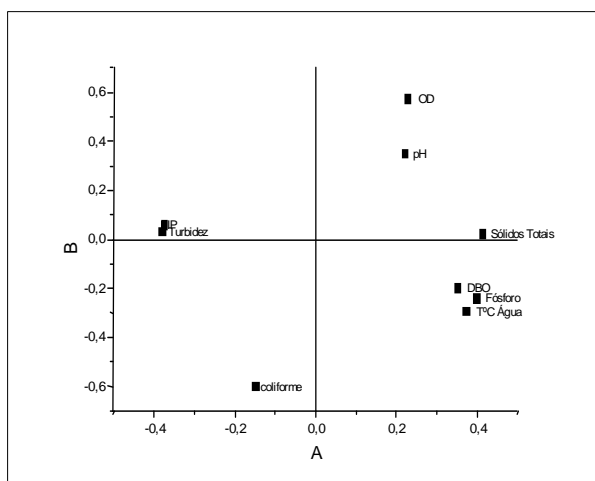


Análise de Componentes Principais para a estação CB 95 (cenários estudados)

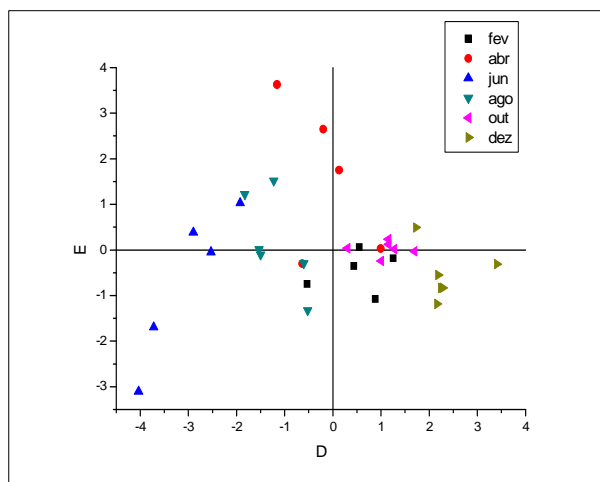
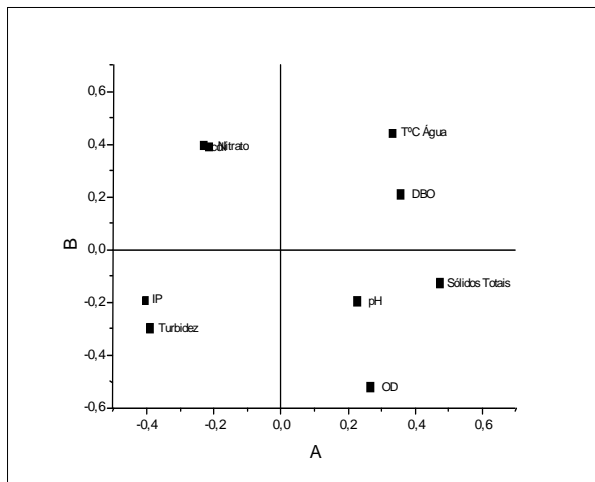
CENÁRIO 1 - todos os Parâmetros



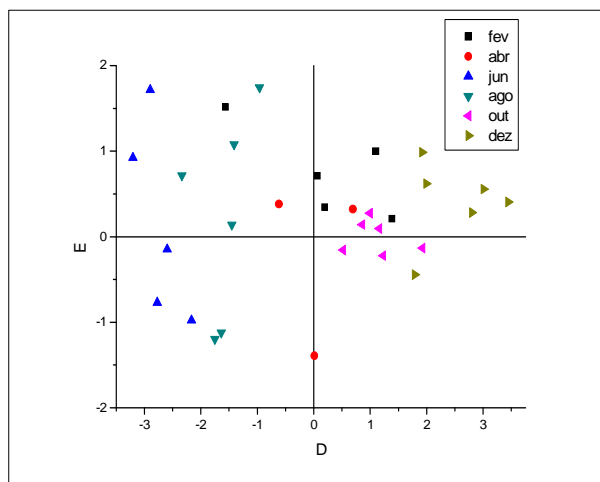
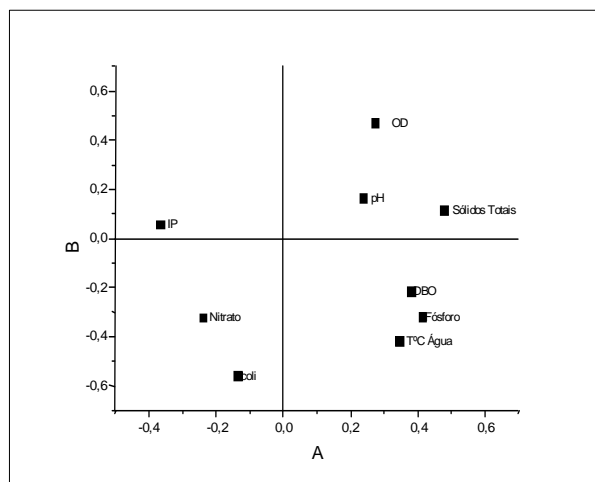
CENÁRIO 2 - sem Nitrato



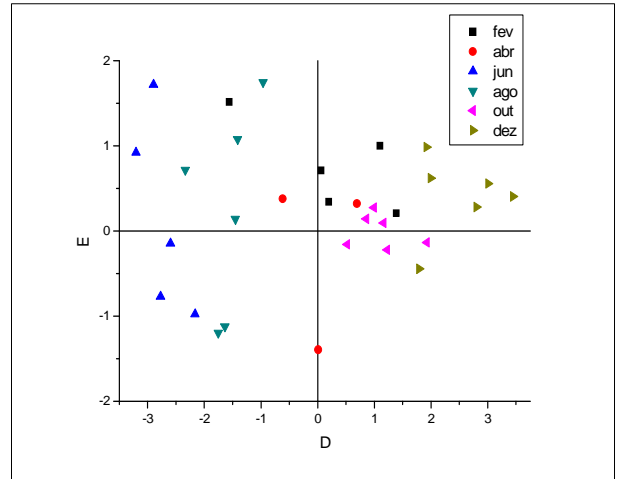
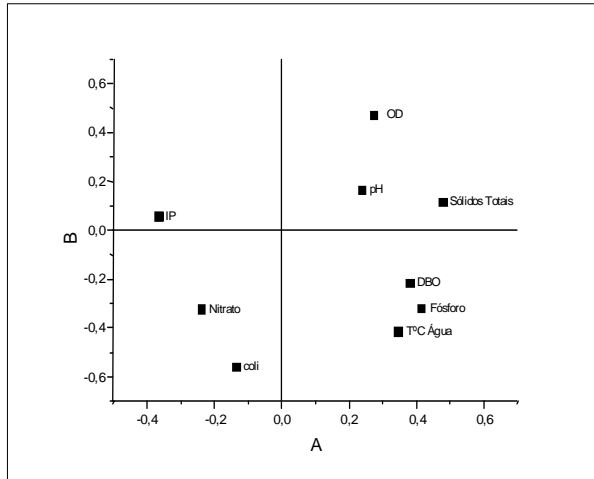
CENÁRIO 3 - sem Fósforo



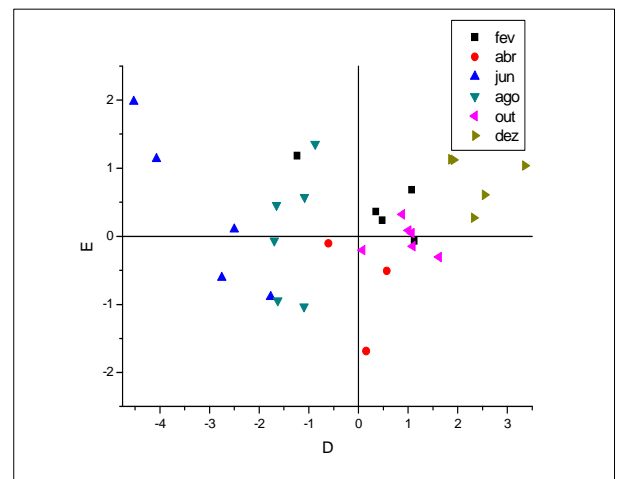
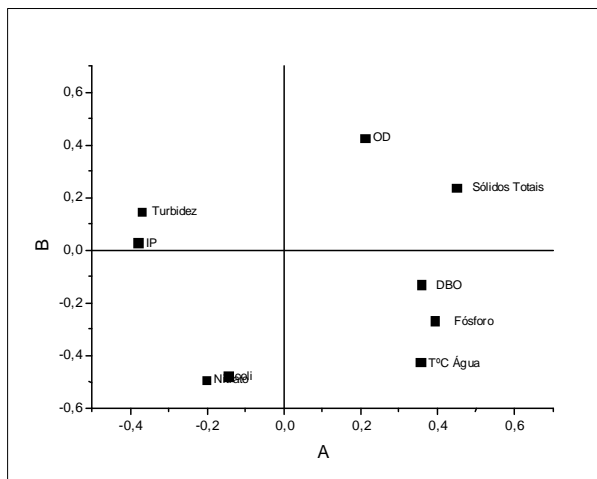
CENÁRIO 4 - sem Turbidez



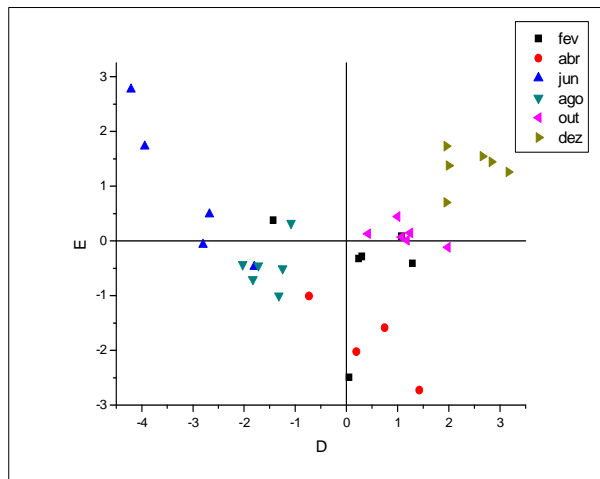
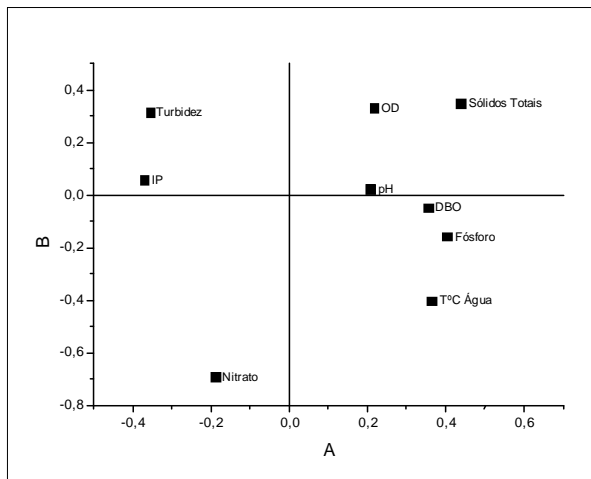
CENÁRIO 5 - sem Temperatura



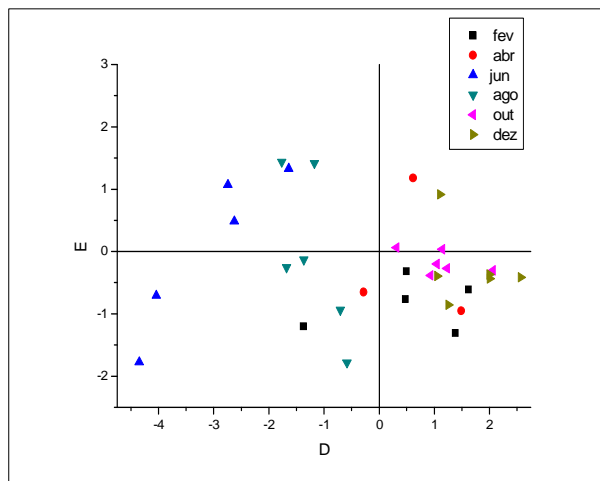
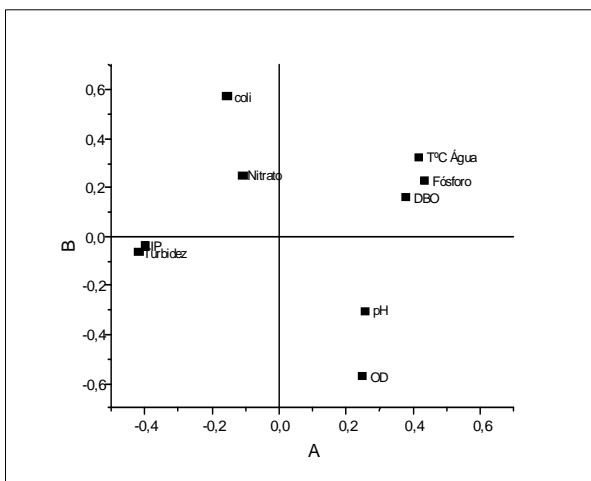
CENÁRIO 6 - sem pH



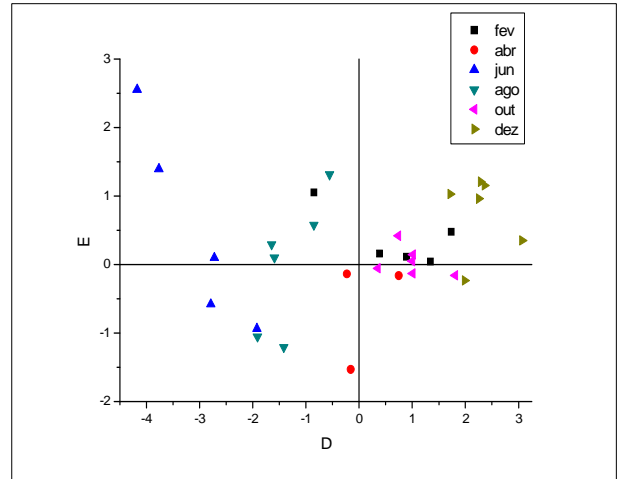
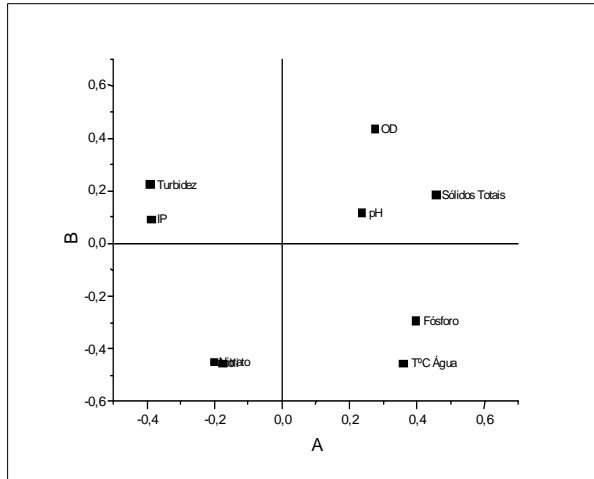
CENÁRIO 7 - sem Coliformes



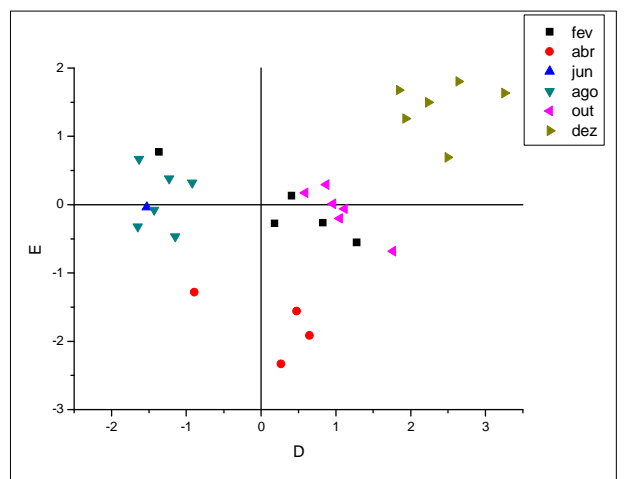
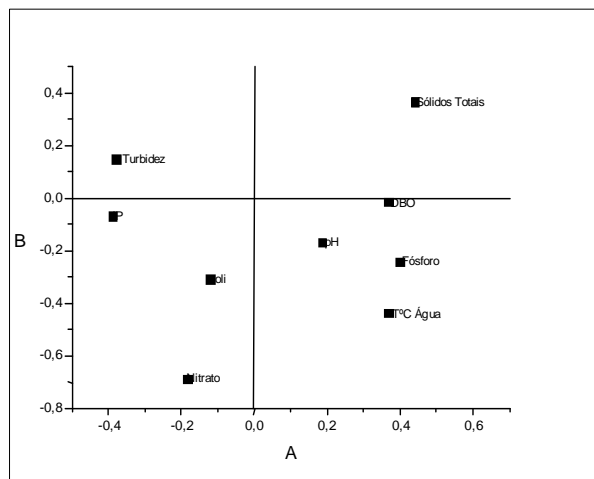
CENÁRIO 8 - sem Sólidos



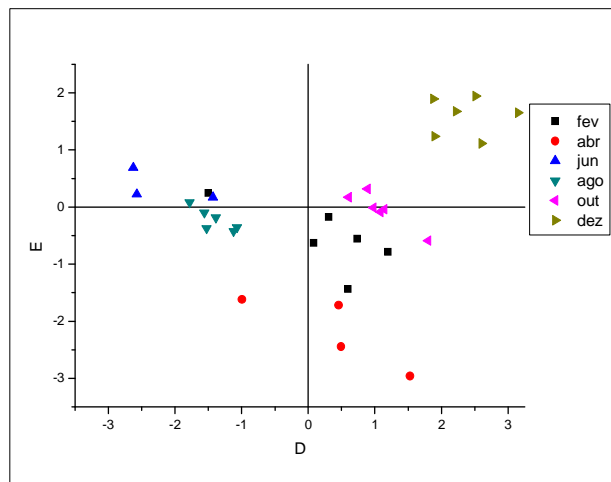
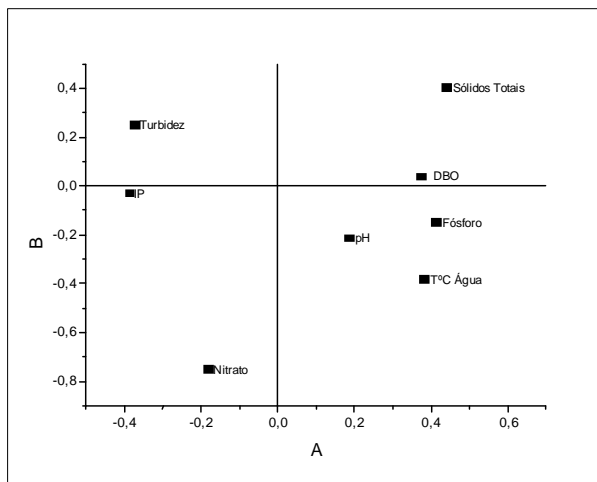
CENÁRIO 9 - sem DBO



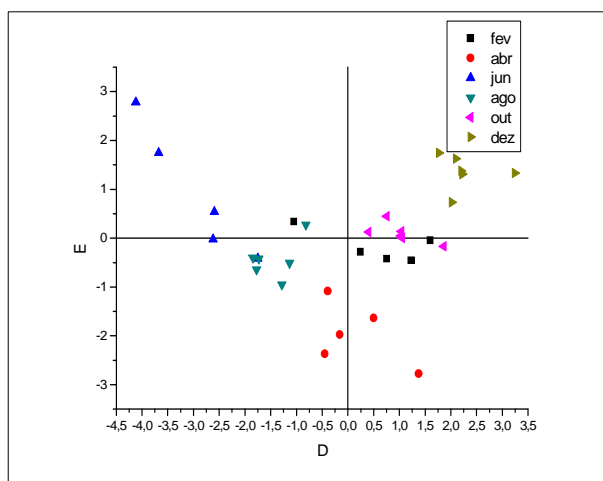
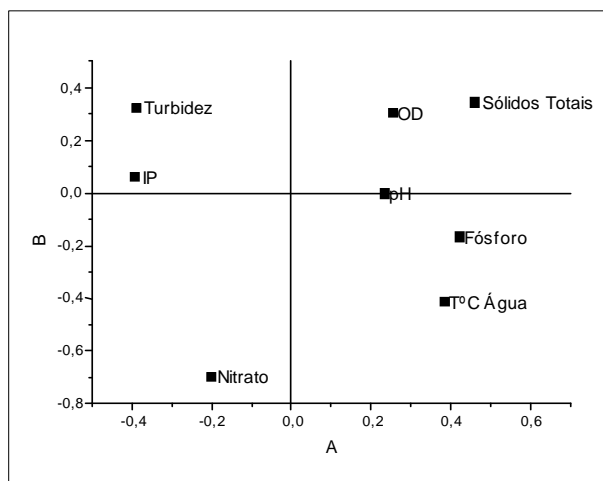
CENÁRIO 10 - sem OD



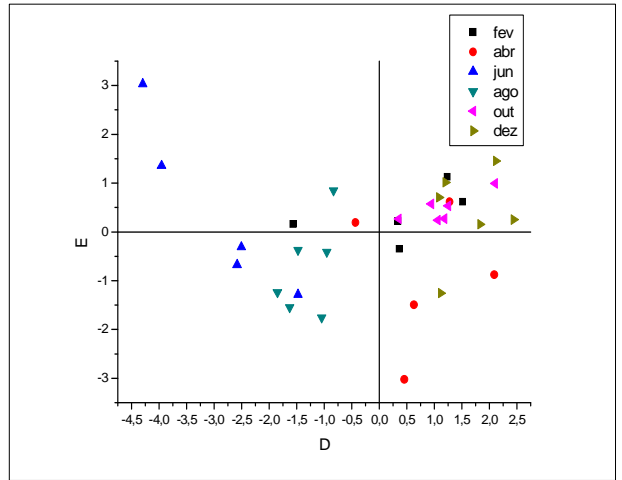
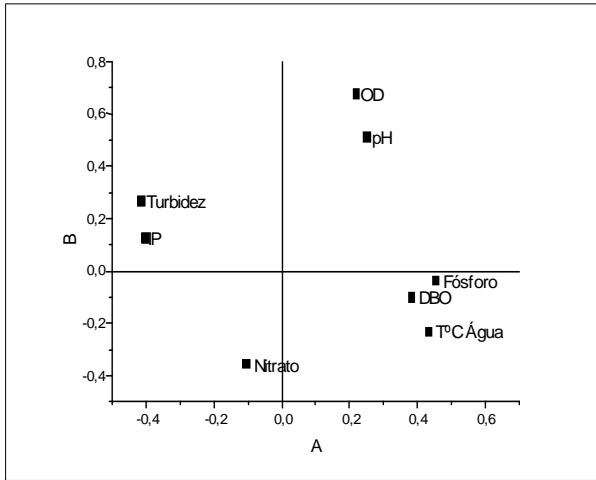
CENÁRIO 11 - sem Coliformes nem OD



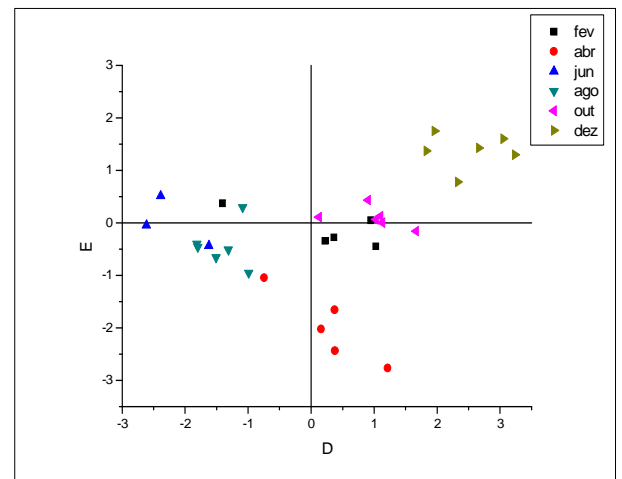
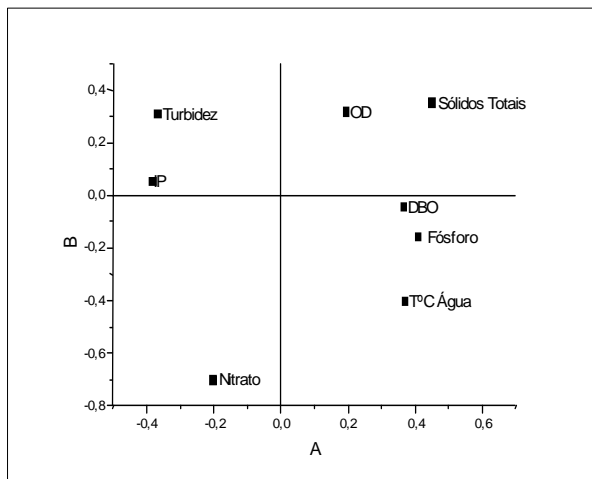
CENÁRIO 12 - sem Coliformes nem DBO



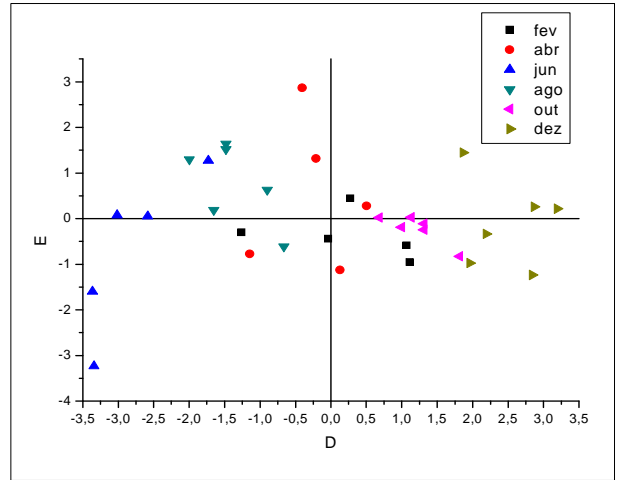
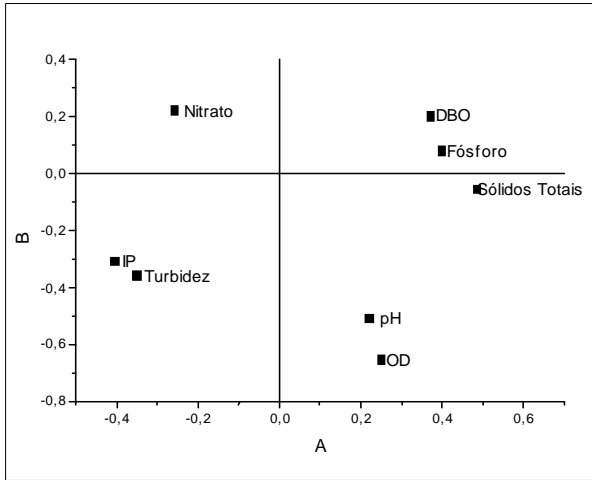
CENÁRIO 13 - sem Coliformes nem Sólidos



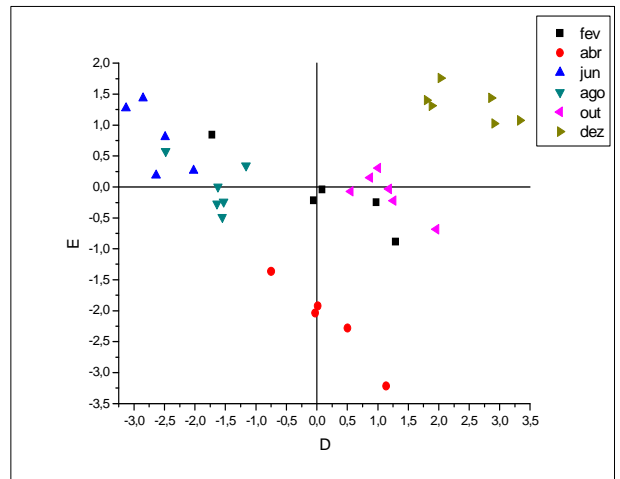
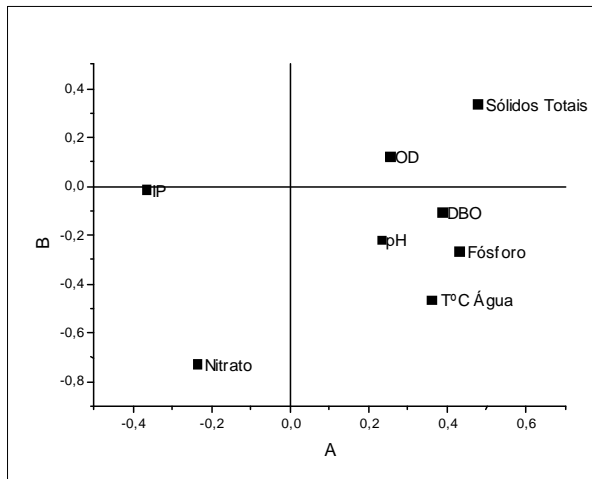
CENÁRIO 14 - sem Coliformes nem pH



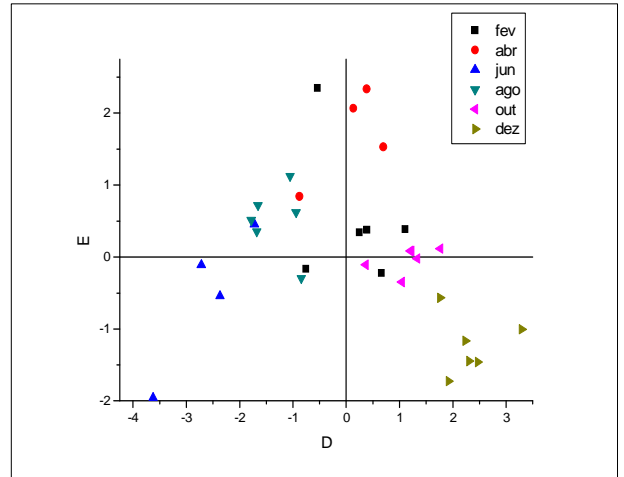
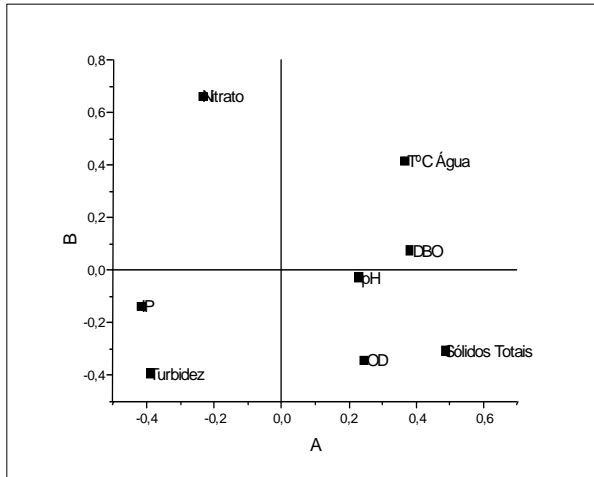
CENÁRIO 15 - sem Coliformes nem Temperatura



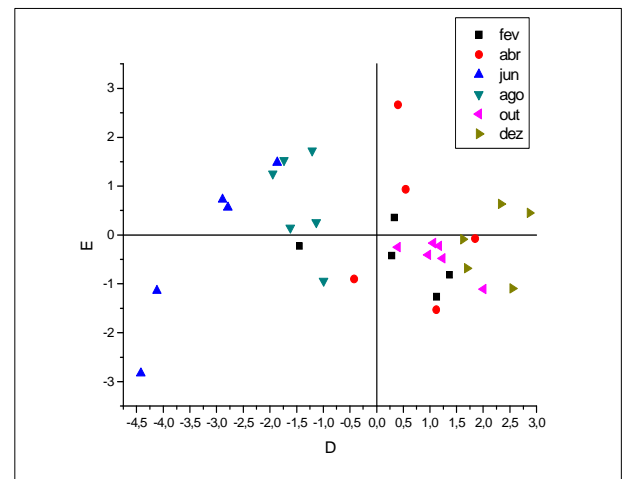
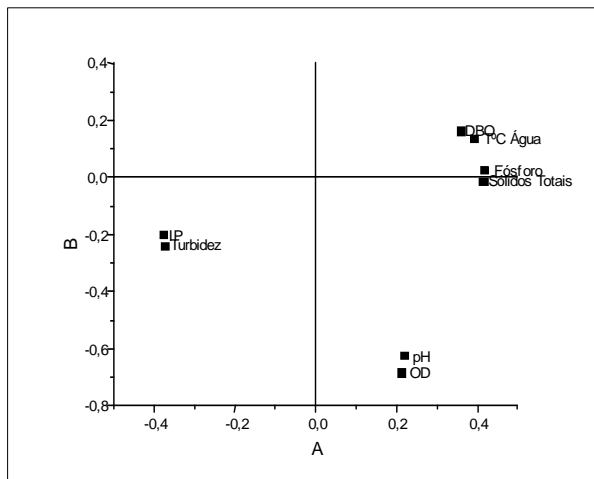
CENÁRIO 16 - sem Coliformes e Turbidez



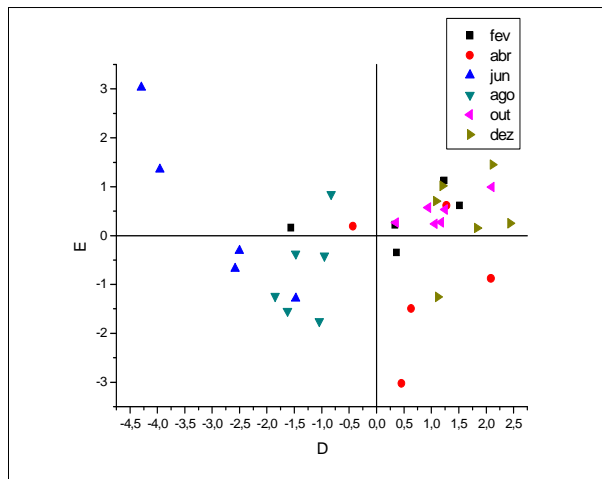
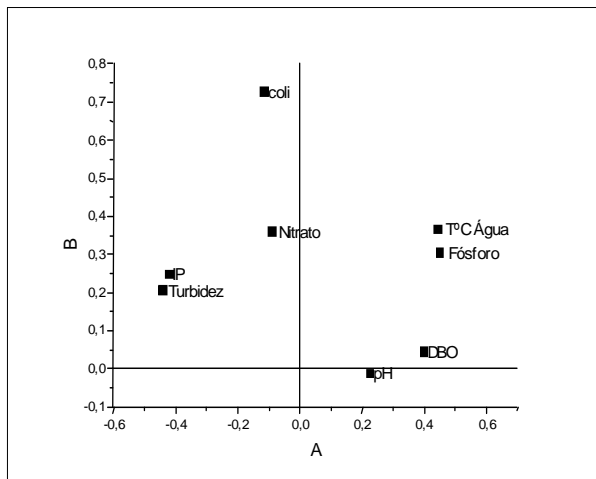
CENÁRIO 17 - sem coliformes nem Fósforo



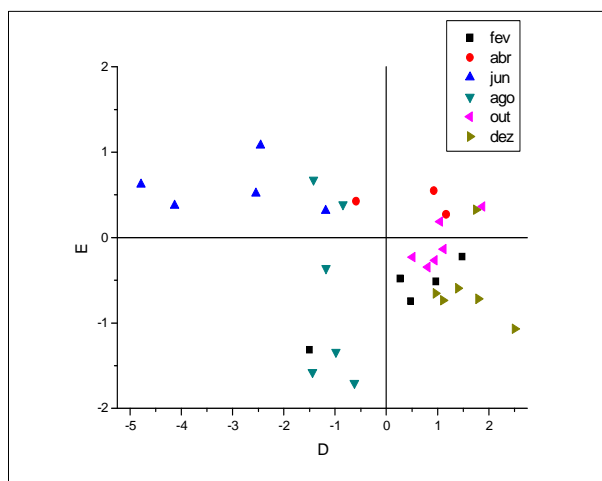
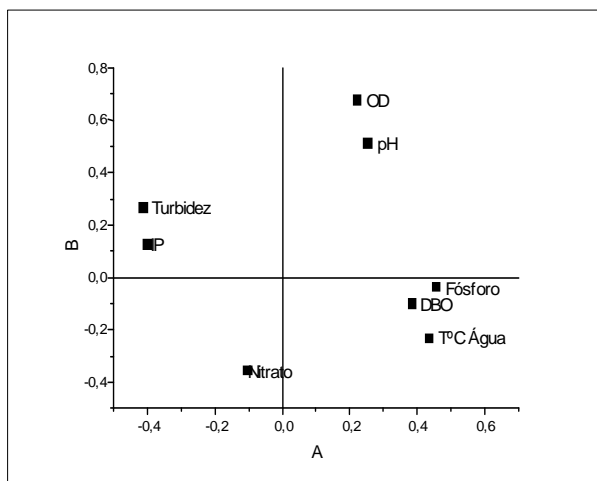
CENÁRIO 18 - sem Coliformes nem Nitrogênio



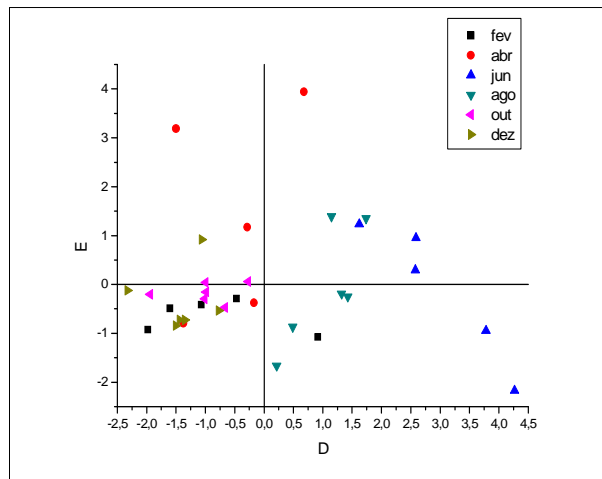
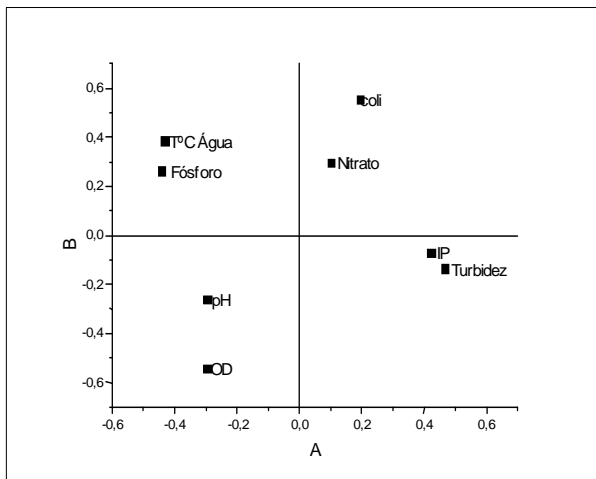
CENÁRIO 19 - sem Sólidos nem Coliformes



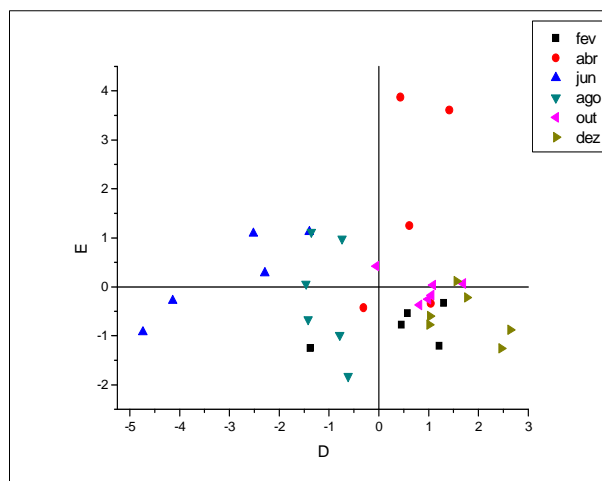
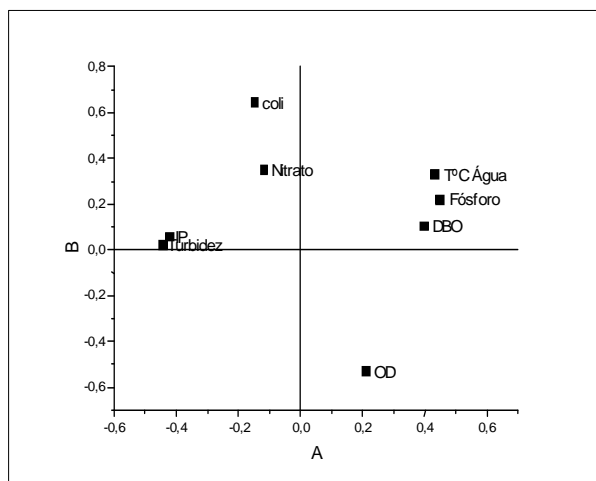
CENÁRIO 20 - sem Sólidos nem OD



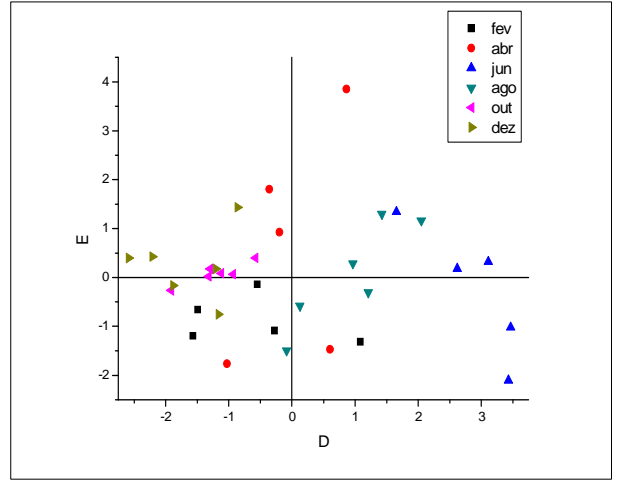
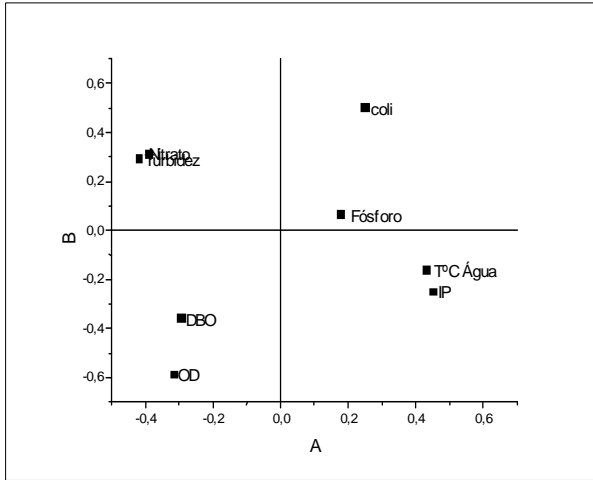
CENÁRIO 21 - sem Sólidos nem DBO



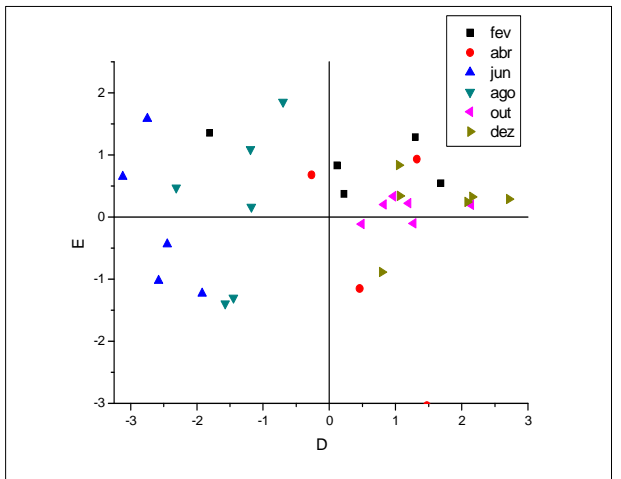
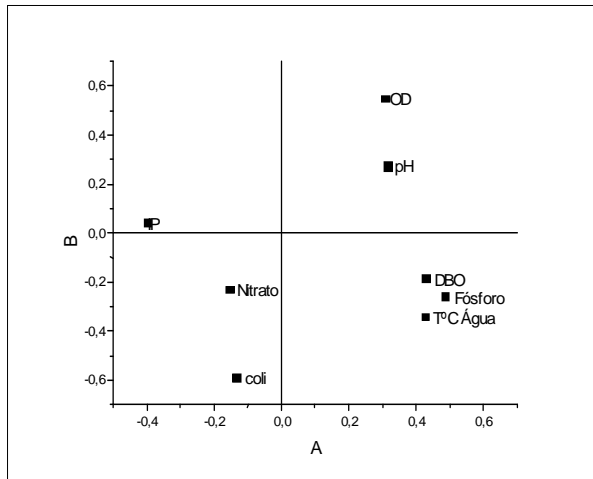
CENÁRIO 22 - sem Sólidos nem pH



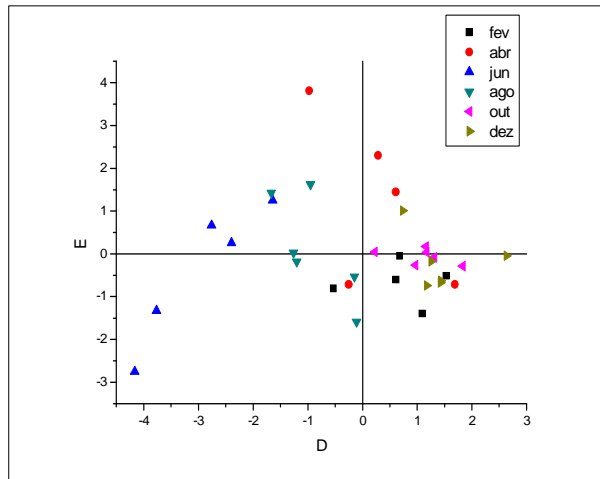
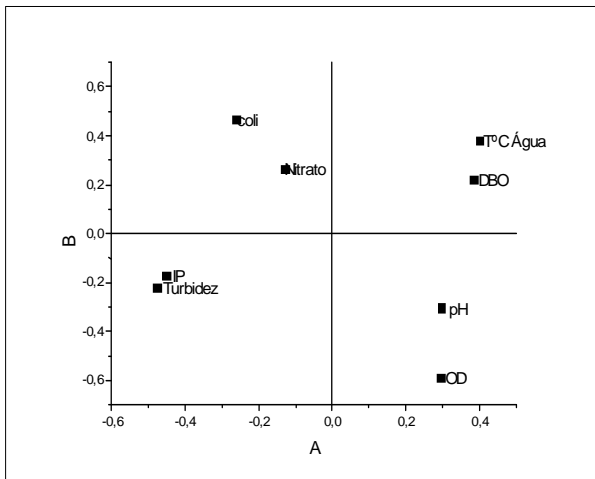
CENÁRIO 23 - sem Sólidos nem Temperatura



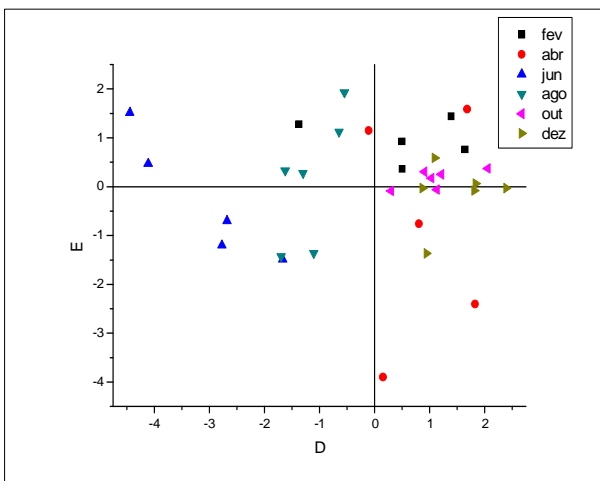
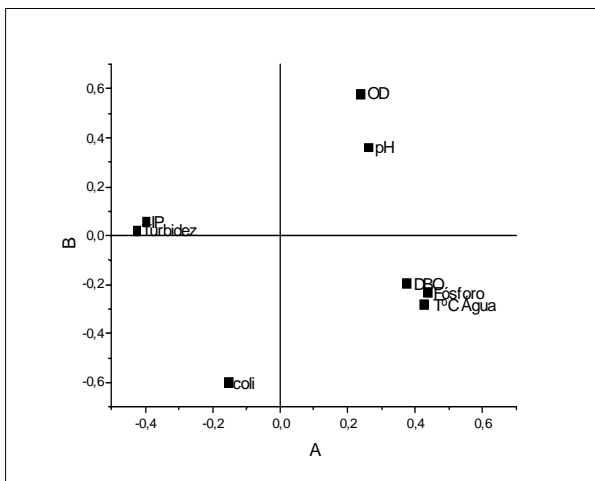
CENÁRIO 24 - sem Sólidos nem Turbidez



CENÁRIO 25 - sem Sólidos nem Fósforo



CENÁRIO 26 - sem Sólidos nem Nitrato



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](#)