



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

WAGNER BANDEIRA DA SILVA

MODELAGEM DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO AÇUDE SANTA CRUZ DO APODI-RN

PAU DOS FERROS – RN

2018

WAGNER BANDEIRA DA SILVA

MODELAGEM DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO AÇUDE SANTA CRUZ DO APODI-RN

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros como requisito para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. Dr. Joel Medeiros Bezerra.

PAU DOS FERROS – RN

2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei n° 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei n° 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S586m Silva, Wagner Bandeira da.
MODELAGEM DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO AÇUDE SANTA CRUZ DO
APODI-RN / Wagner Bandeira da Silva. - 2018.
68 f. : il.

Orientador: Joel Medeiros Bezerra.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Ambiental e Sanitária, 2018.

1. Gestão de Recursos Hídricos. 2. Estatística
Multivariada. 3. Geoestatística. I. Bezerra, Joel
Medeiros, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da Instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

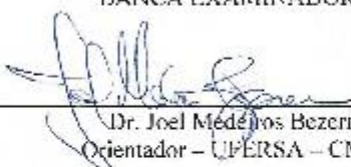
WAGNER BANDEIRA DA SILVA

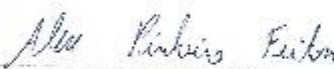
MODELAGEM DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO AÇUDE SANTA CRUZ DO APODI-RN

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,
Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros
como requisito para obtenção do título de
Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Pau dos Ferros-RN, 14/09/2018.

BANCA EXAMINADORA


Dr. Joel Medeiros Bezerra
Orientador – UFERSA – CMPF


Dr. Alex Pinheiro Feitosa
Examinador – UFERSA – CMPF


Dr. Franklin Roberto da Costa
Examinador – UERN – CAMEAM

AGRADECIMENTOS

A consolidação deste trabalho não teria sido possível sem a contribuição magnânima de diversas pessoas a quem estou profundamente reconhecido.

Em primeiro lugar, e acima de tudo, quero prestar meus agradecimentos à minha família, que sempre me apoiou, em todos os momentos. Aos meus queridos pais, Maria das Graças Bandeira e Francisco Alves da Silva, aos quais dedico este trabalho, pela confiança que depositaram em mim e pela força e coragem com que sempre me entusiasmaram na concretização deste trabalho e na conclusão desse curso.

Em segundo lugar, gostaria de agradecer ao Professor Dr. Joel Medeiros Bezerra, meu orientador, pelos ensinamentos e elevado conhecimento científico que me transmitiu e pelo seu constante apoio, sempre muito prestativo e me incentivando a crescer não só no meio profissional/acadêmico, mas também como ser humano. Agradeço a disponibilidade que sempre mostrou durante o curso e sobretudo pela sua amizade.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) em si e a todos os professores e funcionários que diretamente ou indiretamente deram todo suporte necessário para que eu tivesse a melhor formação acadêmica.

Agradeço, também, aos membros da banca examinadora, Dr. Alex Pinheiro Feitosa e Dr. Franklin Roberto da Costa pelos apontamentos, correções e sugestões para enriquecimento desse trabalho.

À Patrícia Dias Chaves, minha fiel companheira, pelo incentivo e acima tudo, pelo amor, paciência e carinho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por apoiar e financiar esse projeto, tal como a concessão da bolsa de iniciação científica.

A todos que diretamente ou indiretamente, me ajudaram nessa árdua batalha, muito obrigado!

“Não se coloque dentro de uma forma, se adapte e construa sua própria, e deixa-a expandir, como a água. Se colocarmos a água num copo, ela se torna o copo; se você colocar água numa garrafa ela se torna a garrafa. A água pode fluir ou pode colidir. Seja água, meu amigo”.

(Bruce Lee)

RESUMO

A bacia hidrográfica do Açude Santa Cruz do Apodi (BHASCA) apresenta sérios problemas de agressão ao meio ambiente em quase toda sua extensão na atualidade, seja por poluição ou contaminação, inviabilizando os usos múltiplos das águas em determinadas áreas, alterando a capacidade de recuperação dos recursos hídricos. Nesse contexto, o presente trabalho objetiva realizar a modelagem da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do açude Santa Cruz do Apodi-RN, no período de 2008 a 2016, no intuito de gerar subsídios à gestão dos recursos naturais da bacia, fornecendo uma base de produtos que ajudarão no planejamento e no gerenciamento integrado dos elementos de sua ambiência, com foco na manutenção de seus recursos hídricos em função dos usos múltiplos. Nessa perspectiva, mediante levantamento de dados secundários, oriundos dos relatórios do programa Água Azul, aplicou-se técnicas de estatística univariada e multivariada para análise de correlação linear, Análise de Componentes Principais (ACP), além da geoestatística. A correlação linear possibilitou identificar a dependência entre as variáveis de ordem físicas, químicas e biológicas. A ACP sintetizou a informação contida no conjunto das variáveis originais. Durante o período seco, as variáveis: sólidos totais (STD), fósforo total (FT), clorofila “a” (CRF) e salinidade (SAL) se sobressaíram as outras. Enquanto, no período chuvoso, observou-se a formação de uma componente principal composta por STD e CRF, estando as demais componentes relacionadas a aleatoriedade, possivelmente influenciadas pela ação das chuvas. A análise geoestatística, através do cálculo dos semivariogramas experimentais ajustados, explicou a variabilidade espacial da qualidade das águas superficiais na BHASCA. Os raios de alcance das áreas homogêneas variaram entre 820 a 43.080 metros. Nessa perspectiva, observou-se que os reservatórios da BHASCA estão susceptíveis a processos de eutrofização, em virtude da predominância de fatores de ordem química e biológica, seja pelo o lançamento de efluentes domésticos não tratados pelos municípios que compõem a bacia ou pela prática de atividades agropastoris, que podem estar comprometendo e/ou limitando os usos múltiplos das águas na referida bacia, tal como afetando a manutenção da biodiversidade.

Palavras-chave: Gestão de Recursos Hídricos. Estatística Multivariada. Geoestatística.

ABSTRACT

The Santa Cruz do Apodi Watershed (SCAW) presents serious problems of aggression to the environment in almost all its extension at the present time, either by pollution or contamination, rendering unviable the multiple uses of the waters in certain areas, altering the capacity of recovery of the water resources. In this context, the present work aims to perform the modeling of the surface water quality of the Santa Cruz do Apodi-RN hydrographic basin, from 2008 to 2016, in order to generate subsidies for the management of the natural resources of the basin, providing a basis of products that will help in the planning and integrated management of the elements of its environment, with focus on the maintenance of its water resources in function of multiple uses. In this perspective, through the collection of secondary data from the Blue Water reports, univariate and multivariate statistical techniques were used for linear correlation analysis, Principal Components Analysis (PCA), as well as geostatistics. The linear correlation made it possible to identify the dependence between physical, chemical and biological variables. The ACP synthesized the information contained in the set of original variables. During the dry period, the variables: total solids (STD), total phosphorus (FT), chlorophyll a (CRF) and salinity (SAL) stood out the others. While in the rainy season, a major component composed of STD and CRF was observed, with the other components related to randomness, possibly influenced by rainfall. The geostatistical analysis, through the calculation of the adjusted experimental semivariograms, explained the spatial variability of surface water quality in BHASCA. The range of homogeneous areas ranged from 820 to 43,080 meters. From this perspective, it was observed that the reservoirs of BHASCA are susceptible to eutrophication processes, due to the predominance of chemical and biological factors, either by the release of domestic effluents not treated by the municipalities that compose the basin or by the practice of activities agropastoris, which may be compromising and / or limiting the multiple uses of the waters in said basin, such as affecting the maintenance of biodiversity.

Keywords: Management of Water Resources. Multivariate Statistics. Geostatistics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Regiões hidrográficas brasileiras	14
Figura 02 – Curvas médias de variação dos parâmetros de qualidade das águas para o cálculo do IQA	17
Figura 03 – BHRAPM/RN com enfoque na delimitação da bacia hidrográfica do açude Santa Cruz do Apodi –RN.....	26
Figura 04 – Divisão Política com os municípios que compõem a bacia hidrográfica do açude Santa Cruz do Apodi – RN	27
Figura 05 – Ciclo anual de precipitação para a região oeste	28
Figura 06 – Localização dos Pontos de amostragem na BHASCA	32
Figura 07 – Biplot da análise de componentes principais (ACP) com base nas variáveis da qualidade de água nos diferentes períodos de monitoramento: a) 2008; b) 2009; c) 2010 d) 2011a; e) 2012a; f) 2012b; g) 2014; h) 2015a; i) 2015b e h) 2016	39
Figura 08 – Semivariogramas calculados das componentes principais 01 e 02 para todos os períodos: a) 2008; b) 2009; c) 2010; d) 2011a; e) 2011b; f) 2012a; g) 2011b; h) 2014; i) 2015a; j) 2015b; k) 2016	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Classes do IQA, valores e seu significado.....	16
Tabela 02 – Parâmetros de Qualidade da Água do IQA e respectivos pesos.....	16
Tabela 03 – Principais reservatórios inseridos na BHASCA	29
Tabela 04 – Relatórios do programa água azul avaliados no estudo.....	30
Tabela 06 – Componentes selecionadas e seus escores discriminantes formadores para cada ciclo de monitoramento	36
Tabela 05 – Pontos de amostragem selecionados para esse estudo, localização e ecossistema característico.....	31
Tabela 06 – Descrição da correlação de Pearson entre parâmetros de qualidade de água na BHASCA com ênfase nos coeficientes que mais se repetem nas matrizes de correlação	35
Tabela 07 – Componentes selecionadas e seus escores discriminantes formadores para cada ciclo de monitoramento	40
Tabela 08 – Parâmetros dos semivariogramas das componentes principais estudadas e ajustados aos modelos selecionados	47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO TEÓRICA	12
2.1 RECURSOS HÍDRICOS NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL.....	12
2.2 USOS MÚLTIPLOS DAS ÁGUAS	14
2.3 QUALIDADE DAS ÁGUAS	15
2.3.1 Parâmetros físicos.....	18
2.3.2 Parâmetros químicos.....	19
2.3.3 Parâmetros biológicos	21
2.4 GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS	22
2.5 VARIABILIDADE ESPACIAL DOS RECURSOS HÍDRICOS	23
2.6 MODELOS ESTATÍSTICOS MULTIVARIADOS	24
3 METODOLOGIA.....	26
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	26
3.2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....	29
3.2.1 Delimitação da pesquisa e obtenção de dados.....	29
3.2.2 Análise de Componentes Principais	32
3.2.3 Análise Geoestatística.....	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	35
4.2 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA	44
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
REFERÊNCIAS	51
APÊNDICES	61
APÊNDICE A - Correlação linear de Pearson entre as variáveis monitoradas pelo programa Água Azul.....	61
APÊNDICE B - Componentes principais com variância acumulada superior a 0,70.....	66
APÊNDICE C - Escores das duas componentes principais selecionadas	68

1 INTRODUÇÃO

A água possui importância primordial para a manutenção da vida no planeta. Logo, falar da relevância dos conhecimentos sobre a água, em suas diversas dimensões, é falar da conservação e do equilíbrio da biodiversidade e das relações de dependência entre seres vivos e ambientes naturais (BACCI; PATACA, 2008).

Em virtude da água ser um recurso natural renovável, mas limitado, os usos múltiplos da água podem resultar nas alterações das características físico, químicas e biológicas, através de processos de poluição e/ou contaminação, ocasionando consequências de ordem social, econômica, política, ambiental, ecológica e saúde (DERÍSO, 2012).

Nesse contexto, a preocupação com o gerenciamento dos recursos hídricos acentuou-se com o crescimento populacional e industrial. Com o aumento da demanda por água, o recurso hídrico está com sua capacidade de recuperação esgotada em termos de qualidade e quantidade (LOU, 2004).

Tais problemas causam alterações nos regimes hidrológicos, elevando o índice de doenças de veiculação hídrica, a contaminação química, a erosão dos solos e o assoreamento das margens (GARDIMAN JUNIOR, 2015). Além dos efeitos de bioacumulação e biomagnificação de metais pesados (POMPEU et al., 2004), essas alterações têm efeitos na quantidade e qualidade hídrica (GARCIA et al., 2011). Efluentes domésticos, efluentes industriais e grandes cargas lançadas de maneira difusa nas áreas urbanas e agrícolas são as principais fontes de poluição (CETESB, 2009), contribuindo, portanto, para a alteração da qualidade da água e, como consequência, restringindo sua utilização.

Na região Oeste do Estado do Rio Grande do Norte, localiza-se a Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró/RN - BHRAM/RN, que ocupa uma área de 14.276 km² (26,8% do território estadual). A região a montante da Barragem de Santa Cruz do Apodi-RN, contempla o alto e médio superior curso da BHRAM/RN, a qual vem sofrendo com alterações antrópicas relacionadas com atividades de comércio e serviços, urbanização, tráfego de veículos, transporte de cargas, construção civil, pesca, pecuária. Em quase toda a extensão desta bacia ocorrem, atualmente, sérios problemas de agressão ao meio ambiente, inviabilizando, em determinadas áreas os usos múltiplos de suas águas (OLIVEIRA JUNIOR, 2009).

Em decorrência do apresentado e da dificuldade de compreensão e harmonização de informações referentes à condição da água, a caracterização de sua qualidade se torna imprescindível, principalmente com o auxílio da estatística (GUEDES et al., 2012; GARDIMAN JUNIOR et al., 2015).

As técnicas de estatística multivariada são importantes ferramentas para auxiliar no planejamento de bacias hidrográficas, uma vez que sua aplicação permite entender os parâmetros mais significativos da qualidade de água de um corpo hídrico, além de minimizar a subjetividade da análise, obtendo resultados mais conclusivos, gerando subsídios para a tomada de decisões (FERREIRA et al., 2015).

Nos últimos anos, a geoestatística se consolidou como uma ferramenta voltada para a otimização do processo de monitoramento da qualidade de água em corpos hídricos superficiais, pois, mediante suas técnicas, é possível prever a variabilidade espacial e temporal de diferentes parâmetros da qualidade de água (GOOVAERTS, 1997; GARRETA et al., 2010; MORIO et al., 2010), assim como também, inferir condições de qualidade de água em locais não monitorados.

Nesse contexto, esse trabalho tem por objetivo realizar a modelagem da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do açude Santa Cruz do Apodi-RN, no período de 2008 a 2016, no intuito de gerar subsídios à gestão racional dos seus recursos naturais, fornecendo embasamento para adoção do planejamento e gerenciamento integrado dos elementos de sua ambiência, com foco na manutenção de seus recursos hídricos em função dos usos múltiplos.

Para cumprir esse objetivo, elencou-se os seguintes objetivos específicos:

- Agrupar condições homogêneas na bacia, mediante análise não-paramétrica da estatística multivariada.
- Reduzir a dimensionalidade dos dados amostrados, diante das distintas características físico-químicas e microbiológicas da água;
- Espacializar os pontos amostrados nos corpos hídricos, relacionando com as condições locais;
- Avaliar as características físico-químicas e microbiológicas predominantes da água para explicar a variabilidade espacial da qualidade das águas superficiais na bacia hidrográfica do açude Santa Cruz do Apodi –RN, mediante análise geoestatística.

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 RECURSOS HÍDRICOS NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL

A expressão “semiárido” normalmente é utilizada para denominar o clima e as regiões onde ocorrem precipitações médias anuais entre 250 e 500 mm e cuja vegetação é composta prioritariamente por arbustos que perdem as folhas nos meses mais secos ou por pastagens que secam na época de estiagem (CIRILO, 2008).

O mesmo autor afirma que o Nordeste Semiárido é uma região pobre em volume de escoamento de água dos rios, devido a variabilidade temporal das precipitações e das características geológicas dominantes, onde há predominância de solos rasos sobre rochas cristalinas e consequentemente baixas trocas de água entre o rio e o solo adjacente. O resultado é a existência de densa rede de rios temporários. Outro fator relevante são os altos níveis de evaporação dessa região. (NÃO TERIA UMA IMAGEM PARA REPRESENTAR ESSA QUESTÃO)

Nesse contexto, Vieira (2003) defende que nas regiões áridas e semiáridas, a questão da gestão hídrica se torna mais incontestável e necessária, devido à escassez das reservas naturais de água e, sobretudo, à irregularidade, no tempo e no espaço, das precipitações e escoamentos superficiais.

Voltado à promoção da gestão dos recursos hídricos, tem-se o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), o qual é um colegiado intergovernamental, que entre outras competências, promove a articulação do planejamento de recursos hídricos com os planejamentos nacional, regional, estadual e dos setores usuários; acompanhar a execução e aprovar o Plano Nacional de Recursos Hídricos; determina as providências necessárias ao cumprimento de suas metas, assim como estabelece critérios gerais para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos (POMPEU, 2004).

Conforme as peculiaridades de cada região brasileira, como características do ecossistema, diferenças de caráter econômico, social e cultural, a resolução nº 32 do CNRH, de 15 de outubro de 2003, dividiu o território brasileiro em um primeiro nível de macro divisão hidrográfica, as chamadas Regiões Hidrográficas Brasileiras (PORTO; PORTO, 2008).

A Divisão Hidrográfica Nacional, instituída pelo CNRH, estabelece as 12 (doze) Regiões Hidrográficas brasileiras, como tem-se na Figura 01.



Figura 01 – Regiões hidrográficas brasileiras
Fonte: CNRH (2003).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente - MMA (2006), o conjunto das unidades hidrográficas da região Nordeste apresenta uma vazão média da ordem de 779,02 m³/s, ou 0,43% da vazão do país. Segundo a classificação das Nações Unidas, quanto à disponibilidade hídrica, a situação da Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental é bastante crítica (MMA, 2006).

Desta forma, faz-se necessário diagnosticar a situação de base dos corpos hídricos dessa região hidrográfica, tal como identificar sua potencialidade frente aos usos múltiplos existentes, tal como os preponderantes.

2.2 USOS MÚLTIPLOS DAS ÁGUAS

O princípio do uso múltiplo da água foi instituído no art. 1º, inciso IV da Lei 9.433/97, a qual estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e deu as diretrizes gerais para a gestão da água no Brasil (BRASIL, 1997). Almejando não privilegiar nenhum dos setores usuários dos recursos hídricos, estabelece, com o enquadramento em classes de uso, um elo entre os diversos usos da água e seus requisitos de qualidade. Assim, todos os setores usuários da água têm igualdade de acesso aos recursos hídricos. A PNRH só traz uma exceção a esta regra, que vale para situações de escassez, em que os usos prioritários da água passam a ser o consumo humano e a dessedentação de animais (BRASIL, 1997).

Nesse sentido, alguns usos implicam a retirada dos recursos hídricos, denominados usos consultivos. Ocorrem quando, após a captação, apenas parte da água retorna ao

manancial de origem. Outros estão associados a atividades que se desenvolvem no próprio ambiente aquático e toda a água utilizada retorna ao reservatório natural. Esses são chamados de usos não consultivos (FERREIRA; KURY; PINHEIRO, 2008).

Dentre os usos não consultivos, os mais importantes são a geração de energia por usinas hidrelétricas, a navegação, a pesca/aquicultura, a proteção da vida aquática e o turismo/recreação. Já o principal uso consultivo tem-se o abastecimento de água para uso humano (urbano e rural), dessedentação animal, uso industrial e irrigação (ANA, 2013).

A utilização da água por parte dos usuários não deve prejudicar os diversos usos possíveis. Cavalcanti e Marques (2016) afirmam que esses usos das águas, somados a eventuais períodos de escassez, irregularidades de distribuição, aumento de demandas hídricas e a própria degradação do meio ambiente, abre caminho para uma ampla série de tensões e disputas.

Nesse contexto, Tundisi (2003) defende que a perda da qualidade e disponibilidade da água está correlacionada diretamente a intensa diversificação dos usos múltiplos, a destruição de áreas alagadas, a supressão de matas ciliares, a poluição e a contaminação dos corpos hídricos pelo despejo de resíduos líquidos e sólidos *in natura*.

2.3 QUALIDADE DAS ÁGUAS

A qualidade da água é determinada por processos naturais (intensidade das precipitações, intemperismo, cobertura vegetal) e pela influência antrópica (agricultura, concentração urbana e atividade industrial). Os componentes que alteram o grau de pureza da água podem ser definidos por suas características físicas, químicas e biológicas, traduzidas na forma de parâmetros de qualidade da água (VON SPERLING, 2005).

Para medir a qualidade da água, alguns índices são necessários. Dentre os mais conhecidos se destaca o Índice de Qualidade da Água (IQA), o qual foi desenvolvido pela *National Sanitation Foundation*, dos Estados Unidos, em 1970, sendo que em 1975, este índice foi adaptado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), sendo atualmente o índice mais utilizado no Brasil (ANA, 2013).

Esse índice avalia a qualidade da água para o abastecimento público após o tratamento convencional. Logo, seus resultados devem ser interpretados levando em consideração o uso da água. Por exemplo, um valor de IQA baixo indica a má qualidade da água para o abastecimento. Porém, a mesma água pode ser utilizada sem problemas em outros usos menos

exigentes, tais como a navegação ou a geração de energia (ANA, 2013). A Tabela 01 apresenta os valores de IQA, classes e seu significado:

Tabela 01 – Classes do IQA, valores e seu significado		
Valor de IQA	CLASSES	SIGNIFICADO
$79 < IQA \leq 100$	ÓTIMA	Água própria para o abastecimento público após o tratamento convencional.
$51 < IQA \leq 79$	BOA	
$36 < IQA \leq 51$	REGULAR	
$19 < IQA \leq 36$	RUIM	Água imprópria para o abastecimento público após o tratamento convencional, sendo necessários tratamentos mais avançados.
$IQA \leq 19$	PÉSSIMA	

Fonte: CETESB (2009)

O IQA é composto por 09 (nove) parâmetros físicos (temperatura da água e resíduo total), químicos (oxigênio dissolvido, pH, turbidez, DBO, fósforo total e nitrogênio total) e biológicos (coliformes termotolerantes), com seus respectivos pesos (w), que foram fixados em função da sua importância para a conformação global da qualidade da água (ANA, 2013). A Tabela 02 apresenta os parâmetros e seus respectivos pesos para o cálculo do IQA.

Tabela 02 - Parâmetros de Qualidade da Água do IQA e respectivos pesos

Item	Parâmetro de qualidade da água	Peso (w)
01	Oxigênio dissolvido	0,17
02	Coliformes termotolerantes	0,15
03	pH	0,12
04	Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO 5,20	0,10
05	Temperatura da água	0,10
06	Nitrogênio total	0,10
07	Fósforo total	0,10
08	Turbidez	0,08
09	Resíduo total	0,08

Fonte: ANA (2013)

Além de seu peso (w), cada parâmetro possui um valor de qualidade (q), obtido do respectivo gráfico de qualidade em função de sua concentração ou medida, como mostra a Figura 02.

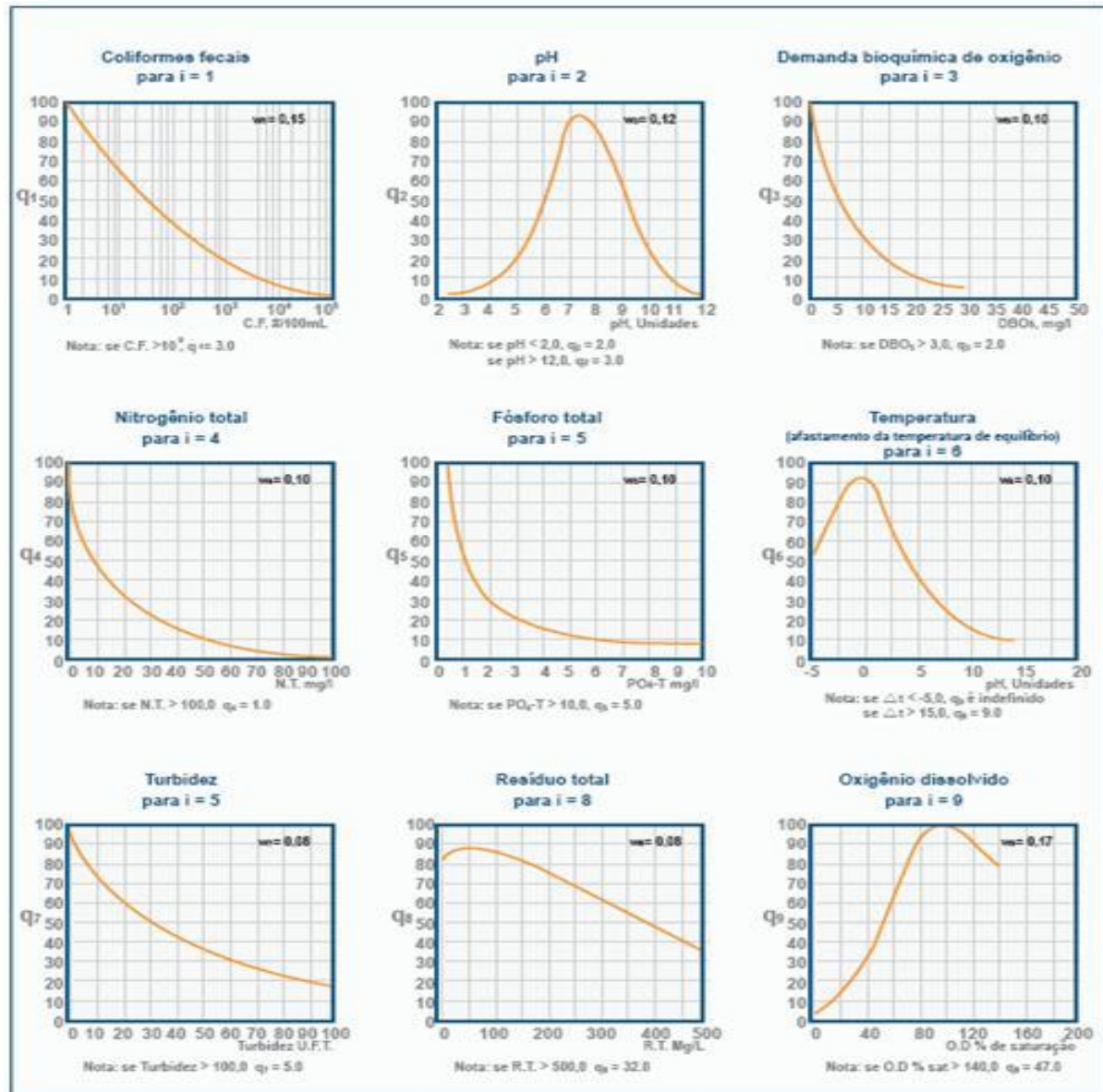


Figura 02 - Curvas médias de variação dos parâmetros de qualidade das águas para o cálculo do IQA.
Fonte: ANA (2013)

Diante disso, o cálculo do IQA é feito por meio do produtório ponderado dos 09 (nove) parâmetros, segundo a equação 1:

$$IQA = \prod_{i=1}^n Qi^{wi} \quad (1)$$

onde:

IQA = Índice de Qualidade das Águas. Varia entre 0 e 100;

Qi = qualidade do i-ésimo parâmetro. Varia entre 0 e 100, obtido do respectivo gráfico de qualidade, em função de sua concentração ou medida (resultado da análise);

W_i = peso correspondente ao i -ésimo parâmetro fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade, isto é, um número entre 0 e 1, conforme equação 2:

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

Sendo n o número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

Os padrões de qualidade de água têm o objetivo de indicar, direta ou indiretamente, o potencial de alguns microrganismos ou substâncias, dentro de determinados padrões, que podem comprometer a qualidade da água do ponto de vista estético e de salubridade (MOURA; FERMINO, 2014).

Portanto, para cada uso da água, são estabelecidos limites máximos de valores de parâmetros físicos, químicos e biológicos, onde normalmente estes limites são estabelecidos por órgãos oficiais e chamados de “padrões de qualidade”, conforme as resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) e portarias de órgãos e entidades de controle de qualidade, tal como a Companhia de Saneamento Ambiental de São Paulo (CETESB) ou do próprio Ministério da Saúde (MS) (MOTA, 1995).

Na avaliação da qualidade de um corpo aquático são utilizados parâmetros físico-químicos, por exemplo, oxigênio dissolvido, turbidez e análise de variações biológicas, envolvidas no levantamento da presença de bactérias pertencentes ao grupo de coliformes termotolerantes (BRANCO, 1986).

2.3.1 Parâmetros físicos

Os parâmetros físicos representam as características relacionadas, principalmente, com o aspecto estético da água. Incluem nestas características: a temperatura, a cor, a condutividade elétrica, a turbidez, os sólidos totais, o odor e o sabor, sendo estas variáveis normalmente associadas à presença de sólidos dissolvidos ou em suspensão nos corpos hídricos (OLIVEIRA, 2013).

Dessa forma, a temperatura da água é um fator que influencia na maioria dos processos físicos, químicos e biológicos da água como, por exemplo, a solubilidade dos gases dissolvidos. Uma elevada temperatura diminui a solubilidade dos gases como, por exemplo, do oxigênio dissolvido, além de aumentar a taxa de transferência de gases (JARDIM, 2011).

Conforme Moura (1996), temperaturas mais baixas registradas no período seco reduzem a velocidade das reações existentes (reduzem a liberação de CO₂), contribuindo para a elevação do pH, além de influenciar diretamente os processos biológicos como a decomposição da matéria orgânica (MO).

Já os sólidos presentes na água podem ser classificados de acordo com suas características, sejam elas físicas (tamanho e estado), sólidos em suspensão, sólidos coloidais e sólidos dissolvidos ou químicos orgânicos e inorgânicos. São oriundos de diversas fontes, seja fonte natural como partículas de rochas, argila, silte, algas e outros microorganismos, seja antropogênica, despejos domésticos, industriais, microorganismos e erosão e atividades de mineração (VON SPERLING, 2005).

Além disso, os sólidos totais estão diretamente relacionados à turbidez, uma vez que podem provocar a dispersão e absorção da luz, dando à água uma aparência turva e esteticamente indesejável. Em altas taxas, esse parâmetro pode reduzir o processo de fotossíntese da vegetação submersa e das algas, diminuindo a produção de oxigênio dissolvido (VON SPERLING, 2005).

A condutividade elétrica de um corpo d'água representa a maior ou menor facilidade em deixar passar corrente elétrica. Indiretamente, está relacionada com os sólidos totais dissolvidos e os sais contidos (LIMA, 2004).

2.3.2 Parâmetros químicos

As variáveis de qualidade da água classificadas quimicamente subdividem-se em 02 (duas) categorias: as orgânicas e inorgânicas. As químicas inorgânicas são caracterizadas, em destaque por: pH, cloretos, dureza, ferro/manganês, nitrito, nitrato, amônia, fósforo e metais pesados. Já químicas orgânicas tem como características de indicadores mais comuns: Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e carbono orgânico total (BRASIL, 2014).

O pH é determinado pela concentração de íons hidrogênio H⁺ (em escala antilogarítmica de 0 a 12) decorrente da interação entre as espécies químicas presentes, enquanto que a dureza refere-se à concentração de cátions multivalentes em solução. Os cátions mais frequentemente associados à dureza são os cátions divalentes Ca²⁺ e Mg²⁺ (PEIXOTO, 2016).

A DBO de uma água é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável. Para tanto, considera 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 a 20°C é frequentemente usado e referido como DBO_{5,20} (CETESB, 2009).

A DQO é a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica de uma amostra por meio de um agente químico, como o dicromato de potássio. Os valores da DQO normalmente são maiores que os da DBO_{5,20}, sendo o teste realizado num prazo menor. O aumento da concentração de DQO num corpo d'água deve-se, principalmente, a despejos de origem industrial (CETESB, 2009).

De acordo com a CETESB (2009), o carbono orgânico presente nas águas brutas e residuárias, consiste em uma variedade de compostos orgânicos em diversos estados de oxidação. Alguns destes compostos de carbono podem ser oxidados por processos biológicos ou químicos, fornecendo respectivamente a DBO e a DQO. Existem dois tipos de carbono orgânico no ecossistema aquático: carbono orgânico particulado - COP e o carbono orgânico dissolvido – COD (CETESB, 2009).

Entre os elementos presentes na água tem-se o fósforo, o qual é um macronutriente que se apresenta na forma de fosfatos (PO₄) em solução, partículas ou na constituição de organismos aquáticos. Estão presentes em águas naturais, esgoto, sedimentos e lodos biológicos, e também devido ao seu uso nas áreas agrícolas, ao lançamento de despejos domésticos (resíduos humanos e detergentes) e industriais (GOMES FILHO; ROLIM; LEITE, 2013).

Enquanto, o nitrogênio é um dos parâmetros mais importantes no metabolismo dos ecossistemas aquáticos, uma vez que participa na formação de proteínas, sendo um dos constituintes básico da biomassa (ESTEVES, 2011). Esse elemento está presente nos ambientes aquáticos de diferentes maneiras, por exemplo: nitrato (NO₃-), nitrito (NO₂-), amônia (NH₃), íon amônio (NH₄⁺), óxido nitroso (N₂O), nitrogênio molecular (N₂), nitrogênio orgânico dissolvido (peptídeos, purinas, aminas, aminoácidos, dentre outros), nitrogênio orgânico particulado (bactérias, fitoplâncton, zooplâncton e detritos).

São diversas as fontes de nitrogênio nas águas naturais. Dentre elas, os esgotos sanitários constituem, em geral, a principal fonte, lançando nas águas nitrogênio orgânico por causa da presença de proteínas e nitrogênio amoniacal em razão da hidrólise sofrida pela uréia na água (CETESB, 2009).

Von Sperling (2005) destaca que o principal problema relacionado com elevadas concentrações de nitrogênio nas águas superficiais é a eutrofização, destacando que esse elemento é fundamental para o crescimento de algas. Porém, em elevadas concentrações em lagos e represas, é responsável pelo crescimento demasiado desses organismos provocando interferências aos usos múltiplos das águas.

2.3.3 Parâmetros biológicos

O papel dos microorganismos no ambiente aquático está fundamentalmente vinculado à transformação da matéria no ciclo dos diversos elementos que a compõem. Tais processos são realizados com o objetivo de fornecimento de energia para a sobrevivência dos microorganismos (BRASIL, 2006).

Nesse sentido, os parâmetros biológicos compreendem microorganismos indicadores da qualidade ecológica e sanitária de um ambiente (ABREU; CUNHA, 2015). Um dos processos vitais mais significativos realizados por esses seres é a decomposição da matéria orgânica (MO), onde as bactérias decompõem a MO que chega no corpo hídrico em substâncias mais simples (BRASIL, 2006).

A clorofila “a” é um pigmento universalmente presente em todos os grupos taxonômico de algas, e sua concentração na água é utilizada como indicador de biomassa ativa, tanto para microalgas em cultura, como fitoplâncton e perifíton (CLARKE et al., 2006).

Chellappa (2001) afirma que diversos ecossistemas aquáticos podem ser biomonitorados, utilizando-se as microalgas como indicadores da qualidade de água.

Segundo Cairns e Pratt (1993), um bioindicador pode ser definido como todo parâmetro biológico, qualitativo ou quantitativo, medido ao nível de indivíduo, população, ou comunidade, possibilitando indicar condições ambientais particulares que correspondam, quer a um estado estabelecido, quer a uma variação natural, quer a uma perturbação do meio. O organismo indicador mais importante para análise da qualidade de água são as bactérias coliformes (BRASIL, 2006).

Conforme a CETESB (2009), coliformes termotolerantes são definidos como microorganismos do grupo coliforme capazes de fermentar a lactose a 44-45°C, sendo representados principalmente pela *Escherichia coli*. Existem vários tipos de microorganismos nas águas, como também as bactérias dos gêneros *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter*.

Entretanto, a mais comum verificação de organismos patogênicos é a presença ou concentração da bactéria *Escherichia coli* (OLIVEIRA, 2013).

A maior parte das doenças associadas à água é transmitida por via fecal, isto é, os organismos patogênicos, ao serem eliminados pelas fezes, atingem o ambiente aquático, podendo vir a contaminar as pessoas que se abastecem de forma inadequada desta água. Dessa forma, as bactérias coliformes podem ser usadas como indicadoras desta contaminação (BRASIL, 2014). Logo, quanto maior a população de coliformes em uma amostra de água, maior é a chance de que haja contaminação por organismos patogênicos (BRASIL, 2014).

Desta forma, faz-se necessário o emprego do conjunto de ações e procedimentos técnicos-administrativos voltados ao manejo racional dos recursos hídricos, buscando contabilizar seus usos múltiplos a qualidade e/ou quantidade.

2.4 GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

Para o gerenciamento dos recursos hídricos é necessário, inicialmente, a delimitação da área que será administrada. É considerada uma tarefa árdua devido aos diversos interesses relacionados aos múltiplos usos do recurso (LIMA et al., 2007).

Nesse sentido, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) define a bacia hidrográfica como unidade territorial para implantação da gestão das águas. A mesma também reafirma a necessidade de gestão de outros componentes naturais da bacia e a integração entre a gestão dos recursos hídricos e a gestão ambiental (BRASIL, 1997).

Bacias hidrográficas são áreas delimitadas espacialmente pelos divisores de água, constituída por uma rede de drenagem interligada, na qual é realizada a captação natural da água de precipitação fazendo o escoamento convergir para um único ponto de saída, a seção de controle ou exutório (MELO, 2013).

De acordo com Merten et al. (2011) uma bacia hidrográfica é formada por três diferentes compartimentos: a bacia vertente, o ambiente ciliar que, em muitos casos, é inexistente, e a calha fluvial que drena o fluxo de água (vazão) e os sedimentos produzidos nessa bacia.

O estudo sobre as bacias hidrográficas e seus compartimentos, permitem diagnosticar a situação atual dos usos e das formas de ocupação do solo na bacia. O Art. 5º da PNRH apresenta o Plano de Recursos Hídricos como um instrumento para a gestão das bacias hidrográficas.

Nesse contexto, Carvalho explica a estrutura do plano de recursos hídricos:

O plano de recursos hídricos é realizado a longo prazo, com horizonte de planejamento compatível com o período de implantação de seus programas e projetos e devem apresentar um diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos; a análise de alternativas de crescimento demográfico, de evolução de atividades produtivas e de modificações dos padrões de ocupação do solo; propostas para a criação de áreas sujeitas a restrição de uso, com vistas a proteção dos recursos hídricos, entre outras informações (2014).

O planejamento é uma das etapas do plano de recursos hídricos, e pode ser definido como o processo que leva ao estabelecimento de um conjunto coordenado de ações (pelo governo, pela direção de uma empresa, etc.) visando à consecução de determinados objetivos (FERREIRA, 2008). Essa ação requer um diagnóstico considerando que planejar significa antever uma intervenção na realidade visando sua mudança; a possibilidade do planejamento está intrinsecamente ligada à possibilidade desta transformação vir a ocorrer (VASCONCELOS, 1995).

Diante disso, Guedes et al. (2012) afirmam que o monitoramento da qualidade da água é um dos principais instrumentos de sustentação de uma política de planejamento e gestão de recursos hídricos, visto que funciona como um sensor que possibilita o acompanhamento do processo de uso dos corpos hídricos, apresentando seus efeitos sobre as características qualitativas das águas, visando subsidiar as ações de controle ambiental.

Segundo Bertossi et al. (2013), para um melhor conhecimento sobre a qualidade real da água de um corpo hídrico é imprescindível não somente a avaliação pontual de suas características físicas, químicas e microbiológicas, mas também do monitoramento de sua variabilidade espacial e sazonal.

2.5 VARIABILIDADE ESPACIAL DOS RECURSOS HÍDRICOS

Em regiões semiáridas, o problema com a água tende a ser mais elevado, devido à escassez de água decorrente do déficit hídrico. As chuvas ocorrem apenas num período de 03 (três) a 05 (cinco) meses por ano e são irregularmente distribuídas no tempo e no espaço, aliada à ocorrência de altas taxas de evaporação, tornando responsável pela intermitência de quase toda a rede hidrográfica dessas regiões (FROTA JÚNIOR, 2006).

A irregularidade e a má distribuição das precipitações pluviométricas na região do semiárido nordestino, associada a ocorrência de solos rasos embasados em rochas cristalinas,

propiciam a formação de rios e riachos intermitentes, onde os mesmos represados, amenizam os problemas oriundo das secas, servindo para armazenar as águas do período chuvoso e, dessa forma, garantindo o abastecimento hídrico no período de estiagem (LIMA et al., 2017)

Embora os açudes contribuam significativamente para o abastecimento hídrico, essas regiões se deparam com um novo impasse: a qualidade das águas em muitos reservatórios não é adequada para alguns tipos de usos múltiplos. Nesse contexto, Andrade et al. (2006) apontam que a poluição da água é intensificada no período de estiagem devido, principalmente, a diminuição do volume de armazenamento de água no corpo receptor, fazendo com que, aumente a concentração dos poluentes no referido ambiente aquático.

Dessa forma, a variabilidade espacial da qualidade das águas superficiais pode ser analisada por meio de ferramentas da geoestatística, que se fundamenta na teoria das variáveis regionalizadas, segundo o qual os valores de uma variável estão, de alguma maneira, relacionados à sua disposição espacial. Logo, as observações tomadas a curta distância se assemelham mais do que aquelas tomadas a distâncias maiores (LANDIM, 2003).

Silva et al. (2017) analisaram a variabilidade espaço-temporal da qualidade de água no Vale do Rio Trussu, Ceará e afirmaram que as águas superficiais não sofreram grandes degradações ao longo do tempo, comparando os dois períodos de campanhas analisados (2002-2014 e 2013 – 2015).

Santi et al. (2012) avaliaram os parâmetros de qualidade de água ao longo da sub-bacia hidrográfica do Igarapé São Francisco, correlacionando com as possíveis fontes poluidoras. Concluíram, através de Análise de Componentes Principais - ACP, que não havia tendência de agregação das estações de coletas nos períodos de seca e enchente.

Visando complementar a análise espacial, recentemente alguns autores (Muangthong e Shrestha, 2015; Ruzdjak e Ruzdjak, 2015; Taoufik, Khoumi e Grabi, 2017) tem utilizado de recursos estatísticos multivariados ou não-paramétricos, voltados a otimizar algumas análises para redução da dimensionalidade dos dados, tal como formação de componentes com emprego de variáveis mais expressivas para o monitoramento da qualidade de água.

2.6 MODELOS ESTATÍSTICOS MULTIVARIADOS

Dentre as análises multivariadas, a matriz de correlação é uma das estatísticas de fundamental importância para averiguar a conexão entre múltiplas variáveis, ao mesmo

tempo. O resultado é uma tabela contendo os coeficientes de correlação entre cada variável e os outros (TSUKADA, 2015).

Já a Análise de Componentes Principais (ACP) é um método estatístico multivariado que objetiva reduzir a dimensionalidade do conjunto de dados, retendo tanta informação quanto possível num menor número de Componentes Principais (CPs). Assim, o primeiro CP é a combinação das variáveis que explica a maior proporção da variação total dos dados; o segundo CP define a maior variação seguinte e assim sucessivamente (SILVA; SBRISIA, 2010).

Matematicamente, as CP's são calculadas através das matrizes de covariância ou de correlação, descrevendo a dispersão dos vários parâmetros medidos, obtendo, assim, autovalores e autovetores. As CP's são, portanto, combinações lineares entre as variáveis originais e os autovalores (PEDROSA, 2011).

Jardim (2011), no seu estudo sobre a variação dos parâmetros físicos e químicos das águas superficiais do rio das Velhas-MG e a sua associação com as florações de cianobactérias, efetuou uma ACP nos dados padronizados para evitar distorções devidas às diferentes ordens de magnitude dos valores numéricos e das variâncias dos parâmetros analisados. O autor atestou que a densidade de cianobactérias no corpo hídrico superficial sofre interferências da sazonalidade.

Bertossi et al. (2013), em estudo sobre a seleção e agrupamento de indicadores da qualidade de águas utilizando estatística multivariada por meio da ACP, promoveram a redução de 19 (dezenove) parâmetros de qualidade monitorados em 03 (três) componentes que explicaram 87,53% da variância total, concluindo que os parâmetros mais representativos da variabilidade da qualidade das águas superficiais e subterrâneas da sub-bacia hidrográfica do Córrego Horizonte foram: condutividade elétrica, sólidos totais, sólidos dissolvidos, turbidez, DBO, nitrato, Calcio, Magnésio e sódio.

3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró está inserida no estado do Rio Grande do Norte. A mesma tem sua nascente no município de Luís Gomes, que faz divisa com o estado da Paraíba, e deságua no mar, entre os municípios de Grossos e Areia Branca (SEMARH, 2009).

No geral, os afluentes e rios desta região apresentam um regime hidrológico do tipo intermitente e sazonal, reflexo direto das precipitações escassas e irregulares, associadas à alta taxa de evaporação hídrica (SOUZA; SILVA; DIAS, 2012). No entanto, alguns canais são perenizados pela presença de barramentos artificiais, como o caso do canal principal, o rio Apodi Mossoró, localizado a jusante do barramento hidráulico da barragem de Santa Cruz em Apodi, é considerado um rio perene, devido a sua regularização de vazão ocasionada pelo barramento artificial.

Como área de estudo tem-se o recorte territorial da nascente da bacia do Apodi-Mossoró até o barramento artificial de Santa Cruz e suas vertentes sendo denominado de Bacia Hidrográfica do Açude Santa Cruz do Apodi-RN (BHASCA), localizada na região Oeste Potiguar, no estado do Rio Grande do Norte, entre as coordenadas UTM 533816 – 660566 m E: 9272883 – 9384694 m N (Ver Figura 03), apresentando uma área total de 4.439 km² (MEDEIROS, 2016).

O autor supracitado, afirma que a BHASCA está parcialmente inserida no estado do Rio Grande do Norte, porém, a mesma contempla pequenas porções territoriais dos municípios do estado do Ceará e da Paraíba (Ver Figura 04).

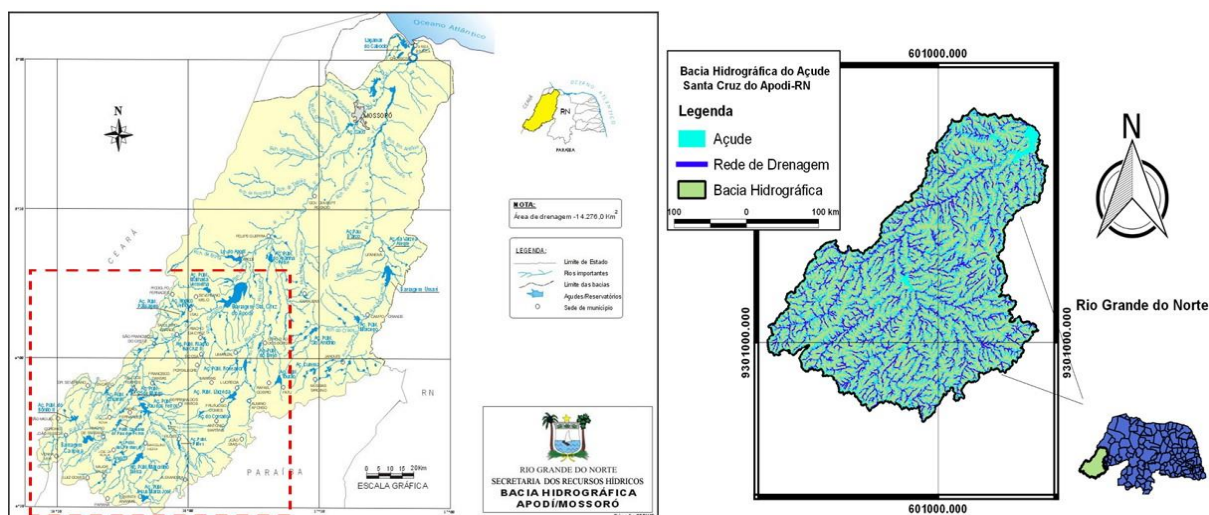


Figura 03 - BHRAPM/RN com enfoque na delimitação da bacia hidrográfica do açude Santa Cruz do Apodi -RN.

Fonte: SEMARH e Medeiros (2016)

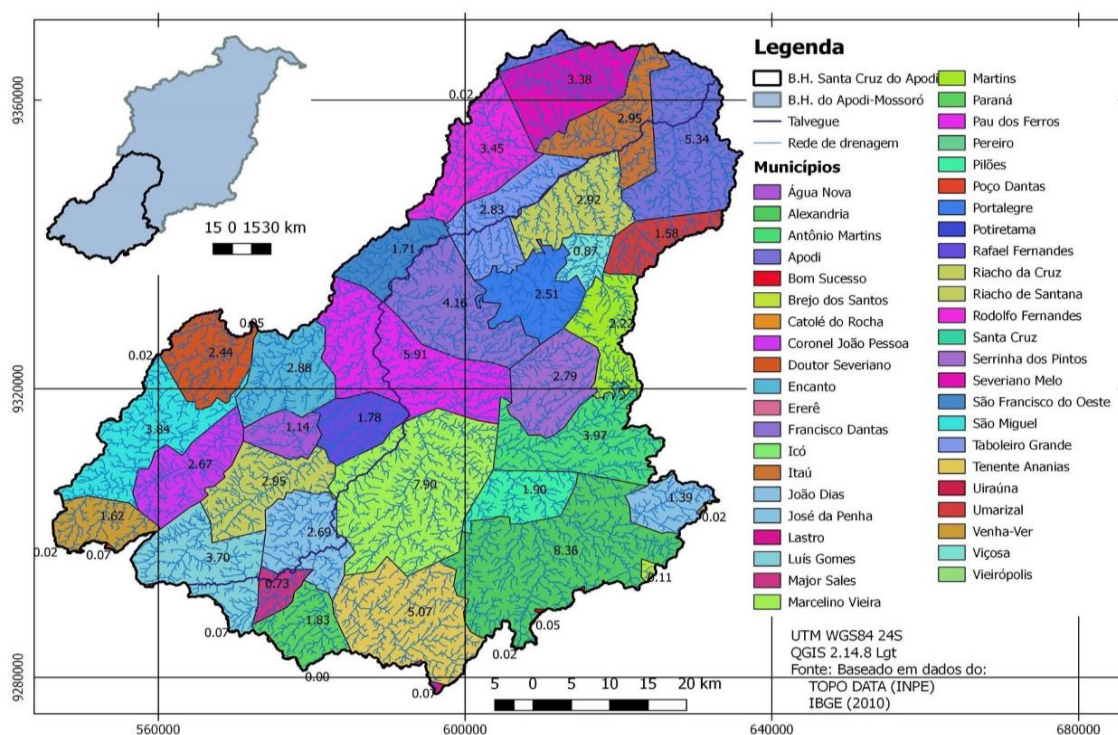


Figura 04 – Divisão Política com os municípios que compõem a bacia hidrográfica do açude Santa Cruz do Apodi – RN.

Fonte: Medeiros (2016)

O rio Apodi-Mossoró tem sua nascente na cidade de Luís Gomes, à uma altitude média de 700 metros e tem seu exutório na barragem de Santa Cruz, Apodi-RN (MEDEIROS, 2016). No total, a rede de drenagem possui 6838,24 Km de extensão (SILVA, 2016). A

mesma é composta por drenos de primeira a sétima ordem de acordo com a classificação (hierarquização) de Strahler (1964) (MEDEIROS, 2016).

A geologia da região pertence, em parte, ao Escudo Cristalino Brasileiro, representado por rochas do Pré-cambriano; Complexo Presidente Juscelino; Complexo Caicó, Jucurutu e Ceará. As litologias predominantes são os gnaisses, quartzolitos, xistos, calcários cristalinos metamórficos e graníticos (CPRM, 2016). Quanto às classes de solos mais comuns encontrados na bacia destacam-se os Luvisolos, Neossolos e Latossolos (SEMARH, 2009).

O Clima predominante é do tipo BSwh, da classificação climática de Köppen, caracterizado por um clima muito quente e semiárido, com a estação chuvosa se atrasando para o outono. No extremo sudoeste da bacia, correspondendo às suas nascentes, ocorre o tipo Aw', caracterizado por um clima tropical chuvoso com verão seco e estação chuvosa se adiantando para o outono (SEMARH, 2009).

Nesse sentido, Silva, Lúcio e Spyrides (2012), em estudo sobre a distribuição espacial da precipitação no Rio Grande do Norte, afirmam que na região Oeste do estado, os maiores acumulados são registrados nos meses de março, conforme ilustra a Figura 05.

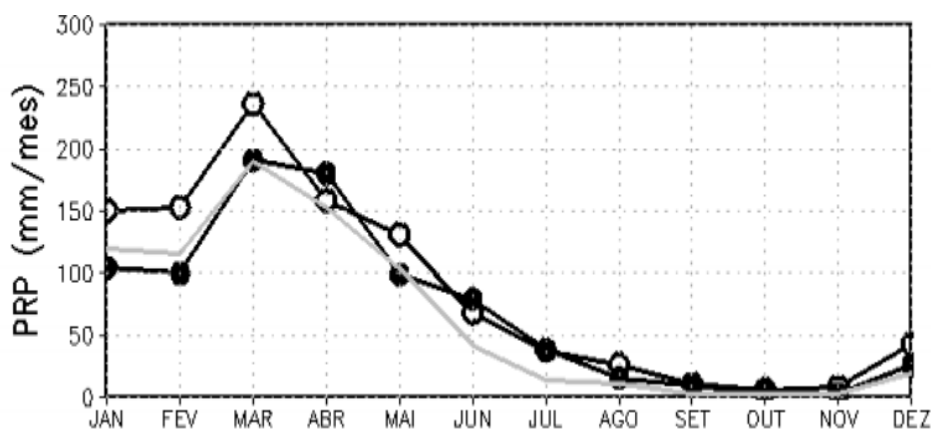


Figura 05 - Ciclo anual de precipitação para a região Oeste do Rio Grande do Norte
Fonte: adaptado de Silva, Lúcio e Spyrides (2012)

A vegetação predominante nessa região é a do tipo Caatinga, que serve de base para exploração econômica e industrial de várias cadeias econômicas, desde agricultura, pecuária e turismo. (SPINELLI, 2014).

A bacia hidrográfica do rio Apodi-mossoró é a maior bacia hidrográfica genuinamente potiguar. De acordo com o Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte (IGARN, 2014), nela estão presentes 618 açudes, atingindo um volume de 469.714.600 m³,

correspondendo a 27,4% e 10,7% dos totais de açudes e volumes acumulados do Rio Grande do Norte, respectivamente. Os reservatórios mais importantes no recorte que compreende a BHASCA são apresentados na Tabela 03.

Tabela 03 – Principais reservatórios inseridos na BHASCA

RESERVATÓRIO	MUNICÍPIO	CAPACIDADE (m³)
Bonito II	São Miguel	10.865.000
Encanto	Encanto	6.328.250
Santana	Rafael Fernandes	7.000.000
Flechas	José da Penha	8.949.675
25 de Março	Pau dos Ferros	8.181.000
Pau dos Ferros	Pau dos Ferros	54.846.000
Marcelino Vieira	Marcelino Vieira	11.200.125
Jesus Maria José	Tenente Ananias	7.650.750
Pilões	Pilões	5.901.875
Passagem	Rodolfo Fernandes	6.932.000
Malhada Vermelha	Severiano Melo	8.944.500
Riacho da Cruz II	Riacho da Cruz	9.604.200
Santa Cruz do Apodi	Apodi	599.712.000

Fonte: IGARN (2014)

Conforme informações do IGARN (2014), na bacia do rio Apodi Mossoró estão registrados 618 açudes, totalizando um volume de acumulação de 469.714.600 m³ de água. Isto corresponde, respectivamente, a 27,4% e 10,7% dos totais de açudes e volumes acumulados do Estado.

3.2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

3.2.1 Delimitação da pesquisa e obtenção de dados

A pesquisa é de cunho exploratório, sendo que, de acordo com Gil (2008), busca-se “desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores”.

Nesse sentido, realizou-se levantamentos bibliográficos em periódicos, dissertações, teses, artigos, livros e sites, com a finalidade de adquirir informações iniciais relacionadas à qualidade das águas superficiais da BHASCA.

Diante disso, foram obtidos relatórios anuais do Programa Água Azul, munidos de dados secundários, contendo informações referentes ao monitoramento de parâmetros físico-químicos e microbiológicos da qualidade de água de corpos hídricos superficiais oriundos da BHASCA, tais como: Sólidos Totais (STD), Nitrogênio Total (NT), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Fósforo Total (FT), Carbono Orgânico Total (COT) Oxigênio Dissolvido (OD), Turbidez (TUB), potencial Hidrogeniônico (pH), Temperatura da Água (TA), Coliformes Termotolerantes (CT), Índice de Qualidade da Água (IQA), Clorofila “a” (CRF), Teor de óleos e graxas (TOG) e Salinidade (SAL).

Os relatórios avaliados correspondem ao período dos anos de 2008 a 2016, como mostra a Tabela 04. Nos anos 2011, 2012 e 2015 obteve-se 02 (dois) relatórios semestrais, enquanto que para os anos 2008, 2009, 2010, 2014 e 2016 foram adquiridos relatórios anuais. No ano de 2013 não houve disponibilização dos dados por parte do Programa Água Azul. No passo seguinte, executou-se a tabulação dos dados, via elaboração de planilhas.

Tabela 04 - Relatórios do programa água azul avaliados no estudo

ANO	PERÍODO DA CAMPANHA
2008	Agosto a novembro
2009	Abril a julho
2010	Junho a setembro
2011	Fevereiro a julho Setembro a dezembro
2012	Março a maio Agosto a outubro
2014	Julho a agosto
2015	Janeiro a março Julho a agosto
2016	Março a maio

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Os ecossistemas de água doce são divididos em dois grupos: os ecossistemas lênticos e os ecossistemas lóticos (ODUM, 2012). Ainda de acordo com o autor, os ambientes lênticos são

caracterizados pela presença de água parada ou com baixos movimentos (lagos, lagoas, charco e pântanos), enquanto que os ecossistemas lóticos são caracterizados pela presença de água em movimento (rios, riachos e nascentes).

Para esse estudo foram amostrados 13 (treze) pontos ao longo da BHASCA, dos quais 12 (doze) foram considerados ecossistemas lênticos e apenas 01 lótico (Tabela 05).

Tabela 05 – Pontos de amostragem selecionados para esse estudo, localização e ecossistema característico

PONTO	LOCAL	COORDENADAS UTM (m)		ECOSSISTEMA
		E	N	
P01	Encanto	575482	9323018	Lêntico
P02	São Miguel	563245	9313425	Lêntico
P03	Tenente Ananias	591336	9284086	Lêntico
P04	São José da Penha	582782	9303083	Lêntico
P05	Pau dos Ferros	586675	9320700	Lêntico
P06	Pilões	606163	9306833	Lêntico
P07	Marcelino Vieira	591034	9300349	Lêntico
P12	Severiano Melo	619941	9360635	Lêntico
P13	Rodolfo Fernandes	609404	9353057	Lêntico
P17	Apodi	632863	9363185	Lêntico
P23	Riacho da Cruz	617328	9343315	Lêntico
P28	Pau dos Ferros	582030	9312363	Lêntico
P29	Pau dos Ferros	588431	9324415	Lótico

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Os corpos hídricos superficiais avaliados nesse estudo e seus pontos de amostragem apresentam-se espacializados na Figura 06.

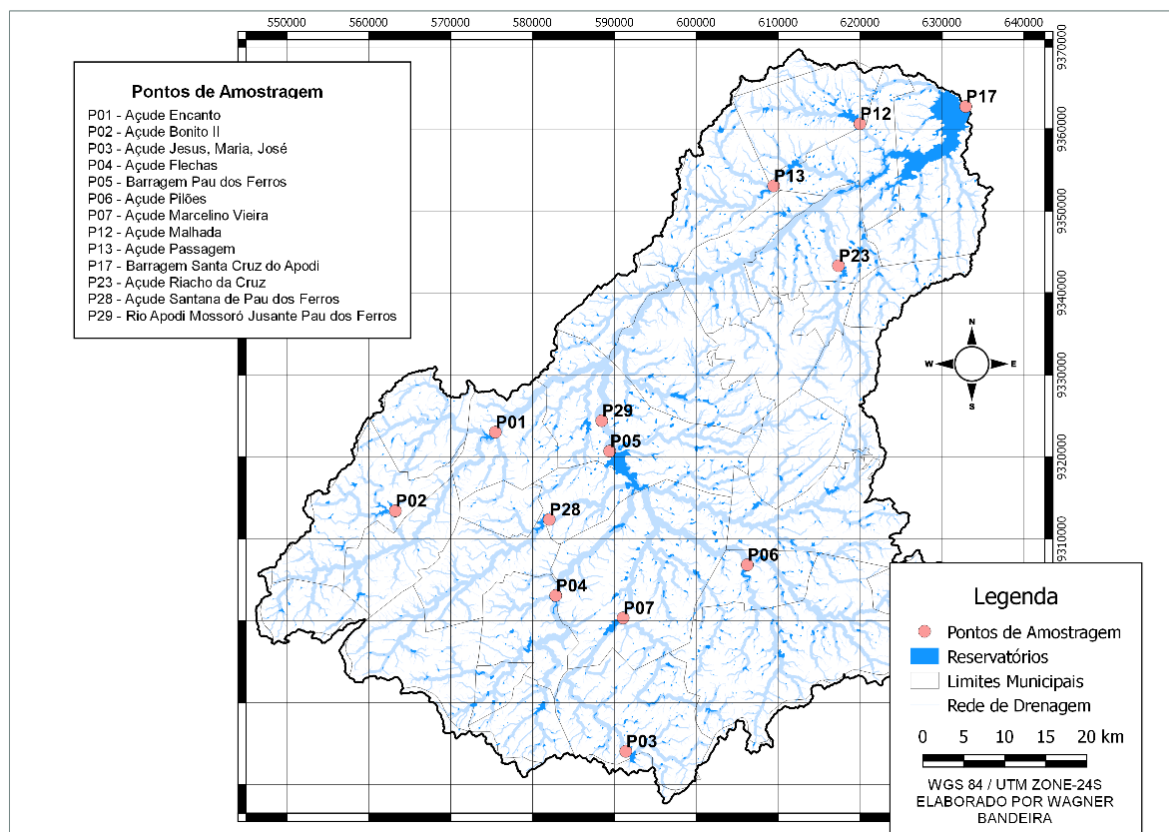


Figura 06 – Localização dos Pontos de amostragem na BHASCA
Fonte: Adaptado de Medeiros (2016).

3.2.2 Análise de Componentes Principais

A primeira etapa consiste em transformar a matriz de dados originais em uma matriz de correlação [R] ($p \times p$), para p igual aos 14 parâmetros de qualidade de água analisados neste estudo. A principal razão para se usar a matriz de correlação é se eliminar o problema de escalas e unidades diferenciadas em que as variáveis são medidas (ANDRADE et al., 2007).

Dessa forma, calculou-se os coeficientes de correlação de Pearson. O coeficiente de correlação de Pearson é representado pela letra r e assume valores de -1 a 1. ($r = 1$), representa a correlação perfeita e positiva entre duas variáveis (GALARÇA et al., 2010). Nesse sentido definiu-se para esse estudo que valores desse índice superiores a 0,5 identificam uma forte correlação entre as variáveis estudadas, conforme Andrade et al. (2007) e Helena et al. (2000).

Em seguida fez-se emprego da técnica de Análise de Componentes Principais (ACP), a qual tem finalidade de condensar a informação contida em várias variáveis originais em um conjunto menor de variáveis estatísticas (fatores) com uma perda mínima de informação (HAIR et al., 2009). Nesse sentido, sintetizou-se a maior quantidade da informação original

em duas variáveis latentes ortogonais denominadas componentes principais, que são combinações lineares das variáveis originais, criadas com os dois maiores autovalores da matriz de covariância dos dados, desta maneira, diminuindo a dimensionalidade do conjunto de variáveis e facilitando a interpretação da independência entre elas (HAIR et al., 2009). Nesse sentido, construiu-se os gráficos biplot.

O gráfico biplot é uma ferramenta útil de análise de dados pois permite a avaliação visual da estrutura de grandes matrizes de dados. É especialmente revelador na análise de componentes principais, onde o biplot pode mostrar distâncias entre unidades, indicar agrupamento de unidades, bem como exibir variações e correlações das variáveis estudadas. (GABRIEL, 1971).

O critério adotado para a escolha do número de componentes foi selecionar aquelas que apresentaram autovalores (desvio padrão) acima de 1, pois são aquelas que geram componentes com quantidade relevante de informação das variáveis originais e conseguiram sintetizar uma variância acumulada acima de 70% (Hair et al., 2009). Como forma de simplificar ainda mais, optou-se por escolher as duas componentes com maiores variâncias explicadas (CP1 e CP2). Esse método é coerente, uma vez que o primeiro e o segundo componente principal explicam a maior parte da variância total (JOSÉ et al., 2013).

Para as análises dos dados utilizou-se a linguagem e ambiente R, versão 3.2.3. (R. Development Core Team, 2015). Nessa etapa fez-se uso da técnica de ACP, no qual, empregou-se as funções *princomp* e *prcomp*.

Com as componentes principais formadas, selecionou-se os dois maiores coeficientes, em valor absoluto, de cada uma das CP's. Por último, realizou-se uma combinação linear entre essas componentes e as variáveis originais (X_1 e X_2), conforme equação 3.

$$CP * = (CP * X_1 + CP * X_2) \quad (3)$$

Essa equação permite o cálculo da componente principal baseando-se nos valores originais de cada variável.

3.2.3 Análise Geoestatística

Posterior a obtenção das duas CP's de maior variância explicada, estas foram utilizadas nos semivariogramas, sendo, desta forma, apresentados os resultados das estimativas dos parâmetros. Para a classificação do grau de dependência espacial (GDE),

empregou-se a metodologia sugerida por Cambardella et al. (1994). Baseia-se na razão entre o efeito pepita (nugget) e o patamar (sill) $[C_0 / (C_0 + C)]$, sendo considerada fraca se a razão for $\geq 0,75$, moderada quando está entre 0,74 e 0,26 e forte se $\leq 0,25$. Para as análises geoestatísticas, utilizou-se o GS+9.0 (Robertson, 2008).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

No presente trabalho, considerou-se os meses de janeiro a junho como período chuvoso, enquanto julho a dezembro como período seco, conforme adotado por Silva, Lúcio e Spyrides (2012).

A matriz de correlação composta pelas variáveis que de uma maneira geral obtiveram maior variância neste trabalho pode ser vista na Tabela 06. Pela referida matriz, observa-se que todas as variáveis estudadas apresentaram correlação superior a 0,5 com pelo menos duas outras variáveis. HELENA et al. (2000) consideram que coeficiente de correlação superior a 0,5 expressa uma forte relação de dependência entre as variáveis.

Tabela 06 – Descrição da correlação de Pearson entre parâmetros de qualidade de água na BHASCA com ênfase nos coeficientes que mais se repetem nas matrizes de correlação

Período de Monitoramento	Variável	Parâmetro correlacionado
Agosto a novembro de 2008	Teor de Óleos e Graxas	TA; pH; OD; COT
Abril a julho de 2009	Teor de Óleos e Graxas	FT; TUB; SAL;
Junho a setembro de 2010	Demanda Bioquímica de Oxigênio	NT; STD; CRF
Fevereiro a julho de 2011	Demanda Bioquímica de Oxigênio	FT; TUB; CRF
Setembro a dezembro de 2011	Clorofila “a”	TUB; NT; TOG
Março a maio de 2012	Nitrogênio Total	CRF; FT; TOG; STD
Agosto a outubro de 2012	Clorofila “a”	STD; TUB; DBO
Julho a agosto de 2014	Fósforo Total	OD; DBO
Janeiro a março de 2015	Clorofila “a”	TUB; STD; CT; DBO
Julho a agosto de 2015	Temperatura da Amostra	OD; STD; SAL
	Demanda Bioquímica de Oxigênio	NT; FT; CRF
Março a maio de 2016	Coliformes Termotolerantes	NT; STD
	Clorofila “a”	TUB; pH

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Segundo Von Sperling (2005), os parâmetros de qualidade de água apresentam correlação entre si. Ainda de acordo com o autor, os mesmos sofrem influência da sazonalidade climática, assim como das atividades antrópicas desenvolvidas na bacia hidrográfica.

Percebe-se uma forte correlação entre sólidos totais dissolvidos (STD) e os parâmetros Teor de óleos e graxas, clorofila “a”, coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), turbidez, pH, temperatura da amostra, nitrogênio total e salinidade, o que é coerente, pois os sólidos totais são um dos principais constituintes presentes nas águas superficiais (VON SPERLING, 2005).

A origem dos sólidos totais está diretamente relacionada à processos naturais como dissolução de rochas, oxidação da matéria orgânica e a fotossíntese, tanto como à processos de origem antrópica, como despejos domésticos e industriais (VON SPERLING, 2005).

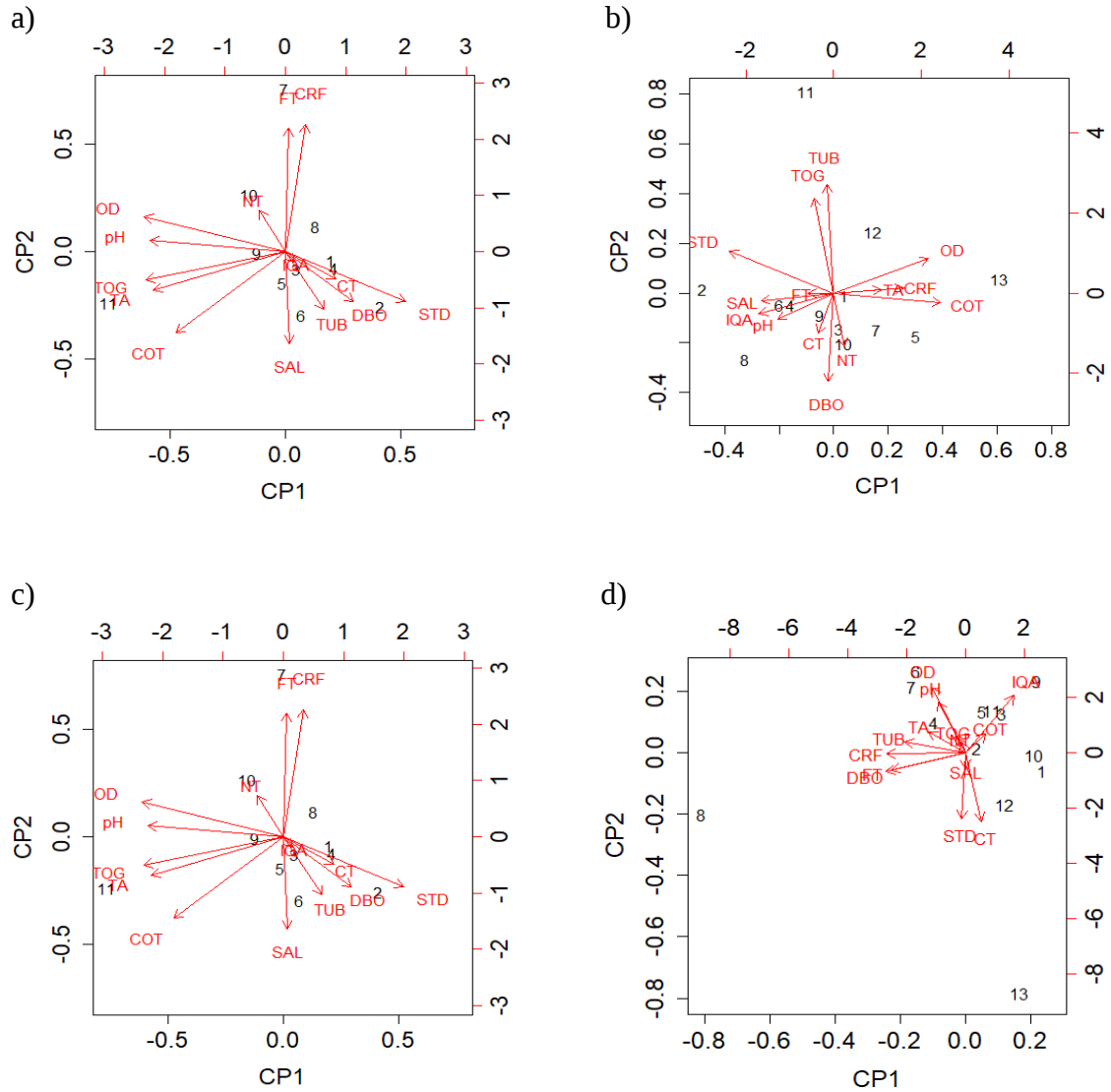
Já a turbidez apresentou correlação significativa com os sólidos totais e com a clorofila “a”. Segundo Von Sperling (2005), a turbidez da água é influenciada pela presença de sólidos em suspensão que, além das partículas inorgânicas (areia, silte e argila) incluem também frações orgânicas como os plânctons, algas, bactérias, protozoários e rotíferos e crustáceos (BRASIL, 2014).

Dessa forma, a comunidade planctônica exerce um papel fundamental na ecologia aquática, tanto na construção da cadeia alimentar, quanto na condução de processos essenciais, como a produção de oxigênio e a decomposição da matéria orgânica (BRASIL, 2014).

Verificou-se que a DBO apresentou forte correlação com os parâmetros clorofila “a” e os macronutrientes: fósforo total e nitrogênio total. Tal fato pode-se justificar em virtude da descarga de efluentes não tratados em corpos hídricos receptores que podem causar o fenômeno da eutrofização. Nesse sentido, Von Sperling (2005) explica que esse fenômeno ocorre devido o enriquecimento do corpo hídrico por nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio, tornando-o propenso à proliferação de algas, onde, em um período de elevada insolação, as algas podem atingir superpopulações, formando uma camada similar a um caldo verde. Esse biofilme impede a penetração de luz nas camadas inferiores, diminuindo a quantidade de oxigênio dissolvido, e consequentemente causando a mortandade das comunidades aquáticas como peixes e algas.

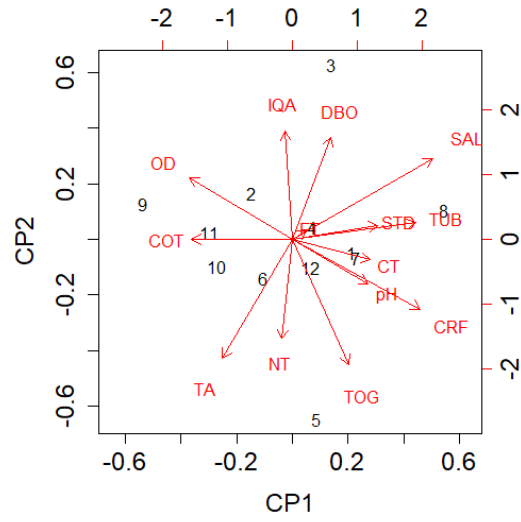
Diante disso, o corpo hídrico cria um ambiente anaeróbico no fundo, onde aumenta-se a produtividade, ou seja, a atividade biológica de produção (síntese), causando elevação na concentração de bactérias heterotróficas, que se alimentam da matéria orgânica das algas e de outros microrganismos mortos, consumindo o OD do meio líquido, e consequentemente, aumentando os níveis de DBO (VON SPERLING, 2005).

A representação gráfica do biplot (entre CP1 e CP2) (Figura 07) permitiu caracterizar as variáveis que mais discriminaram na formação dos agrupamentos para período chuvoso e seco.

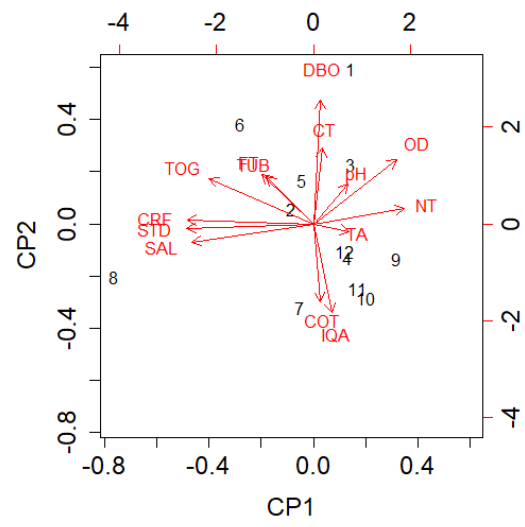


Continuação da Figura 07

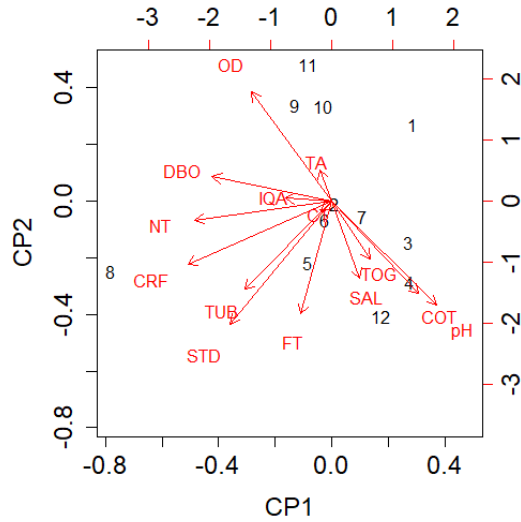
e)



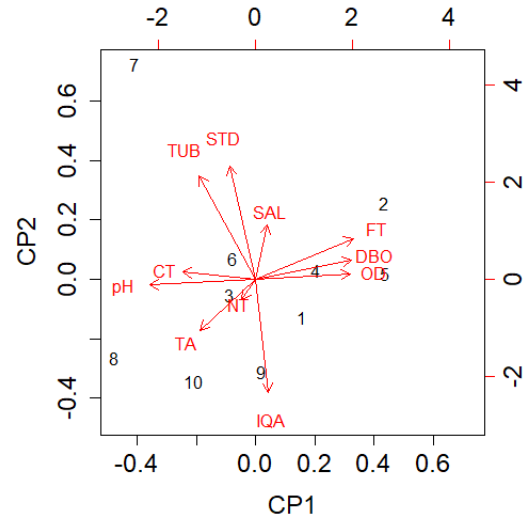
f)



g)



h)



Continuação da Figura 7.

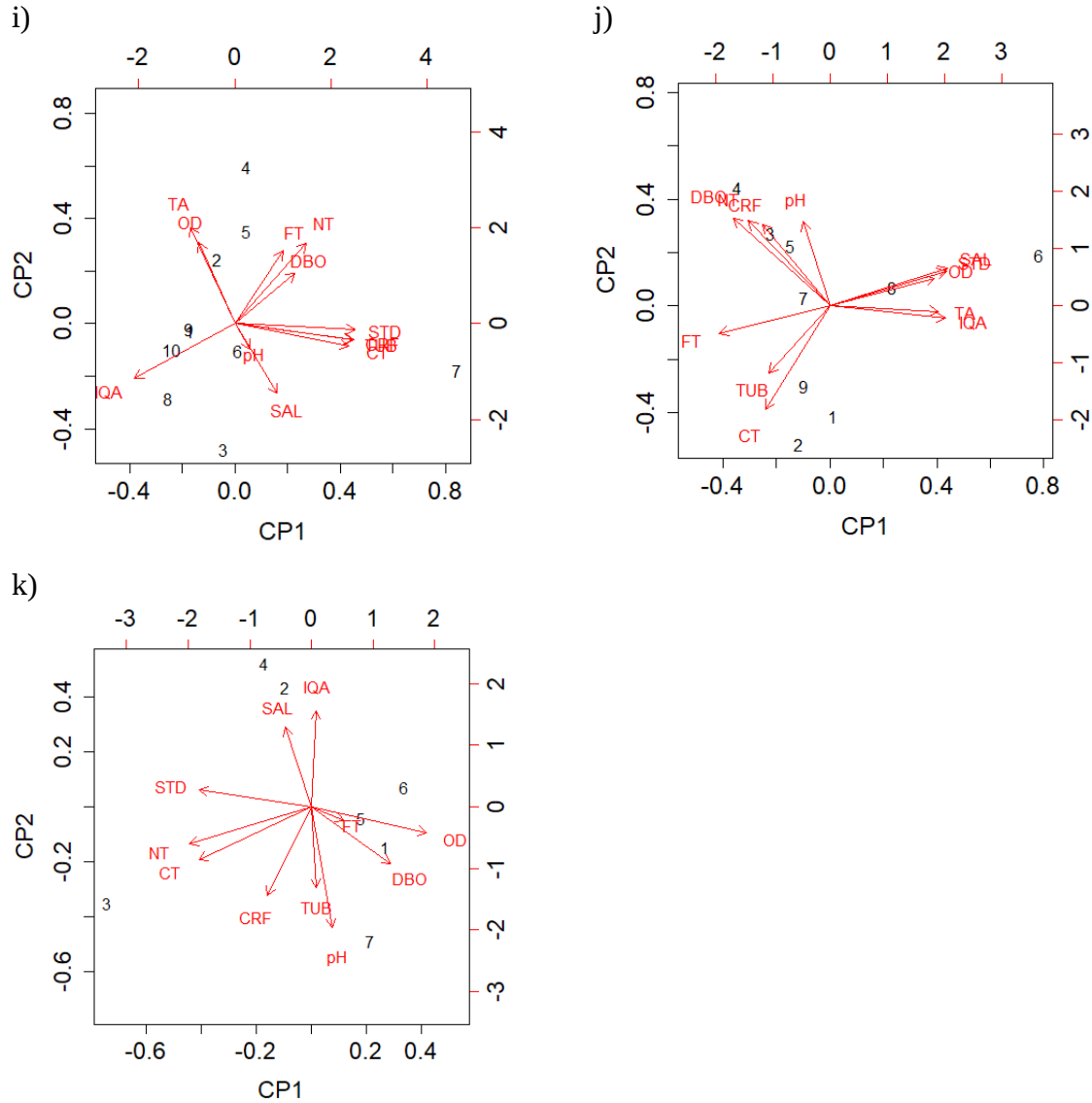


Figura 07 – Biplot da ACP com base nas variáveis da qualidade de água nos diferentes períodos de monitoramento: a) 2008; b) 2009; c) 2010 d) 2011a; e) 2011b; f) 2012a; g) 2012b; h) 2014; i) 2015a; j) 2015b e k) 2016.

Os escores formadores das componentes principais que mais se repetiram durante o monitoramento dos corpos hídricos superficiais da BHASCA dentro do período seco foram: STD, CRF e SAL para CP1, já na CP2 observou-se maior frequência dos pesos do STD e FT (Tabela 07, Fig. 07).

Durante o período chuvoso, percebeu-se que os escores mais influentes na formação da CP1 foram STD e CRF, enquanto que a CP2 não obedeceu um padrão, ou seja, cada ano

houve associação com pesos de variáveis distintas, como pode-se observar na Tabela 06 e Fig. 07.

O ano de 2015a foi o que apresentou a maior variância acumulada dos dados, enquanto que 2011b apresentou o valor mais baixo (Tabela 07).

Nesse sentido, Arslan (2011) realizou estudos sobre a aplicabilidade da ACP na qualidade de água da bacia hidrográfica do rio Sakarya, e identificou o primeiro componente como responsável por 41,05% da variância acumulada, além disso, observou nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato e ortofosfato como variáveis discriminantes na formação dessa componente principal.

Tabela 07 - Componentes selecionadas e seus escores discriminantes formadores para cada ciclo de monitoramento

Ano	Componente	Escores Discriminantes na Formação de CPs	Variância explicada acumulada (%)	Estação	
				Chuvosa	Seca
2008	CP1	OD, TOG	50,61		X
	CP2	FT, COT			
2009	CP1	COT, STD	44,12	X	
	CP2	TUB, TOG			
2010	CP1	STD, DBO	57,69		X
	CP2	pH, CRF			
2011a	CP1	DBO, CRF	52,08	X	
	CP2	CT, STD			
2011b	CP1	SAL, CRF	40,18		X
	CP2	TA, TOG			
2012a	CP1	STD, CRF	51,08	X	
	CP2	DBO, COT			
2012b	CP1	NT, CRF	46,11		X
	CP2	FT, STD			
2014	CP1	pH, FT	57,81		X
	CP2	STD, TUB			
2015a	CP1	STD, CRF	68,51	X	
	CP2	OD, TA			
2015b	CP1	SAL, STD	67,54		X
	CP2	DBO, CT			
2016	CP1	OD, NT	62,59	X	
	CP2	pH, CRF			

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A salinidade é um fator discriminante durante o período mais seco do ano, como observado na Tabela 05, uma vez que os açúcares atingem cotas mais baixas, e isso resulta em

uma maior concentração dos sais em decorrência do processo de evaporação. Este processo é comum nas regiões áridas e semiáridas (QUEIROZ et al., 2001).

Lemos, Neto e Dias (2009) estudaram a sazonalidade e variabilidade espacial da qualidade da água na Lagoa do Apodi-RN, e identificaram que a salinidade da água varia em todo o seu espelho, aumentando no período seco e diminuindo período chuvoso, com maior predisposição ao aumento da salinidade nos locais onde houve intervenção humana na forma natural da lagoa.

Observando os escores discriminantes formadores das componentes (Tabela 05), observa-se uma forte contribuição de variáveis relacionadas à eutrofização dos corpos hídricos, nos períodos chuvosos e seco, como é relatado nos próprios relatórios do Programa Água Azul (PROGRAMA ÁGUA AZUL, 2018).

Durante o período chuvoso, as chuvas intensas que ocorrem de forma concentrada em poucos dias do ano, promovem uma maior erosão, que associadas às grandes áreas de drenagem das bacias, elevam a carga de sedimentos carregados para os reservatórios (ALVES; CAMPOS, 2009) e conseqüentemente aumentam a concentração de sólidos totais na água (SRINIVASAN et al., 2003).

Além disso, no calendário agrícola anual, o período chuvoso corresponde à estação com uso e manejo mais intensivo dos solos cultivados, incluindo manuseio de fertilizantes e agroquímicos, o que, associado à maior pluviosidade, contribui para o maior aporte de poluentes aos corpos hídricos (GONÇALVES; ROCHA, 2016).

Nesse contexto, a emissão antropogênica de nutrientes tem acelerado o processo de eutrofização dos reservatórios do semiárido, comprometendo a qualidade da água, principalmente por florações de cianobactérias potencialmente tóxicas, que além de oferecerem riscos à saúde humana e animal, causam prejuízos econômicos e alteram a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas (VASCONCELOS et al., 2011).

Outro fator importante é que a morfologia dendrítica dos açudes facilita a estagnação localizada da água, o baixo tempo de renovação ou alto tempo de detenção hidráulica projetado, a pouca profundidade e o extenso espelho de água, favorecem o aquecimento e a evaporação, além da natureza alcalina e a alta condutividade. Estes fatores morfométricos, hidrológicos e de qualidade estimulam a ocorrência das cianobactérias e exigem um manejo mais complexo e cuidadoso (VASCONCELOS et al., 2011).

Corroborando com os resultados obtidos, Chorus & Bathram (1999) explicam que a região do semiárido está mais propensa ao surgimento de cianobactérias, pois as elevadas

temperaturas registradas na região durante o ano todo e as longas horas de luz por dia, estimulam a realização de fotossíntese, e consequentemente multiplicação das mesmas. As cianobactérias estão presentes em alta biomassa e são dominantes durante a maior parte do ano. Os fenômenos de floração das mesmas estão relacionados a processos de eutrofização de corpos hídricos que acabam comprometendo os usos múltiplos da água.

Além disso, algumas espécies de cianobactérias são capazes de produzir toxinas, cujas funções ecológicas são ainda desconhecidas. Em mamíferos, o efeito das toxinas depende do modo de ação, podendo ocasionar efeitos agudos (irritação da pele, gastroenterites e até parada respiratória) ou crônicos (p.ex. formação de tumores devido à ingestão contínua de água contaminada com microcistinas) (PANOSSO et al., 2007).

Costa et al. (2016) diagnosticaram a dominância de cianobactérias no período seco e chuvoso em 06 reservatórios da bacia hidrográfica do rio Piranhas-Assu, no semiárido do Rio Grande do Norte, e observaram a presença de cianotoxinas do tipo hepatotoxinas como consequência negativa da eutrofização nos reservatórios estudados. Dessa forma, torna-se necessária aplicação de medidas mitigadoras, que visem à proteção da saúde humana e dos recursos hídricos.

Durante o período seco, os reservatórios situados na região do semiárido, mesmo com volumes de água reduzidos durante os períodos de estiagens, continuam recebendo efluentes domésticos (CAMPOS, 2002). Esse fato é corroborado pela falta de saneamento dos municípios da região da BHASCA que tratam de forma ineficiente seus efluentes líquidos, lançando-os de forma inadequada nas calhas fluviais.

Andrade et al. (2005) verificaram em seus estudos sobre a qualidade das águas superficiais do vale do rio Trussu – CE, que os piores índices de qualidade da água ocorrem nos meses correspondentes ao final da estação seca. Nesta época, os açudes estão com níveis mais baixos, resultando em uma maior concentração dos sais em decorrência do processo de evaporação.

Segundo Oliveira, Souza e Castro (2009), a BHASCA vem sofrendo constantes impactos ambientais oriundos das atividades que são desenvolvidas no entorno do rio Apodi-Mossoró, provenientes da lixiviação de fertilizantes e pesticidas de diversas atividades agrícolas; carreamento de material alóctone; além das constantes descargas de esgotos domésticos e industriais lançados em toda a extensão da bacia.

Nesse sentido, em estudo sobre os estados tróficos dos reservatórios Barragem de Pau dos Ferros e Barragem Santa Cruz, Apodi –RN, Silva (2013) observou altos índices de

clorofila e fósforo presentes nesses mananciais, classificando-os em eutrófico-hipereutrófico (Pau dos Ferros) e mesotrófico-eutrófico (Santa Cruz), comprometendo, dessa forma, os usos múltiplos da água.

Em estudo sobre a ocorrência de cianobactérias em reservatórios da Paraíba, Vasconcelos et al. (2011) afirmaram que florações de cianobactérias é um problema recorrente nas bacias hidrográficas do Estado, em águas destinadas tanto ao abastecimento público quanto a recreação.

Dessa maneira, o monitoramento desses organismos deve ser permanente, visando à proteção da saúde humana. A implementação de medidas de controle da eutrofização artificial, através, por exemplo, do tratamento dos esgotos domésticos, industriais e agropastoris, é uma etapa fundamental para a solução do problema das florações de cianobactérias (PANOSSO et al., 2007).

A CP2 para os anos inerentes ao período chuvoso não aderiu um padrão, haja visto que cada CP apresentou uma combinação de escores discriminantes diferentes para o período monitorado. Uma explicação para esse fato é que os índices pluviométricos foram distintos em cada ano. O ano de 2009 foi classificado como chuvoso na região oeste, enquanto que o ano de 2012 foi considerado seco (EMPARN, 2018).

Cabe ressaltar, ainda, que entre os anos de 2012 e 2017, o estado do Rio Grande do Norte passou por 05 (cinco) anos de estiagem, cujo, observou-se uma sequência de cinco anos de precipitações abaixo da média para o período chuvoso, consequentemente, muitos reservatórios da região não receberam aporte hídrico suficiente (MACHADO; DIAS; SILVA, 2017).

Técnicas de estatística multivariada foram aplicadas para explorar os conjuntos de dados de qualidade de águas superficiais, incluindo 14 parâmetros em 28 locais da Bacia Oriental do Lago Poyang, Província de Jiangxi da China, entre o período de janeiro de 2012 a abril de 2015, objetivando caracterizar a variação espaço-temporal da qualidade de água. Os mesmos associaram os altos níveis de Nitrogênio Total observados às atividades antrópicas desenvolvidas na bacia, tais como agricultura e lançamento de efluentes líquidos domésticos. (DUAN et al., 2016).

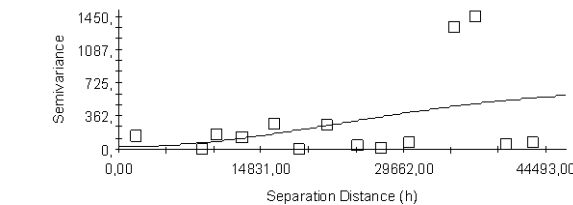
Nesse contexto, pode-se evidenciar a eficiência da análise multivariada em estudos relacionados à qualidade de água. Contudo, por vezes, as interpretações das componentes para explicar a natureza física de variáveis significativas (altos escores) podem se apresentar de difícil compreensão (MAZLUN; OZER; MAZLUN, 1996). O número de dados limitados

(insuficientes), frequência indevida de observação de dados e erros na análise da qualidade das variáveis no laboratório ou *in situ* podem conduzir a esse tipo de falha.

4.2 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA

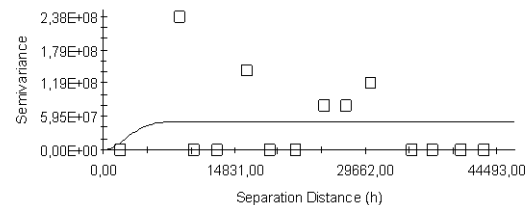
Visando identificar a existência de padrões de distribuição espacial das variáveis regionalizadas dos dois componentes principais em cada período de análise, tem-se na Figura 08 os semivariogramas experimentais ajustados, enquanto que a Tabela 08 ilustra os parâmetros calculados, modelos ajustados e o grau de dependência espacial (CAMBARDELLA et al., 1994)

a)



Gaussian model ($C_0 = 26,00000$; $C_0 + C = 667,00000$; $A_0 = 32310,00$; $r^2 = 0,153$; $RSS = 2486315$.)

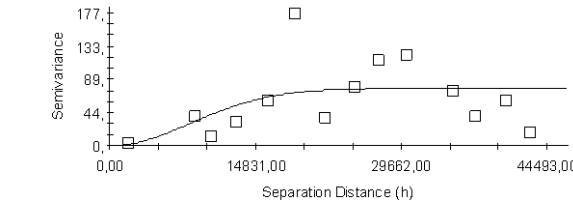
CP1



Gaussian model ($C_0 = 100000,00000$; $C_0 + C = 505000000,00000$; $A_0 = 3520,00$; $r^2 = 0,032$; $RSS = 7,07E+16$.)

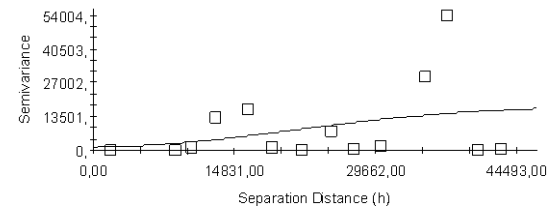
CP2

b)



Gaussian model ($C_0 = 0,10000$; $C_0 + C = 76,50000$; $A_0 = 11680,00$; $r^2 = 0,253$; $RSS = 22808$.)

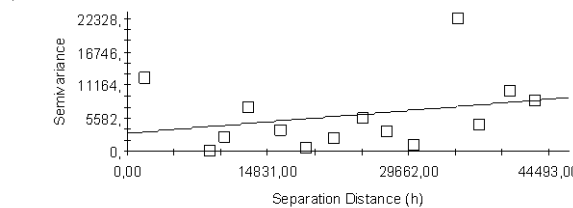
CP1



Gaussian model ($C_0 = 1360,00000$; $C_0 + C = 17960,00000$; $A_0 = 29170,00$; $r^2 = 0,111$; $RSS = 2,82E+09$.)

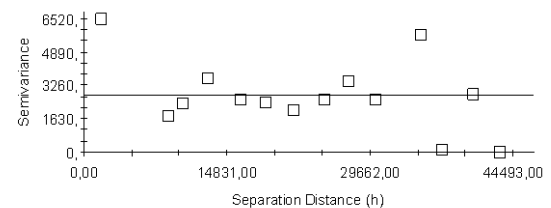
CP2

c)



Linear model ($C_0 = 3073,07307$; $C_0 + C = 8610,76664$; $A_0 = 43080,54$; $r^2 = 0,076$; $RSS = 4,19E+08$.)

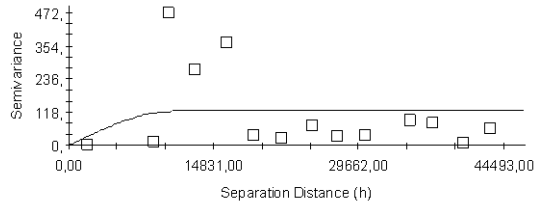
CP1



Linear model ($C_0 = 2768,12828$; $C_0 + C = 2768,12828$; $A_0 = 43080,54$; $r^2 = 0,167$; $RSS = 4,07E+07$.)

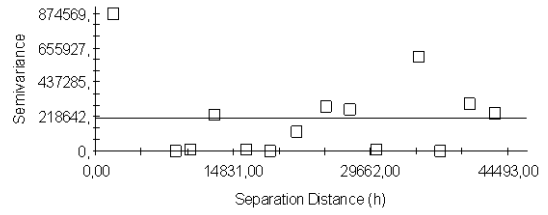
CP2

d)



Spherical model ($Co = 0,10000$; $Co + C = 121,70000$; $Ao = 10800,00$; $r2 = 0,048$; $RSS = 268437,)$

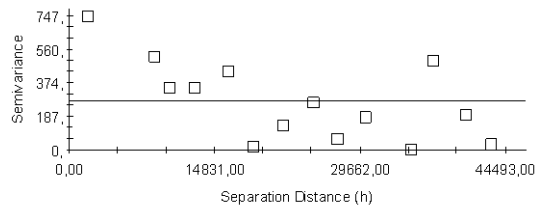
CP1



Linear model ($Co = 210786,26010$; $Co + C = 210786,26010$; $Ao = 43080,54$; $r2 = 0,000$; $RSS = 8,76E+11$)

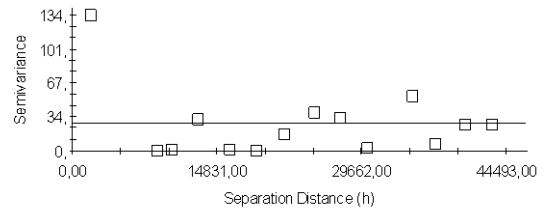
CP2

e)



Linear model ($Co = 270,41922$; $Co + C = 270,41922$; $Ao = 43080,54$; $r2 = 0,000$; $RSS = 653732,)$

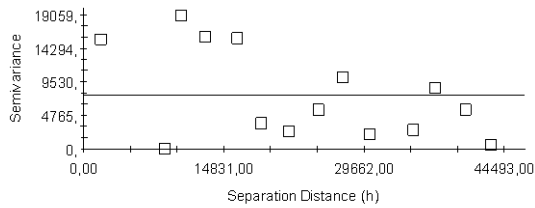
CP1



Linear model ($Co = 26,52139$; $Co + C = 26,52139$; $Ao = 43080,54$; $r2 = 0,000$; $RSS = 16401,)$

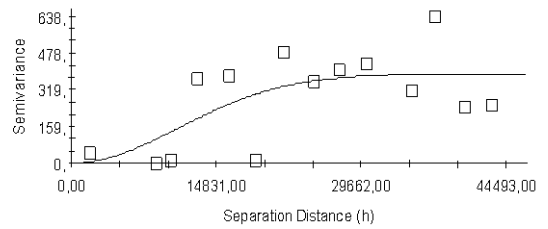
CP2

f)



Linear model ($Co = 7735,47970$; $Co + C = 7735,47970$; $Ao = 43080,54$; $r2 = 0,287$; $RSS = 5,50E+08$)

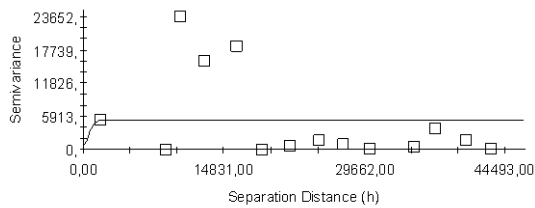
CP1



Gaussian model ($Co = 1,00000$; $Co + C = 387,90000$; $Ao = 15460,00$; $r2 = 0,438$; $RSS = 289099,)$

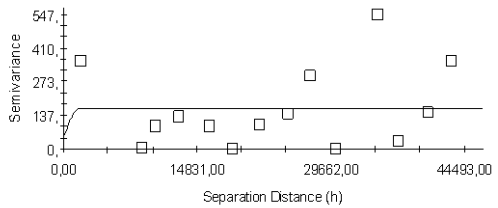
CP2

g)



Gaussian model ($Co = 710,00000$; $Co + C = 5230,00000$; $Ao = 820,00$; $r2 = 0,000$; $RSS = 8,15E+08$)

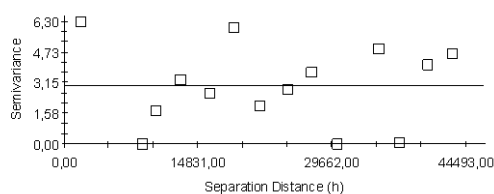
CP1



Spherical model ($Co = 42,10000$; $Co + C = 185,80000$; $Ao = 1840,00$; $r2 = 0,000$; $RSS = 351540,)$

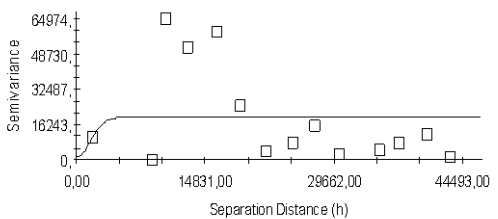
CP2

h)



Linear model ($Co = 3,01063$; $Co + C = 3,01063$; $Ao = 43080,54$; $r2 = 0,000$; $RSS = 57,4$)

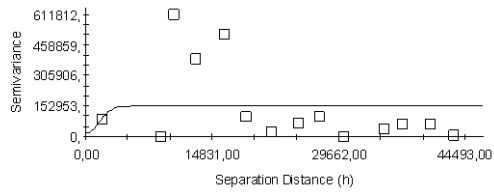
CP1



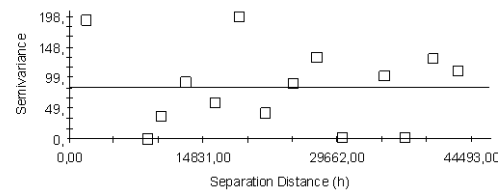
Gaussian model ($Co = 1160,00000$; $Co + C = 19660,00000$; $Ao = 2250,00$; $r2 = 0,013$; $RSS = 6,50E+09$)

CP2

i)

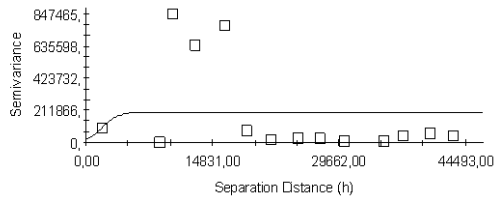


CP1

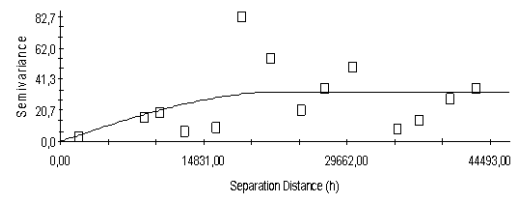


CP2

j)

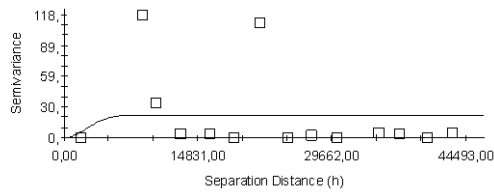


CP1

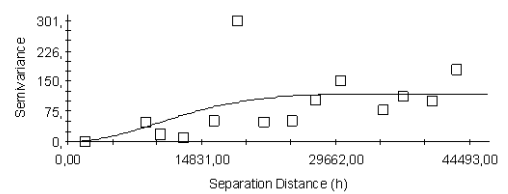


CP2

k)



CP1



CP2

Figura 08 – Semivariogramas experimentais ajustados das componentes principais 01 e 02 para todos os períodos: a) 2008; b) 2009; c) 2010; d) 2011a; e) 2011b; f) 2012a; g) 2012b; h) 2014; i) 2015a; j) 2015b; k) 2016.

Tabela 08 - Parâmetros dos semivariogramas experimentais ajustados das componentes principais estudadas e ajustados aos modelos selecionados.

Componentes Principais		Parâmetros					
Modelo		C0	C0+C	A (m)	R ²	C0/C0+C	GDE (%)
2008							
CP1	Gaussiano	26,00	667,00	32310,00	0,153	0,0390	3,90
CP2	Gaussiano	100000,00	50500000,00	3520,00	0,032	0,0020	0,20
2009							
CP1	Gaussiano	0,1000	76,50	11680,00	0,253	0,0013	0,13
CP2	Gaussiano	1360,00	17960,00	29170,00	0,111	0,0757	7,57
2010							
CP1	Linear	3073,07	8610,77	43080,00	0,076	0,3569	0,13
CP2	Linear (EPP)	2768,00	2768,13	43080,00	0,167	1,0000	7,57
2011^a							
CP1	Esférico	0,1000	121,70	10800,00	0,048	0,0008	35,69
CP2	Linear (EPP)	210786,26	210786,26	43080,54	0,00	1,0000	100,00
2011b							
CP1	Linear (EPP)	270,42	270,42	43080,54	0,00	1,0000	0,08
CP2	Linear (EPP)	26,52	26,52	43080,54	0,00	1,0000	100,00
2012^a							
CP1	Linear (EPP)	7735,48	7735,48	43080,00	0,287	1,0000	100,00
CP2	Gaussiano	1,00	387,90	15460,00	0,438	0,0026	100,00
2012b							
CP1	Gaussiano	710,00	5230,00	820,00	0,00	0,1358	100,00
CP2	Esférico	42,10	165,80	1840,00	0,00	0,2539	0,26
2014							
CP1	Linear (EPP)	3,01	3,01	43080,00	0,00	1,0000	13,58
CP2	Gaussiano	1160,00	19660,00	2250,00	0,013	0,0590	25,39
2015^a							
CP1	Gaussiano	15400,00	151800,00	2140,00	0,007	0,1014	10,14
CP2	Linear (EPP)	84,49	84,49	43080,54	0,00	1,0000	100,00
2015b							
CP1	Gaussiano	28700,00	197100,00	2580,00	0,008	0,1456	14,56
CP2	Esférico	0,10	32,81	22740,00	0,204	0,0030	0,30
2016							
CP1	Gaussiano	0,01	21,82	3470,00	0,020	0,0005	0,05
CP2	Gaussiano	0,10	119,80	14350,00	0,273	0,0008	0,08

EPP: Efeito Pepita Puro; C0: Efeito pepita; A (m): Alcance; C0 + C1: Patamar; R²: Coeficiente de determinação; C0/C0+C: Razão entre efeito pepita e patamar; GDE: Grau de dependência espacial.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

A análise geoestatística mostrou que as componentes principais do ano de 2011b não apresentaram dependência espacial, denominado efeito pepita puro. Trata-se de uma

indicação clara de que esses atributos são espacialmente independentes, apresentam distribuição casual ou de que o espaçamento de amostragem usado é maior que o necessário para revelar a dependência espacial e de que a única estatística aplicável é a clássica (SILVA et al., 1989). Já os cenários dos anos de 2010, 2011a, 2012a, 2014 e 2015a apresentaram EPP em pelo menos uma das suas componentes (Tabela 08, Figura 08).

Analisando a Tabela 06, observa-se que os anos de 2008, 2009 e 2016 tiveram suas duas CPs melhor ajustadas pelo modelo gaussiano. Andriotti (2009) assegura que esse modelo é o que reflete uma maior regularidade da variável estudada, onde a presença do efeito pepita (C0) nesse esquema, deve-se única e exclusivamente à existência de erros humanos, pois o fenômeno tratado é muito regular.

Além disso, os anos de 2012a, 2012b, 2014, 2015a, 2015b, 2016 obtiveram pelo menos uma de suas componentes ajustadas por esse método. Já o modelo esférico, ajustou-se a pelo menos uma das CPs dos anos de 2011a, 2012b e 2015b.

O alcance da dependência espacial é um parâmetro importante no estudo do semivariograma, uma vez que indica a zona de influência de uma amostra, ou seja, define a distância máxima até onde o valor de uma variável possui relação de dependência espacial com o seu próximo (GUERRA, 1988). Na Tabela 08 pode-se observar que os valores do alcance obtidos variam de 820,00 m a 43080,00 m, os quais correspondem aos raios das áreas consideradas homogêneas para cada componente estudada.

Os anos de 2008, 2009, 2010, 2014, 2015b e 2016 obtiveram uma forte dependência espacial para todas as CPs, conforme o critério de Cambardella et al. (1994).

Diante disso, a utilização da geoestatística permite identificar a existência ou não de dependência espacial entre as observações, podendo ser aplicada em mapeamentos, orientação de futuras amostragens e modelagens, permitindo, assim, estimar o valor do atributo em locais não amostrados, facilitando a gestão dos recursos naturais (GOMES et al., 2007).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante aplicação de estatística univariada, observou-se correlação linear positiva de cada variável estudada com pelo menos outras duas. Esse fato implica que existe dependência entre os parâmetros da qualidade de água nos corpos hídricos superficiais analisados.

A análise de componentes principais permitiu condensar a informação contida no conjunto das variáveis originais de 14 para apenas 04 variáveis (Clorofila “a”, sólidos totais, fósforo total e salinidade). Assim como identificou os parâmetros que sempre ou frequentemente levam à variação da qualidade da água na referida bacia.

Além disso, evidenciou que, diante da variação temporal da sazonalidade climática, alguns dos parâmetros físico-químicos e biológicos avaliados podem ser significativos para contribuir na variação de qualidade de água em um ano, enquanto que em outro ano podem ser menos significativos, ou seja, estão expostos diretamente a aleatoriedade da distribuição temporal.

Durante o período seco, os pesos mais influentes na formação das componentes foram os sólidos totais, fósforo total, clorofila “a” e a salinidade. Nesse sentido, observou-se a presença de fatores relacionados ao processo de eutrofização de corpos hídricos superficiais para as duas componentes, evidenciando que ações antrópicas danosas ao meio ambiente como lançamentos de efluentes não tratados e atividades agropastoris, podem estar alterando a qualidade da água dos reservatórios monitorados.

Mesmo sob efeitos da sazonalidade climática, percebeu-se ainda a predominância das variáveis sólidos totais e clorofila “a” para a CP1 para os anos monitorados no período chuvoso. A segunda componente do período chuvoso apresentou aleatoriedade, provavelmente devido à má distribuição espaço-temporal das precipitações pluviométricas ocorridas durante todo o período de monitoramento em toda a área em estudo.

A análise geoestatística através do cálculo dos semivariogramas experimentais ajustados explicaram a variabilidade espacial da qualidade das águas superficiais na bacia hidrográfica do açude Santa Cruz do Apodi –RN. Nesse sentido, pode-se afirmar que valores do alcance obtidos variam de 820,00 m a 43080,00 m, os quais correspondem aos raios das áreas consideradas homogêneas para cada componente estudada.

Os anos de 2008, 2009, 2010, 2014, 2015b e 2016 obtiveram uma forte dependência espacial para todas as CPs, conforme o critério de Cambardella (1994).

Nessa perspectiva, os corpos hídricos superficiais presentes na bacia hidrográfica do açude santa cruz do Apodi apresentaram-se susceptíveis à processos de eutrofização. Diante disso, é de suma importância realizar o monitoramento das variáveis citadas acima, uma vez que, a dominância de cianobactérias e a possível produção de cianotoxinas, como as hepatoxinas, representam uma ameaça constante à salubridade dos ecossistemas, exigindo medidas de mitigação.

O presente estudo, inédito na região, subsidiará à gestão racional dos seus recursos naturais, fornecendo embasamento para processos de tomada de decisões. Além disso, dará suporte à novos estudos relacionados à qualidade de água na referida bacia.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2013. 432 p.

ALVES, F.G.; CAMPOS, R. Propensão ao assoreamento de reservatórios do semi-árido brasileiro. In: X SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE. Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2009.

ANDRADE, E. M.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSAM, M. F.; GOMES, R. B.; LOBATO, F. A. O. Fatores determinantes da qualidade das águas superficiais na bacia do Alto Acaraú, Ceará, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 6, p.1793-1797, nov. 2007.

_____.; BATISTA, T. M.; TEIXEIRA, A. S.; MEIRELES, M.; SOUSA, B. F. S. Mapa de vulnerabilidade da bacia do Acaraú, Ceará, à qualidade das águas de irrigação, pelo emprego do GIS. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n. 03, p. 279-286, 2006.

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. 2. ed. São Leopoldo: Unisinos, 2009.

ARSLAN, Ozan. Spatially weighted principal component analysis (PCA) method for water quality analysis. **Water Resources**, [s.l.], v. 40, n. 3, p.315-324, maio 2013.

BACCI, D. L. C.; PATACA, E. M. Educação para a água. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 211-226, set. 2018.

BERTOSSI, A. P. A.; MENEZES, J. P. C.; CECÍLIO, R. A.; GARCIA, G. O.; NEVES, M. A. Seleção e agrupamento de indicadores da qualidade de águas utilizando estatística multivariada. **Semina: ciências agrárias**, Londrina, v. 34, n. 5, p. 2025-2036, set./out. 2013.

BRANCO, S. M. **Hidrologia aplicada à engenharia sanitária**. 3 Ed. São Paulo: CETESB/ASCETESB. 1986.

BRASIL. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília: Funasa, p. 140. 2014.

BRASIL. **Lei nº. 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (1997)**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos,

regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília: DOU de 9/1/1997. Acesso em: 26 jun. 2018.

BRASIL. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília : Ministério da Saúde, 212 p. 2006.

CAIRNS JR. J.; PRATT, J. R. A history of biological monitoring using benthic macro invertebrates. In: ROSENBERG, D. M.; RESH, V. H. (Ed.). Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. London: **Chapman & Hall**, p.10-27. 1993.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.58, p.1501-11, 1994.

CAMPOS, J. N. B. Água, sociedade e natureza – desenvolvimento científico e gestão das águas. In: HOFMEISTER, W. **ÁGUA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO SEMI-ÁRIDO.** Fortaleza-Ce, 2002. p. 19-34.

CARVALHO, R. G. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, n. 36, p. 26-43, fev. 2014.

CAVALCANTI, B. S.; MARQUES, G. R. Recursos hídricos e gestão de conflitos: A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul a partir da crise hídrica de 2014-2015. **Revista de Gestão dos Países de Língua Portuguesa**, vol.15, n.1, p.04-16. 2016.

CHELLAPPA, N. T.; BEZERRA, T. A.; COSTA W. T.; MELO, S. C. Physiological ecology of cyanophyceae in a population from impounded freshwater aquatic ecosystems, barragem gargalheiras-RN. In: SIMPÓSIO ECOSSISTEMAS BRASILEIROS. Águas de Lindóia. **Anais...** São Paulo, Brasil. 1998. p. 372-380.

CHORUS, I.; BARTRAM, J. Toxic Cyanobacteria in water: A guide to the Public Health Consequences, Monitoring and Management. **E & FN Spon**, London. 416p, 1999.

CIRILO, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, p. 61-82, jun. 2008.

CLARKE, E. D.; SPEIRS D. C., HEATH M. R.; WOOD, S. N.; GURNEY, W. S. C., HOLMES, S. J. Calibrating remotely sensed chlorophyll-a data by using penalized regression. **Splines Journal of the royal statcal society. Series C**, v. 55, n. 3, p. 331-353. 2006.

COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS (CPRM). **geobank - download de arquivos vetoriais**. 2016. Disponível em: <<http://geobank.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 01 nov. 2016.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas de amostragem**. São Paulo: CETESB, p.40. 2009.

COSTA, P. S. F.; MOREIRA A. A. M.; CRUZ, E. F.; NEIVA, J. A. F.; INÁCIO, R. D. Avaliação da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do rio Capivari no município de Chapada do Norte – MG*. **Caderno de Geografia**, v. 26, n. 1, p.197-213, 2016.

DERÍSIO, J. C. **Introdução ao Controle de Poluição Ambiental**. Ed. Signus. 4 Ed., São Paulo. 2012.

DUAN, W. HE, B.; NOVER, D.; YANG, G.; CHEN, W.; MENG, H.; ZOU, S.; LIU, C. Water Quality Assessment and Pollution Source Identification of the Eastern Poyang Lake Basin Using Multivariate Statistical Methods. **Sustainability**, v. 8, n. 2, p.1-15, 30 jan. 2016

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO RIO GRANDE DO NORTE - EMPARN. **Monitoramento pluviométrico**. Disponível em: <<http://www.emparn.rn.gov.br/>>. Acesso em: 22 ago. 2018.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Interciência. 2011.

FERREIRA, M. I. P.; KURY, K. A; PINHEIRO, M. R. C. Gestão da água no brasil: aspectos jurídicos, institucionais e usos múltiplos. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v. 2, n. 2, p. 59-91, dez. 2008.

FROTA JÚNIOR, J. I. **Variabilidade espacial e temporal da qualidade das águas no trecho perenizado da bacia hidrográfica do Curu, Ceará**. Mestrado (Dissertação - Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 51 p. 2006.

GABRIEL, K. R.. The Biplot Graphic Display of Matrices with Application to Principal Component Analysis. **Biometrika**, [s.l.], v. 58, n. 3, p.453-467, dez. 1971.

GALARÇA, S. P.; LIMA, C. S. M.; SILVEIRA, G.; RUFATO, A. R. Correlação de pearson e análise de trilha identificando variáveis para caracterizar porta-enxerto de *pyrus communis* L. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 4, p.860-869, 2010.

GARCIA, G. O.; SOUZA, G. B.; PORTELLA, M. B. S. RIGO, M. M.; PAULA, H.; CARDOSO, M. S. N. Caracterização do processo de contaminação das águas do Rio Cristal no município de Jerônimo Monteiro. **Engenharia Ambiental**, v.8, n.2, p.243-251, 2011.

GARDIMAN JUNIOR, B. S. Caracterização do processo de poluição das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Jucu, estado do Espírito Santo, Brasil. **Revista Agroambiente**, v.9, n.3, p. 235-242, 2015.

GARRETA, V.; MONESTIEZ, P.; VER HOEF, J. M. Spatial modelling and prediction on river networks: up model, down model or hybrid? **Environmetrics**, v. 21, n.5, p. 439–456, 2010.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOMES FILHO, R. R. O. G.; ROLIM, O. H; LEITE, J. B. J. **Qualidade da água. Gestão de Recursos Hídricos Conceitos e Experiências em Bacias Hidrográficas**. Goiânia, América, 2013.

GOMES, N. M.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; FARIA; M. A.; OLIVEIRA, P. M. et al. métodos de ajuste e modelos de semivariograma aplicados ao estudo da variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, S.l., v. 31, p.435-443, 2007.

GONÇALVES, D. R. P.; ROCHA, C. Indicadores de qualidade da água e padrões de uso da terra em bacias hidrográficas no Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p.1172-1183, set. 2016.

GOOVAERTS, P. **Geostatistics for natural resources evaluation**. Applied Geostatistics Series. Oxford University Press, p. 512. 1997.

GUERRA, P. A. G. **Geoestatística operacional**. Ministério das Minas e Energia/ Departamento de Produção Mineral, Brasília, p. 145, 1988.

HAIR, J. J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, p. 687, 2010.

HELENA, B.; PARDO, R.; VEIGA, M.; BARRADO, E.; FERNANDEZ, J. M.; FERNANDEZ, L. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga river, Spain) by principal component analysis. **Water Research**, v.34, n.3, p.807-816, 2000.

INSTITUTO DE GESTÃO DE ÁGUAS (IGARN). **Bacia Apodi/Mossoró**. 2014. Disponível em: <<http://adcon.rn.gov.br/acervo/igarn/doc/doc000000000028892.pdf>>. Acesso em: 03 set. 2018.

JARDIM, B. F. M. **Variação dos parâmetros físicos e químicos das águas superficiais da bacia do rio das velhas-mg e sua associação com as florações de cianobactérias**. 2011. 113 f. Dissertação (mestrado) - mestrado em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos, universidade federal de minas gerais, belo horizonte, 2011.

JOSÉ, J. V.; REZENDE, R.; FREITAS, P. S. L.; HONGYU, K.; PERBONI, A.; MARQUES, P. A. A.; DIAS, C. T. S.; COELHO, R. D. et al. Análise multivariada e geoestatística de variáveis físico-hídricas de diferentes solos. **Water Resources And Irrigation Management**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p.121-129, dez. 2013.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo – SP, 253p. 2003.

LEMO, M.; FERREIRA NETO, M.; DIAS, N. S. Sazonalidade e variabilidade espacial da qualidade da água na Lagoa do Apodi, RN. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p.155-164, 2010.

LIMA, F. J. O.; LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; SILVA, M. D.; MEREILES, A. C. M. Variabilidade espacial de cianobactérias em um reservatório artificial no semiárido. II WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. 2007. **Anais...** Campina grande.

LIMA, J. B. M. **Estudos de redes de monitoramento de qualidade das águas superficiais – o caso da bacia do rio descoberto**. Dissertação (mestrado) – UNB. Brasília, p. 111. 2004.

LOU, A. P. F. **modelagem geoestatística aplicada à integração entre dados**. Tese (mestrado - engenharia civil) - Copper/UFRJ. Rio de janeiro, p. 118. 2004.

MACHADO, T. T. V.; DIAS, J.T.; SILVA, T. C. Evolução e avaliação das políticas públicas para a atenuação dos efeitos da seca no semiárido brasileiro. **Gaia Scientia**, v. 11, n. 2, p.84-103, 2017.

MAZLUM, N.; OZER, A.; MAZLUM, S. Interpretation of Water Quality Data by Principal Components Analysis. **Tr. J. Of Engineering and Environmental Science**, S.l, v. 26, p.19-26, 1996.

MEDEIROS, M. A. **Morfometria de Bacias Hidrográficas no semiárido nordestino: Bacia do Açude Santa Cruz do Apodi – RN**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação – Engenharia Civil). Pau dos Ferros, p. 66. 2016.

MELO, C. R.; SILVA, A. M. **Hidrologia**: Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas. 1 ed. Minas Gerais: UFLA, 2013. 39 p.

MERTEN, G. H. MINELLA, J. P. G. REICHERT, J. M. MORO, M. Implicações do uso e manejo do solo e das variações climáticas sobre os recursos hídricos. In: Klauberg Filho, O.; Mafra, A. L.; Gatiboni, L. C. (Orgs.). **Tópicos em Ciência do Solo (Topics in Soil Science)**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.7, 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Caderno da Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos**. – Brasília: MMA, p. 104 p. 2006.

MORIO, M.; FINKEL, M.; MARTAC, E. Flow guided interpolation - a GIS-based method to represent contaminant concentration distributions in groundwater. **Environ. Model. Softw**, v. 25, n. 12, p. 1769–1780. 2010.

MOTA, S. **Preservação e Conservação de Recursos Hídricos**. 2ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995. 200p.

MOURA, A. T. N. **Estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica numa lagoa eutrófica, São Paulo, SP, Brasil, a curtos intervalos de tempo: comparação entre épocas de chuva e seca**. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Insituto de Botânica, Universidade Estadual Paulista-UNESP, Rio Claro, p. 172. 1996.

MOURA, D.; FERMINO, F. S. Aspectos da qualidade da água para abastecimento público na represa paulo de paiva castro/sistema cantareira-são paulo/sp. **Revista metropolitana de sustentabilidade**, v. 04, n. 02,p. 96-109, mai./ago. 2014.

MUANGTHONG, S.; SHRESTHA, S. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: case study of the Nampong River and Songkhram River, Thailand. **Environmental Monitoring And Assessment**, v. 187, n. 9, p.1-12, 2 ago. 2015.

ODUM, E.P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan. 2012.

OLIVEIRA JUNIOR, E. T. **Bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró: macroinvertebrados como bioindicadores e a percepção ambiental dos pescadores e marisqueiras do seu entorno**. Dissertação (Mestrado) UFPB: João Pessoa, p.115, 2009.

OLIVEIRA, M. D. **Qualidade Da Água Superficial Em Microbacias Com Diferentes Usos De Solo No Município De Itaara - Rs**. Dissertação (Mestrado) – UFSM, Santa Maria, P. 83. 2013.

OLIVEIRA, T. M. B. F.; SOUZA, L. S.; CASTRO, S. S. L.; Dinâmica da série nitrogenada nas águas da bacia hidrográfica Apodi/Mossoró - RN - Brasil. **Revista Eclética Química**. v. 34, n. 3, 2009.

PANOSSO, R.; COSTA, I.A.S.; SOUZA, N.R. de; ATTAYDE, J.L.; CUNHA, S.R. de S. & GOMES, F.C.F. Cianobactérias e cianotoxinas em reservatórios do Estado do Rio Grande do Norte e o potencial controle das florações pela Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Oecologia Brasiliensis**, v. 11, p. 433-449, 2007.

PEDROSA, J. P. **Monitoramento ao longo do período (12 anos) da qualidade de água em áreas de cultivo de moluscos, armação do itapócoroy, Penha, Santa Catarina**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Jataí, p. 52. 2011.

PEIXOTO, J. S. **Monitoramento da qualidade da água no baixo são francisco e ações de educação ambiental**. 2016. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2016.

POMPEU, P. P.; ALVES, M. C. B.; CALLISTO, M. The effects of urbanization on biodiversity and water quality in the Rio das Velhas Basin, Brazil. **American Fisheries Society**, 2004.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**. v. 22, n. 63, p. 43-60, fev. 2008.

PROGRAMA ÁGUA AZUL. **Relatórios: águas superficiais**. 2018. Disponível em: <http://programaaguaazul.ct.ufrn.br/relatorios/aguas_superficiais/>. Acesso em: 11 set. 2018.

QUEIROZ, G. H.; FRISCHKORN, H.; SANTIAGO, M. M. F. Classificação dos corpos d'água: um estudo de caso, Tauá-CE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 14, 2001. **Anais...**Aracaju.

ROBERTSON, G. P. **GS+: Geostatistics for the environmental sciences** – GS+ User's Guide. Plainwell: Gamma Desing Software, 2008. 152p.

RUZDJAK, A. M.; RUZDJAK, D. Evaluation of river water quality variations using multivariate statistical techniques. **Environmental Monitoring & Assessment**, v. 04, p.1-14, abr. 2015.

SECRETARIA DE DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE. **Situação volumétrica - todo o estado. SEMARH. 2009.** Disponível em: <http://servicos.semarh.rn.gov.br/semarh/sistemadeinformacoes/consulta/cbaciasitvolumetrica_detalle.asp?codigoestadual=00>. Acesso em: 31 out. 2016.

SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial da resistência a penetração de um Latossolo Vermelho-Escuro ao longo de uma transeção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 13:1-5, 1989.

SILVA, A. P. C. **Biomonitoramento da qualidade de água e percepção ambiental na bacia hidrográfica apodi-mossoró - RN**. 2013. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente/prodema, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

SILVA, C. M. S.; LÚCIO, P. S.; SPYRIDES, M. H. C. Distribuição espacial da precipitação sobre o rio grande do norte: estimativas via satélites e medidas por pluviômetros. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 3, n. 27, p.337-346, fev. 2012.

SILVA, E. B.; NETO, J. R. A.; PALÁCIO, H. A. Q.; SOUZA, C. A.; ANDRADE, E. M. Variabilidade espaço-temporal da qualidade de água no vale do rio trussu, ceará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 3, p.1420-1429, 14 jun. 2017.

SILVA, S. C.; SBRISSIA, A. F. Análise de componentes principais entre características morfogênicas e estruturais em capim-marandu sob lotação contínua. **Ciência rural**, v. 40, n. 3, p. 690-693, mar. 2010.

SILVA, W. B. **Zoneamento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Açude Santa Cruz do Apodi – RN**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação – Ciência e Tecnologia). Pau dos Ferros, p. 51. 2016.

SOUZA, A. C. M.; SILVA, M. R. F.; DIAS, N. D. Gestão de recursos hídricos: o caso da bacia hidrográfica Apodi/Mossoró (RN). **Irriga, Botucatu**, v.1, n.1, p.280-296, 2012.

SPINELLI, J. A. **Estudos estados brasileiros: Rio Grande do Norte 2000-2013**. 1 ed. São Paulo: Fundação Perseu Abramo, 2014.

SRINIVASAN, V. S.; SANTOS, C. A. G.; GALVÃO, C. O. Erosão hídrica do solo no semi-árido brasileiro: a experiência na bacia experimental de Sumé. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, n.2, p.57-73, abr./jun. 2003.

STRAHLER, A. N. Quantitative geomorphology of drainage basins and chanel networks. In: CHOW, Ven Te (Ed). **Handbrook of aplied hydrology: a compendium of water resources technology**. New York: **Mc-Graw Hill**, 1964.

TAOUFIK, G.; KHOUNI, I.; GHRABI, A. Assessment of physico-chemical and microbiological surface water quality using multivariate statistical techniques: a case study of the Wadi El-Bey River, Tunisia. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 10, n. 7, p.187-215, abr. 2017.

TSUKADA, S. **Asymptotic properties of a correlation matrix under a two-step monotone incomplete sample**. Linear algebra and its applications, v. 488, p. 86-101. 2015.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: Rima, 2003. 247p.

VASCONCELOS, C. S. **Planejamento: plano de ensino-aprendizagem e projeto educativo**. São Paulo: Libertad, 1995. 204p.

VASCONCELOS, J. F.; BARBOSA, J. E. L.; DINIZ, C. R.; CEBALLOS, B. S. O. Cianobactérias em reservatórios do Estado da Paraíba: ocorrência, toxicidade e fatores reguladores, **Boletins associação brasileira de limnologia**, n.39, João Pessoa, 2011.

VIEIRA, V. P. P. B. Desafios da gestão integrada de recursos hídricos no semi-árido. **Rbrh - revista brasileira de recursos hídricos**, v. 08, n. 02, p. 07-17, abr./jun. 2003.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. Ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 2005, 243p.

OD	0,01	0,37	1,00											
DBO	0,15	0,12	0,67	1,00										
COT	0,16	0,13	0,33	0,34	1,00									
CT	-0,01	0,30	0,24	0,36	-0,11	1,00								
NT	-0,01	0,17	0,51	0,80	0,41	0,22	1,00							
FT	0,02	-0,39	-0,21	-0,12	0,17	-0,29	0,04	1,00						
STD	0,19	0,22	0,41	0,73	0,65	0,56	0,62	-0,22	1,00					
TUB	-0,22	0,03	-0,03	0,51	0,24	0,34	0,62	-0,32	0,64	1,00				
IQA	-0,15	-0,29	-0,34	-0,77	-0,36	-0,57	-0,81	0,25	-0,84	-0,75	1,00			
TOG	0,78	-0,36	-0,31	-0,18	-0,41	-0,16	-0,52	0,12	-0,31	-0,59	0,32	1,00		
CRF	0,57	-0,48	0,07	0,50	0,34	0,14	0,46	-0,02	0,56	0,43	-0,52	0,18	1,00	
SAL	0,26	-0,44	-0,25	-0,10	0,59	-0,07	0,04	0,22	0,39	0,20	-0,15	-0,09	0,43	1,00

ANO 2011a														
	TA	pH	OD	DBO	COT	CT	NT	FT	STD	TUB	IQA	TOG	CRF	SAL
TA	1,00													
pH	0,16	1,00												
OD	0,26	0,65	1,00											
DBO	0,30	0,18	0,24	1,00										
COT	-0,61	0,20	0,21	-0,23	1,00									
CT	-0,32	-0,58	-0,86	0,03	-0,02	1,00								
NT	0,26	0,35	-0,03	0,13	0,01	0,12	1,00							
FT	0,22	0,03	0,29	0,92	-0,14	-0,10	-0,01	1,00						
STD	-0,30	-0,25	-0,58	0,27	-0,12	0,58	-0,26	0,22	1,00					
TUB	0,40	0,28	0,24	0,54	-0,18	-0,10	0,56	0,45	-0,24	1,00				
IQA	0,10	0,09	0,34	-0,71	0,14	-0,61	-0,22	-0,59	-0,63	-0,38	1,00			
TOG	-0,26	0,35	0,06	-0,06	0,42	-0,05	0,14	-0,04	-0,14	-0,03	0,02	1,00		
CRF	0,28	0,24	0,32	0,87	-0,08	-0,15	0,24	0,91	0,04	0,59	-0,51	0,28	1,00	
SAL	0,27	-0,06	-0,12	-0,02	-0,38	-0,08	-0,33	0,05	0,25	-0,19	-0,11	-0,17	-0,09	1,00

ANO 2011b														
	TA	pH	OD	DBO	COT	CT	NT	FT	STD	TUB	IQA	TOG	CRF	SAL
TA	1,00													
pH	0,10	1,00												
OD	-0,05	-0,19	1,00											
DBO	-0,87	-0,10	0,27	1,00										
COT	0,33	-0,48	0,60	-0,11	1,00									
CT	0,19	0,45	-0,33	-0,23	-0,24	1,00								
NT	-0,07	-0,13	-0,26	-0,06	0,21	0,20	1,00							
FT	0,17	0,05	-0,20	-0,27	-0,31	-0,20	-0,23	1,00						
STD	-0,14	0,29	0,04	-0,06	0,27	-0,04	0,44	-0,02	1,00					
TUB	-0,04	0,15	-0,56	-0,10	-0,39	0,43	0,67	-0,03	0,26	1,00				
IQA	0,22	-0,45	0,56	0,03	0,63	-0,47	-0,53	-0,37	-0,36	-0,71	1,00			
TOG	0,25	0,20	-0,23	-0,16	0,01	-0,15	0,55	0,11	0,23	0,54	-0,37	1,00		
CRF	-0,10	-0,05	-0,51	-0,10	-0,49	0,01	0,72	-0,33	0,34	0,83	-0,66	0,55	1,00	

SAL	-0,56	0,25	-0,24	0,28	-0,44	0,35	0,32	0,26	0,42	0,51	-0,91	-0,14	0,14	1,00
------------	-------	------	-------	------	-------	------	------	------	------	-------------	-------	-------	------	------

ANO 2012a														
	TA	pH	OD	DBO	COT	CT	NT	FT	STD	TUB	IQA	TOG	CRF	SAL
TA	1,00													
pH	-0,27	1,00												
OD	-0,01	0,25	1,00											
DBO	0,18	0,06	0,39	1,00										
COT	-0,02	-0,55	-0,06	-0,41	1,00									
CT	-0,45	-0,05	0,63	0,54	-0,10	1,00								
NT	0,09	-0,08	-0,43	0,22	-0,02	-0,35	1,00							
FT	0,08	-0,00	-0,07	0,48	0,18	0,01	0,74	1,00						
STD	-0,41	-0,17	-0,53	-0,17	-0,07	0,06	0,51	0,18	1,00					
TUB	-0,00	-0,52	-0,11	0,48	0,04	0,43	0,31	0,19	0,34	1,00				
IQA	0,26	0,04	-0,15	-0,83	0,36	-0,64	-0,42	-0,56	-0,41	-0,69	1,00			
TOG	-0,25	0,27	-0,39	0,23	-0,48	-0,06	0,62	0,44	0,71	0,14	-0,56	1,00		
CRF	-0,10	-0,33	-0,48	-0,02	-0,03	-0,14	0,76	0,37	0,87	0,38	-0,44	0,67	1,00	
SAL	-0,38	-0,21	-0,59	-0,27	-0,11	-0,02	0,43	0,02	0,98	0,30	-0,29	0,64	0,83	1,00

ANO 2012b														
	TA	pH	OD	DBO	COT	CT	NT	FT	STD	TUB	IQA	TOG	CRF	SAL
TA	1,00													
pH	-0,17	1,00												
OD	-0,02	-0,62	1,00											
DBO	0,41	-0,48	0,20	1,00										
COT	0,25	-0,11	-0,61	0,41	1,00									
CT	-0,44	-0,12	0,30	-0,21	-0,59	1,00								
NT	-0,26	-0,21	0,24	0,01	-0,50	0,70	1,00							
FT	0,08	0,53	-0,04	-0,23	-0,38	0,12	0,14	1,00						
STD	-0,40	0,16	-0,21	0,24	-0,17	-0,08	0,14	0,32	1,00					
TUB	-0,49	-0,03	0,10	0,16	-0,42	0,35	0,71	0,29	0,75	1,00				
IQA	0,26	-0,63	0,46	-0,02	0,73	-0,17	-0,32	-0,60	-0,72	-0,65	1,00			
TOG	0,14	0,40	-0,31	-0,04	-0,51	0,28	0,26	0,15	0,00	0,07	-0,43	1,00		
CRF	-0,06	-0,28	0,12	0,54	-0,28	-0,03	0,34	0,21	0,83	0,74	-0,46	-0,09	1,00	
SAL	0,24	0,20	-0,35	-0,11	0,31	-0,15	-0,16	0,36	0,10	-0,02	-0,23	0,11	-0,12	1,00

ANO 2014														
	TA	pH	OD	DBO	CT	NT	FT	STD	TUB	IQA	SAL	COT	TOG	CRF
TA	1,00													
pH	0,14	1,00												
OD	-0,48	-0,49	1,00											
DBO	-0,42	-0,67	0,39	1,00										
CT	0,27	0,40	-0,41	-0,45	1,00									
NT	-0,14	0,12	-0,25	0,03	-0,34	1,00								
FT	-0,20	-0,86	0,67	0,54	-0,28	-0,38	1,00							

OD	0,97	0,38	1,00									
DBO	0,39	0,48	0,51	1,00								
CT	-0,64	0,28	-0,76	-0,24	1,00							
NT	-0,70	0,14	-0,82	-0,36	0,98	1,00						
FT	0,34	0,23	0,31	0,19	-0,19	-0,12	1,00					
STD	-0,50	-0,23	-0,64	-0,59	0,61	0,75	0,09	1,00				
TUB	0,24	0,39	0,27	0,24	0,02	0,00	-0,12	0,02	1,00			
IQA	-0,30	-0,84	-0,16	-0,01	-0,38	-0,24	-0,06	0,16	-0,13	1,00		
CRF	0,19	0,66	0,10	0,07	0,39	0,35	-0,18	0,25	0,89	-0,69	1,00	
SAL	-0,27	-0,61	-0,39	0,13	0,13	0,25	-0,42	0,70	-0,19	0,37	-0,04	1,00
TOG												
COT												

Coeficientes em negrito apresentaram correlação maior que 0,5.

APÊNDICE B – Componentes principais com variância explicada acumulada superior a 0,70.

2008					
Componentes Principais	CP1	CP2	CP3	CP4	
Desvio Padrão	2.0864	1.6530	1.4865	1.3074	
Variância explicada	0.3109	0.1952	0.1578	0.1221	
Variância acumulada	0.3109	0.5061	0.6639	0.7860	
2009					
Componentes Principais	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Desvio Padrão	1.841	1.6699	1.4354	1.2076	1.14275
Variância explicada	0.242	0.1992	0.1472	0.1042	0.09328
Variância acumulada	0.242	0.4412	0.5884	0.6925	0.78582
2010					
Componentes Principais	CP1	CP2	CP3	CP4	
Desvio Padrão	2.2835	1.6918	1.2985	1.1968	
Variância explicada	0.3724	0.2044	0.1204	0.1023	
Variância acumulada	0.3724	0.5769	0.6973	0.7996	
2011a					
Componentes Principais	CP1	CP2	CP3	CP4	
Desvio Padrão	1.9816	1.8344	1.4379	1.3012	
Variância explicada	0.2805	0.2404	0.1477	0.1209	
Variância acumulada	0.2805	0.5208	0.6685	0.7894	
2011b					
Componentes Principais	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Desvio Padrão	1.7700	1.5786	1.4303	1.3345	1.16809
Variância explicada	0.2238	0.1780	0.1461	0.1272	0.09746
Variância acumulada	0.2238	0.4018	0.5479	0.6751	0.77257
2012a					
Componentes Principais	CP1	CP2	CP3	CP4	
Desvio Padrão	2.1143	1.6375	1.4339	1.3449	
Variância explicada	0.3193	0.1915	0.1469	0.1292	
Variância acumulada	0.3193	0.5108	0.6577	0.7869	
2012b					
Componentes Principais	CP1	CP2	CP3	CP4	
Desvio Padrão	1.893	1.6946	1.5133	1.2357	
Variância explicada	0.256	0.2051	0.1636	0.1091	
Variância acumulada	0.256	0.4611	0.6247	0.7338	
2014					

Componentes Principais	CP1	CP2	CP3
Desvio Padrão	1.8504	1.7133	1.2444
Variância explicada	0.3113	0.2668	0.1408
Variância acumulada	0.3113	0.5781	0.7189

2015a			
Componentes Principais	CP1	CP2	CP3
Desvio Padrão	2.3508	1.6418	1.2910
Variância explicada	0.4605	0.2246	0.1389
Variância acumulada	0.4605	0.6851	0.8240

2015b			
Componentes Principais	CP1	CP2	CP3
Desvio Padrão	2.3542	1.6008	1.3695
Variância explicada	0.4619	0.2136	0.1563
Variância acumulada	0.4619	0.6754	0.8317

2016			
Componentes Principais	CP1	CP2	CP3
Desvio Padrão	1.9383	1.7684	1.2800
Variância explicada	0.3415	0.2843	0.1490
Variância acumulada	0.3415	0.6259	0.7748

APÊNDICE C – Escores das duas componentes principais seleccionadas

	2008		2009		2010	
Variáveis	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2
TA	-0.3961	-0.1551	0.2062	0.0176	-0.0433	-0.4174
pH	-0.4064	0.0456	-0.2415	-0.1355	-0.1091	0.4416
OD	-0.4232	0.1416	0.4071	0.1798	-0.2288	0.2124
DBO	0.2034	-0.2024	-0.0242	-0.4576	-0.3716	-0.0140
COT	-0.3283	-0.3293	0.4602	-0.0489	-0.2363	-0.1388
CT	0.1497	-0.1095	-0.0693	-0.2069	-0.2324	0.1422
NT	-0.0780	0.1670	0.0457	-0.2765	-0.3671	0.0092
FT	0.0087	0.5005	-0.1100	-0.0034	0.1082	-0.2356
STD	0.3587	-0.2009	-0.4487	0.2162	-0.4065	-0.0753
TUB	0.1145	-0.2336	-0.0292	0.5627	-0.3225	0.0010
IQA	0.0264	-0.0428	-0.3228	-0.1087	0.4118	0.0080
TOG	-0.4178	-0.1132	-0.0841	0.4906	0.1837	-0.3794
CRF	0.0618	0.5151	0.3012	0.0246	-0.2425	-0.4430
SAL	0.0109	-0.3728	-0.3126	-0.0383	-0.0899	-0.3800

	2011a		2011b		2012a	
Variáveis	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2
TA	-0.2205	0.1435	-0.2205	-0.4206	0.1248	-0.0348
pH	-0.1662	0.3477	0.2386	-0.1562	0.1219	0.1812
OD	-0.1981	0.4453	-0.3235	0.2194	0.2927	0.2939
DBO	-0.4746	-0.1300	0.1211	0.3622	0.0249	0.5644
COT	0.1193	0.1297	-0.3175	-0.0008	0.0241	-0.3535
CT	0.0945	-0.4700	0.2444	-0.0727	0.0312	0.3449
NT	-0.0269	0.0714	-0.0328	-0.3507	0.3449	0.0691
FT	-0.4431	-0.1186	0.0447	0.0307	-0.1807	0.2258
STD	-0.0236	-0.4522	0.2682	0.0496	-0.4465	-0.0208
TUB	-0.3617	0.0761	0.04960	0.0589	-0.1657	0.2172
IQA	0.2886	0.3905	-0.0241	0.3818	0.0643	-0.4046
TOG	-0.0551	0.1101	0.1771	-0.4424	-0.3683	0.2068
CRF	-0.4704	-0.0100	0.4022	-0.2457	-0.4440	0.0180
SAL	0.0021	-0.1068	0.4409	0.2869	-0.4279	-0.0833

	2012b		2014		2015	
Variáveis	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2
TA	-0.0386	0.1091	-0.2450	-0.2413	-0.1556	0.4839
pH	0.3275	-0.3618	-0.4676	-0.0271	0.0539	-0.1278

OD	-0.2506	0.3815	0.4156	0.0255	-0.1246	0.4079
DBO	-0.3736	0.0852	0.4213	0.0926	0.2093	0.2547
COT	0.2710	-0.3226	-----	-----	-----	-----
CT	-0.0333	-0.0366	-0.3214	0.0333	0.3997	-0.1140
NT	-0.4285	0.0659	-0.0599	-0.0974	0.2483	0.4024
FT	-0.0968	-0.39357	0.4288	0.1939	0.1676	0.3659
STD	-0.3180	-0.4293	-0.1141	0.5360	0.4199	-0.0311
TUB	-0.2726	-0.3080	0.5360	0.0700	0.4112	-0.08211
IQA	-0.1446	0.0099	0.0568	-0.5364	-0.3516	-0.2727
TOG	0.1208	-0.2010	-----	-----	-----	-----
CRF	-0.4501	-0.2198	-----	-----	0.4160	-0.0806
SAL	0.0885	-0.2679	0.0526	0.2587	0.1481	-0.3475

2015b			2016	
Variáveis	CP1	CP2	CP1	CP2
TA	0.3343	-0.0247	0,0248	0,1232
pH	-0.0843	0.3829	0.0814	-0.5244
OD	0.3239	0.1269	0.4557	-0.1117
DBO	-0.2981	0.3998	0.3134	-0.2468
COT	-----	-----	-----	-----
CT	-0.1988	-0.4695	-0.4459	-0.2288
NT	-0.2522	0.3879	-0.4822	-0.15862
FT	-0.3421	-0.1246	0.1292	-0.0626
STD	0.3597	0.1596	-0.4440	0.0728
TUB	-0.1887	0.3052	0.0189	-0.3498
IQA	0.3568	-0.0575	0.0187	0.4178
TOG	-----	-----	-----	-----
CRF	-0.2079	0.3716	-0.1753	-0.3851
SAL	0.3628	0.1743	-0.1036	0.3459

Valores em negrito significam os dois maiores escores de cada componente